

УДК 911.52(075.8)+502.52(075.8)

ББК 26.82я73

Б19

Рекомендовано Ученым советом
географического факультета
28 октября 2008 г., протокол № 2

Р е ц е н з е н т ы:

профессор кафедры физической географии БГПУ
имени М. Танка, доктор географических наук *В. Б. Кадацкий*;
ведущий научный сотрудник Института природопользования
НАН Беларуси, доцент, кандидат географических наук
М. И. Струк

Бакарасов, В. А.

Б19 Экология ландшафтов : пособие для студентов геогр. фак.,
обучающихся по спец. 1-33 01 02 «Геоэкология» / В. А. Бака-
расов. — Минск : БГУ, 2010. — 100 с.
ISBN 978-985-518-271-0.

В пособии излагаются современные теоретические и методологиче-
ские основы экологии ландшафтов. Рассмотрены ее геофизические, гео-
химические, структурно-динамические и прикладные аспекты.

Предназначено для студентов БГУ, обучающихся на географическом
факультете по специальности 1-33 01 02 «Геоэкология».

УДК 911.52(075.8)+502.52(075.8)
ББК 26.82я73

ISBN 978-985-518-271-0

© Бакарасов В. А., 2010
© БГУ, 2010

ВВЕДЕНИЕ

ЭКОЛОГИЯ ЛАНДШАФТОВ:

ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ И ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

История развития экологии ландшафтов. Исторические корни развития экологии ландшафтов уходят в XIX — начало XX в., когда работы А. Гумбольдта, К. Шретера, Н. А. Северцева, В. В. Докучаева, А. И. Воейкова, Г. П. Марша, Х. Берроуза, Л. С. Берга и других ученых заложили основы комплексных ландшафтно-экологических представлений. Положительную роль в развитии экологии сыграли работы В. Н. Высоцкого (1909; 1925), который впервые употребил термин «фитотопологические» по отношению к картам типов местопроизрастания растительного покрова. Также большое значение имели работы Л. Г. Раменского (1938), который наряду с экологией растений различал экологию земель, или экотопологию, — учение о внешней обусловленности различных местообитаний и жизненных сред, что в значительной мере было тождественно экологии ландшафтов. Определенными вехами послужили учение об экосистемах А. Тенсли (1935) и представление о биогеоценозе В. Н. Сукачева (1940).

В 1939 г. вышла статья немецкого географа К. Тролля, в которой впервые был употреблен термин «ландшафтная экология» (экология ландшафтов, геоэкология), означающий «пространственную экологию земной поверхности». Позднее он определил ландшафтную экологию как «изучение основных комплексов, обусловленных взаимоотношениями между живыми существами и их средой в данной части ландшафта» (К. Тролля, 1972). В послевоенное время благодаря работам К. Тролля идеи экологии ландшафтов распространились сначала в немецкоязычных странах, а с 1960-х гг. — и по всей Европе. Значительные ландшафтно-экологические исследования в это время проводились в Германии (Э. Нееф, Г. Рихтер, Г. Хазе и др. — в Восточной Германии, К. Тролля, Й. Шмютхюзен — в Западной Германии), Нидерландах (И. Зонневельд, А. Винк), Чехословакии (Я. Дрдош, Я. Демек).

Важное значение для распространения и популяризации идей ландшафтной экологии в странах Западной Европы имели работы голландского ученого А. Винка (1968; 1983). Он рассматривал ландшафтную экологию как результат взаимодействия географии и экологии в решении практических вопросов рациональной организации территории, регионального и местного управления.

В Северной Америке обособление ландшафтной экологии происходило несколько позже (с начала 1980-х гг.), чем в Европе, и опиралось не на географическую традицию, а на собственно экологию как биологическую науку, в которой возникла необходимость привлечения фактора пространственной организации для объяснения экосистемных процессов. Развитие дистанционных методов и геоинформационных технологий также послужило стимулом развития экологии ландшафтов в Европе и Северной Америке.

В странах, где экология ландшафтов начала развиваться только в конце 1980-х — начале 1990-х гг. (Китай, Австралия и др.), отмечено существенное влияние обоих направлений (европейского и североамериканского).

Автором концепции ландшафтной экологии в России является академик В. Б. Сочава (1970). Он разработал теоретические положения учения о геосистемах. Охарактеризовав эту науку как результат сближения экологии и ландшафтоведения на базе системного подхода, он ввел в ландшафтоведение ряд важных положений экологии (например, климакс, ординация, сукцессия и др.).

На территории бывшего СССР термин «ландшафтная экология» не получил сначала широкого распространения, поскольку ее задачи традиционно решались в рамках ландшафтоведения и биогеоценологии. Однако словосочетание «ландшафтно-экологический» стало активно употребляться начиная с середины 1980-х гг. и в русскоязычной литературе. Ландшафтно-экологические исследования проводились при изучении почвенного покрова, сельскохозяйственной организации территории, в процессе природопользования. В начале 1990-х гг. начали активно обсуждаться теоретические вопросы ландшафтной экологии, конструктивные задачи ландшафтно-экологических исследований, основные их направления, проблемы ландшафтной экологии как науки.

Анализируя становление и развитие экологии ландшафтов, следует подчеркнуть особую роль Международной ассоциации ландшафтной экологии (IALE), цель которой — углубление сотрудничества между учеными и практиками, занимающимися деятельностью в области природной среды, развитие междисциплинарных природных исследований и популяризация знаний об экологии ландшафтов и возможности их использования. В 1974 г. возникла идея создания этой ассоциации, а в 1982 г. в г. Пештяны (Словакия) состоялся ее первый конгресс.

На рубеже 70—80-х гг. XX в. Институт географии Словацкой Академии наук выступил с инициативой создания при Международном географическом союзе рабочей группы «Ландшафтный синтез — геоэкологические основы комплексного управления ландшафтом». Перед группой ставились примерно те же задачи, что и

перед Международной ассоциацией ландшафтной экологии: изучение структуры и динамики ландшафтов, их классификация и т. д. Тесное сотрудничество по теме «Экологические основы планирования и развития оптимальных структур ландшафта» налажилось с 1976 г. между географами стран Восточной Европы (бывших членов СЭВ). Результат этой работы — издание толкового словаря «Охрана ландшафтов» (1982).

В настоящее время работы в области экологии ландшафтов ведутся практически во многих странах Европы и Северной и Южной Америки, в Азии, Австралии. С 1987 г. в США издается журнал «Landscape ecology».

Определение экологии ландшафтов. Как и многие молодые науки, экология ландшафтов развивается, уточняет свой предмет, задачи и методы, что отражается в трактовке самого содержания понятия науки — оно меняется в соответствии с эволюцией географии и биологии, на стыке которых и возникла экология ландшафтов.

На наш взгляд, *экологию ландшафтов* можно определить как пограничную науку, сформировавшуюся на стыке ландшафтоведения и экологии, которая использует их теоретические концепции и методические приемы при изучении территориальных единств (ландшафтов, геосистем) различного иерархического уровня.

Объектом исследования ландшафтной экологии служат ландшафты, рассматриваемые как полиструктурные и полифункциональные природные (и природно-антропогенные) образования. Все это позволяет определить *цель экологии ландшафтов*, заключающуюся в изучении закономерностей организации, функционирования, динамики и пространственно-временного распространения природных и природно-антропогенных ландшафтов. Ключевыми *методами* познания в экологии ландшафтов стали сравнительно-географический, картографический, математический, геофизический, геохимический, классификация, ординация, районирование и др.

Трудно переоценить *прикладное значение* экологии ландшафтов. В последние годы она все чаще привлекается для решения задач по охране природы, в том числе по оценке экологического состояния территории, разработке моделей землепользования, обеспечивающих его оптимизацию и устойчивое развитие. Практическая значимость экологии ландшафтов велика в решении вопросов, связанных с экологическим нормированием и экологической индикацией (определение норм устойчивости ландшафтов). Привлекается она и к решению проблем экологического мониторинга, и к разработке экологической экспертизы территорий, и к разработке методологии и методов сохранения ландшафтного разнообразия планеты и ее отдельных регионов.

1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИИ ЛАНДШАФТОВ

1.1. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ ЛАНДШАФТОВ

В течение длительного периода развития естественных наук природная среда рассматривалась как набор отдельных сред: воздушной, водной, твердой, живой. Современная наука подчеркивает неразрывную связь всех природных компонентов, целостность образуемых ими единств. Попытки синтеза материалов, накопленных науками, изучающими отдельные природные компоненты, и результаты специальных комплексных исследований привели к созданию двух близких моделей организации материи.

Так, в экологии уже в начале XX в. сложилось представление об экосистеме. Появление этого термина, с одной стороны, помогло вычленить тот уровень организации живого, на котором должна работать экология как наука, с другой — дало возможность осознать всю сложность присущих каждому сообществу внешних и внутренних взаимоотношений. В истории экологии можно проследить постепенное возрастание интереса к взаимодействию человека и природы, к определению его роли в различных экосистемах, а также понимание человека как неотъемлемого элемента биосферы. При этом человек рассматривался как нечто, лежащее вне экосистемы. Когда реальность проблемы места человека в экосистемах была осознана, оказалось, что для ее решения экосистемной концепции недостаточно. Во-первых, по смыслу термин «экосистема» моноцентричен, так как направлен почти исключительно на познание биоты. Во-вторых, он обычно используется в очень широком смысле, он безразмерен. Употребляется также понятие «биогеоценоз» (В. Н. Сукачев, 1940). Однако его традиционное понимание, наоборот, слишком узко. Как правило, размерность биогеоценоза невелика и, например, для оценки характера воздействия человека, не очень существенна. В экологических концепциях не предусмотрен тот уровень, который позволил бы рассмотреть все сложные аспекты, касающиеся места человека в экосистеме, поскольку в реальной иерархии экосистем имеется пробел между биогеоценозом и биосферой.

Подходящая концепция сложилась и существует в физической географии. Это представление о природном территориальном комплексе (ландшафте, геосистеме). Обращение науки к этому термину было обусловлено стремлением найти обозначение, пригодное для отражения открытого географией в конце XIX — начале XX в. ново-

го сложного объекта действительности — относительно однородного участка географической оболочки, выделившегося в ходе ее эволюции и отличающегося от других участков своей структурой, то есть закономерным сочетанием тел и явлений, характером взаимосвязи и взаимодействия между компонентами географической оболочки, особенностями сочетания более мелких территориальных единиц.

По мере познания наукой сущности этого сложного объекта определение ландшафта менялось, развивалось. В соответствии с этим можно выделить основное в определениях ландшафта: 1) однородность территории (в том числе и генетическую); 2) однородность сочетаний компонентов; 3) однородность взаимосвязи компонентов; 4) комплексный характер образования, его единство; 5) однородность пространственного сочетания природных комплексов низшего ранга; 6) однородность обмена веществом и энергией (метаболизма); 7) системный характер образования, его целостность.

При исследовании ландшафтов (последовательно или одновременно) применяются две модели: моносистемная, топическая, в которой внимание сосредотачивается прежде всего на взаимодействии между компонентами, на вертикальных связях, и полисистемная, хорическая, где основные элементы — системы более низкого таксономического ранга и взаимодействия между ними (горизонтальные связи).

Чтобы подчеркнуть системный характер предмета ландшафтоведения — природный территориальный комплекс (ПТК), В. Б. Сочава в 1963 г. ввел термин «геосистема», под которым он понимал «особый класс управляемых систем; земное пространство всех размерностей, где отдельные компоненты природы находятся в системной связи друг с другом и как определенная целостность взаимодействуют с космической сферой и человеческим обществом»¹. Понятие «геосистема» охватывает весь иерархический ряд природных географических единств — от географической оболочки до ее элементарных структурных подразделений. Геосистема — это более широкое понятие, чем природный территориальный комплекс, ландшафт. Ландшафт — один из видов географических систем.

В настоящее время под термином «геосистема» понимается любая территориальная система как природного, так и социального происхождения. Геосистемы могут быть различных типов, и выделять их можно по разным основаниям (по разным системообразующим отношениям).

Отметим еще следующее. Модели экосистемы, ландшафта, геосистемы, включающие в свой состав одинаковые элементы, существенно отличаются друг от друга в связи с различной группиров-

¹Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск, 1978. С. 292.

кой элементов. Вот почему эти модели не могут заменить друг друга. Они лишь взаимодополняют наш методологический арсенал. Каждая из этих моделей помогает нам решать особый класс научных и практических задач.

Интеграция различных наук или научных подходов оправдана и, в конце концов, происходит при наличии трех условий: принципа возможности интеграции; принципа дополнительности интеграции; приблизительно одинакового уровня развития (М. Д. Гродзинский, 1993).

Принципиальная возможность интеграции ландшафтного и экологического подходов в один ландшафтно-экологический обусловлена сходным объектом анализа (полигеокомплексные природные системы), близостью базовых концепций (гео- и экосистемной), сходными принципиальными научными задачами (то есть познание взаимодействия компонентов природы между собой и с человеческим обществом), общностью прикладных задач (то есть обоснование путей оптимизации взаимодействия общества и природных систем), подобием большинства методов исследования.

Интеграция дополнительна в том смысле, когда каждая из контактирующих наук имеет круг вопросов, разработка которых одной наукой натолкнулась на определенные трудности, тогда как в другой науке для решения этих вопросов существуют эффективные концептуальные и методические подходы. Таких проблем много и в ландшафтоведении, и в экологии. Так, в экологии вопросы пространственного анализа традиционно не рассматривались, а ландшафтоведение в этом вопросе имеет значительные успехи. Или, например, для ландшафтоведения «кризисными» являются теоретические вопросы динамики ландшафтов. Для решения этих вопросов необходимо использовать концепции экологии.

У ландшафтоведения и у экологии есть множество взаимодополняющих концепций, положений, методов и т. д., синтез которых и служит теоретической базой экологии ландшафтов (например, такая проблема, как географические (ландшафтные) границы). Особенность ландшафтного подхода — это поиск местоположения границ (например, ландшафтное профилирование). Особенность экологического подхода — это концепция континуума, экотона. Перспективным направлением интеграции в экологии ландшафтов будет, например, концепция ландшафтного экотона.

Одинаковые уровни развития контактирующих наук — необходимое условие их интеграции. В противном случае менее развитая наука просто поглотится более развитой. Экология и ландшафтоведение (их концепции) возникли примерно одновременно. Концепцию экосистемы разработал А. Тэнсли в 1935 г., а сформировалась она в 50-х гг. прошлого века. Концепцию ландшафта впервые науч-

но сформулировал Л. С. Берг в 30-х гг., а в 50-х гг. XX в. она приобрела теоретическое завершение. В разных странах отношения между этими науками были различными. Популярность экологии в обществе значительно выше, чем ландшафтоведения, что не препятствует интеграции этих наук.

Экология ландшафтов есть продукт интеграции ландшафтоведения и экологии. Она использует лишь определенную часть их теоретических положений и подходов, которые при взаимном контакте существенно трансформируются. Это в свою очередь способствует формированию оригинального концептуально-теоретического базиса новой самостоятельной науки.

Ландшафтно-экологический подход наряду с сильными в эвристическом отношении особенностями, унаследованными от ландшафтоведения (территориальность, полицентризм модели ландшафта) и экологии (концепции сукцессии, методы ординации, моноцентризм модели экосистемы), имеет и собственные черты. Как и в упомянутых науках, объектом экологии ландшафтов выступают поликомпонентные природные и природно-антропогенные системы. Однако при их исследовании ландшафтно-экологический подход значительно шире пользуется следствиями, вытекающими из общенаучного принципа дополнительности. Согласно этому принципу, полноценное познание сложного объекта или явления достижимо при условии исследования его в различных «проекциях» (то есть с помощью разных моделей), свести которые к одной принципиально невозможно.

Исходя из этого, в современной экологии ландшафтов сформировалось несколько постулатов и ограничений в использовании ландшафтно-экологического подхода. Среди них наиболее значимы следующие.

Понимание и исследование ландшафта как полиструктурной системы — центральная методологическая установка ландшафтно-экологического подхода. Исследуя природную реальность, экология ландшафтов не сводит ее к одной какой-либо модели (гео- или экосистемы), а исходит из того, что научная или практическая цель определяет оптимальный способ декомпозиции природных систем (разделение их на элементы или структурные части), что приводит к множеству типов их структур.

Концепции гео- и экосистемы имеют свои преимущества. Представления о геосистемах более приближены к природной реальности. Концепция экосистемы весьма полезна при решении ряда конкретных задач. Поэтому экология ландшафтов в своих исследованиях использует поли- и моноподход (геосистемный и экосистемный соответственно). Причем, в отличие от экологии, в центр экосистем-

ной модели ставятся (помещаются) не только биотические, но и другие компоненты, в том числе антропогенные.

В ландшафтной экологии основное внимание уделяется процессному и функциональному анализу ландшафтов. Причем ландшафты воспринимаются не как территории или объемы со специфическим составом элементов и своим строением, а как арены и объемы, наполненные разными динамическими процессами, которые взаимодействуют между собой и с окружающей средой. Исходя из специфики этих процессов и выделяются геосистемы.

Для экологии ландшафтов характерно значительное внимание к влиянию на ландшафты внешних факторов, особенно антропогенных. В сравнении с ландшафтоведением эта наука рассматривает ландшафты как наиболее связанные с внешней средой, «более открытые».

Существенной чертой экологии ландшафтов является то, что проблема взаимодействия человека с природными системами рассматривается как основная. При этом ее теоретическая база разрабатывается как научная основа регламентации рационального с экологической позиции поведения человека в ландшафте.

1.2. ВЕРТИКАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ЛАНДШАФТА

В ландшафтно-экологических исследованиях большую роль играет изучение структуры ландшафтов. Существует множество структур ландшафтов: пространственная (вертикальная, горизонтальная), временная, функциональная и т. п.

Под вертикальной структурой ландшафта (вертикальным профилем, разрезом) понимаются состав, последовательность, свойства и характер взаимодействия природных компонентов в конкретной геосистеме. При анализе вертикальной структуры ландшафта любая из ее слагающих структур рассматривается как территориально однородная, то есть допускается, что ее характеристики на некоторой площади остаются неизменными. При этом внимание акцентируется на том, что смена значений этих параметров определяется взаимодействием между элементами вертикального профиля (разреза) ландшафта.

Можно выделить три основных подхода структуризации ландшафта и соответственно три типа его вертикальной структуры: геокомпонентный; вещественно-фазовый (геомассовый); пространственно-объемный (геогоризонтный).

Геокомпонентный способ разделения вертикальной структуры. Традиционное разделение ландшафта на составные части — это выделение в нем компонентов природы. Каждый из природных компонентов, по словам А. Г. Исаченко (1991), «является

представителем определенных геосфер, слагающих географическую оболочку». Это горные породы (представители литосферы), поверхностные и грунтовые воды (гидросфера), воздушные массы (атмосфера), почва (педосфера), растительность, животные (представители биосферы). Все эти компоненты есть материальные тела. Кроме них А. Г. Исаченко и другие исследователи как компоненты природы рассматривают рельеф и климат. Есть предложения компонентами ландшафта считать и совокупность продуктов человеческой деятельности, тесно связанных с природными элементами (такие как мелиоративные каналы, дороги и т. д.).

Все природные компоненты по их происхождению, свойствам и функциям в ландшафтах объединяются в три подсистемы: геома, которую образуют литогенная основа (геологические породы и рельеф), нижняя часть атмосферы (воздух тропосферы) и гидросфера (вода); биота — это растительность и животный мир; биокосная подсистема — это почва.

Компоненты ландшафта — это сложные тела. В каждом из них есть вещества, которые выполняют функцию основной субстанции других компонентов. Например, под воздушными массами атмосферы следует понимать не просто сумму (совокупность) газов, а сложную субстанцию, которая включает также водяной пар, частички твердых веществ, микроорганизмы. Эта особенность компонентов придает им новые — эмерджентные свойства, которых нет в химически чистых и однородных веществах, их образующих. А. Г. Исаченко (1991) отмечает, что в системной организации веществ Земли природные компоненты занимают промежуточное положение между простыми дискретными телами (минералами, газами, почвенными агрегатами, организмами и т. д.) и ландшафтами. Поэтому анализ вертикальной структуры ландшафта, представленной в виде геокомпонентов, будет эффективным при выявлении генетико-эволюционных закономерностей ландшафта.

Выделение элементов в геокомпонентной вертикальной структуре проводится разделением компонентов на их генетически более однородные части. Например, для почв — это генетические горизонты; грунтовые воды различаются по типам пород, которые их вмещают. Элементами растительности ландшафта обычно служит ценопопуляция.

Природные компоненты обладают множеством самых разнообразных свойств, но они имеют далеко не одинаковое значение для организации и развития территориальных систем географической размерности. Наиболее активные и важные для конкретного уровня организации ПТК взаимодействующие свойства компонентов называются природными факторами. Среди факторов выделяются ведущие, оказывающие основное влияние на организацию ланд-

шафтов определенного ранга и типа, и второстепенные, определяющие специфику ландшафтов других уровней.

Связи между компонентами ландшафта называются вертикальными. Они входят в понятие «вертикальная структура ландшафта» как ее обязательные составные части. Изучение вертикальных связей привело к формированию представлений о моносистемной модели ландшафта.

Как правило, связи в ландшафтах не очень жесткие и носят преимущественно вероятностный характер. Осуществляются они в виде разномасштабных круговоротов, связывающих между собой как отдельные компонентные звенья геосистем, так и сами ландшафты в единый планетарный ландшафтный комплекс.

Вещественно-фазовый (геомассовый) способ разделения вертикальной структуры ландшафта. При анализе потоков веществ, их взаимопереходов и других форм взаимодействия более оправдана структуризация ландшафтов, которая исходит из того, что она представляет собой композицию (состав) веществ, различающихся по фазовому состоянию, физическим особенностям, химическому составу. Взаимодействия между потоками различных веществ отражают различные процессы в ландшафте (например, продукционный, засоление почвы и т. д.). И поэтому, рассматривая разные вещества как элементы ландшафта, можно эффективно исследовать механизмы внутриландшафтных связей. Подобный подход к структуризации элементарной геосистемы разработал Н. Л. Берушавили (1982). Он связан с выделением в ландшафте геомасс.

Геомассы — это качественно разнородные тела, которые характеризуются определенной массой, специфическим функциональным назначением, а также скоростью изменения во времени и (или) скоростью перемещения в пространстве. Таковыми, например, являются аэромассы, фитомассы, зоомассы, мортмассы (массы мертвого органического вещества), литомассы, педомассы, гидромассы.

Геомассы отличаются от компонентов большей вещественной однородностью. Например, под педомассой понимается не почва, а только почвенный мелкозем вместе с гумусом, то есть органоминеральная смесь, куда не входят почвенная влага, почвенный воздух, скелетная часть почвы, корни растений и почвенные животные. Аэромасса — «сухой воздух», то есть смесь атмосферных газов без водяного пара и других примесей. Аэромассы находятся не только в атмосфере, они пронизывают все компоненты ландшафта. Аналогично и гидромассы. Они сосредоточены не только в поверхностных и подземных водах, но и в других природных компонентах. Мортмассы не имеют аналогов среди компонентов и представляют собой мертвое органическое вещество, заключенное в сухостое, валежнике, в отмерших органах, трупах, экскрементах животных, отмерших микроорганизмах.

При вещественно-фазовой структуризации ландшафта геомассы следует рассматривать как компоненты его вертикального строения, отдельные части которых могут существенно отличаться по физическим, химическим и другим показателям. Например, фитомасса представлена такими характерными частями, как зеленые листья растений, корни, транспортно-скелетные органы, генеративные органы, лишайники, мхи, микроорганизмы. Гидромасса также состоит из различных масс, отличающихся главным образом тем, где они находятся — в атмосфере, в почве, грунтовых водах. Поэтому при более детальном анализе ландшафтов геомассы разделяются на элементы в зависимости от агрегатного состояния, функционального назначения, химического состава, положения в вертикальном профиле геосистемы, метрических, объемных и других особенностей. Отметим, что степень детальности разделения геомасс на элементы определяется конкретными задачами ландшафтно-экологического анализа.

Кроме разделения геомасс на элементы Н. Л. Беручашвили предложил их классификацию. В разработанной им таксономической схеме каждая геомасса подразделяется на классы, типы, роды и виды.

Наиболее крупные классификационные единицы — это классы. Они выделяются по агрегатному составу геомассы и по специфическому функционированию. Различают аэромассы, фитомассы, зоомассы, мортмассы, пedomассы, литомассы, гидромассы.

При дифференциации типов геомасс за основу для пedomасс были взяты различия по механическому составу, для аэромасс — температурные параметры, для гидромасс — содержание влаги, для литомасс — плотность и химический состав пород, для мортмасс — степень разложения органики.

Роды геомасс различаются в пределах типов главным образом на основе интенсивности процессов функционирования. Так, для листовенных типов фитомасс выделяются различные роды по содержанию влаги в листьях. Пedomассы подразделяются на роды по содержанию гумуса и т. д.

Наконец, виды геомасс выделяются преимущественно на основе метрических характеристик (например, формы, размера, ориентации и т. д.) их элементов, определяющих ряд мелких структурно-функциональных особенностей геомасс.

Необходимо отметить, что ценность понятия геомассы не в том, что это какой-то специальный и труднообъяснимый термин, обозначающий новое специфическое «географическое вещество». Это обыкновенная физическая масса (то есть мера количества вещества) элементарной структурно-функциональной части ландшафта. Введение понятия геомассы не отрицает значения компонентов ландшафта в

традиционном их понимании. Оно открывает новые возможности применения ландшафтных методов в ландшафтно-экологических исследованиях.

Пространственно-объемный (геогоризонтный) способ декомпозиции вертикальной структуры ландшафта. Исследования вертикальных потоков энергии и вещества в ландшафте, их динамических смен во времени связаны с созданием неоднородности ландшафта по вертикали — ее ярусным строением. Некоторое представление о ярусном строении дает разделение ландшафта на геокомпоненты. Однако эти структурные единицы все-таки накладываются одна на другую. Кроме того, они неоднородны по вертикали. Вместе с тем в ландшафте довольно четко выделяются определенные слои, которые однородны по составу геомасс.

Впервые ярусы, слои в экосистеме выделил В. Шелфорд (1912) на основе биотических критериев. С более комплексных позиций к этому вопросу подошли братья К. и В. Арнольди (1963) и Ю. П. Бяллович (1947; 1960), который назвал такие слои хорогоризонтами, а позже — биогоризонтами и определил их как элементарные — дальше не делимые по вертикали части биогеоценоза. В экологии и геофизике ландшафтов близкие концепции одновременно разрабатывались в Германии (Г. Ноймастер), Грузии (Н. Л. Беручашвили) и Франции (Ж. Ришар). Приоритет здесь принадлежит Н. Л. Беручашвили (1974; 1976).

Геогоризонтами (по Н. Л. Беручашвили) называются сравнительно однородные слои в пределах вертикального профиля ландшафта, которые характеризуются специфическими наборами и соотношениями геомасс.

Основные из них — аэрогоризонт, аэрофитогоризонт (то есть приземный слой атмосферы, пронизанный растениями), мортаэрогоризонт (то есть с растительной ветошью), снежный горизонт, педогоризонт, литогоризонт. Каждый из перечисленных выше геогоризонтов может быть подразделен в зависимости от количественного соотношения геомасс на геогоризонты второго порядка. Например, в аэрофитогоризонте это будут горизонты с корнями, транспортно-скелетными органами, травянистым ярусом, моховым покровом, а в педогоризонте — с разным содержанием почвенной влаги и корней.

Одной из основных характеристик геогоризонтов является их состав, то есть из каких горных пород он состоит или какие виды растений его слагают и какие их фракционные части (крона, генеративные или транспортно-скелетные органы) входят в этот геогоризонт.

Текстура — одна из важнейших характеристик геогоризонта, от которой зависят не только распределение и пространственная орга-

низация геомасс, но и многие процессы функционирования, например проникновение солнечной радиации, перехват осадков и т. д.

При ландшафтно-экологических исследованиях текстура рассматривается, во-первых, с единых позиций (то есть в системе единой классификации) и, во-вторых, комплексно. Так, например, в почвенных горизонтах существует не только текстура педомасс, но и текстура корней, а также в некоторых случаях еще и текстура литомасс. Из элементарных складываются составные текстуры.

Синтез геогоризонтов в вертикальном профиле ландшафта определяет его вертикальную структуру. Вертикальная структура ландшафта описывается на основании мощности вертикального профиля (расстояния от самого верхнего до самого нижнего горизонта) и состава (набора специфических для данного ландшафта горизонтов). На основе этих признаков строится классификация вертикальных структур ПТК.

Наиболее крупная классификационная единица — класс вертикальных структур — выделяется на основе того, какой класс геомасс определяет структуру ландшафта в целом в данном состоянии. Выделяются следующие основные классы: фитогенные, постфитогенные (мортмассовые), гидрогенные, педогенные, литогенные. Довольно часто встречаются переходные типы, например фитогенно-постфитогенные, фитогенно-литогенные и т. д. В пределах этих классов по набору основных геомасс и геогоризонтов выделяются типы вертикальных структур. Более мелкие особенности (мощность, сложность и напряженность) служат основой дифференциации на роды и виды.

Вертикальная структура ландшафта меняется от состояния к состоянию. При этом часть геогоризонтов меняется, а другая остается постоянной. В связи с этим выделяются инвариантные, квазиинвариантные и изменяющиеся геогоризонты.

Необходимо отметить, что понятия «геомасса» и «геогоризонт» разработаны применительно к элементарной геосистеме — фации и, следовательно, к изучению первичных вертикальных связей в ландшафте. Поскольку геомассы и геогоризонты специфичны для разных фаций, установить их единую систему для ландшафта как целого практически невозможно, и поэтому традиционные компоненты продолжают сохранять свое значение при изучении вертикальных структур геосистем разных уровней.

1.3. ЛАНДШАФТНЫЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ

Ландшафты могут интегрироваться в различные территориальные структуры в зависимости от того, какое системообразующее отношение принято в качестве основы этой интеграции.

Генетико-морфологическая ландшафтная структура представлена традиционным рядом природных территориальных единиц, сгруппированных по их генетической близости (происхождению) и условиям развития (эволюции). Ландшафты выделяются таким образом, что в их пределах сохраняются относительно постоянными генетически обусловленное сочетание компонентов природы и характер их взаимодействия.

Наиболее разработанной и принятой в настоящее время является морфологическая структура ландшафта. В ней выделяются основные морфологические части — фации и урочища и промежуточные — подурочища, сложные урочища и местности.

Кроме ландшафтных образований генетико-морфологического типа существуют еще и геосистемы, организованные на градиентной или функционально-динамической основе. **Парагенетическими ландшафтами** называются устойчивые пространственно-смежные образования, сформированные и объединенные однопавленными вещественно-энергетическими потоками. Выделение парагенетических ландшафтов можно рассматривать как логическое развитие полисистемной (хорической) модели ландшафта, так как кроме признака соседства эти ландшафты выделяются и по общности происхождения. Парагенетические ландшафты бывают не только разных масштабов, но и типов.

Ландшафтные катены. Термин «катена» был введен почвоведом Дж. Милном (1935). Сейчас термин употребляется в ландшафтоведении, но особенно широко он вошел в геохимию ландшафтов. По существу он может рассматриваться как синоним геохимического ландшафта. Ландшафтные катены — это ряды сопряженных по элементам рельефа природных комплексов от водоразделов до местных или региональных базисов эрозии, объединенных однопавленными латеральными связями в единую парагенетическую систему (В. А. Николаев, 1990). Например, сопряжение фаций — от автоморфных (элювиальных) на вершине холма до супераквальных и субаквальных (аккумулятивных) в понижениях у подножий холмов, объединенных латеральными связями. В ландшафтно-геохимической терминологии это геохимический ландшафт (векторная геосистема), то есть сопряженные природные комплексы, объединенные миграцией химических элементов. Иногда термин «катена» используют и для обозначения других последовательных изменений. Например, литокатена, биокатена, экокатена и даже хронокатена (временная). В ландшафтной катене интегрирующей является система факторов — поверхностного, внутрипочвенного и грунтового жидкого, твердого и ионного стока. В ландшафтных катенах разнородные ландшафты своими частями как бы нанизаны на единый стержень

вещественно-энергетического потока. В пределах катены обычно можно выделить три звена, приуроченные к разным ярусам или ступеням рельефа: элювиально-денудационное (самое верхнее), транзитное (промежуточное), аккумулятивное (самое нижнее). Именно они определяют каскадное строение катен.

Ландшафтные геополья — это сферы вещественно-энергетического влияния одних ландшафтов на другие. Они тоже являются своеобразными парагенетическими геосистемами. Любые тела, в том числе ландшафты, обладают большим или меньшим по площади и интенсивности полем влияния на смежные геосистемы.

Геополья могут быть геофизической, геохимической, гидрогеологической, биогенной природы. Например, горная система — это геофизическое поле (барьерная тень или орографическое обострение осадков). Березовый колос или даже отдельный куст в степи тоже создают в ветровой и радиационной тени свои геофизические поля. Геохимическое поле имеют солончак или осушенные солончаковые участки днищ соленых водоемов (например, Аральского моря, озера Баскунчак), промышленные предприятия с дымовыми выбросами и т. д. Биогенные поля природных лесных «микрорезерватов» среди пахотных земель могут проявляться в увеличении количества насекомых-опылителей, птиц, в более интенсивном рассеивании семян.

При проектировании хозяйственных объектов следует учитывать, что различные геополья накладываются друг на друга и влияют на смежные ландшафты. Например, геополья водохранилищ и каналов интерферируют с геопольями гидрологических пространств подтопления на расстояниях от сотен метров до десятков километров. Так, геополе Каракумского канала — до 50 км. Города и промышленные предприятия создают вокруг себя геохимические и геофизические поля. Геохимические поля крупных городов хорошо прослеживаются в радиусе 15—20 км вокруг городов, а по отдельным загрязнителям — и в значительно большем радиусе. Геохимическое поле тепловых электростанций фиксируется вокруг них в радиусе от 5 до 30 км и более. Обычно сила воздействия, а следовательно, и напряженность геополей ослабевают обратно пропорционально квадрату расстояния от объектов, формирующих эти поля.

Когда вокруг мощных природных или антропогенных геосистем как специфических вещественно-энергетических ядер формируются системы полей высокого напряжения (вещественного, энергетического и информационного влияния), существенно трансформирующие прилегающие ландшафты, выделяются так называемые **нуклеарные парагенетические геосистемы** (по А. Ю. Ретеюму и В. А. Николаеву).

В географии учение о геосистемах, состоящих из ядра и его полей, было развито в работах А. Ю. Ретеюма (1988). Ландшафты такого рода предложено называть хорионами. Ядро хориона, как правило, обладает повышенным вещественно-энергетическим и информационным потенциалом, что позволяет ему создавать оболочки (поля) латерального влияния. Функции ядра могут выполнять тектонические структуры, формы рельефа, водоемы, растительные сообщества, колонии животных и другие природные объекты. Каждая природная геосистема, будь то фация, урочище, ландшафт и другие физико-географические системы, также играет роль ядра хориона, образуя по периферии ряд оболочек — ландшафтно-географических полей.

Нуклеарные ландшафты могут обладать центробежными, то есть рассеивающими, вещественно-энергетическими полями и центростремительными — стягивающими к ядру потоки вещества и энергии. Рассеивающие ландшафтные геополья формируют вулканы, горные вершины, хребты и многие другие геосистемы, обладающие определенным потенциалом гравитационной энергии. Стягивающие геополья свойственны разного рода депрессиям: замкнутым межгорным котловинам, бессточным озерным водоемам, суффозионно-просадочным западинам и т. п.

Нуклеарные геосистемы рассеивающего типа могут быть названы диссипативными, а стягивающего типа — аттрактивными. Многие природные хорионы обладают одновременно и рассеивающими, и стягивающими полями. Озерный водоем, например, помимо того что стягивает жидкий, твердый и ионный сток со своего бассейна, оказывает на смежную территорию климатическое, гидрогеологическое и некоторые другие виды латерального воздействия. Все населенные пункты и прежде всего города сопровождаются ландшафтно-географическими полями обоих типов.

Если ядро нуклеарных геосистем обладает особо мощным техногенным воздействием на прилегающие ландшафты (например, крупные промышленные центры, мощные ГРЭС), то такие нуклеарные геосистемы называются импактными.

Ландшафтные экотопы. Термин «экотоп» ввел в экологию Ф. Клеменс в 1928 г. Он понимал под ним переходную полосу (зону) между двумя достаточно контрастными ландшафтами. Особенности, свойства такой переходной полосы не позволяют отнести ее ни к одному из смежных ландшафтов. Типичный пример — переходная полоса между лесом и лугом. В ландшафтоведении для таких полос употребляется специфическое понятие: переходная ландшафтная единица (Д. Л. Арманд, 1955), буферная геосистема (В. Б. Сочава, 1978), геотоп (Н. Л. Беручашвили, 1988), ландшафт-экотоп (Э. Г. Коломыц, 1987), геоэкотоп (В. С. Преображенский, 1989).

Возникновение ландшафтных экотонов обусловлено общей закономерностью эволюции пространственных систем, то есть постепенным стиранием (сглаживанием) резких границ в природе вследствие все большего развития межгеосистемных взаимоотношений. В результате линейная граница со временем трансформируется в переходную полосу. Дальнейшее развитие ландшафтного экотона приводит к формированию в нем определенных специфических черт, не характерных ни одному из контактирующих ландшафтов. Со временем ландшафтный экотон преобразуется в клинальную или типичную (обыкновенную) геосистему с собственными границами, возможно, также экотонного характера.

По ширине и длине контактирующих ландшафтов Ю. Мандер и Ю. Ягомьяги (1982) выделяют микроэкотоны (они образуются на контакте парцелл и геотопов до 40 м в диаметре); мезоэкотоны (контакт луг — лес, болото — лес и т. д.); макроэкотоны (возникают на границах больших лесных и болотных массивов, крупных озер). Г. Вальтер (1978) выделяет также зоно-экотоны (например, зона лесостепи, субальпийский пояс).

Лучше всего экотонный эффект проявляется на контакте лесных ландшафтов с травяными (луговыми, степными). Основные особенности ландшафтных экотонов следующие. Экотон между лесом и травянистыми ландшафтами выполняет барьерную и контактную функции. *Барьерная функция* может реализовываться тремя способами:

- экотон как барьер-трансформатор влияет на пересекающий его горизонтальный поток так, что характеристики потока существенно изменяются при достижении смежной геосистемы. Например, атмосферные потоки тепла и водяного пара в направлении из леса к лугу в границах экотона нагреваются и иссушаются, а в обратном — охлаждаются и увлажняются;

- экотон как барьер-преграда не позволяет определенным потокам достичь смежного ландшафта. При этом материал, который переносится потоком, аккумулируется в границах экотона и в дальнейшем включается в межэлементные связи его вертикальной структуры;

- экотон как отталкивающий барьер поворачивает (отталкивает) горизонтальные потоки, которые поступают к нему от ядер смежных ландшафтов (например, зоогенные миграции типично лесных или типично луговых видов) (Д. И. Люри, 1991).

Контактная функция ландшафтного экотона может быть реализована в виде:

- простого контакта, когда горизонтальные потоки без препятствий и изменений пересекают экотон;

- активного контакта, когда в экотоне формируются новые потоки, не характерные для ядер типичности контактирующих геосистем (например, атмосферные потоки на опушках, бризовые летние ветры и т. д.);

- вторичного контакта, который проявляется в том, что материал, накапливаемый в экотоне, начинает мигрировать за его пределы в соседние ландшафты (Д. И. Люри, 1991).

Ландшафтные экотоны оказываются благоприятными для резкого увеличения видового и ценотического разнообразия биоты — «краевой (опушечный) эффект». Экотонные ландшафты и освоены обычно лучше, так как благоприятны для поселения, активного труда и отдыха человека. В то же время при проектировании хозяйственной деятельности в этих ландшафтах следует учитывать повышенную вероятность и силу развития опасных природных явлений, связанных с большими градиентами и интенсивностью идущих, а порой и обостряющихся здесь процессов (например, в предгорных районах — землетрясения, сели и т. д.).

Бассейновая ландшафтная структура представлена территориальными единицами, сформировавшимися в результате гидрофункционирования. Это бассейны рек разного порядка, анализируемые с ландшафтных позиций прежде всего путем исследования парагенетических и других отношений, составляющих речной бассейн территориальных единиц. В работах Р. Чорли, Б. Кеннеди, К. Н. Дьяконова, А. Ю. Ретеюма, Ф. Н. Милькова, Л. Н. Корытного и др. убедительно показано, что речной бассейн — это не только гидрологическая, но и физико-географическая система и объект ландшафтно-экологических исследований. Речной бассейн обладает мощным интегрирующим фактором — долговременным, направленным по углу падения склонов и по тальвегам водным потоком. Бассейны выделяются высоким уровнем абиотической и биотической организации и генетически ярко выраженной стадийностью индивидуального развития. То, что большая часть суши представляет собой макросистему бассейнов, открывает возможности для интерполяции полученных на водосборе не только гидрологических, но и вообще физико-географических характеристик.

По мере перехода к бассейнам более крупных водотоков в них уменьшаются признаки генетико-морфологической структуры, в то время как парагенетические отношения приобретают все большее значение. Последние в комплексе образуют специфические ландшафтные системы разных порядков. Можно полагать, что бассейновый подход к вычленению ландшафтных территориальных структур привлекает внимание исследователей чрезвычайной простотой выделения границ (по водоразделам) и процедурой проведения иерархической дифференциации территории (то есть ка-

ждый бассейн более высокого порядка довольно просто разделить на бассейны более низкого порядка).

Свойства речного бассейна как высокоорганизованной природной геосистемы перспективно использовать при решении проблем рационализации природопользования. Речные бассейны — это пространственный базис для природопользования (размещения земель разного назначения). Поэтому бассейн предлагается рассматривать в качестве единицы природно-хозяйственного районирования (Л. Н. Короткий, 1983).

Барьерные ландшафтные территориальные структуры. Еще одной характерной деталью пространственных структур Земли является наличие многочисленных барьеров. Барьерами называют участки географической оболочки (тела, поверхности, линии, точки), которые оказывают существенное влияние на поля и потоки вещества и энергии, задерживая, трансформируя, ослабляя или усиливая их. Повышенная концентрация некоторых типов вещества на барьерах представляет особый интерес и стимулирует их изучение. Наиболее масштабные и заметные барьеры — это горные системы. Они трансформируют воздушные массы, атмосферные фронты, что выражается в увеличении количества осадков на наветренной стороне гор и уменьшении — на подветренной стороне, расчленяют почвенно-растительный покров, вследствие разной экспозиции склонов определяют тепловой режим ландшафтов. Любое повышение рельефа и даже небольшой перегиб склона изменяют скорость ветра, что приводит к перераспределению снега. По отношению к водным потокам препятствиями являются и понижения рельефа: водный поток, дойдя до понижения, изменяет свое направление и начинает двигаться вдоль него. Любое понижение служит ловушкой для снежного покрова. Осевые линии хребтов и даже водораздельные линии пологих междуречий выполняют барьерные функции иным образом: они вынуждают выпадающие атмосферные осадки растекаться в противоположные стороны.

Известны эффекты, связанные с ландшафтно-геохимическими барьерами (ЛГБ), то есть участками ландшафтов, где на коротком расстоянии происходит смена геохимической обстановки (окислительная — восстановительная, кислая — щелочная и т. д.), уменьшение интенсивности миграции химических элементов и их концентрация. А. И. Перельман (1975) выделяет природные и техногенные ЛГБ, которые подразделяются на механические, физико-химические, биогеохимические.

Барьеры возникают также при смене подстилающей поверхности (смена суши морем и обратно, лесной растительности — степной, осушенного поля — неосушенным и т. д.), которая приводит к трансформации структуры ландшафтов.

Специфическим барьером является экватор — невидимая граница, от которой отклоняющаяся сила вращения Земли (сила Кориолиса) направлена в разные стороны: в Северном полушарии — вправо, в Южном — влево. Слабая выраженность силы Кориолиса в приэкваториальной зоне определяет отсутствие здесь тропических циклонов.

При хозяйственной оценке ландшафтной структуры территории необходимо учитывать не только отдельные виды и типы ландшафтов, но и свойства их катенарных сопряжений, ландшафтных геополей и пограничных (экотонных) зон. Поэтому в ландшафтной экологии изучаются геосистемы как генетически и морфологически структурно-однородные (например, фации и т. д.), так и всевозможные парагенетические, в которых различные ландшафты территориально сопряжены и связаны латеральными потоками вещества и энергии.

1.4. ГРАНИЦЫ ЛАНДШАФТОВ

Вопрос о географических границах всегда вызывает у исследователей живой интерес и столкновение мнений. Литература о границах обширна, но проблема далека от разрешения. Зарождение географической лимологии, то есть науки о географических границах, относится к концу XIX — началу XX в. и связано с именем Ф. Ратцеля. Первое теоретическое обоснование географических границ было дано В. П. Семеновым-Тянь-Шанским в монографии «Район и страна» (1928).

Современные теоретические представления о ландшафтных границах сводятся в основном к следующему. Границы ландшафтов — это поверхности раздела смежных ландшафтов, смены их качеств, свойств, а также поверхности, которыми ландшафт как бы отделен от других, неландшафтных географических образований, например, от не входящих в состав ландшафта слоев атмосферы или литосферы (Охрана ландшафтов, 1982). Различают границы между соседними ландшафтами (горизонтальные или территориальные границы), а также верхние и нижние, выявляемые при рассмотрении вертикального строения ландшафта. Принципиальные различия горизонтальных и вертикальных границ ландшафтов заключаются в том, что через первые (горизонтальные) осуществляется обмен веществом и энергией между ландшафтами, а через вторые (нижние и верхние) — связи ландшафтов с глубинными частями Земли и верхней толщей атмосферы.

Горизонтальные границы ландшафтов. Границы ландшафтов могут быть резкими, четкими, отражаемыми на карте линиями; расплывчатыми, постепенными, отражающимися на поверхности

Земли; на крупномасштабных картах в форме переходных полос различной ширины. Формирование переходных полос обусловлено разными темпами динамики и распространения свойств различных компонентов, быстротой их реакции на внешние факторы. Резкие границы встречаются не часто. Они обычны в случае изменения литологии (например, выход базальтовых покровов) или при смене состояния вещества (например, граница: море, озеро — суша и т. д.). Степень выразительности границ (ширина переходной полосы) в ландшафте любого ранга непостоянна и может меняться на коротком расстоянии. Выразительность границы не зависит от ранга и возраста ландшафта, она определяется степенью генетической близости или контрастности соседних ландшафтов, а также их динамическим состоянием. Чем выше ранг ПТК, тем более глубокий генетический анализ требуется для точного проведения их границ. Существует точка зрения (И. И. Мамай, 1978), что горизонтальные границы геосистем любого ранга складываются в конечном итоге из небольших отрезков границ разных фаций. Однако на поверхности Земли далеко не каждая фация или урочище входят в пограничную зону. Поскольку динамичен ландшафт, динамичны и его границы. Со временем границы могут менять свое положение то постепенно, то скачкообразно.

Объективное существование границ ландшафтов признается большинством исследователей. Однако Д. Л. Арманд (1955) считает, что нет объективного районирования, а следовательно, нет и объективно существующих границ. Близкой точки зрения придерживается Э. Нееф (1974), который считает географическую границу «мысленной конструкцией». По его мнению, граница не может быть свойством географического комплекса.

Что касается причин возникновения границ геосистем, то такими признаются зональные и аazonальные факторы (А. Г. Исаченко), момент перехода количественных изменений в качественные (Н. И. Михайлов, В. П. Лидов, Н. Е. Дик и др.) или перерывы постепенности (С. Д. Муравейский, Ф. Н. Мильков). Отмечается комплексный характер ландшафтных границ, которые как бы складываются из частных рубежей (А. Г. Исаченко). Указывается, что границы — это проявление диалектического единства дискретности и континуальности (В. С. Преображенский, Б. Б. Родоман, Э. Г. Коломыц и др.). Считается, что через границы осуществляются взаимосвязи между геосистемами путем перемещения вещества и энергии. Их поток на границах часто изменяет интенсивность и направление (А. Д. Арманд, Д. И. Люри, В. С. Преображенский и др.). Границы геосистем обладают своей морфологией, и поэтому в каждом конкретном случае они представляют предмет специального изучения.

В ландшафтно-экологических исследованиях используется ряд подходов к выявлению границ. Как показывает опыт, данная задача не простая. Необходимо отметить, что избежать субъективности в определении границ практически невозможно. Поэтому критерии проведения границ должны быть четко оговорены. Назовем несколько групп критериев (конкретные количественные величины для одного или группы признаков), которые могут быть использованы при проведении границ. Например:

а) по изолинии 2 градуса — для выделения районов, подверженных ускоренной эрозии (Д. Л. Арманд, 1975);

б) по фоновому содержанию загрязняющих веществ в почве для выделения района загрязнения ландшафтов выбросами металлургического комбината (А. В. Дончева, 1978);

в) по линии наибольших и наименьших градиентов индикационных признаков. На картах — резкое сгущение или рассредоточение изолиний. Так проводились границы распространения влияния мелиоративных систем (В. А. Бакарасов, 1991);

г) по линии, условно разделяющей районы «плюсового» или «минусового» значения, то есть такие, где изучаемое явление проявляется или может проявиться, и районы, где оно проявиться не может. Например, при помощи этого критерия была установлена граница природно-технической системы в бассейне Можайского водохранилища (Н. Я. Лебедева, А. Г. Хропов, 1988);

д) по существующим границам природных или хозяйственных объектов (например, ландшафтным, административным и т. д.).

Важно не только установить границы, но и оценить их значимость, равноценность, то есть выявить границы главные и второстепенные. Это может быть осуществлено на основе ряда способов оценивания значимости границ. В настоящее время существует целая система критериев и показателей оценки результатов выделения границ. Например, подходы Д. Л. Родионова (1968), В. А. Углова (1971), В. Е. Шувалова (1982) по предложенным ими формулам позволяют, учитывая большое количество признаков, проводить оценку значимости границ.

Вертикальные границы ландшафтов. Если горизонтальные границы геосистем исследованы относительно хорошо, то о верхней и нижней границах ландшафта имеется еще мало данных. Поэтому вопрос о том, где проходят вертикальные границы, до сих пор остается дискуссионным. Некоторые сведения об этих границах имеются в работах А. Г. Исаченко (1965), А. Ю. Ретеюма (1966), К. Н. Дьяконова (1971), В. Б. Сочавы (1978), И. И. Мамай (1978), Н. Л. Беручашвили (1990) и др.

Верхняя граница. А. Ю. Ретеюм (1966) посвятил специальную статью строению ландшафта и его верхней границе. Он считает, что

верхняя граница фации чрезвычайно непостоянна и зависит от типа биологического круговорота, радиационного баланса поверхности, ее шероховатости и метеорологических условий. У луговых фаций она расположена на высоте от нескольких десятков сантиметров до 1—3 метров. В лесных фациях граница проходит на высоте нескольких десятков метров. Верхний ярус урочищ — это приземный (или квазистационарный) слой воздуха. Поэтому высота верхней границы урочища в зависимости от его географического положения, свойств подстилающей поверхности и термической стратификации колеблется от нескольких и десятков до сотен метров. Вертикальные пределы распространения насекомых и птиц соответствующих биоценозов имеют близкие значения. Ландшафт благодаря своим размерам обладает наиболее мощным верхним ярусом, чем морфологические части, и охватывает пограничный слой атмосферы (в котором отчетливо проявляется взаимодействие и взаимопроникновение компонентов ландшафтной оболочки и наблюдается хорошо выраженная суточная периодичность переноса тепла, влаги и примесей). Наиболее характерные значения верхней границы ландшафта — 0,8—2,0 км.

К. Н. Дьяконов (1971) считает, что верхняя граница геосистемы должна выделяться по тому уровню, на котором исчезают горизонтальные различия между ландшафтами. Так, по этому признаку верхнюю границу фаций он проводит на высоте 4—5 м, урочищ — 7—9 м. Однако эти выводы построены лишь по разовым наблюдениям. Для ландшафтов пока нет даже подобных отрывочных данных.

Противоположную А. Ю. Ретеюму и К. Н. Дьяконову точку зрения высказывает А. Г. Исаченко (1991), который считает, что многие атмосферные явления (например, облачность, осадки и др.) независимо от того, на какой высоте они формируются, характеризуют в равной степени и зоны, и провинции, и ландшафты, и даже морфологические подразделения ландшафта. Кроме того, согласно А. Г. Исаченко, если бы мы даже и могли их установить, то они бы быстро изменялись.

Нижняя граница. До настоящего времени остается неясным вопрос о нижних рубежах ландшафтов различного таксономического уровня. Нижнюю границу геосистем чаще всего проводят по основанию зоны гипергенеза (Ф. Н. Мильков, С. В. Калесник, Д. И. Криволуцкий, А. Г. Исаченко и др.).

К. Н. Дьяконов (1971) в качестве нижних границ геосистем выбирает положение изотермы 0 °С (то есть слоя мерзлоты в лесотундре). Различия между фациями наблюдаются до глубины 2 м, а урочищами — до 4 м. М. А. Глазовская (1964) проводит нижнюю границу фации по нижней границе потока грунтовой воды. Н. Л. Беручашвили и А. А. Крауклис определяют нижние границы геосистем по слою по-

стоянных температур, проходящих на глубине 15—18 м. Сходных взглядов придерживается и В. Б. Сочава. И. И. Мамай нижнюю границу проводит по глубине проникновения влаги и биотических компонентов. Например, глубина проникновения корней в ландшафтах лесной зоны достигает 7 м, микроорганизмов — 7—13 м.

Из приведенных взглядов ученых ясно, что в оценках вертикальной мощности ландшафтов много сугубо предположительного и неопределенного, поскольку пока нет данных и даже теоретически достаточно четко разработанных критериев для установления верхней и в особенности нижней границ ландшафтов разных иерархических уровней. Это пока весьма сложная задача экспериментальных исследований.

Основные типы ландшафтных границ. Классифицировать границы можно по разным основаниям деления. Так, Б. Б. Родман по функциональным признакам различает дивергентные, конвергентные, градиентные и процессные границы.

К дивергентным относятся границы, разделяющие потоки (воды, воздуха, минеральных веществ и т. д.) и направляющие их в разные стороны. Они соответствуют водоразделам, гребням, осевым зонам максимумов атмосферного давления, другим образованиям. Конвергентные границы, напротив, располагаются там, где сходятся потоки, происходит их конвергенция. Это границы-концентраторы, собиратели, вдоль которых разнонаправленные потоки соединяются. К ним относятся тальвеги, ложбины, осевые зоны минимумов атмосферного давления и др. Градиентные границы соответствуют зонам наибольшего изменения параметров, то есть наибольшему градиенту (на этих границах значительно изменяется интенсивность потока). Градиентные границы разделяются на два подтипа — границы градиентные импульсивные (вдоль них интенсивность потока увеличивается) и градиентные затухающие (интенсивность потока уменьшается). Как градиентные границы можно рассматривать границы между лесными и травянистыми ландшафтами, береговую линию и т. д. Процессные границы фиксируют смену процесса, например переход от зоны преимущественно плоскостного смыва к зоне линейной эрозии. В каждом конкретном случае гео-системы имеют границы, которые можно отнести к конвергентным, дивергентным, градиентным или процессным.

По характеру выраженности границ выделяются следующие виды:

- четкие, если ширина переходной полосы намного меньше, чем протяженность ландшафта;
- постепенные, если ширина переходной полосы соизмерима с протяженностью ландшафта;

- экотоны — переходные полосы с постепенным переходом одного ландшафта к другому.

Независимо от ширины ландшафтные границы могут быть реальными (объективными) и условными. Местоположение первых можно определить однозначно. Примером таких границ являются водораздельные линии в резко расчлененном ландшафте, тальвеги, экотоны (переходные полосы) на границе леса и поля. Условные границы выделяют как некие линии в реальной переходной полосе, когда ее необходимо условно изобразить в виде линии (например, на карте). Условность их состоит в том, что реальная ширина границы не берется во внимание.

По генезису, то есть основному фактору, который обусловил появление границ, они подразделяются на литогенные, морфогенные, педогенные, гидрогенные, фитогенные, зоогенные, антропогенные. Однако, как правило, большинство границ имеет комплексный характер. Например, литоморфогенные, педофитогенные и т. д.

По выполняемым функциям в ландшафтных комплексах границы бывают контактными и барьерными. Вдоль контактных границ происходит взаимодействие двух смежных геосистем, взаимопроникновение их свойств, перемещение вещественно-энергетических потоков. Барьерная граница полностью исключает взаимодействие соседних ландшафтов. Большинство границ по отношению к различным типам горизонтальных межгеосистемных связей выполняет и барьерную, и контактную функции. Д. И. Люри (1988) предложил назвать их мембранными.

Морфологическая выраженность границ важна при оценке эстетической привлекательности (аттрактивности) ландшафта. По этой характеристике границы можно разделить на морфологически невыраженные (между ландшафтами, которые различаются между собой почвенными характеристиками); морфологически слабовыраженные (между равнинными и пологонаклонными ландшафтами, водораздельные линии на равнинах); морфологически средневыраженные (между выпуклой и вогнутой частями склона); морфологически ярко выраженные (бровки склонов, уступы и тыловые швы террас). Морфологическая выраженность ландшафтных границ зависит от времени обособления геосистемы. Так, чем моложе территория, тем четче (резче) границы, например в горах альпийской складчатости, в молодом эрозионном рельефе. Со временем вследствие межгеосистемных взаимодействий морфологическая выраженность границ ослабевает.

В ландшафтной экологии границы анализируются и с точки зрения их формы. Различают прямые, волнистые, пилообразные, зубчатые, дендритные и другие границы.

2. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЛАНДШАФТАХ

2.1. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОТОКИ В ЛАНДШАФТАХ

Виды и значение энергии в ландшафтах. Энергия и тепло — это неперенные и важнейшие составляющие ландшафта, определяющие функционирование и взаимосвязь всех процессов и компонентов, единство и целостность природных комплексов. Энергия пронизывает ландшафты по всему их объему, как литогенную основу, так и входящие в пределы ландшафта воду, массы воздуха и живые организмы. Именно энергия наиболее полно и универсально связывает столь разнообразные явления.

Основными источниками энергии и тепла ландшафтов являются Солнце и космос (экзогенная энергия), с одной стороны, и внутренняя (эндогенная) энергия Земли — с другой. От первого источника энергия поступает в виде электромагнитного, корпускулярного и других излучений, энергии метеоритов и космических лучей. Со вторым источником связана гравитация, энергия земных недр — тепло, образующееся в результате распада радиоактивных элементов, дифференциации магмы и других процессов, а также энергия тектонических движений и энергия вращения Земли вокруг своей оси.

Все виды энергии в ландшафтах преобразуются, выступают в разных формах, вступают во всевозможные связи. Происходит непрерывный обмен энергией между ландшафтами и окружающей их средой.

Ввод разных видов энергии в ландшафт, их использование и перенос осуществляются при помощи компонентов, обладающих определенными свойствами. Наибольшей способностью поглощать солнечную энергию и превращать ее в энергию ландшафта обладает растительность. В фотосинтезе тепло и свет в преобразованной форме включаются в органическую массу, при производстве которой приходят в движение вода, газы, минералы и химические элементы, принимающие участие в биологическом круговороте. При осуществлении этого круговорота растения выполняют функцию по вводу в ландшафт энергии, которую используют многие другие компоненты, не обладающие способностью непосредственно использовать солнечное тепло и свет.

Некоторое количество тепла поступает в ландшафт также при помощи воды, обладающей повышенной по сравнению с другими минералами и горными породами теплоемкостью. Задержанное водой тепло расходуется в периоды, когда поступление тепла уменьшается или прекращается. При помощи воды часть солнечной энергии переводится в гравитационную — испарение, осадки,

сток. Энергия, выделяемая и расходуемая при фазовых превращениях воды, также играет определенную роль в ландшафтах.

Рельеф поглощает и вводит в ландшафт в основном тектоническую энергию, превращая ее в потенциальную гравитационную энергию. Кроме того, рельеф, поверхность литогенной основы, является и непосредственным приемником солнечной энергии, которая, однако, быстро расходуется. Воспринимающие свойства поверхности зависят от ряда геофизических свойств горных пород и почв — теплопроводности, теплоемкости, альбедо и пересеченности рельефа, с ростом которой увеличивается общая площадь воспринимательной поверхности.

Таким образом, растительность, вода и рельеф выполняют функцию по вводу энергии в ландшафт. Зная пространственную неоднородность этих компонентов ландшафта, априори, можно считать как факт соответствующую пестроту ландшафтов по обеспечению их энергией.

Различные виды энергии ландшафта количественно неодинаковы и по-разному проявляются в различных ландшафтах. Наиболее универсальна солнечная энергия, играющая большую роль во всех ландшафтах. В подавляющем большинстве их она служит ведущей, главной силой. Для сравнения отметим, что энергия космических лучей значительно меньше и оценивается приблизительно в 0,0000018 % суммарной солнечной радиации, а энергия приливного трения, обусловленная взаимодействием Земли с Луной и Солнцем, в среднем составляет 0,002 %. Энергия современных тектонических движений (включая сейсмическую) также ничтожна в сравнении с солнечной — в среднем около 0,0005 %. Более ощутима энергия, связанная с вулканическими извержениями. Она эквивалентна 0,04 % суммарной солнечной радиации. Однако надо отметить, что если для большинства ландшафтов внутренним теплом из-за небольших размеров можно пренебречь, то в природных комплексах, где имеют место геотермальные и вулканические проявления, это тепло должно приниматься во внимание при изучении энергетики ландшафта, поскольку в этих районах вулканическая энергия приобретает ландшафтообразующее значение. Другие ландшафты, например ландшафты побережий, где действуют приливы и отливы, невозможно познать без учета энергии приливного трения.

Имеющиеся способы измерения и учета количества энергии в ландшафтах позволяют более или менее точно определить величину солнечной энергии и теплового потока внутренних слоев Земли. Все остальные формы обменной и накопленной энергии практически не измеряются. Поэтому их запасы и приход или не оцениваются, или определяются весьма приблизительно.

2.1.1. Радиационные условия ландшафтов

Основной энергией большинства физико-географических процессов в ландшафтах является лучистая энергия Солнца. К верхней границе ландшафтного комплекса солнечная энергия приходит в виде *прямой* и *рассеянной* радиации. Вместе они составляют *суммарную радиацию*.

Величина приходящей к поверхности ландшафта суммарной радиации определяется углом падения солнечных лучей и продолжительностью освещения, а также состоянием атмосферы — облачностью и характером облаков, влажностью, запыленностью и т. д. Это хорошо подтверждается фактом распределения суммарной радиации по земной поверхности. Распределение суммарной радиации по земной поверхности (то есть соотношение прямой и рассеянной радиации) оказывает определенное влияние на распространение ландшафтных комплексов. Так, поток суммарной радиации к поверхности суши составляет в среднем около $5600 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{год}$. При этом наибольшие величины годовой суммарной радиации (более $9200 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{год}$) приходятся на тропические внутриконтинентальные пустынные ландшафты (центральные районы Сахары, Аравийского полуострова и Австралии), и объясняется это прежде всего обилием прямой радиации при небольших влажности воздуха и облачности, а наименьшие ее величины ($2500 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{год}$ и менее) характерны для полярных (арктических и антарктических) ледниковых ландшафтов. В Беларуси годовые суммы суммарной радиации меняются в пределах от $4100 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{год}$ (суббореальные полесские ландшафты) до $3500 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{год}$ (бореальные подтаежные ландшафты).

Наряду с различиями в количествах поступающей солнечной радиации между зональными ландшафтами имеют место также различия в этом показателе и между небольшими природными комплексами (морфологическими частями ландшафта). Эти различия связаны в первую очередь с положением на элементах рельефа и относительно водоемов. Так, горизонтальные поверхности и склоны, неодинаково ориентированные по отношению к Солнцу и имеющие разную крутизну, из-за неодинаковости углов падения солнечных лучей и времени освещения прямым светом получают разное количество суммарной радиации. На пониженные элементы рельефа и прибрежные участки из-за повышенной здесь влажности поступает меньше суммарной радиации, чем на более сухие участки. Так, по данным А. В. Дроздова (1981), относительные различия в приходе солнечной радиации между склонами и горизонтальной поверхностью на 56° с. ш. (Курская область, лесостепные ландшафты) меняются в широких пределах: склоны южной экспозиции с уклоном 20° получают

на 20—50 % солнечной радиации больше, чем горизонтальная поверхность, а северные склоны — на столько же меньше.

Часть поступившей в ландшафт суммарной радиации отражается от растений, поверхности почвы и других компонентов, а оставшаяся — поглощается ими. Отраженная радиация характеризуется *альбедо* — коэффициентом отражения, то есть отношением отраженной радиации к суммарной. Величина общепланетарного альбедо Земли оценивается в 0,3—0,35. Потери радиации на отражение широко колеблются в зависимости от характера поверхности ландшафта. Так, наибольшие значения альбедо — 0,80—0,95 характерны для ландшафтов, полностью покрытых чистым сухим свежеснегоснегом. Если снег загрязнен и увлажнен или из-под него видны растения, альбедо ландшафтов резко снижается до 0,3—0,5. Высокими могут быть величины альбедо для ландшафтов с разреженной растительностью или лишенных ее при светлых песчаных почвах — 0,35—0,45. Альбедо солончаков с грязно-белой поверхностью — 0,35. Однако для большинства ландшафтов с развитым растительным покровом альбедо меняется в сравнительно небольших пределах — от 0,1 до 0,2—0,25. При этом существенное значение имеет вертикальная структура ландшафта, особенно характер растительности. Так, альбедо лесных ландшафтов (0,1—0,2) чаще меньше, чем травянистых (0,15—0,25), а альбедо ландшафтов хвойных лесов меньше (0,1—0,15), чем лиственных (0,15—0,25). Все это объясняется условиями поглощения проникших в растительный покров потоков солнечной радиации.

Другая часть суммарной радиации образует *эффективное излучение*. Оно складывается из двух взаимопротивоположных потоков — длинноволнового излучения земной поверхности (или ландшафтного комплекса) и длинноволнового противоизлучения атмосферы — и представляет собой разницу между ними. Величина эффективного излучения зависит от температуры излучающей поверхности, облачности и влажности воздуха. При плотной низкой облачности с высокой температурой нижней поверхности облаков эффективное излучение равно нулю, а иногда приобретает отрицательные значения, и ландшафты тогда могут получать дополнительную энергию. Эффективное излучение также дифференцируется по ландшафтам. Наибольшие годовые значения суммы эффективного излучения приурочены к ландшафтам тропических пустынь, где они достигают 3350—3700 МДж/м² · год. При этом в континентальных районах оно больше, чем в условиях влажного климата. Например, в пустынных ландшафтах Средней Азии эффективное излучение достигает в среднем 2500—2900 МДж/м² · год, а во влажных муссонных ландшафтах умеренного климата оно снижается до 1250—1450 МДж/м² · год.

Различия в величине эффективного излучения между небольшими территориями также обусловлены приведенными выше закономерностями, и эта величина неодинакова для влажных прибрежных участков, низин, склонов различных экспозиций, сухих участков и т. д.

Кроме того, эффективное излучение зависит от теплоемкости литогенной основы ландшафта — чем она больше, тем меньше нагрев и отдача на излучение. В результате наибольшую часть суммарной радиации теряют приполярные ландшафты (арктические пустыни — около 87 %), затем тундровые — 80 %, а также таежные и пустынные ландшафты — около 65 % (что близко к среднему показателю для всей суши). Наименьшие потери присущи экваториальным лесным ландшафтам — 47 %. Ниже средней величины потери в степных, лесостепных и широколиственно-лесных суббореальных ландшафтах — 59—62 %.

Интенсивность суммарной радиации, эффективного излучения и альbedo определяет *радиационный баланс*. Радиационный баланс выражает то количество солнечной энергии, которое задерживается (поглощается) земной поверхностью, преимущественно растительностью и почвой. В зависимости от соотношения составляющих (или структуры) баланса значение радиационного баланса бывает положительным, если поверхность поглощает больше радиации, чем отдает (поток направлен к поверхности ландшафта), и отрицательным, если поверхность поглощает радиации меньше, чем отдает (поток направлен от поверхности ландшафта в атмосферу).

Годичные значения радиационного баланса меняются в довольно широких пределах. В полярных ледниковых ландшафтах он отрицательный (от -200 до -400 МДж/м² · год), в полярных внеледниковых — положительный (250—400), но с октября по апрель имеет отрицательные значения. В тундровых ландшафтах радиационный баланс составляет 500—1000 МДж/м² · год, в лесотундровых — 500—800, в таежных — 1000—1500, в подтаежных — 1400—1500, в широколиственно-лесных — 1550, в лесостепных и степных — 1600—1800, в пустынных — 1800—2000, в субтропических — 2000—3000, в тропических — 2500—3000 и субэкваториальных — 3000—3300, в экваториальных ландшафтах — около 3500 (местами более 3750). Годовые суммы радиационного баланса по территории Беларуси изменяются в пределах от 1500 (бореальные подтаежные ландшафты) до 1750 МДж/м² · год (суббореальные полесские ландшафты).

2.1.2. Тепловые особенности ландшафтов

Энергия радиационного баланса принимает участие в формировании энергетического или теплового баланса ландшафтного ком-

плекса. При этом солнечная радиация расходуется на нагревание слоев атмосферы, лежащих выше верхней границы ландшафтного комплекса, на перераспределение тепла между надземными и подземными его частями, на испарение влаги, фотосинтез, почвообразовательные процессы, таяние снега и льда, вынос тепла со стоком и другие процессы.

Основной расход тепла на поверхности ландшафта связан с *затратами тепла на испарение*. В среднем на это идет около 80 % величины радиационного баланса. При этом обычно различают расход тепла на физическое испарение (с поверхности почвы, снега, растений) и транспирацию растениями. В гумидных ландшафтах на транспирацию расходуется 60—80 % радиационного баланса, а в ландшафтах влажных экваториальных лесов это число приближается к 100 %. В то же время в аридных ландшафтах — только 18—32 %, а в ландшафтах тропических пустынь — менее 5 %. Испарение осуществляется при наличии влаги и градиента влажности между подстилающей поверхностью и приземным воздухом. Поэтому с изменением градиента меняются и условия испарения. В течение суток величина испарения может быть равна нулю или иметь положительный и отрицательный знаки. В ландшафтах умеренных и высоких широт испарение идет в основном днем, однако в ландшафтах низких широт оно возможно и ночью.

При больших тепловых ресурсах (то есть высоком значении радиационного баланса) величина испарения обусловлена в основном увлажнением территории. В районах избыточного увлажнения без длительного сухого периода с поверхности почвы и растительностью испаряется почти столько же, сколько с открытой водной поверхности. В ландшафтах тропических широт при постоянном наличии тепла годовой ход испарения определяется годовым ходом осадков, а в ландшафтах умеренных и высоких широт — также и ходом радиационного баланса. При длительных засушливых периодах, например в пустынных ландшафтах, испарения может не быть совсем, и затраты тепла на него в такие периоды равны нулю.

Таким образом, затраты тепла на испарение зависят от геофизических свойств литогенной основы ландшафта, ее увлажнения, характера растительного покрова, а также географического положения и состояния атмосферы. В результате всего этого затраты тепла на испарение в ландшафтах и их морфологических частях будут неоднородными как в пространственном, так и во временном отношении. Наибольшие затраты теплоты на испарение наблюдаются в ландшафтах влажных экваториальных лесов, где при обилии влаги и большом притоке теплоты они составляют $3150 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{год}$. В то же время в ландшафтах арктических и аридных пустынь затраты тепла на испарение меньше $380—420 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{год}$, что в первом

случае связано с низкими температурами, во втором — с недостатком влаги.

Поверхность ландшафта участвует постоянно в активном *тепловом обмене с прилегающими слоями атмосферного воздуха*. Количество тепла, идущего на обмен поверхности с атмосферным воздухом, зависит в первую очередь от величины радиационного баланса, увлажнения и затрат тепла на испарение, а также от термического градиента между поверхностью и воздухом, шероховатости поверхности и скорости ветра. Недостаточно увлажненные ландшафты тропических пустынь обладают наиболее высокими показателями теплообмена между поверхностью ландшафта и прилегающим воздухом (более $2500 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{год}$). При этом на нагрев в этих ландшафтах тратится до 90 % и более радиационного баланса. В холодных гумидных областях этот теплообмен обычно уменьшается и в таежных и широколиственно-лесных ландшафтах составляет $200\text{—}250 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{год}$.

Теплообмен поверхности ландшафта с его нижележащими слоями (почвой и литогенной основой) происходит вследствие разницы в температурах. Днем от нагретой поверхности часть тепла уходит в почву и грунты, нагревая их. Ночью в результате охлаждения поверхности за счет теплового излучения часть отведенного вглубь тепла снова возвращается к поверхности. Если днем тепла поступает больше, чем расходуется ночью, то оставшееся тепло постепенно накапливается и распространяется все глубже и глубже. Когда приход тепла становится меньше расхода, накопленное в литогенной основе ландшафта тепло поступает к его поверхности и тратится на испарение и теплообмен с воздухом. Так создается годовой теплообмен поверхности и литогенной основы ландшафта, в котором участвует не более нескольких процентов годового радиационного баланса (в тундровых ландшафтах — до 10 % и более). Теплообмен поверхности ландшафта с литогенной основой имеет циклический характер: в теплое время года тепловой поток направлен к поверхности почвы, а в холодное — в противоположном направлении, и в среднем за год оба потока балансируются (равны нулю). При отрицательном потоке в некоторых местах образуется мерзлота, а при положительном — происходит разогревание земной поверхности. Интенсивность этого теплообмена наибольшая в континентальных ландшафтах с резкими сезонными колебаниями температур воздуха и поверхности почвы. Кроме того, величина теплообмена зависит от влажности и литологического состава почв и грунтов, влияющих на их теплопроводность и теплоемкость. Растительный покров также оказывает существенное влияние на теплообмен. Так, мохово-торфяной слой служит теплоизолятором, затрудняющим теплообмен между почвой и ат-

мосферой. В лесных ландшафтах (под пологом леса) теплообмен слабее, чем в безлесных ландшафтах, вследствие уменьшения притока солнечного тепла к поверхности почвы.

В ландшафтах высоких и умеренных широт некоторая часть радиационного баланса (около 2—5 %) расходуется на *таяние снега, льда, сезонной и многолетней мерзлоты*. Сотые или даже тысячные доли процента от всех затрат солнечной энергии идут на *физическое разрушение горных пород и химическое разложение минералов в почве* (А. Г. Исаченко, 1991).

Вынос тепла со стоком из ландшафта — это величина, находящаяся в пределах точности определения составляющих теплового баланса (около 1—2 %). Однако в ряде случаев тепловой сток может выступать одним из определяющих факторов формирования ландшафтов, например в поймах и долинах крупных северных рек (К. Н. Дьяконов, 1991).

В трансформации солнечной энергии важнейшая роль принадлежит биоте. При фотосинтезе используется *фотосинтетически активная радиация (ФАР)*, составляющая около 45 % от суммарной радиации. Растительный покров поглощает около 90 % солнечной энергии ФАР. При этом подавляющая ее часть идет на транспирацию и поддержание определенных термических условий и только небольшая часть (0,8—1,0 %) расходуется на фотосинтез, но принципиальное значение ее очень велико. Коэффициент полезного действия (КПД) ФАР существенно варьирует в зависимости от физико-географических условий. Наиболее высокий КПД ФАР имеет место при максимальной теплообеспеченности с оптимальным соотношением тепла и влаги (экваториальные ландшафты), наиболее низкий — в аридных и полярных ландшафтах. В период вегетации коэффициент использования ФАР несколько выше, чем средние годовые величины.

В живой биомассе зональных ландшафтов аккумулировано примерно $4 \cdot 10^{16}$ МДж энергии, что соответствует 5 % годовой суммарной солнечной радиации или около 14 % радиационного баланса. В отдельных ландшафтах эти соотношения более высоки. Так, в таежных темнохвойных ландшафтах запас связанной энергии составляет в среднем около 500 МДж/м² (или 40 %) годового радиационного баланса, в широколиственно-лесных ландшафтах — 650 МДж/м² (40 %), в ландшафтах экваториальных лесов — 850 МДж/м² (24 %), а в ландшафтах субтропических секвойевых лесов — более 1700 МДж/м² (70 %) (А. Г. Исаченко, 1991).

Некоторая часть аккумулируемой солнечной энергии содержится в мертвом органическом веществе (подстилке, почвенном гумусе, торфе). Так, в гумусе мощных тучных черноземов она превышает 1000 МДж/м², а в торфе — тысячи МДж/м².

Ежегодно ничтожная часть биологически связываемой солнечной энергии «консервируется» в мертвой органической массе и превращается в потенциальную химическую энергию. Однакокумулятивный эффект этого процесса, продолжавшегося сотни миллионов лет, выразился в накоплении огромного запаса энергии в осадочных породах, а также в каменном угле, нефти, сланцах, соразмерного с годовым поступлением суммарной солнечной радиации к суше (А. Г. Исаченко, 1991). Использование запасов этой энергии является основой традиционной энергетики.

Особый аспект энергетики ландшафта связан с потоками механической энергии. Источники механического перемещения в ландшафтах имеют двойкую природу: оно осуществляется за счет энергии тектонических процессов, «законсервированной» в земной коре, и энергии солнечных лучей. В ландшафтах накоплено около $3 \cdot 10^{18}$ МДж потенциальной механической энергии (примерно в 3 раза больше суммарной радиации, поступающей ежегодно на сушу), которая эквивалентна энергии тектонических процессов, затраченной на преодоление силы тяжести. Ежегодно при денудации реализуется, то есть превращается в кинетическую энергию, около одной десятиллионной доли этого запаса, что соответствует десятитысячным долям процента от величины суммарной радиации. При кажущейся незначительности этой цифры с ней связаны мощные потоки твердого материала.

В количественном отношении на 2—3 порядка выше потоки механической энергии, происходящие в ландшафтах за счет трансформации солнечного тепла и обуславливающие перемещение воздушных и водных масс, а также ледников, пыли, органического опада. Нарушение теплового и связанного с ним гравитационного равновесия в атмосфере из-за неравномерности поступления тепла от земной поверхности приводит к механическому перемещению воздушных масс, а вместе с ними — водяного пара, пылевых и органических частиц. В механическую энергию ветра ежегодно переходит $n \cdot 10^{14}$ МДж солнечной энергии (около 0,1 % суммарной радиации). Эта энергия рассеивается в виде тепла (в том числе и при выпадении атмосферных осадков). Механическая энергия всех текучих вод, которая есть также не что иное, как трансформированная солнечная энергия, оценивается в $n \cdot 10^{13}$ МДж · год (около 0,01 % суммарной радиации).

В различных ландшафтах и в каждом конкретном, но в разное время величины всех перечисленных потоков энергии сильно отличаются, вплоть до полного их затухания. Например, во многих ландшафтах в зимний период прерывается фотосинтез, не всегда происходит транспирация воды растительностью. Все зависит от конкретных физико-географических условий.

2.2. ВЛАГООБОРОТ В ЛАНДШАФТАХ

Во всех ландшафтах суши вода играет важную роль. Она участвует во всех протекающих в них процессах, вступает во всевозможные связи и реакции. Вместе с тем вода активно перемещается и в пределах ландшафта находится в непрерывном движении и превращении: в поверхностном и подземном стоке, нисходящих и восходящих движениях в почвах и грунтах, транспирации и биологических превращениях в живых организмах, испарении и перемещениях в приземном слое воздуха. В ландшафте вода расходуется в основном на испарение. Различают физическое испарение, которое может происходить как с растительности, так и с поверхности почвы, куда вода может поступать и из более глубоких горизонтов, а также испарение растениями, или транспирацию. Таким образом, суммарное испарение состоит из транспирации и физического испарения с поверхности почвы и растений. Вода — это один из основных лимитирующих экологических факторов, и от ее количества в ландшафте, сбалансированности потоков влаги зависят численные параметры ландшафта, определяющие его потенциал.

Под влагооборотом понимается совокупность процессов превращения, перемещения и изменения количества влаги в природно-территориальном комплексе. Количественно влагооборот можно описать водным балансом (или балансом влаги), то есть равенством приходных, расходных составляющих влагооборота и изменения запасов.

Основу влагооборота в ландшафте составляют атмосферные осадки — жидкие и твердые, а также вода, поступающая в почву за счет конденсации водяного пара. Часть осадков перехватывается поверхностью растительного покрова и, испаряясь с нее, возвращается в атмосферу. В лесных ландшафтах некоторое количество воды стекает по стволам деревьев и попадает в почву. Влага, непосредственно выпадающая на поверхность почвы, частично уходит за пределы ландшафта с поверхностным стоком и затрачивается на физическое испарение, остальное количество фильтруется в почво-грунты и образует наиболее активную часть внутреннего влагооборота. Относительно небольшая доля расходуется на абиотические процессы в почве, участвует в гидратации и дегидратации, более или менее значительное количество почвенно-грунтовой влаги выпадает из внутреннего влагооборота (потери на подземный сток). При иссушении почвы влага поднимается по капиллярам и может пополнить поток испарения. Однако в большинстве ландшафтов почвенные запасы влаги в основном всасываются корнями растений (десукция) и вовлекаются в продукционный процесс.

Интенсивность влагооборота и его структура (соотношение отдельных составляющих) специфичны для разных ландшафтов и зависят прежде всего от энергообеспеченности и количества осадков, подчиняясь зональным и а зональным закономерностям.

Величина суммарного (поверхностного и подземного) стока служит показателем выходного потока влаги (или внешнего влагооборота). Абсолютные величины внешнего влагооборота хорошо увязываются с общими зонально-а зональными закономерностями циркуляции атмосферы, то есть наиболее обильное поступление внешних осадков (и соответственно наиболее интенсивный вынос воды из ландшафта) наблюдается в экваториальных широтах, а также в муссонных тропиках и субтропиках, а затем в приокеанических областях пояса западного воздушного переноса. Наиболее слабые входные и выходные потоки влаги свойственны внутриконтинентальным областям и особенно поясу тропической пассатной циркуляции.

Обобщенным показателем внутриландшафтного влагооборота можно считать суммарное испарение, которое состоит из транспирации (или испарения растениями) и физического испарения с поверхности почвы и растений. При наличии достаточного количества влаги интенсивность суммарного испарения определяется энергоресурсами. Поэтому четко выраженный пик внутреннего оборота влаги также приходится на ландшафты экваториальной зоны, и отсюда происходит закономерный спад к полюсам, но на этом общем фоне резкими «провалами» выглядят аридные ландшафты.

Соотношение между внешним и внутренним влагооборотом выражается коэффициентом стока или дополняющим его до единицы коэффициентом испарения. Расчеты показали, что только в высоких широтах внешние потоки влаги превосходят внутренний оборот (например, коэффициент стока ($K_{ст}$) тундровых ландшафтов — 0,6). В гумидных экваториальных, тропических и субтропических ландшафтах оба типа потоков примерно равны ($K_{ст}$ — 0,5), с усилением аридности доля внутреннего оборота растет, хотя по абсолютной величине он уменьшается. Так, $K_{ст}$ лесостепных ландшафтов — 0,15—0,20; степных ландшафтов — 0,12; ландшафтов туранских пустынь $< 0,01$. $K_{ст}$ ландшафтов Беларуси — 0,35.

Во внутриландшафтном влагообороте основную роль играет биота, особенно лесные сообщества. Кроны деревьев перехватывают до 20 % и более годового количества осадков (например, сосняки — 140—150 мм, ельники — 200—230 мм, экваториальные леса — до 500 мм). Основная их часть испаряется, но некоторое количество стекает по стволам деревьев.

Однако главное звено биологического влагооборота — транспирация. На единицу продуцируемой фитомассы (в сухой массе) рас-

ходуется в среднем около 400 мас. ед. воды: в холодном и влажном климате меньше, в жарком и сухом — больше (например, у бука — 170, лиственницы — 260, сосны — 300, березы — 320, дуба — 340, у растений пустынь — до 1000—1500). Сельскохозяйственные растения тратят еще больше воды. Для производства 1 кг продукции (то есть полезной фитомассы) картофелю надо около 180, зерновым культурам — 900—1200, хлопчатнику — 1500—2000, рису — 3500—4000. Из этого количества в состав живого организма входит менее 1 % (примерно 0,75 %) свободной воды и 0,15 % содержится в сухой массе. Основная масса почвенной влаги, потребляемой растениями, транспирируется. В плакорных условиях наибольшее количество влаги перекачивает в атмосферу влажный экваториальный лес, примерно в 2 раза меньше — суббореальный широколиственный лес. В холодном климате транспирация резко снижается, а в экстрааридном она минимальна (хотя доля осадков, расходуемых на транспирацию, в аридных условиях обычно значительно больше, чем в гумидных). В гидроморфных условиях при наличии подтока поверхностных или грунтовых вод транспирация может превосходить количество осадков.

В ландшафтах с развитым растительным покровом транспирация намного превышает физическое испарение, и подавляющая часть влаги поступает от подстилающей поверхности в атмосферу через транспирацию. Так, в экваториальных лесах Малайзии годовая величина транспирации составляет 1350 мм, а испарение с поверхности почвы — всего лишь 25 мм. Только через транспирацию в ландшафтах влажных экваториальных и тропических лесов в атмосферу поступает 62 % влаги, испаряющейся с суши. Если же учесть возврат осадков, перехватываемых кронами деревьев, то в целом биота обеспечивает не менее 70—80 % внутреннего оборота влаги между атмосферой и остальными блоками наземных геосистем. Растительность прямо или косвенно способствует уменьшению выходного потока влаги путем сокращения поверхностного стока. При наличии мощной подстилки из растительных остатков поверхностный сток может практически прекращаться.

Потоки влаги в ландшафте отличаются высокой чувствительностью к антропогенным факторам. С этим связана возможность их антропогенного регулирования, что и осуществляется при водных мелиорациях. При недостаточном учете сложных закономерностей структуры водных потоков в ландшафтах мелиорация часто приводит к неблагоприятным или катастрофическим экологическим последствиям.

Экологические функции снежного покрова. В холодные сезоны года во многих ландшафтах устанавливается снежный покров, об-

разующий в таких случаях дневную поверхность. Снежная поверхность отличается от бесснежной многими физическими показателями, а сам снежный покров влияет на формирование экологических и геофизических свойств ландшафтов и является фактором дифференциации географической оболочки. Его значение в формировании и функционировании ландшафтов велико. Особенно заметна роль снега в тепловом и водном режиме ландшафтов. Так, в снежной толще консервируется вода, которая при таянии быстро и в больших количествах поступает в ландшафты. Светлая поверхность снега обладает повышенной отражательной способностью, а сравнительно небольшая его теплопроводность является причиной сохранения тепла в литогенной основе ландшафта. Значение снега в формировании эколого-геофизических свойств ландшафта в основном определяется мощностью, плотностью и снегозапасом снежной толщи.

Среди основных свойств снега наибольшей изменчивостью в пространстве характеризуется мощность (высота) снежного покрова, которая определяется ветровым режимом, оттепелями, характером подстилающей поверхности и отличается большой территориальной изменчивостью. Особенно заметна эта неоднородность в безлесных ландшафтах, где с повышений рельефа и некоторых склонов снег почти полностью сдувается, а в понижениях рельефа или кустарниках накапливается.

Плотность снега также варьирует в широких пределах. В лесных ландшафтах плотность рыхлого снега составляет всего $0,03—0,05 \text{ г/см}^3$, а более плотного снега безлесных ландшафтов — $0,4—0,6 \text{ г/см}^3$, то есть на порядок выше. Это объясняется тем, что лесная растительность существенно ослабляет уплотняющее действие ветра и оттепелей, которые, например, характерны для условий Беларуси. Особенно плотным оказывается утрамбованный сильными ветрами снег на наветренных склонах тундровых ландшафтов. Плотность снега меняется и в связи с продолжительностью его лежания — рыхлый свежевыпавший снег постепенно уплотняется. При этом плотность снега по мере его накопления увеличивается в среднем на 10 % за месяц (И. Д. Копанев, 1982).

От высоты и плотности зависит запас воды в снегу (снегозапас). При увеличении мощности снега и связанной с ней плотности запас воды растет. В этой закономерности находит отражение воздействие рельефа и растительности (препятствий) как важнейших факторов, обуславливающих горизонтальное перераспределение снега. Под пологом леса вследствие большей мощности снега снегозапас в 1,5—2 раза выше, чем на открытом ровном месте. Варьирование этого показателя особенно отчетливо в пересеченной мест-

ности. Так, в отрицательных формах рельефа и у препятствий снег скапливается и уплотняется, а запасы воды в 5—10 раз превосходят запасы, создающиеся на положительных формах¹. В прямой зависимости от снегозапаса находится увлажнение ландшафта после схода снега.

Высота снежного покрова, снегозапас и плотность снега во многом определяют его теплопроводность, а также теплообмен почвы с атмосферой. В этом теплообмене снег выполняет посредническую роль. Он плохой проводник тепла и поэтому способствует его сохранению в ландшафте. Поэтому с увеличением снежного покрова температура под снегом на поверхности почвы на 5—10 °С выше, чем температура приземного слоя воздуха. Снег предохраняет почву от резких колебаний температуры. Чем мощнее пласт снега, тем надежнее он изолирует почву от термического воздействия атмосферы. Особенно хорошим изолятором оказывается рыхлый снег в лесу. Он проводит на порядок меньше тепла, чем плотный снег открытых мест. Теплоизоляционная способность снежной толщи во многом определяет промерзаемость почвы, а также образование, температуру, мощность сезонной мерзлоты, проявление криогенных процессов.

Кроме выполнения посреднической функции в теплообмене между почвой и атмосферой снег сам непосредственно взаимодействует с солнечной энергией, обладая прозрачностью для тепловых и световых лучей. Прозрачность снега для солнечной радиации зависит от его плотности. В рыхлый снег (плотность — 0,04 г/см³) на глубину 20 см проникает около 16 % поглощенной поверхностью радиации, а в снег с плотностью 0,08—0,1 г/см³ — всего 4 %. В ясные дни солнечная радиация проникает на 20—25 см в снег, и если его слой ограничивается этой величиной, то она достигает поверхности почвы и нагревает ее.

Снег обладает малой теплопроводностью, поскольку он состоит из кристаллов, разделенных воздухом, что способствует как поглощению, так и излучению длинноволновой радиации. И хотя по мере старения снега его излучающая способность ослабевает, но и у долголежащего снега она существенно выше, чем у любой бесснежной поверхности ландшафта. Такая высокая излучающая способность снега приводит к тому, что в безоблачные ночи снег выхолаживается не только с поверхности, но и в слое 20—30 см. И если снежный покров маломощный, то это способствует сильному выхолаживанию почвы. Только слой снега более 30 см надежно предохраняет почву от больших потерь тепла путем радиационного излучения. Таким образом,

¹См.: Геоэкологический анализ холмисто-моренных территорий и рациональное использование земель / В. М. Яцухно [и др.]. Минск, 1991.

снег служит своеобразным терморегулятором, он предохраняет почву и сельскохозяйственные культуры от вымерзания.

В целом под влиянием снежного покрова происходит перераспределение тепла и влаги, изменяется структура теплового и радиационного баланса. Вместе с тем снежный покров как сезонный элемент природы — один из важных факторов дифференциации географической оболочки. Под его воздействием увеличиваются общая степень ее территориальной дифференциации и качественное разнообразие ландшафтных комплексов. Дифференцирующая роль снежного покрова проявляется в разной форме и с различной интенсивностью, как на разных уровнях организации географической оболочки, так и в зависимости от его режима и типологических особенностей ландшафтных комплексов. При этом процессы дифференциации ландшафтов под действием снежного покрова осуществляются в результате его участия в межкомпонентных и межкомплексных ландшафтных связях.

Процессы дифференциации географической оболочки в целом и на высших уровнях ее организации обусловлены сочетанием режима снежного покрова и действия основных динамических факторов ландшафтной дифференциации (уровня радиации, проявления адвекции, новейшей тектоники). В результате образуются сложные цепочки связей и уникальные типы ландшафтов (например, экстроконтинентальные ландшафты Восточной Сибири).

В дифференциации ландшафтов на региональном и особенно на топологическом уровнях большое значение имеет неравномерность территориального распределения снежного покрова, обусловленная его участием в развитии горизонтальных связей.

На топологическом уровне ландшафтных комплексов роль снежного покрова как фактора дифференциации проявляется главным образом через сезонные различия в динамике его залегания и соответственно через обусловленные наличием снега различия водно-тепловых составляющих ландшафта. Так, ландшафтные комплексы, характеризующиеся высоким снежным покровом устойчивого залегания, оказываются по сравнению с малоснежными и бесснежными более теплыми и влажными не только по сезонам, но и по годам. Кроме того, они различаются и по их продукционным возможностям.

В равнинных странах наиболее глубоко действие снежного покрова как фактора дифференциации на топологическом уровне проявляется в тундровых и степных ландшафтах, где снежный покров — ведущий фактор дифференциации растительного покрова, а также на открытых пространствах в лесной зоне (Е. А. Нефедьева, А. В. Яшина, 1985).

В горных странах дифференцирующая роль снежного покрова проявляется в более широком диапазоне форм, чем на равнинах, за счет большей интенсивности процессов межландшафтного вещественно-энергетического обмена (массоэнергообмена), а также большой территориальной дробности ландшафтов. За счет различий в режиме снежного покрова формируются разные типы структур высотной поясности (например, на Большом Кавказе). При этом положение границ высотных поясов нередко связано с развитием горизонтального массоэнергообмена под действием снежного покрова (Е. А. Нефедьева, А. В. Яшина, 1985).

Таким образом, снежный покров играет большую роль в строении, функционировании и динамике ландшафтов, значительно увеличивает ландшафтное разнообразие (особенно в средних широтах), обуславливает формирование ПТК с особым типом ярусной структуры ландшафтов (Г. Д. Рихтер, 1969).

2.3. ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС В ЛАНДШАФТАХ

Большинство ландшафтов обладает достаточно развитой биотой. Поэтому продуцирование биомассы — один из важнейших физико-географических процессов в ландшафтах. Продукционный процесс — это образование органического вещества первичными продуцентами — зелеными растениями, которые извлекают двуокись углерода из атмосферы, зольные элементы и азот — с водными растворами из почвы. Около половины создаваемого при фотосинтезе органического вещества окисляется до CO_2 при дыхании и возвращается в атмосферу. Оставшаяся фитомасса (за вычетом затрат на дыхание) называется первичной продукцией. Часть ее поступает в трофическую цепочку — потребляется растительноядными животными (фитофагами), следующий трофический уровень представлен плотоядными животными (зоофагами).

Основная часть фитомассы после отмирания разрушается животными-сапрофагами, бактериями, грибами, актиномицетами. В результате мертвые органические остатки минерализуются микроорганизмами. Конечные продукты минерализации возвращаются в атмосферу (CO_2 и другие летучие соединения) и в почву (зольные элементы, азот). Процессы созидания и разрушения биомассы не всегда сбалансированы — часть ее в среднем менее 1 % может выпадать из круговорота на более или менее длительное время и аккумулироваться в почве (в виде гумуса) и в осадочных породах.

Биологическая продуктивность ландшафтов характеризуется многочисленными показателями. Важнейшими из них являются запасы фитомассы и величина годовой первичной продукции, а

также количество опада и аккумулируемого мертвого органического вещества.

Продуктивность биоты любого ландшафта определяется как географическими факторами (главным образом энергетическими ресурсами и обеспеченностью влагой), так и биологическими особенностями разных видов (прежде всего жизненными формами). Наибольшие запасы фитомассы характерны для лесной растительности, эдификаторы которой способны накапливать живое вещество в течение многих десятилетий и даже столетий. При этом общая закономерность состоит в том, что у аналогичных жизненных форм (древесных, травянистых и др.) запасы биомассы тем больше, чем выше теплообеспеченность и чем ближе к оптимуму соотношение тепла и влаги.

Суммарные запасы фитомассы Земли оцениваются в $2,4 \cdot 10^{12}$ т (Н. И. Базилевич и др., 1971). Из этого количества основная доля приходится на ландшафты тропического пояса — более 56 % (или $1,35 \cdot 10^{12}$ т) фитомассы суши (без рек, озер и ледников). Это и понятно, так как площадь тропического пояса занимает почти 42 % от площади суши и почти половина ее занята высокопродуктивными гумидными тропическими лесами. Второе место принадлежит ландшафтам бореального пояса (18 %), далее идут ландшафты субтропического пояса (13,5 %), суббореального (11,5 %) и полярного поясов (< 1 %). При этом характерно, что площади бореального, суббореального и субтропического поясов примерно равны. Различия же в запасах фитомассы обусловлены главным образом степенью покрытия территории лесными формациями, которая в бореальном поясе наибольшая. Это становится ясным, поскольку суммарные запасы фитомассы лесов мира составляют $1,92 \cdot 10^{12}$ т (почти 82 % от общей фитомассы суши при площади под лесами 39 %). При этом на долю лесов тропического пояса приходится половина, на леса бореального пояса — около 20 % и на леса суббореального и субтропического поясов — примерно по 15 %.

Среди основных зональных типов ландшафтов распределение запасов фитомассы характеризуется следующими особенностями. Они возрастают от ландшафтов высоких широт к низким с небольшими «отклонениями» от общей географической закономерности. Наибольшие запасы фитомассы присущи ландшафтам субтропических секвойевых лесов: более 1000 (до 4250 т/га). Затем идут:

- ландшафты влажных экваториальных лесов — 500;
- ландшафты влажных субтропических лесов — 450;
- широколиственно-лесные ландшафты — 350—400;
- таежные ландшафты — от 300 (южная темнохвойная тайга) до 125 (северная темнохвойная тайга);

- лесотундровые ландшафты — 60;
- ландшафты типичных саванн — 40;
- ландшафты степей — от 17 (луговые степи) до 6 (сухие суббореальные степи);
- тундровые ландшафты — от 25 (субарктическая тундра) до 5 (арктическая тундра);
- ландшафты суббореальных пустынь — 4;
- полярных пустынь — 1,6, тропических пустынь — 1,5 т/га (А. Г. Исаченко, 1991).

В отношении интразональных ландшафтов эти закономерности выступают столь же отчетливо, но осложняются в связи с наложением дополнительных факторов (геохимическая соподчиненность ландшафтов, влекущая перераспределение как энергетических ресурсов, так и элементов питания, засоление и др.). Так, в семиаридных и аридных областях пойменные ландшафты всегда отличаются высокими показателями запасов фитомассы, а засоленные и солонцеватые — низкими.

Суммарная годовая продукция (прирост) фитомассы суши оценивается в $171,54 \cdot 10^{12}$ т (7 % запасов фитомассы). Основная ее доля (около 60 %) приходится на ландшафты тропического пояса, где только гумидные ландшафты производят 45 % продукции всей суши. Второе место занимают ландшафты субтропического пояса (20 %). При примерно равной площади ландшафты суббореального и бореального поясов продуцируют значительно меньше органического вещества — 10 и 9 % соответственно. Минимальная годовая продукция у ландшафтов полярного пояса — 0,8 % (Н. И. Базилевич и др., 1971).

В величине ежегодной биологической продукции региональные и локальные географические закономерности проявляются более четко. При достаточном количестве влаги продуктивность возрастает от высоких широт к низким в соответствии с ростом энергообеспеченности. В одинаковых термических условиях наибольшая продуктивность наблюдается при оптимальном соотношении тепла и влаги. В сравнимых (плакорных) местоположениях максимальная биологическая продуктивность присуща экваториальным ландшафтам (30—40 т/га · год), заметно меньше она во влажных лесных субтропиках (24 т/га · год), а у субтропических секвойевых лесов — до 27 т/га · год. Среди суббореальных ландшафтов наибольшей продуктивностью отличаются луговые степи (19 т/га · год), им несколько уступают ландшафты широколиственных лесов (12—15 т/га · год). Самая низкая продуктивность присуща ландшафтам с резким дефицитом тепла (полярным — 0,2 т/га · год) и влаги (пустынным — 1,2 т/га · год) (А. Г. Исаченко, 1991).

Отношение первичной продуктивности к запасам фитомассы наивысшее в травянистых сообществах, у которых нет многолетних надземных органов (в луговых степях — до 1,4 : 1), минимальное — в лесных (0,003—0,006 : 1).

Значительная часть ежегодной продукции отмирает и разрушается — попадает в деструкционный цикл, меньшая часть закрепляется в приросте. Отмершее органическое вещество, как правило, не полностью минерализуется, аккумулируясь в разном количестве и в разных формах в ландшафте. Скорость разрушения органической массы растет с увеличением притока солнечного тепла. При недостатке тепла ежегодный опад не успевает разрушаться и в ландшафте накапливается избыточная мортмасса. В экстрааридных ландшафтах с их высоким энергетическим потенциалом и незначительной продуктивностью интенсивность деструкции намного превышает продуцирование биомассы и накопление мертвого органического вещества практически отсутствует. Продукционные и деструкционные процессы наиболее сбалансированы в условиях, близких к оптимуму по соотношению тепла и влаги. С увеличением теплообеспеченности основная часть органических остатков переходит в почвенный гумус. В луговых черноземных степях его запасы достигают 600—1000 т/га, в почвах широколиственных лесов — около 300 т/га, тогда как в таежных — около 100 т/га, а в тундровых — около 70 т/га.

Причем состав мортмассы различен для разных ландшафтов. Так, в тундровых и таежных ландшафтах в составе мортмассы преобладают неразложившиеся органические остатки — в основном подстилка, а также сухостой, валежник, мертвые корни. Запасы подстилки в этих зональных ландшафтах достигают 40—50 т/га; в ландшафтах широколиственных лесов они сокращаются до 10—15, а в экваториальных — до 2 т/га. В степных ландшафтах наземная мортмасса представлена растительной ветошью (4—10 т/га).

Одним из показателей скорости трансформации органического вещества может служить отношение годичной первичной продукции к запасам мертвых растительных остатков (без почвенного гумуса): в тундре — 0,02, в лесах — 0,15, в луговых степях — 0,9, в пустынях — 25 и более.

Все изложенные закономерности основаны на достаточно широких региональных сравнениях по материалам для плакорных местоположений и соответствующих им сообществ. Между тем в характере продуцирования биомассы наблюдаются существенные внутриландшафтные различия между плакорными (автономными, элювиальными) и подчиненными (аккумулятивными, преимущественно гидроморфными) фациями. При недостаточном атмосферном увлажнении и высокой теплообеспеченности перераспределение влаги в

ландшафте обуславливает большую контрастность в интенсивности биологического круговорота и продуцировании биомассы по местоположениям. В гидроморфных местоположениях, как правило, наблюдаются наиболее высокие показатели. Так, в гривисто-ложбинном лесостепном ландшафте Барабинской степи плакорные лугово-степные фации плоских вершин грив на обыкновенных черноземах продуцируют ежегодно 19 т/га фитомассы, а травяные болота меж-гривных депрессий на торфяно-болотной слабосолончаковой почве — свыше 60 т/га (Н. И. Базилевич, А. А. Титлянова, 1978).

Резко выражена внутриландшафтная контрастность в указанном отношении в пустынях, где участки с ничтожной продуктивностью (такыры, солончаки) сочетаются с травяными тугаями (заросли тростника, рогоза и др.), дающими почти до 100 т/га первичной продукции.

В условиях избыточного атмосферного увлажнения и низкой теплообеспеченности дополнительное количество влаги за счет внутриландшафтного перераспределения атмосферных осадков мало влияет на биологическую продуктивность или даже косвенно ведет к ее снижению, поскольку переувлажнение ухудшает термический режим и аэрацию. По этим причинам в тундре заболоченные понижения отличаются наиболее пониженной продуктивностью. В тех же условиях плакорные местоположения сильнее подвержены воздействию ветра, сдуванию снега и выхолаживанию. Поэтому самыми благоприятными оказываются трансэлювиальные склоновые местоположения, где наблюдается наибольшая для тундры биологическая продуктивность.

В ландшафтах тайги и широколиственных лесов внутриландшафтные различия продуктивности относительно невелики. В лучших условиях находятся более теплые и дренированные местоположения, а в худших — болота, дающие всего 2—4 т/га первичной продукции в год.

3. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЛАНДШАФТАХ

3.1. ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ЛАНДШАФТАХ

Для количественной характеристики химических элементов в земной коре и в ландшафтах исключительно большое значение имеют подсчеты их среднего содержания в горных породах, почвах, водах, воздухе, живых организмах, в космосе. Американский геохимик Ф. У. Кларк впервые в 1899 г. установил средний химический состав земной коры. По предложению А. Е. Ферсмана

(1923) среднее содержание химического элемента в земной коре или какой-либо ее части получило название «кларк». Впоследствии вычисления кларков производили В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, А. П. Виноградов, А. А. Беус, С. Тейлор, И. Фогт, А. Полдervарт и другие исследователи. Различают кларки весовые (в процентах массы на 100 частей или в граммах на тонну), атомные (в процентах от общего количества атомов), объемные (в процентах от общего объема электростатических полей атомов).

В настоящее время выявлена главная особенность распространения химических элементов — это огромная контрастность кларков. Величины кларков литосферы различаются в миллиарды раз: от 47 % для кислорода до $7 \cdot 10^{-8}$ для рения (еще ниже содержание радия, протактиния и ряда других элементов). Контрастность распространения элементов станет особенно наглядной, если расположить все элементы в ряд по их кларкам. Тогда окажется, что почти половина твердой земной коры состоит из одного элемента — кислорода (кларк — 47 %). На втором месте кремний (29,5), на третьем — алюминий (8,05). В сумме они составляют 84,55 % твердой земной коры. Если к этому числу добавить еще железо (4,65), кальций (2,96), калий (2,5), натрий (2,5), магний (1,87), титан (0,45), то получим 99,48 %, то есть практически почти всю земную кору. На долю остальных 80 % элементов приходится менее 1 % массы литосферы.

В каждой сфере Земли можно выделить несколько наиболее распространенных химических элементов. Основную массу литосферы составляют три элемента (кислород, кремний и алюминий); живых организмов — три (кислород (кларк весовой — 70 %), углерод (18 %), водород (10,5 %)); гидросферы — два (кислород (85,77 %) и водород (10,73 %)); атмосферы — два (азот (75,31 %) и кислород (23,01 %)). На долю всех остальных химических элементов приходится в земной коре 0,97 %, в живых организмах — 1,5 %, в гидросфере — 3,5 %, в атмосфере — 1,68 %.

Величины кларков — это важнейшие количественные параметры распространения элементов в ландшафтах. Все элементы по величине среднего содержания в природе делятся на основные (главные), редкие и редкие рассеянные. Основные элементы (кислород, кремний, алюминий, железо, кальций, калий, натрий, магний и водород) широко распространены в породах, иногда концентрируются в месторождении. Кларк их больше единицы. Элементы с низкими кларками (примерно менее 0,01—0,0001 %) называются редкими. Некоторые из них концентрируются в земной коре. Элементы, которые обладают и низкими кларками, и малой способностью к концентрации, называются редкими рассеянными. Их роль в ландшафте всегда второстепенна.

А. И. Перельман (1975), рассматривая поведение химических элементов, выделяет типоморфные (ведущие), или геохимические, диктаторы, то есть элементы, определяющие существенные и характерные черты данного ландшафта. Число их невелико. К ним относятся кальций, водород, железо, сера, хлор и ряд других. Это позволяет говорить о кальциевых, кислых и прочих ландшафтах (например, кальциевая и кислая тайга).

Различия в кларках приводят к тому, что химическое сходство элементов отнюдь не означает их «геохимическое сходство». Так, у натрия кларк высокий (2,5), поэтому его много в ландшафтах. Солончаки, соляные озера — это «натриевые ландшафты», так как натрий определяет геохимическое своеобразие ландшафта, физико-химические условия среды, то есть является типоморфным. Цезий в химическом отношении похож на натрий, но его кларк мал ($3,7 \cdot 10^{-4}$) и влияние на геохимические особенности ландшафта невелико. Следовательно, элементы с низкими кларками не могут быть типоморфными из-за малых концентраций в ландшафтах. Они вынуждены мигрировать в той обстановке, которую создают типоморфные элементы. Но ведущее значение элемента зависит не только от его кларка и концентрации в данном ландшафте. Важно, чтобы элемент мигрировал и накапливался. Распространенные, но слабомигрирующие элементы не являются ведущими. Один и тот же элемент в разных ландшафтах может быть и ведущим, и второстепенным. Например, железо имеет ведущее значение в ландшафтах таежных болот, но его роль невелика в ландшафтах пустынь. Наконец, если элемент энергично мигрирует, но не накапливается, он также не является ведущим. Так, натрий и хлор энергично выщелачиваются в ландшафтах влажных тропиков из кислой коры выветривания и не являются там ведущими. Только в соляных озерах и солончаках, где натрий и хлор мигрируют и накапливаются, они становятся ведущими. Из этого следует принцип подвижных элементов А. И. Перельмана: геохимическая особенность ландшафта определяется элементами с высокими кларками, наиболее активно мигрирующими и накапливающимися в данном ландшафте.

Геохимическая неоднородность географической оболочки и зональных ландшафтов обусловлена двумя группами факторов. Первая группа связана с колебаниями концентрации химических элементов и форм их нахождения в составных частях географической оболочки: литосфере, гидросфере, атмосфере. Вторая группа связана с неодинаковой интенсивностью вовлечения химических элементов в миграционный процесс в различных ландшафтах. Степень интенсивности вовлечения элемента в миграцию характеризуется числовым значением специальных безразмерных коэффи-

циентов — ландшафтно-геохимических показателей (коэффициенты водной миграции, биологического поглощения и др.).

В ландшафтах в общем преобладают те же элементы, что и в литосфере, но в них большую роль играют С, Н, N, Cl, поступающие в основном из атмосферы и гидросферы. Однако содержание химических элементов в почвах, водах, биоте ландшафта, как правило, отличается от кларка литосферы, хотя порядок величин нередко сохраняется. В ландшафтах Беларуси типоморфными элементами чаще всего являются водород, железо двухвалентное, редко кальций и сероводород (Н. К. Чертко, 1981).

3.2. МИГРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛАНДШАФТАХ

Миграция — это перемещение и перераспределение химических элементов в ландшафте и в его составных частях. В ландшафтах миграция элемента определяется внутренними и внешними факторами миграции. К внутренним факторам относятся особенности ионов, форма, в которой присутствует элемент, его химические свойства, способность давать соединения различной растворимости, летучести, твердости, поглощаться организмами и т. д. Внешние факторы миграции определяются той обстановкой, в которой мигрируют атомы, то есть солнечной радиацией, температурой, давлением, щелочно-кислотными (pH) и окислительно-восстановительными (Eh) условиями и т. д.

3.2.1. Механическая миграция химических элементов в ландшафтах

Механическая миграция (или механогенез) обусловлена работой рек, ветра, ледников, вулканов, тектонических сил и других факторов. Характерная черта механогенеза — раздробление горных пород и минералов, ведущее к увеличению степени их дисперсности, растворимости, развитию сорбции и других поверхностных явлений. При диспергировании (измельчении) резко увеличивается суммарная поверхность частиц, а следовательно, и их поверхностная энергия. Увеличивается при диспергировании и растворимость некоторых минералов. Многие минералы при этом разлагаются. Так, сульфиды при диспергировании частично разлагаются на металл и серу. Гидратные минералы выделяют воду.

В результате механической миграции в ландшафте образуются делювий, пролювий, аллювий, морена и прочие кластические отложения. Процессы, основными агентами которых служат сила тяжести, текучая вода, ветер, лед, подчиняются законам механики и не-

посредственно не зависят от химических свойств элементов. Основное значение здесь приобретают величина, плотность и форма частиц. Частицы близкого размера и близкой плотности осаждаются вместе. Известно, что чем дальше участок расположен от вершины склона, чем меньше его крутизна, тем более тонкий материал накапливается на склоне. Поэтому в горных и холмистых ландшафтах, сложенных скальными породами, в верхней части склона развиты более грубые, а в нижней — более тонкие по гранулометрическому составу делювиальные осадки. В речных долинах русловые фации часто представлены галечниками, гравием, песками, а пойменные — суглинками и глинами. Данные процессы называются механической дифференциацией.

Механическая миграция приводит к глубоким изменениям в ландшафте, так как частицы разной крупности и плотности имеют различный химический состав. Глинистые фракции почв и пород по сравнению с песчаными обычно содержат больше Fe, Al, Mn, Mg, K, V, Cr, Ni, Co, Cu и меньше SiO₂. Это объясняется тем, что в процессе выветривания соединения Fe и Al образуют коллоиды, в том числе глинистые минералы, в состав которых входят Mg и K. V, Cr, Ni, Co, Cu легко адсорбируются коллоидами. Минералы Ti, Zr, Sn, W, Pt имеют большую плотность и трудно поддаются выветриванию. Они преимущественно входят в состав песчаной фракции.

В результате песчаные, пылеватые, глинистые и прочие отложения имеют различный химический состав. С одной стороны, пески, как правило, обогащены SiO₂ и бедны Fe, Al, Mg и многими редкими элементами. С другой стороны, в песках часто концентрируются Ti, Zr, Sn, Au, Pt, W. Поэтому в районе, сложенном одним комплексом пород (например, гранитоидами), за счет механической дифференциации образуются отложения различного химического состава, определяющие своеобразие приуроченных к ним геохимических ландшафтов.

В истории отдельных химических элементов механическая миграция играет различную роль. Она велика для Si, Ni, Zr, Hf и мала для Co, Mg, Cl, Na.

Основной интегральный показатель механической миграции — твердый сток, точнее сток взвешенных наносов. Однако в нем не учитывается внутриландшафтное перераспределение обломочного материала и прежде всего склоновый (делювиальный) перенос крупных обломков, а также наносы, влекомые русловыми потоками (составляющие, впрочем, небольшую часть твердого стока). Интенсивность механической миграции сильно изменяется в зависимости от степени расчлененности рельефа и глубины местных базисов денудации, податливости горных пород к выветриванию и

размыву, величины стока, развитости растительного покрова, препятствующего смыву и сносу.

Со стоком взвешенных наносов ландшафты суши теряют ежегодно примерно 22—28 млрд т вещества, что составляет 150—180 т/км² или слой толщиной в 0,1 мм. Такой скорости выноса достаточно, чтобы полностью «смыть» всю сушу до уровня Мирового океана за 10—15 млн лет (А. Г. Исаченко, 1991). При этом в распределении твердого стока прослеживаются определенные черты зональности. Так, в тундровых и таежных ландшафтах величина модуля твердого стока (Мт) не превышает 5—10 т/км² · год. В ландшафтах широколиственных лесов Мт обычно равен 10—20 т/км² · год, в лесостепных ландшафтах он достигает 150 т/км² · год (на возвышенных лесовых ландшафтах). В пустынных ландшафтах твердый сток резко сокращается из-за практического отсутствия жидкого стока. В экваториальных ландшафтах модуль твердого стока относительно невелик (в бассейне Конго — 18—37, в бассейне Амазонки — 67—85 т/км² · год). Сдерживающим фактором в этих ландшафтах служит мощный растительный покров. Механический перенос твердого материала достигает своего максимума в горных ландшафтах, сложенных рыхлыми горными породами. Так, модуль твердого стока в горных ландшафтах Средней Азии может составлять 2000 т/км² · год, а в горных субтропиках юго-восточного Кавказа — до 4000—5000 т/км² · год. Для многих горных ландшафтов характерны селевые потоки. Объем единовременного селевого выноса обломочного материала достигает сотен тысяч и даже миллионов кубических метров.

Уничтожение естественного растительного покрова может привести к развитию денудации на равнинных ландшафтах, масштабы которой соразмерны с аналогичными процессами в горах. Так, в сельскохозяйственных ландшафтах экваториальной зоны, влажных муссонных тропиков, на Лессовом плато (Китай) величина Мт может достигать 2000—3000 т/км² · год (А. Г. Исаченко, 1991).

В аридных ландшафтах большое значение приобретает атмосферная миграция пыли и песка (дефляция и эоловая миграция). С этими процессами связана аккумуляция не только песчаного материала, но и солевого и глинистого. При этом, например, считают, что ветры выдули грандиозные впадины пустынь. Так, единичная пыльная буря в Средней Азии и Казахстане выносит из плакорных почв 10—100 т/км², из песчаных массивов — 5—10 т/км², из солончаков — 100—1000 т/км².

Глобальные масштабы дефляции и эоловой миграции вещества в целом оценить чрезвычайно трудно. По разным оценкам количество поступающего в атмосферу твердого вещества определяется в $n \cdot 10^{10}$ — $n \cdot 10^{11}$ т/год. Эти величины соизмеримы со стоком

взвешенных наносов или даже превосходят его. Однако, в отличие от твердого стока, эоловая миграция не представляет собой полностью необратимого потока. Частицы пыли удерживаются в атмосфере в среднем от 1 до 10 суток. За это время, находясь в обороте, они могут осесть частью в том же ландшафте, а частью — в соседних или даже более отдаленных ландшафтах и, наконец, частью — за пределами суши, то есть в Мировом океане. В настоящее время не представляется возможным дать количественную характеристику всех составляющих эоловой миграции вещества для всей географической оболочки и разных типов ландшафтов. Имеются лишь приблизительные расчеты для некоторых регионов. Так, по Н. Ф. Глазовскому, в Средней Азии и Казахстане область эолового выноса занимает площадь в 3 млн км². Из нее ежегодно выдувается 0,3—3,0 млрд т пыли, то есть 100—1000 т/км².

3.2.2. Физико-химическая миграция химических элементов в ландшафтах

Физико-химическая миграция химических элементов осуществляется как в атмосфере, так и в природных водах, поэтому ее можно разделить на воздушную (атмосферную) и водную.

Воздушная миграция химических элементов. Роль газов в ландшафте исключительно велика. Они образуются в результате физико-химических, биогенных и техногенных процессов. Надземная атмосфера ландшафта в основном состоит из азота (78,09 %) и кислорода (20,95 %), значительно меньше в ней аргона (0,93%) и углекислого газа (в среднем 0,03 %). Содержание остальных газов крайне невелико. Если содержание кислорода и азота в общем одинаково во всех ландшафтах, то содержание CO₂, водяных паров (0,02—4 %), пыли, летучих органических веществ (фитонцидов), некоторых микрокомпонентов (озона, йода, радона и др.) подвержено значительным колебаниям.

Подземная атмосфера ландшафта — почвенный и грунтовый воздух — заполняет свободные пустоты между частицами почвы. На глубине 20—30 см от поверхности ее состав близок к надземному в результате интенсивного газообмена и действия ветра. Глубже в почвенном воздухе больше CO₂ (от 0,2 до 6 % и даже 10 %), часто выше влажность, иное содержание микрокомпонентов. Наоборот, кислорода в почве намного меньше — в среднем 7—8 %.

Почвенный воздух тайги, тундр, степей, пустынь и других ландшафтов отличается не только по количеству углекислого газа и воды, но и по количеству микрокомпонентов. В гумидных болотных ландшафтах в подземной атмосфере повышено содержание CH₄ (метана, или «болотного газа»), в солончаках и аридных болотах — H₂S,

в других ландшафтах — N_2O , NH_3 и прочих газообразных продуктов. Ландшафты, сформировавшиеся на разных горных породах, также имеют разный почвенный и грунтовый воздух. Так, почвенный и грунтовый воздух на участках развития гранитоидов и радиоактивных руд обычно обогащен радоном. На участках развития нефтеносных пород и углей — углеводородами (главным образом метаном). На некоторых рудных месторождениях — парами ртути.

Общая циркуляция атмосферы способствует переносу химических элементов на сотни и тысячи километров. При этом очень значительны по масштабам перенос и отложения химических элементов с атмосферными осадками. В атмосферных осадках преобладают те же ионы, что и в поверхностных водах: HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ . Они поступают в осадки за счет растворения газов воздуха, приноса ветром солей с моря, растворения солей и пыли континентального происхождения, вулканических эксгаляций и других источников.

Отмечаются следующие закономерности распределения атмосферных осадков. Наиболее часто осадки выпадают над океаном. Над континентами степень минерализации осадков определяется климатическим фактором. Максимальная минерализация осадков характерна для ландшафтов пустынь. Техногенные процессы усиливают минерализацию осадков над крупными промышленными центрами и изменяют свойства атмосферной воды. Однако не всегда по количеству осадков можно определить содержание поступающих к ним солей. В ландшафтах влажных тропических лесов, где в воздухе пыли мало, атмосферные осадки имеют меньшую минерализацию, а осадки в таежных ландшафтах — более высокую. Однако суммарное количество солей, поступающих с атмосферными осадками, в ландшафтах влажных тропиков будет выше, чем в таежных ландшафтах, так как количество выпадающих осадков в 2—3 раза больше.

Различают ионы «морские» (Cl^- , Na^+), «континентальные» (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+}) и «техногенные». Важное геохимическое значение имеет близость моря. В атмосферных осадках морских побережий содержание Cl^- может превышать 100 мг/л (во внутриконтинентальных районах — 2—3 мг/л). Однако уже на расстоянии нескольких десятков километров от берега содержание морских солей в атмосферных осадках резко снижается до 1—3 мг/л. Особенно высоко содержание «континентальных солей» в степных и пустынных ландшафтах, где почвы легко развеваются. В гумидных внутриконтинентальных областях минерализация осадков низкая, около 20—30 мг/л (без учета техногенеза). В них преобладают ионы HCO_3^- и Ca^{2+} континентального происхождения. В каждой ландшафтной зоне минерали-

зация атмосферных осадков зависит от времени года: зимой, весной и во влажный летний период минерализация осадков ниже, чем в сухой.

Количество солей, выпадающих с осадками, зависит от количества и минерализации последних. Хорошо прослеживаются зональные, секторные и высотно-поясные закономерности. Для тундровых и таежных ландшафтов характерны величины порядка $5\text{--}10\text{ т/км}^2 \cdot \text{год}$ (в Восточной Сибири — менее $5\text{ т/км}^2 \cdot \text{год}$), в ландшафтах широколиственных лесов — около $10\text{ т/км}^2 \cdot \text{год}$, в ландшафтах степей и полупустынь — $10\text{--}20$, в пустынных ландшафтах умеренного пояса и в экваториальных лесных ландшафтах — $20\text{--}30\text{ т/км}^2 \cdot \text{год}$. С высотой в горах выпадение солей возрастает вследствие увеличения количества осадков. Заметное повышение наблюдается в вулканических ландшафтах.

Судьба элементов, привнесенных с атмосферными осадками, различна в гумидных и аридных ландшафтах. В гумидных ландшафтах они снова выщелачиваются из почв и со стоком поступают в моря, а в аридных ландшафтах — накапливаются в почвах.

Водная миграция химических элементов. Вода — это главный фактор миграции химических элементов. Большинство химических элементов мигрирует в ионных, молекулярных или коллоидных водных растворах. Состав природной воды зависит от ее происхождения, а также растворимости и состава дренируемых пород.

Концентрация ионов в воде и соотношение катионов и анионов положены в основу классификации вод по химическому составу. По О. А. Алекину (1946), исходя из содержания преобладающих анионов, природные воды делятся на три класса: гидрокарбонатные (HCO_3^-), сульфатные (SO_4^{2-}), хлоридные (Cl^-). По преобладающему катиону каждый из указанных выше классов делится на три группы: кальциевые, магниевые, натриевые воды.

Свойства воды как среды миграции определяются несколькими типоморфными элементами или ионами (O_2 , CO_2 , H_2S , H^+ , OH^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , Fe^{2+} и др.). Один и тот же элемент в одном ландшафте типоморфен и нетипоморфен в другом. Например, железо типоморфно в тундровых и таежных болотных ландшафтах, но малоактивно в степных ландшафтах.

В геохимии ландшафтов все элементы классифицируются по их отношению к окислительно-восстановительным и щелочно-кислотным условиям среды. Детальная разработка такой классификации сделана А. И. Перельманом (1975), разделившим все элементы по интенсивности водной миграции в различных геохимических обстановках.

Выделяется три типа окислительно-восстановительных условий: *окислительные, восстановительные глеевые и восстанови-*

тельные сероводородные. В последних двух случаях в среде нет свободного кислорода и обе среды восстановительные, но их свойства в геохимическом отношении весьма различны: глеевая среда благоприятна для миграции многих металлов (Fe, Mn и др.); в сероводородной среде условия для миграции неблагоприятны в связи с образованием нерастворимых сульфидов.

По щелочно-кислотным условиям все воды делятся на четыре основных класса. *Сильнокислые* воды содержат свободную серную кислоту, образующуюся при окислении пирита и других дисульфидов. В природных условиях они встречаются в зонах окисления сульфидных месторождений, в угольных шахтах, в вулканических ландшафтах. В таких водах легко мигрирует большинство металлов, в том числе Fe, Al, Zn, Cu и другие. *Кислые и слабокислые* воды весьма характерны для тундровых и лесных ландшафтов. Их кислотность связана с разложением органического вещества и поступлением угольной кислоты и других органических кислот. В кислых и слабокислых водах легко мигрируют металлы в форме бикарбонатов и комплексных соединений с органическими кислотами. Слабокислые воды очень широко распространены в верхних горизонтах земной коры. *Нейтральные и слабощелочные* воды характерны для лесостепных, степных, полупустынных и пустынных ландшафтов. Степень щелочности зависит от соотношения бикарбоната кальция к его карбонату или же бикарбоната к CO_2 . Условия миграции менее благоприятны для большинства металлов, которые здесь осаждаются в форме нерастворимых гидроокислов карбонатов и других солей. Аниогенные элементы (Si, Ge, As, V, U, Mo, Se и др.), напротив, мигрируют в них сравнительно легко. Органические кислоты при разложении органики полностью нейтрализуются CaCO_3 и другими соединениями Ca, Mg, Na и K, которыми богаты почвы и породы. *Сильнощелочные* воды содержат соду. Встречаются они в некоторых лесостепных ландшафтах, в содовых солончаках и др. В содовых водах легко мигрируют Si, Al, Mo и комплексные карбонатные соединения Cu, Zn, Be, V, редких земель иттриевой группы, Se, Zr и др.

Для каждого класса вод характерна своя ассоциация мигрирующих элементов и ассоциация малоподвижных элементов («запрещенная»). Ионный состав вод, минерализация (хлоридные, сульфатные, гидрокарбонатные, пресные, соленые и другие воды) также существенно влияют на условия миграции элементов, но меньше, чем различия в классах вод.

По типоморфным водным (и воздушным) мигрантам, при одновременном учете щелочно-кислотных и окислительно-восстановительных условий, как отмечалось выше, все воды А. И. Перельман разделяет на 21 класс. Исходя из классификации, можно отметить, что, например,

для тундровых ландшафтов весьма характерен кислый глеевый класс водной миграции, для таежных, хвойно-широколиственных и широколиственно-лесных ландшафтов — кислый и кислый переходный к кальциевому, для лесостепных и степных — кальциевый и т. д. В каждом ландшафте формируется свой набор ПТК разных классов водной миграции химических элементов в зависимости от конкретных условий (геологического строения, рельефа, уровня залегания и состава грунтовых вод и т. д.).

В 1917 г. американский ученый Смит разработал метод количественной оценки *интенсивности водной миграции* элементов, состоящий в сопоставлении среднего состава речных вод с составом горных пород. Таким путем была установлена последовательность выноса отдельных элементов при выветривании. Сопоставляя средний химический состав литосферы со средним химическим составом минеральной части рек, Б. Б. Полюнов (1956) показал, что элементы в воде обладают различной степенью подвижности. А. И. Перельман (на основе идей Б. Б. Полюнова) предложил использовать для характеристики миграционной способности коэффициент водной миграции, равный отношению содержания элемента X в минеральном остатке воды к его содержанию в горных породах, дренируемых этими водами. Расчетная формула для K_x имеет следующий вид:

$$K_x = m_x \cdot 100 / a \cdot n_x,$$

где m_x — количество элемента в водах, дренирующих породу, г/л; n_x — количество того же элемента в породе, дренируемой водами, %; a — сумма минеральных веществ, растворенных в воде, г/л.

Чем больше K_x , тем сильнее элемент выщелачивается из пород, тем интенсивнее его водная миграция. Используя данный коэффициент, можно сравнивать между собой интенсивность миграции распространенных и редких элементов. Характеризуя водную миграцию в целом, K_x зависит не только от физико-химической, но и от биогенной миграции.

Отношение коэффициентов водной миграции одного элемента в разных ландшафтах (или в разных частях ландшафта) позволяет судить о контрастности этого элемента. Одни элементы обладают высокой контрастностью (Zn, U), другие — низкой. Малоконтрастные элементы везде или энергично (S, Cl), или очень слабо (Zr, Th и др.) мигрируют. Если отношение близко к единице или равно ей, контрастность миграции элемента сравниваемых ландшафтов не выражена. Чем больше коэффициент контрастности K_x отличается от единицы, тем выше контрастность миграции данного элемента в разных ландшафтах.

Масса растворенных веществ, выносимых мировым речным стоком, определяется в 2,5—5,5 млрд т. Согласно М. И. Львовичу, средний глобальный модуль ионного стока равен 20,7 т/км². В аридных ландшафтах речные воды сильноминерализованы, но в силу слабого развития речного стока вынос ионов невелик. В гумидных ландшафтах, наоборот, речные воды обильны, но слабоминерализованы. Поэтому зональные различия ионного стока относительно невелики. Для тундровых, таежных и пустынных ландшафтов характерны близкие значения модуля ионного стока (не выше 10—15 т/км² · год). В широколиственно-лесных и лесостепных ландшафтах модуль ионного стока составляет 20—30 т/км² · год, а в ландшафтах экваториальных лесов — близок к 35 т/км² · год. Более существенны азональные контрасты, связанные с распространением карбонатных, гипсоносных и вулканических пород. В таких условиях даже в тайге модуль ионного стока может достигать 50—80 т/км² · год. Наиболее интенсивный ионный сток характерен для карстовых ландшафтов (100—200 и более т/км² · год) (А. Г. Исаченко, 1991).

Водная миграция химических элементов в ландшафтах Беларуси имеет определяющее значение. Воды преимущественно гидрокарбонатного кальциево-магниевого состава с минерализацией 0,1—0,8 г/дм³ формируются в естественных условиях на территории Беларуси¹.

Максимальный модуль ионного стока для бореальных подтаежных ландшафтов Поозерья и Западно-Белорусской провинции равен соответственно 44,7 и 42,7 т/км², а для суббореальных полесских ландшафтов — 24,6 т/км² (Н. К. Чертко, 1981).

3.2.3. Биогенная миграция химических элементов в ландшафтах

Одна из наиболее сложных форм миграции, обусловленная совокупной жизнедеятельностью живых организмов, — биогенная миграция. Растительность и животные организмы удерживают в своих тканях миллиарды тонн минеральных веществ. Так, например, количество углерода, связанного во всей биомассе Земли, превышает 1 трлн т. Суммарная масса зольных элементов, содержащихся в живом веществе, составляет 125 млрд т. Количество кальция, азота, калия исчисляется миллиардами тонн, кремния, фосфора, серы, магния, хлора, натрия — сотнями миллионов, алюминия и железа — десятками миллионов тонн (В. В. Добровольский, 2003). Перечис-

¹См.: Ландшафтные воды в условиях техногенеза / О. В. Кадацкая [и др.]. Минск, 2005.

ленные главные химические элементы входят в состав органических соединений, из которых состоят разнообразные ткани живых организмов, их тела. Наряду с главными в живом веществе присутствуют рассеянные элементы с настолько низкими кларками, что их концентрацию неудобно рассчитывать ни на живую массу, ни на сухое органическое вещество, а только лишь на золу. Низкая концентрация рассеянных элементов в организмах не означает того, что количество этих элементов в суммарной массе живого вещества незначительно. В растительности суши связаны сотни миллионов тонн марганца, около ста миллионов тонн Zn и Sr (каждого), десятки миллионов тонн титана, бария, брома, меди, циркония. Большая группа элементов, преимущественно тяжелые металлы (Pb, Ni, Co, Cr, V), а также рубидий, фтор, литий характеризуются средним содержанием в золе в количестве тысячных долей процента. Масса каждого из этих элементов в суммарной массе растительности измеряется несколькими миллионами тонн. К этой группе примыкают содержащиеся в несколько меньшем количестве молибден, олово, йод, мышьяк, редкоземельные элементы (В. В. Добровольский, 2003).

Чем больше биогенное значение химических элементов, тем лучше они защищены от прямого выноса грунтовыми и речными водами. Поэтому элементы с высокой степенью биогенности (P, Ca, K, S, C, N) обладают меньшей миграционной способностью, чем элементы, которые не играют существенной роли в химическом составе живого вещества (Cl, Na, Mg). Химические элементы малой биогенности легко отбрасываются или мало захватываются живыми организмами, поэтому они характеризуются высокой миграционной способностью и выносятся далеко за пределы ареала своего образования, участвуют в процессах соленакопления (карбонаты и бикарбонаты, сульфаты и хлориды натрия и магния).

Одна из важнейших особенностей живого вещества — это энергичная миграция химических элементов. Через живые организмы за геологическую историю Земли многие атомы прошли бесчисленное множество раз. Поэтому скорость миграции элементов в живом веществе и скорость миграции в горных породах несоизмеримы по масштабу. Кроме того, живое вещество само участвует в создании условий миграции элементов. Поскольку оно образует, во-первых, свободный кислород, а следовательно, и окислительную обстановку. Во-вторых, служит источником сероводорода при гниении, который является типоморфным элементом восстановительной обстановки. Поэтому миграция химических элементов в географической оболочке и в ландшафтах осуществляется или при непосредственном участии живого вещества (биогенная миграция), или же она протекает в среде, геохимические особенности которой (O_2 , CO_2 ,

H₂S и др.) обусловлены живым веществом, как тем, которое в настоящее время населяет данную систему, так и тем которое действовало в географической оболочке в течение геологической истории. Это положение А. И. Перельман предложил называть законом В. И. Вернадского.

Кларки живого *вещества* впервые наметил В. И. Вернадский, более точно — А. П. Виноградов и другие ученые. Кларки живого вещества уменьшаются с ростом атомной массы элементов. Однако здесь нет прямой зависимости. Живое вещество в основном состоит из четырех элементов: О (70 %), С (18 %), Н (10,8 %) и N (0,3 %), в сумме составляющих 98,8 %. Организмы — это кислородные существа. Живое вещество богато водой. В живых организмах обнаружены почти все химические элементы Периодической системы, но кларки большинства из них очень малы. Главной особенностью истории живого вещества В. И. Вернадский считал образование его из газов и превращение после смерти снова в газы (СО₂, NH₃, N₂, H₂O и т. д.). Малоподвижные элементы, как правило, слабо захватываются организмами. Например, в литосфере много Al (8,05 %), а в живом веществе мало — 0,005 %.

Кларки концентрации в живом веществе А. И. Перельман назвал биофильностью. Наиболее энергично концентрируются в живом веществе С (биофильность — 7800), слабее N (160), Н (70), О (1,5), Cl (1,1). У остальных элементов биофильность меньше единицы. Наименее биофильны алюминий, железо, титан.

Живое вещество избирательно поглощает и накапливает некоторые химические элементы. Поэтому очень важно изучать состав минеральной части живого вещества, то есть состав золы. Содержание большинства элементов в золе значительно отличается от их среднего содержания в земной коре, так как растения избирательно поглощают элементы. Интенсивность поглощения характеризуется отношением количества элемента в золе растений к его количеству в почве или горной породе. Этот предложенный Б. Б. Полыновым показатель А. И. Перельман назвал коэффициентом биологического поглощения (A_x):

$$A_x = l_x / n_x,$$

где l_x — содержание элемента в золе растений; n_x — в горной породе или почве, на которой произрастает данное растение, кларк литосферы.

Показатели A_x — не константы. Они могут меняться в зависимости от времени года, фазы вегетации, возраста растения, свойств почвы и т. д. По величине этого коэффициента Б. Б. Полынов построил ряды биологического поглощения для главных химических элементов, А. И. Перельман уточнил эту классификацию. Получи-

лось четыре группы элементов, характеризующихся различной интенсивностью использования живыми организмами: от энергичного накопления до очень слабого захвата.

Место, занимаемое тем или иным элементом в зависимости от величины A_x в ряду биологического поглощения, зависит от местобитания растений. Например, для солянок, произрастающих в ландшафтах пустынь, хлор относится к элементу энергичного накопления, а для сосны в таежных ландшафтах — к элементу среднего или слабого захвата. Предложены и другие коэффициенты интенсивности биологического поглощения.

Общая масса зольных элементов, вовлекаемая ежегодно в биологический круговорот на суше, составляет 8 млрд т. Это в несколько раз превышает величину ионного стока с континентов или массу продуктов извержения всех вулканов мира на протяжении года. Биологический круговорот на суше кальция и калия превышает 1 млрд т каждого, кремния, фосфора, серы, магния, натрия, хлора — измеряется миллионами тонн в год. Весьма значительные массы рассеянных элементов принимают участие в биологическом круговороте на суше. Миллионы тонн марганца, цинка, стронция, титана, меди, сотни тысяч тонн свинца, никеля, хрома, ванадия, кобальта, молибдена, десятки тонн йода, мышьяка, олова ежегодно захватываются и возвращаются в почвенный покров континентов благодаря деятельности растительности (В. В. Добровольский, 2003).

Хотя количество вовлекаемых в оборот элементов зависит от биологических особенностей различных видов, размещение последних в значительной мере подчинено географическим закономерностям. Так, хвойные деревья ассимилируют меньше зольных элементов и азота, чем лиственные, а последние — меньше, чем травянистая растительность. Растения аридных ландшафтов используют для создания органической массы больше химических элементов, чем растения гумидных ландшафтов. Наименьшая зольность у мхов (2—4 % от сухого вещества), наибольшая — у галофитов (до 25 %). Зольность хвои и листьев деревьев — 3—4 %, древесины хвойных — 0,4, лиственных — 0,5, злаков — 6—10 %.

Сочетание всех факторов приводит к тому, что минимальное количество химических элементов, потребляемых ландшафтом для создания первичной биологической продукции (то есть емкость биологического круговорота), характерно для полярных и тундровых ландшафтов, хотя продуктивность у них выше, чем в пустынных ландшафтах. В бореальных и особенно суббореальных лесных ландшафтах в оборот вовлекается значительно больше зольных элементов и азота, но максимальная емкость круговорота среди плакорных суббореальных ландшафтов присуща луговым степям. На первом месте в зональном

ряду по количеству вовлекаемых в круговорот химических элементов стоят ландшафты влажных экваториальных лесов.

Что касается элементарного химического состава вещества, участвующего в биологическом метаболизме, то его основную часть составляют важнейшие элементы-биогены. В зависимости от избирательной способности растений к поглощению тех или иных химических элементов их количественные соотношения в составе биомассы и ежегодно потребляемого минерального вещества несколько варьируют, обнаруживая также определенные географические закономерности, прежде всего — зональность. Так, тундровые ландшафты потребляют больше всего азота, затем следуют кальций и калий. В таежных ландшафтах на первом месте также стоит азот, много потребляется кальция, на третьем месте — калий. В ландшафтах широколиственных лесов на первом месте стоит кальций, далее азот и калий. В степных ландшафтах основные химические элементы идут в следующем порядке — кремний, азот, калий, кальций. В пустынных ландшафтах — кальций, калий, азот, магний. В тропических и экваториальных лесных ландшафтах особенно активно поглощаются кремний, железо, алюминий.

3.3. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЛАНДШАФТОВ

Некоторые принципиальные положения геохимической классификации ландшафтов были высказаны Б. Б. Полыновым (1953), но основы современной геохимической классификации ландшафтов были разработаны А. И. Перельманом (1961) и М. А. Глазовской (1964).

Классификация элементарных ландшафтов. По определению Б. Б. Полынова, элементарный ландшафт представляет собой один определенный тип рельефа, сложенный одной породой или наносом и покрытый в каждый момент своего существования определенным растительным сообществом. Все эти условия создают разность почвы и свидетельствуют об одинаковом на протяжении элементарного ландшафта развитии взаимодействия между горными породами и организмами. В качестве главного критерия выделения элементарного ландшафта Б. Б. Полынов предложил однородность почвы. Одной из особенностей элементарных ландшафтов является обязательное отсутствие внутренних причин, ограничивающих площадь их распространения. Именно это было положено в основу разработанного А. И. Перельманом критерия выделения элементарного ландшафта: «при отнесении какого-либо участка земной поверхности к элементарному ландшафту необходимо учитывать возможность (хотя бы мысленную) распространения данного элементарно-

го ландшафта на значительно большей территории»¹. Поэтому, исходя из этого критерия, пятно солончака можно считать элементарным ландшафтом, а, например, болотную кочку, муравейник, нору землероев и т. д. — нельзя. По условиям миграции химических элементов Б. Б. Полынов выделил три основных элементарных ландшафта: элювиальный, супераквальный и субаквальный.

Элювиальный элементарный ландшафт приурочен к плоским водоразделам с глубоким уровнем грунтовых вод, не оказывающих заметного влияния на биологический круговорот элементов (БИК). Вещество и энергия в этом ландшафте поступают из атмосферы и через атмосферу. Характерны прямые нисходящие водные связи. Слагающие породы по вертикальному профилю могут быть как однородными, так и разнородными. Почвы автоморфные (атмосферного увлажнения). В элювиальных почвах происходит вымывание растворимых веществ и образование иллювиальных горизонтов. По всему вертикальному профилю ландшафта идет процесс окисления, который способствует миграции ванадия, молибдена, селена, урана, рения и аккумуляции железа, марганца, кобальта. Здесь идет в основном вынос вещества с нисходящими токами влаги.

Выносу противостоит активный биологический захват элементов растениями и удержание их в БИК. Происходит отбор растительных форм, которые способны существовать в данных условиях.

Супераквальный (надводный) элементарный ландшафт тяготеет к пониженным элементам рельефа. Грунтовые воды лежат близко от поверхности (как правило, в пределах корнеобитаемого слоя). Они влияют на почвы и растительность. Преобладают обратные водные связи. Здесь формируются полугидроморфные и гидроморфные почвы, в которых содержание элементов выше, чем в автоморфных, и поселяются растения, приспособленные к избытку влаги и часто (например, галофиты) к избытку определенных химических элементов, привносимых грунтовыми водами. По содержанию химических элементов супераквальный ландшафт богаче за счет частичного привноса их из элювиального ландшафта. В то же время из супераквального ландшафта химические элементы выносятся грунтовыми и поверхностными водами в субаквальный. Избыток влаги создает условия для восстановления химических элементов и соединений, что способствует миграции железа, марганца, кобальта и аккумуляции ванадия, молибдена, селена, урана.

Субаквальный (подводный) элементарный ландшафт формируется на различных по составу подводных отложениях рек, озер, шельфовой зоны морей и океанов. Для этих ландшафтов характерен привнос материала с твердым и жидким поверхностным сто-

¹Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М., 1975.

ком. В отличие от элювиального ландшафта, где происходит постепенное разрушение пород, в субаквальном ландшафте идет отложение и накопление наносов и осадков, которые превращаются в породу. В субаквальных ландшафтах наблюдаются особые жизненные формы растений и животных и местами особые систематические группы. Подводные растения усваивают химические элементы, накапливающиеся в донных отложениях, а при отмирании преобразуются в сапропели. В этих условиях протекает восстановление химических элементов и соединений, накапливается сероводород. Для субаквальных ландшафтов характерна аккумуляция тяжелых металлов и синтетических органических соединений — результат производственной деятельности человека. Характерны обратные водные связи.

А. И. Перельман предложил называть элювиальные ландшафты автономными, так как они не получают от субаквальных и супераквальных ландшафтов химических элементов с жидким и твердым стоком. Супераквальные и субаквальные ландшафты называют подчиненными, так как продукты выветривания и почвообразования элювиальных ландшафтов поступают в супераквальные и субаквальные ландшафты и влияют на их формирование.

Наряду с основными элементарными ландшафтами существуют многочисленные переходные формы, приуроченные к склонам, поймам рек и т. д. Помимо элювиальных (автономных) М. А. Глазовская (1964) различает трансэлювиальные (ландшафты верхних частей склонов), элювиально-аккумулятивные (ландшафты нижних частей склонов и сухих ложбин), аккумулятивно-элювиальные (ландшафты местных замкнутых понижений с глубоким уровнем грунтовых вод). Супераквальные ландшафты она делит на транссупераквальные и собственно супераквальные (ландшафты замкнутых понижений со слабым водообменом), а субаквальные — на трансаквальные (реки, проточные озера) и аквальные (непроточные озера).

В Беларуси элювиальные ландшафты занимают 48 % ее площади, супераквальные — 32 %, субаквальные — около 6 %, мелко-контурные участки с преобладанием элювиальных или супераквальных ландшафтов — 14 % (А. А. Хомич, 1974).

Геохимическая классификация ландшафтов. Различные геохимические классификации ландшафтов составляются на основе анализа меняющихся ландшафтно-геохимических факторов миграции элементов. В основном распространены классификации А. И. Перельмана и М. А. Глазовской. А. И. Перельман предложил классификацию элювиальных ландшафтов, М. А. Глазовская — элювиальных, супераквальных и местных ландшафтов. Ниже излагаются принципы классификации элювиальных ландшафтов А. И. Перельмана. На самом высоком таксономическом уровне А. И. Пе-

рельманом предложено учитывать основные формы движения материи. Он выделяет три ряда ландшафтов: абиогенные, биогенные и техногенные (антропогенные, культурные). Основная отличительная черта абиогенных ландшафтов — отсутствие (несколько относительное) жизни и биогенной миграции элементов, а следовательно, и биологического круговорота элементов (БИК). В биогенных ландшафтах есть живые организмы и всегда существует БИК. Техногенные ландшафты — это преобразованные человеком ландшафты с нарушенным БИК.

По величине биомассы и ежегодной продукции А. И. Перельман все ландшафты делит на пять групп: леса; степи (луга; саванны); пустыни; тундры и верховые болота; примитивные пустыни. Их формирование и зональность определяются в основном климатом.

Группы в свою очередь делятся на типы по сходству показателей биологического (БИК) и геологического круговорота вещества и одинаковой скорости химических процессов. Каждому типу соответствует определенный тип почвы и растительности. Например, в пределах лесной зоны умеренного пояса выделяется темнохвойная тайга на подзолистых почвах, светлохвойная тайга на дерново-палевых почвах и т. д. Кроме того, при выделении типов ландшафтов А. И. Перельман предложил использовать коэффициент (K), представляющий собой отношение логарифма прироста к логарифму биомассы ($\lg\P / \lg B$), который показывает степень однородности типа ландшафта по емкости БИКа.

Следующий таксон — отдел, который также связан с особенностями БИКа. Обоснованием для выделения отдела служат результаты физико-географических исследований о соотношении широтной зональности и секторности ландшафтов. В каждом ландшафте выделяются умеренно континентальный, континентальный, резко континентальный, приокеанический и океанический секторы. При выделении отделов кроме континентальности климата учитывается и возраст ландшафтов, особенности их истории, существование геохимических реликтов. Так, в тундровом типе ландшафта выделяются отделы умеренно континентальных, континентальных, резко континентальных и приокеанических тундр. Аналогичные отделы характерны для таежного и других типов.

При одинаковом коэффициенте K , но при разных величинах ежегодной продукции и общей биомассы выделяют семейства. В каждом ландшафте выделяют 2—4 семейства, которые различаются широтным положением (северное, среднее, южное и т. д.) и соответствуют подзонам в пределах географических зон.

Класс ландшафтов, по А. И. Перельману, выделяется в пределах семейств по особенностям водной миграции типоморфных эле-

ментов в перегнойном горизонте (горизонте А) почв, поскольку он является центром максимального напряжения геохимических процессов. Одни и те же классы встречаются практически во всех типах ландшафтов. Например, кислый класс господствует в тундре, тайге, отчасти в широколиственных лесах, влажных субтропических лесах, то есть там, где реакция кислая, а климат влажный.

По особенностям миграции химических элементов, определяемым рельефом, А. И. Перельман выделяет роды ландшафтов. Выделяется три основных рода — элювиальные (автономные), супераквальные, субаквальные и ряд дополнительных родов (по М. А. Глазовской).

Вид ландшафта относится А. И. Перельманом к самой мелкой таксономической единице и выделяется по изменению пород, отличающихся миграцией второстепенных химических элементов: кварцевые, лессовые и т. д. Число видов велико. Это в значительной степени проблема геохимической классификации пород для целей геохимии ландшафта.

3.4. ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ

Начало разработке вопроса о геохимических барьерах было положено А. И. Перельманом (1961). Геохимические барьеры — это те части ландшафтно-геохимических систем, в которых на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как результат, их накопление (концентрация). Это участки ландшафтов, где одна геохимическая обстановка сменяется другой.

Выделяют макро-, мезо- и микробарьеры. К макробарьерам относятся, например, дельты рек — зоны смешения пресных речных и соленых морских вод, ширина таких барьеров может достигать сотен и тысяч метров (но это небольшая величина по сравнению с протяженностью реки и акваторией моря). К мезобарьерам относятся краевые зоны болот, водоносные горизонты артезианских бассейнов. Ширина таких барьеров может достигать десятков и сотен метров. Микробарьеры встречаются гораздо чаще, в том числе в почвах. По сути, накопление в почвенных горизонтах таких новообразований, как ортштейны, различные коры (солевые, латеритные), — результат изменения интенсивности миграционных потоков в почвенном профиле. Причина уменьшения скорости — изменение условий. Ширина таких барьеров может составлять от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров.

В основу классификации геохимических барьеров положены различия в миграции. Выделяют два основных типа барьеров — природные и техногенные. В свою очередь и в тех, и в других выделяют по 3 класса: механические, физико-химические и биогео-

химические. В ландшафтно-экологических исследованиях, так же как и в геохимии ландшафта, наибольшее внимание уделяется физико-химическим барьерам.

Механические барьеры — это участки резкого уменьшения механической миграции. К ним приурочены различные продукты механической дифференциации осадков. Это наиболее простые геохимические барьеры. Биогеохимические барьеры обязаны уменьшению интенсивности биогенной миграции. Месторождения угля, торф, концентрация элементов в телах организмов и т. д. — следствие таких процессов. Физико-химические барьеры возникают в местах смены физических и химических условий миграции элементов. Это участки ландшафтов, где резко меняются температура, давление, окислительно-восстановительные, щелочно-кислотные и другие условия. Физико-химические барьеры классифицируются на виды по накоплению химических элементов. Последнее определяется во многом тем, в какой среде проходят миграционные процессы. Различают следующие основные классы: кислородный (окислительный), сероводородный, глеевый, щелочной, кислый, испарительный, сорбционный, термодинамический, сульфатный, карбонатный.

Образование *окислительных (кислородных) барьеров* связано с изменениями окислительно-восстановительных условий в ландшафтах. Это наиболее распространенные ландшафтно-геохимические барьеры. Этот барьер возникает в ландшафтах при резкой смене восстановительной среды на окислительную. Например, грунтовые воды, обогащенные железом и марганцем, в виде бикарбонатов или органических комплексов вблизи поверхности почв, на окраинах болотных ландшафтов, в озерах образуют железо-марганцевые конкреции, болотные и озерные руды, залежи самородной серы.

Сероводородные (сульфидные) барьеры формируются в ландшафтах, где создаются условия для образования сероводорода. Это наблюдается в тех случаях, когда кислые или глеевые воды контактируют с сероводородной средой: $pH > 7$, $Eh < 0$. Сероводород, вступая в химическую реакцию с металлами, образует сульфиды металлов (железа, свинца, меди, цинка), выпадающие в осадок. Этот барьер возникает не только в водоносных горизонтах. Он характерен и для илов многих морей и соленых озер, где работают микроорганизмы, восстанавливающие сульфаты.

Глеевые барьеры возникают на участках разложения органических веществ без доступа кислорода или при его недостаточном поступлении, а также в зонах поступления водорода по разломам из глубинных слоев. Показателем глеевой обстановки может служить наличие углеводородов, а в водных растворах, кроме того, растворенных органических соединений, Fe^{2+} и водорода. Эти барьеры накапливают Cu, Cr, U, Ag, Co.

Щелочные барьеры образуются в зонах (на границе), где наблюдается резкое повышение pH и смена кислой и (или) слабокислой среды на щелочную. Например, на контакте силикатных и карбонатных пород.

Кислые барьеры формируются в зонах ландшафта при резком понижении pH (щелочной или нейтральной) в более кислую сторону. На кислых барьерах задерживается миграция и осаждаются мышьяк, молибден, селен, кремний, соединения которых в кислой среде слаборастворимы.

Нейтральный (или кальциевый) барьер образуется при наличии карбонатных пород или жестких вод, насыщенных ионами CO_3^{2-} . На барьере приостанавливается миграция кальция, железа, бария, стронция.

Сульфатные барьеры характерны для вод, обогащенных сульфатными ионами. Здесь концентрируются барий, стронций, кальций.

Испарительные барьеры представляют собой участки, где увеличение концентрации химических элементов происходит в результате процессов испарения. Наиболее распространены они в аридных ландшафтах. Вода с растворенными в ней элементами передвигается вверх, и по мере перехода в парообразное состояние происходит выпадение элементов из раствора с образованием хлоридных, сульфатных и карбонатных солей. Этот барьер прекращает миграцию всех растворимых в воде веществ. Есть две разновидности испарительных барьеров: верхние — на поверхности почвы и нижние — на уровне грунтовых вод. Здесь наблюдается образование засоленных почв и накопление Ca, Mg, K, Na, F, S, Sr, Cl, Pb, Zn, V, Ni, Mo.

Сорбционные барьеры характерны для тех ландшафтов, в которых много коллоидных частиц (гумуса, глины). В основе сорбционного поглощения лежит поглотительная способность почвы. Этот барьер может осаждавать практически все элементы, встречающиеся в растворе в ионной форме.

Термодинамические барьеры образуются при довольно резком изменении давления и температуры. Наиболее иллюстративным является образование при быстром падении давления из растворов, продвигающихся по трещинам в горных породах карбоната кальция (или травертина). Так образовались травертины крупнейших курортов, связанные с минеральными водами (Карловы Вары, район Казбека, Эльбруса, Пятигорска).

В зависимости от направления потоков миграции химических элементов в ландшафте, на пути которых возникают геохимические барьеры, последние делятся на две группы — радиальные (вертикальные) и латеральные. Радиальные барьеры формируются при вертикальной (снизу вверх или сверху вниз) миграции растворов. Во мно-

гом благодаря существованию таких барьеров наблюдается дифференциация химических элементов в почвенном профиле. Латеральные барьеры возникают при движении вод в субгоризонтальном направлении, например на границах фаций, в краевых зонах болот и т. д.

В ландшафтах происходит совмещение и комплексирование различных геохимических процессов, в связи с чем выделяют комплексные барьеры, образующиеся в результате наложения двух или нескольких взаимосвязанных химических процессов. Выделяются также многосторонние барьеры, которые формируются при движении различных элементов к барьеру с разных сторон. На многостороннем барьере происходит осаждение разнородной ассоциации химических элементов.

По форме геохимические барьеры разделяются на линейные и площадные. Линейные барьеры характерны для границ раздела различных ландшафтов. Примером линейного барьера является, например, граница болотного ландшафта и незаболоченной территории, на которой в почвах, водах и рыхлых отложениях резко изменяются окислительно-восстановительные условия, в пограничной полосе идет накопление болотных железо-марганцевых руд и ряда элементов группы железа. Площадные барьеры могут субгоризонтально простирались на большие расстояния.

Для характеристики ландшафтно-геохимических барьеров применяют ряд показателей. Основные из них — градиент и контрастность барьера. Градиент барьера (G) характеризует изменение геохимических показателей в направлении миграции химических элементов.

$$G = d_m / d_l = m_1 - m_2 / l,$$

где m_1 — значение геохимического показателя до барьера; m_2 — его значение после барьера; l — ширина барьера.

Контрастность барьера (S) характеризуется отношением величины геохимических показателей в направлении миграции до и после барьера.

$$S = Cx_1 / Cx_2 = m_1 / m_2,$$

где m_1 — значение геохимического показателя до барьера; m_2 — его значение после барьера.

Поскольку на ландшафтно-геохимическом барьере в большинстве случаев формируются геохимические аномалии, то о контрастности геохимического барьера можно судить и по контрастности образовавшихся геохимических аномалий (K).

$$K = C_a / C_{\phi},$$

где C_a — среднее содержание рассматриваемого компонента в аномалии; C_{ϕ} — фоновое содержание компонента в ландшафте (в определенном типе горных пород, почв, вод, растений и т. д.), аналогичном ландшафту, в котором расположен рассматриваемый барьер.

Для расчета концентрации элементов на барьере (H) выведена следующая формула.

$$H = k \cdot (C_1 - C_2 / A_1 - A_2),$$

где k — коэффициент, зависящий от «инертности» массы (почв, осадков, живого вещества и т. д.), на которой происходит накопление рассматриваемого вещества; C_1 и C_2 — содержание рассматриваемого вещества в миграционном потоке соответственно до и после барьера; A_1 и A_2 — общее содержание всех веществ, мигрирующих в потоке соответственно до и после барьера.

Из приведенной формулы следует, что для концентрации какого-либо элемента на барьере совсем не обязательно его высокое содержание в мигрирующих потоках. Если рассматриваемый участок ландшафта является барьером только для одного или нескольких элементов, а у большинства элементов на этом участке интенсивность миграции не изменяется, то даже при низкой концентрации рассматриваемого элемента в мигрирующем потоке его концентрация на барьере может со временем стать очень высокой вплоть до образования рудных тел.

4. ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЛАНДШАФТАХ

4.1. ДИНАМИКА И ЭВОЛЮЦИЯ ЛАНДШАФТОВ

Под ландшафтной динамикой понимаются изменения ландшафта, не сопровождающиеся трансформацией его структуры, то есть происходящие в рамках единого инварианта. В то время как эволюция (развитие) ландшафта сопровождается необратимыми поступательными изменениями, которые приводят к смене структуры ландшафта, к замене одного инварианта другим. Различают несколько видов естественной ландшафтной динамики — функционирования, развития, катастроф (или революций) и восстановительных сукцессий (Л. К. Казаков, 1999 и др.). В настоящее время все большую роль в «жизни» ландшафтов играет антропогенная динамика.

Динамика функционирования характеризуется и проявляется в форме ритмов и циклов, то есть динамика функционирования — это в основном периодически повторяющиеся в определенной последовательности серии состояний ландшафта (суточных, сезонных, погодных и др.), отличающихся спецификой структуры и функционирования (Л. К. Казаков, 1999 и др.). Важно различать ритмы (состояния) разных порядков по их продолжительности. Н. Л. Беручашвили выделяет ритмы кратковременные (продолжительностью до 1 суток), средневременные (от 1 суток до 1 года) и

длительновременные (более 1 года). Кратковременные состояния могут сменяться через несколько часов и даже минут, но они не затрагивают ландшафт глубоко. Длительновременные состояния изучены мало. На практике чаще всего приходится иметь дело со средневременными состояниями ландшафта. Они связаны прежде всего с сезонной динамикой (фазы годового цикла), кроме того, с различными погодными ситуациями преимущественно циркуляционного происхождения. Н. Л. Беручашвили ввел понятие о стексах как среднесуточных состояниях геосистем, обусловленных главным образом положением данных суток в годовом цикле функционирования и колебаниями циркуляционных процессов в атмосфере. В отличие от сезонных фаз, сменяющихся в строго обязательной очередности, стексы не образуют последовательного временного ряда. Стексы классифицируются по тем же признакам, что и фазы годового цикла, то есть по термическим условиям и увлажнению.

Кроме перечисленных выше известны также 2—3, 4—6, 11, 33—35 («брикнеровские»), 40—50, 80, 111 («вековой»), 1850—1900 («шнитниковский») и другие циклы, обусловленные солнечной активностью, гравитационными воздействиями, изменениями орбитальных характеристик Земли и т. д.

Различные ритмы проявляются в ландшафте совместно и одновременно, интерферируя, то есть накладываясь один на другой. Это обстоятельство затушевывает четкость ритмов и затрудняет их расчленение. Не все ритмы в равной степени актуальны для экологии ландшафтов. Геологические и сверхвековые циклы, проявляющиеся в планетарных масштабах, перекрывают время существования отдельных ландшафтов и имеют отношение к динамике всей географической оболочки.

Динамика развития ландшафтов проявляется в форме ландшафтных трендов и «жизненных» циклов, характеризующихся направленными необратимыми изменениями структуры и состояний ландшафтов от их зарождения до отмирания. Примерами динамики развития являются: зарождение оврага с промоины и развитие до балки с выработанным профилем и пологими заросшими склонами конкретной овражно-балочной системы; формирование озерной системы с последующим заполнением озерной котловины рыхлыми наносами и органическими остатками растений, саморазвитием водной поверхности и отмиранием озерной геосистемы как таковой. Для динамики развития характерны следующие специфические этапы и соответствующие им состояния: зарождения, молодости, зрелости, старения и полного отмирания. По сути, она определяется полным «жизненным» циклом ландшафта конкретного вида и типа. Динамика развития подчиняется определенным закономерностям, которые можно выявить с использованием методов ландшафтных анало-

гий и актуализма на местности, поэтому она относительно легко прогнозируется. Знание времени полного «жизненного» цикла ландшафта (характерного времени), его отдельных элементов и этапов развития позволяет определить возраст геосистемы и прогнозировать опасные процессы, сопровождающие те или иные стадии развития. Природные тренды, определяющие динамику развития, могут быть обусловлены как постепенными направленными процессами внутреннего саморазвития геосистемы, связанного с незамкнутостью внутренних круговоротов в относительно устойчивых условиях внешней среды, так и медленными направленными изменениями факторов внешней среды (Л. К. Казаков, 1999).

Необратимость и направленность развития ландшафтов относительна и касается только конкретных индивидов определенного уровня организации или ранга. Например, отмирает один овраг, но в данной местности имеются предпосылки или может уже существовать и развиваться другой; в пойме заносится и зарастает одна старица, но появляется и развивается аналогичным образом другая. Взаимосвязь разных стадий развития и разных поколений позволяет говорить о «жизненных» циклах развития геосистем и их относительной обратимости.

Революционная динамика ландшафтов (или динамика катастроф) проявляется в форме резких скачкообразных изменений структуры, а следовательно, и изменений состояний ландшафтов (Л. К. Казаков, 1999 и др.). Она обычно бывает обусловлена относительно случайными, быстрыми, порой катастрофическими процессами внешней среды, ведущими к сильным разрушениям ландшафтных структур регионов.

К ним относятся такие разрушительные процессы, как обвалы, лавины, сели в горах, ураганы, катастрофические ливни и наводнения, вулканические извержения, пожары, неумеренная хозяйственная деятельность и т. д. В отличие от медленно и длительно проявляющейся эволюции, динамика природных катастроф происходит в сравнительно сжатые отрезки времени и влечет за собой разрушение или полное уничтожение биоты и почвенного покрова, а порой и изменение литогенной основы ландшафта. Ландшафту после таких катастроф требуется несколько десятков, а то и сотни лет на восстановление вертикальной и горизонтальной структуры либо на становление обновленных ландшафтов на новой литогенной основе. Причем существенные изменения литогенной основы ландшафтов могут коренным образом изменить направление их развития и эволюции.

Динамика восстановительных сукцессий (или ландшафтная сукцессия) — это последовательная смена состояний ландшафта, направленная на его стабилизацию в окружающей среде. Представление о сукцессиях было перенесено в экологию ландшафтов К. Троллем.

Существующие классификации сукцессий довольно сложны и разнообразны. Прежде всего можно выделить первичные и вторичные сукцессии. Первичные сукцессии начинаются с оголенного субстрата, то есть, по сути дела, «с чистого листа», а вторичные связаны с нарушенным ландшафтом, в котором сохранился хотя бы один, а чаще несколько блоков. Кроме того, различают так называемые дигрессионные и демутационные сукцессии. Дигрессия (деградация) — процесс, обычно противоположный нормальной сукцессии развития, связанный с упрощением структуры геосистем и часто приводящий к их конвергенции. Демутация — это восстановительная сукцессия, обычно (но не всегда) эквивифинальная с нормальной сукцессией развития. Для разных типов восстановительной сукцессии используют термины: постэксарационная — для залежной сукцессии и постпирогенная — для сукцессии, начинающейся на пожарищах. В каждой сукцессии можно выделить инициальные (начальные) и терминальные (конечные) стадии — это обычно климакс или антропогенный субклимакс.

Характерные времена сукцессий имеют широкий диапазон — от десятков до тысяч лет (А. А. Тишков, 1986). В них вовлекаются все без исключения компоненты ландшафта. Каждый из компонентов имеет свой «сукцессионный статус», то есть занимает определенное положение в цепочке временных изменений геосистем. Достаточно вспомнить этапы зарастания водоема или залесение залежи, где на смену одним сообществам растений и животных приходят другие, преобразуя среду для других организмов (одна модель сукцессии) или исчерпывая свои возможности существования в данных условиях (другая модель сукцессии).

Можно говорить, что каждая ландшафтная зона, регион или даже конкретный ландшафт характеризуются наличием определенной сукцессионной смены. В большинстве случаев сукцессионные ряды заканчиваются климаксными ландшафтами, но климакс может быть не один. Кроме того, далеко не всегда сукцессионный процесс (на который, в частности, накладываются флуктуации) доходит до финальной стадии.

Существуют так называемые антропогенные субклимаксы — это устойчивые состояния ландшафтов, связанные с деятельностью человека. Примеры таких субклимаксов — верещатники атлантической Европы, суходольные луга, пирогенные сосняки.

Для реконструкции картины сукцессионных процессов важно также представление о *ландшафтно-генетических рядах*, основанное на использовании принципа пространственно-временных аналогов, или принципа *эргодичных* преобразований, то есть на выявлении пространственных рядов ландшафтов, отражающих их смену во времени (Ю. Г. Симонов, 1982). По мнению А. С. Викто-

рова (1987), широко распространены ряды, члены которых сопряжены в пространстве в той же последовательности, в которой они сменяют друг друга во времени.

Антропогенная динамика ландшафтов обусловлена хозяйственными воздействиями на природную среду. Этот вид динамики проявляется следующим образом:

- вырубка и другие виды механического уничтожения древесно-кустарниковой растительности, сопровождающиеся сокращением площади и изменениями качества лесов, распашка степей и лугов;
- ускоренная сельскохозяйственная эрозия и дефляция почв, связанные с механическими повреждениями растительного и почвенного покровов, дигрессия пастбищ и развевание песков, опустынивание;
- заболачивание подтопленных водохранилищами побережий и вторичное засоление почв на орошаемых землях в аридных ландшафтах;
- загрязнение ландшафтов и сопровождающие его нарушения растительности, почв, животного мира;
- изменения рельефа и ландшафтов карьерно-отвальными комплексами, деградация и коренные преобразования ландшафтов в городах и промышленных зонах (Л. К. Казаков, 1999).

Антропогенная динамика ландшафтов в большинстве случаев осуществляется природными процессами (эрозия, дефляция, заболачивание), однако деградация, разрушение ландшафтов — это также результат хозяйственной деятельности. Например, интенсивная эрозия почв в горах после сведения лесов; дефляция почв, эоловое рельефообразование, опустынивание после сильной дигрессии пустынных или степных пастбищ; усыхание, отмирание и изменение растительности в городах и загрязняемых промышленных зонах.

Эволюция ландшафта (или историческое развитие) характеризуется постепенными, последовательными непрерывными и направленными необратимыми (коренными) их изменениями (трендами). Эволюция обусловлена, во-первых, медленными, но длительными направленными изменениями (трендами) во внешней среде; во-вторых, внутренними спонтанными процессами исторического саморазвития ландшафтов. Если направления эволюции задаются перечисленными выше факторами, то конкретные типы ее реализации в значительной степени предопределены историко-генетическими факторами, запечатленными в структурных элементах и свойствах компонентов ландшафтов. Например, территории, сложенные с поверхности разными породами в процессе эволюционных преобразований, связанные с их медленным общим поднятием, будут иметь разную структуру эрозионного расчленения.

Эволюционные преобразования, обусловленные изменениями внешней среды, проявляются в коренных (необратимых, качественных) адаптивных перестройках морфологической структуры ландшафтов. При этом постепенно отмирают одни структурные элементы эволюционирующих ландшафтов, а на их месте формируются новые структуры, более адекватные изменившейся среде. Тем самым конкретная геосистема выходит за пределы своего инварианта и как бы превращается в качественно другую. Для проявления эволюционных преобразований длительность направленных изменений внешней среды должна значительно превышать характерное время динамики саморазвития природных ландшафтов и хотя бы части их основных структурных элементов.

Ведущими факторами внешней среды, сильно влияющими на эволюционное развитие ландшафтов, являются энергия Солнца и эндогенная энергия Земли, определяющие гидроклиматические и геолого-геоморфологические особенности территорий (геома). Среди факторов спонтанного развития геосистем значительная роль принадлежит биоте и экзогенным внутриландшафтным процессам. Именно благодаря деятельности биоты ландшафтная оболочка за 2—2,5 млрд лет претерпела кардинальные изменения структуры и функционирования.

Эволюция ландшафтов готовится их предыдущим историческим развитием, а особенно активно реализуется в периоды или фазы экстремального проявления внешних воздействий. Такие воздействия обычно связаны или с многолетними циклами функционирования и развития глобальных геосистем, или с интерференцией разных видов внешних планетарных и космических процессов. Так, влажные и сухие эпохи, обусловленные многовековыми внешними ритмами, неодинаково влияют на саморазвитие элювиальных (водораздельных) и аккумулятивных ландшафтов. Например, активная распашка водоразделов и склонов во время влажных многолетних периодов (фаз) ведет к зарождению и последующему развитию множества разнообразных овражно-балочных систем и к лучшей дренированности вмещающих их ландшафтов. Таким образом, на эволюцию природных ландшафтов влияют процессы в изменяющейся внешней среде и спонтанные процессы саморазвития, которые тесно связаны друг с другом.

Характерной особенностью ландшафтов является их метакхронность (гетерохронность), или разновозрастность. Она впервые была описана в 1938 г. К. К. Марковым. Метакхронность проявляется в том, что развитие, динамика и эволюция ландшафтов происходят несинхронно в разных геосистемах, даже если они располагаются на одной широте и имеют сходные параметры. Метакхронность относится как к природным компонентам, так и к морфологическим частям ландшафта.

4.2. УСТОЙЧИВОСТЬ ЛАНДШАФТОВ

Устойчивость — это одно из основополагающих понятий экологии ландшафтов. Ее можно рассматривать в структурном и функциональном аспектах как имманентное свойство природного ландшафта. Устойчивость в аспекте вертикальной и горизонтальной структуры ландшафта отражает форму постоянства объекта, которое задается соответствующим инвариантом. Устойчивость в аспекте функционирования отражает форму развития объекта через смены суточных, сезонных, годовых состояний, через преобразовательную и стабилизирующую динамику, в основе которой лежит отрицательная обратная связь.

Целесообразно различать устойчивость природных и природно-антропогенных ландшафтов. Под устойчивостью природных ландшафтов понимается их способность сохранять под влиянием внешних (природных и антропогенных) воздействий свою структуру. Снятие антропогенной нагрузки в этом случае приведет к возврату ландшафта в практически прежнее состояние за счет его саморегулирования. Устойчивостью природно-антропогенных ландшафтов чаще всего называют способность их продолжать выполнять, испытывая внешние воздействия, социально-экономические функции в заданных пределах. Устойчивость таких систем обеспечивается сочетанием процессов саморегуляции и управления (включая надежность техники). Поэтому по отношению к природно-антропогенным ландшафтам более верно употребление термина «надежность». При этом устойчивость понимается как природная категория, а надежность — как природно-социальная.

Устойчивость природных ландшафтов, по мнению С. Г. Покровского (2001), может быть трех видов: физическая, химическая и биологическая. Физическая устойчивость определяется прежде всего поступающим в ландшафт внешним потоком энергии. Постоянство колебаний его характеристик во времени и создает устойчивость. Увеличение амплитуды колебаний нарушает сложившееся равновесие внутри отдельных компонентов ландшафтов и внешние взаимосвязи между ними. Поэтому устойчивое физическое «состояние» сохраняется не при постоянном потоке энергии, а применительно к природным ландшафтам при постоянстве колебаний этого потока во времени. Химическая устойчивость зависит от направленности, степени и скорости превращения веществ, составляющих материальный мир. Такие процессы в ландшафтах могут сопровождаться (или не сопровождаться) изменениями их состава и строения. Равновесие поддерживается опять же постоянством колебаний во времени химических параметров воздуха, воды, живых организмов, почв, а также стабильностью и постоянством «химического обмена» между компо-

нентами ландшафта. Биологическая устойчивость также присуща ландшафтам. Особо следует подчеркнуть, что она относится не к отдельным особям, а к популяции и ее значение не меньше физической и химической. Безусловно, все три вида устойчивости тесно связаны между собой, однако насколько «потеря» одной из них приводит к «потерям» остальных — вопрос сложный, и в различных ландшафтных условиях ответ на него может быть разным.

По мнению К. Н. Дьяконова (1991), проблеме устойчивости можно решить с помощью последовательного изучения пяти относительно самостоятельных задач. *Первая* из них — это сопряженный анализ пространственно-временной изменчивости показателей ландшафтов на их «входе» и «выходе». *Вторая* — анализ изменчивости круговорота вещества и устойчивости взаимодействия потоков вещества и энергии. *Третья* — определение изменчивости показателей ландшафта по трофическим цепям и роли гетеротрофов как фактора устойчивости. *Четвертая задача* касается выявления критических значений каждого из компонентов ландшафта в отдельности, обладающего своим характерным временем, а следовательно, своей рекурперацией (термин А. А. Величко). Правило рекурперации гласит, что «геосистема тем быстрее способна к восстановлению, чем меньшим характерным временем обладает компонент, наиболее остро испытывавший внешнее воздействие»¹. Наконец, *пятая задача*, наиболее сложная — выявление пространственно-временной изменчивости и устойчивости ареалов ландшафтов, их пространственной структуры как результата функционирования.

Устойчивость не означает абсолютной стабильности, неподвижности. Напротив, она предполагает колебания вокруг некоторого среднего состояния, то есть подвижное равновесие. Надо полагать, что чем шире естественный «привычный» диапазон состояний, тем меньше риск подвергнуться необратимой трансформации при аномальных внешних воздействиях. Например, ландшафты экваториальных лесов, существующие длительное время в стабильных и узкоограниченных условиях теплообеспеченности и увлажнения, менее приспособлены к резким аномалиям этих условий, чем ландшафты умеренных широт. Однако противостоять подобным аномалиям позволяют внутренние механизмы саморегулирования, присущие различным ландшафтам. Благодаря отрицательным обратным связям эффект внешних воздействий «гасится» или во всяком случае ослабляется. Один из простых случаев: уменьшение стока в бессточное озеро вызывает сокращение площади зеркала, а тем самым —

¹ Величко А. А. Хроносектральный анализ геосистем. Полихронность геосистем // Факторы и механизмы устойчивости геосистем. М., 1989. С. 8—17.

испарения, и таким образом восстанавливается водный баланс (устанавливается новое подвижное равновесие).

В саморегулировании ландшафтов большую роль играет биота — важнейший стабилизирующий фактор благодаря ее мобильности, широкой приспособляемости к абиотическим факторам, способности восстанавливаться и создавать внутреннюю среду со специфическими режимами — световым, тепловым, водным, минеральным. Так, например, экваториальный лес противостоит интенсивному вымыванию элементов минерального питания из почвы путем накопления их в биомассе, а также интенсификацией внутреннего оборота элементов.

Роль других компонентов в поддержании устойчивости неоднородна и подчас противоречива. Климат и влагооборот быстро реагируют на входные воздействия и сами по себе крайне неустойчивы, но быстро восстанавливаются. Твердый фундамент — это один из наиболее устойчивых компонентов, но в случае нарушения не способен восстанавливаться, и поэтому его нарушение (в основном в результате денудации) ведет к необратимым изменениям в ландшафте. Поэтому стабильность твердого фундамента — это важная предпосылка устойчивости ландшафта, но основным стабилизирующим фактором, поддерживающим гравитационное равновесие в системе и препятствующим денудации, служит растительный покров.

Приведем общие критерии природной устойчивости ландшафтов. Прежде всего это высокая организованность, интенсивное функционирование и сбалансированность функций геосистем, включая биологическую продуктивность и возобновимость растительного покрова. Эти качества определяются оптимальным соотношением тепла и влаги.

Степень устойчивости ландшафтов пропорциональна их рангу. Фации наименее устойчивы к внешним воздействиям и наименее долговечны. Ландшафт — система значительно более устойчивая, что наглядно показывают наблюдения над его реакцией на преднамеренное и непреднамеренное вторжение человека с его хозяйственной деятельностью.

Устойчивость природного ландшафта зависит от его возраста и соответствия его структуры и динамики зонально-региональным условиям. Разные возрастные категории ландшафтов — молодые, зрелые и отмирающие (В. А. Николаев, 1979) — имеют различную устойчивость. Молодые ландшафты, переживая фазу структурно-динамической перестройки, неустойчивы. Наиболее устойчивы зрелые ландшафты с относительно стабильной динамикой и структурой, соответствующими зонально-региональным условиям. Отмирающие ландшафты, находясь в несогласии с современными условиями, сохраняют свою структуру лишь благодаря процессам саморегулирования; под влиянием внешних условий она быстро меняется. Есть

предположение, что чем теснее (сильнее) связи в ландшафте, тем меньше его устойчивость (А. Д. Арманд, 1983).

Всякий ландшафт приспособлен к определенной природной среде, в рамках которой он устойчив и нормально функционирует. В механизме **устойчивости ландшафтов к техногенным нагрузкам** роль отдельных компонентов, процессов или свойств может оказаться неоднозначной и даже противоречивой. Так, с точки зрения противодействия техногенному химическому загрязнению благоприятными внутренними факторами следует считать интенсивный сток и большую скорость ветра. Но те же факторы благоприятствуют эрозии и дефляции, то есть определяют неустойчивость ландшафта к механическому воздействию. Критерии устойчивости к химическому и механическому воздействию в значительной степени исключают друг друга. Даже такой общепризнанный стабилизирующий фактор, как растительный покров, может играть при химическом загрязнении отрицательную роль, поскольку способен аккумулировать вредные соединения и элементы.

При анализе устойчивости ландшафтов к техногенным воздействиям необходимо опираться на региональные и локальные ландшафтно-географические закономерности, на таксономию и классификацию ландшафтов. При самых широких сравнениях отчетливо выявляются различия в устойчивости ландшафтов различных типов. Так, тундровые ландшафты очень неустойчивы ко всяким техногенным нагрузкам, сильно ранимы и очень медленно восстанавливаются. Дефицит тепла определяет низкую активность биогеохимических процессов и медленную самоочищаемость от промышленных выбросов. При разрушении почвенно-растительного покрова нарушается тепловое равновесие многолетнемерзлых пород, что вызывает просадки, термокарст, разрушение фундаментов сооружений и т. д.

Таежные ландшафты в целом более устойчивы, чем тундровые, благодаря большей теплообеспеченности и мощному растительному покрову. Обильный сток благоприятствует удалению водорастворимых загрязняющих веществ. Однако биогеохимический круговорот еще довольно замедленный, микробиологическая активность слабая. Устойчивость таежных ландшафтов снижается также из-за заболоченности и при сведении лесного покрова.

Высокой устойчивостью обладают ландшафты степной зоны, где наблюдается наиболее благоприятное соотношение тепла и влаги. Высокая биохимическая активность степных ландшафтов способствует их довольно большому самоочищению. Однако широкомасштабная распашка степных ландшафтов существенно понизила их устойчивость (происходит интенсивная сработка гумуса, уплотнение почв, заболачивание при орошении, развивается водная и ветровая эрозия и т. д.).

В пустынных ландшафтах интенсивная солнечная радиация способствует быстрому самоочищению от отмерших растительных остатков и органических загрязнителей, но вынос продуктов техногенеза замедлен из-за недостатка влаги, и эти продукты легко накапливаются на геохимических барьерах — понижениях, впадинах. Растительность пустынь устойчива к тяжелым металлам и способна накапливать их, тем самым содействуя аккумуляции их в ландшафтах. Легкая ранимость растительности обуславливает неустойчивость ландшафтов к механическим нагрузкам, создаваемым выпасом, передвижением транспортных средств и т. д. Минерализованность почвогрунтов и грунтовых вод — фактор неустойчивости к ирригации. Поэтому пустынные ландшафты малоустойчивы.

При более детальном анализе в пределах каждого типа может быть обнаружено большое разнообразие условий, связанное со спецификой отдельных ландшафтов и их видов. Например, в восточноевропейской тайге различная устойчивость к техногенным загрязнениям присуща возвышенным задровым равнинам, холмисто-моренным возвышенностям, низменным заболоченным равнинам и т. д. Наконец, дальнейшая конкретизация требует учета морфологического строения ландшафта. Например, в пределах таежных холмисто-моренных ландшафтов наблюдается большая контрастность урочищ и фаций по их устойчивости к различным воздействиям. От геохимической сопряженности фаций зависит перераспределение внутри ландшафта различных техногенных загрязнителей. Так, с одной стороны, наличие геохимических барьеров способствует очищению плакорных и склоновых (автономных) фаций, но обуславливает формирование очагов аккумуляции в местных депрессиях, водоемах, болотах. С другой стороны, «благополучные» в этом отношении вершинные и склоновые фации неустойчивы к механическим нагрузкам (распашке, рекреации и т. д.).

4.3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ЛАНДШАФТОВ

Каждый ландшафт — это своего рода «фабрика», которая производит специфические физико-географические «продукты» — почвы, кору выветривания, биомассу, речной и грунтовый сток и др., поглощает солнечную радиацию, превращает ее в другие формы энергии, осуществляет влагообмен, деструкцию органического вещества, его минерализацию и многие другие процессы. Кроме того, ландшафты рассматриваются как природные условия, вместилища или продуценты естественных ресурсов, приемники и редуценты отходов хозяйственно-бытовой деятельности, обладающие динамическими свойствами. Поэтому ландшафтные комплексы выполняют в природе и обществе ряд экологических функций.

Экологические функции — это свойства ландшафтных комплексов сохранять (до определенных пределов) и воспроизводить специфические параметры природной среды, имманентно присущие соответствующим ландшафтам и обусловленные их функционально-динамическими и эволюционными особенностями.

Классификация экологических функций ландшафта. В экологии ландшафтов фундаментальной особенностью ландшафта признается не только его полиструктурность, но и полифункциональность. Поэтому все многообразие функций ландшафта можно свести к двум категориям — природным (собственно экологическим) и социально-экологическим. Природные функции — газообменная, водо- и климатоформирующая и регулирующая; почвообразующая и почвозащитная; сохранения биологического разнообразия (или биотопическая); биопродукционная; биологического круговорота и миграции химических элементов. Социально-экологические функции — ресурсная (ресурсодержащая и ресурсовоспроизводящая); средосодержащая и средовоспроизводящая; пространственного базиса, мест размещения хозяйственной деятельности и расселения людей; удаления отходов производства и потребления; сохранения *in situ* (в местонахождении); научная, образовательная, эстетико-художественная.

Каждая из групп функций представляет собой сложное сочетание множества более частных функций. При этом ни одна из функций не может осуществляться сама по себе, вне взаимосвязи природных и антропогенных компонентов и функций ландшафта.

Газообменная, водо- и климатоформирующая и регулирующая функции. Данная группа функций ответственна за сохранение газового состава атмосферы, за стабильный круговорот и достаточное количество чистой пресной воды, за устойчивость такой динамической системы, как климат Земли. Эта группа функций обеспечивается прежде всего нормальным состоянием растительного и почвенного покровов. Именно эти два компонента ландшафта являются основными регуляторами множества процессов, связывающих в целостную систему состав атмосферы, гидрологический цикл и климат. Объединение их в одну группу функций обусловлено именно этими тесными связями. И именно эта система связей может быть существенно нарушена человеком, если он своей деятельностью повредит какое-либо звено в цепочке этих связей.

Почвообразующая и почвозащитная функции. Почвообразование принадлежит к числу важнейших функций ландшафта. На формирование зрелой полноценной почвы требуется длительное время — сотни и тысячи лет. В этом процессе участвуют практически все компоненты ландшафта, а нарушения почвы, причем нередко необратимые, могут происходить очень быстро — за несколько лет. Вырубка леса, неправильная распашка, применение тяжелой техни-

ки, избыточные количества удобрений, использование ядохимикатов для борьбы с сорняками и многое другое может привести к интенсивному развитию эрозии и полному смыву плодородных горизонтов почвы, к значительным изменениям состава почвы и ее многих других свойств. Поэтому для сохранения почвенного покрова необходимо проводить различные почвозащитные мероприятия.

Биопродукционная функция. Эта функция лежит в основе почти всех пищевых цепей и трофических пирамид на Земле (за исключением хемосинтетических ценозов), то есть это формирование первичной и вторичной продукции ландшафтов, обеспечивающей многообразие жизни на Земле. Одновременно органическое вещество, продуцируемое зелеными растениями (а именно они поставляют более 90 % биомассы), служит основой функционирования всего ландшафта и важнейшей составной частью биологического круговорота.

Функция сохранения биологического разнообразия (или биотопическая функция). Эта функция означает способность ландшафта и всех его местообитаний сохранять необходимый уровень биологического разнообразия, включая разнообразие на генетическом, видовом и ландшафтном уровнях. И поскольку в каждом ландшафте существует множество биотопов, то есть множество разных мест обитания, пригодных и привычных для различных растений и животных, нужно поддерживать это разнообразие на определенном уровне. Таково важнейшее условие сохранения устойчивости ландшафта. Ведь в общем случае любая система тем эффективнее справляется с нарушениями, чем выше разнообразие слагающих ее элементов.

Функция биологического круговорота и миграции химических элементов. Эта группа функций ответственна за поддержание глобального и регионального балансов биогенных элементов, жизненно важных микроэлементов, а также за межландшафтный геохимический обмен элементами. Позитивный эффект от выполнения этой функции состоит в обеспечении свободного накопления и передаче по биотическим (пищевым цепям) и абиотическим каналам (сток, атмосферный перенос и т. д.) различных химических элементов.

Ресурсная (ресурсосодержащая и ресурсовоспроизводящая) функция. Эта группа функций связана с тем, что ландшафт, выполняющая роль ресурсной системы, обладает способностью содержать (хранить) и воспроизводить ресурсы. Как ресурсосодержащая система ландшафт располагает и невозобновимыми ресурсами (полезными ископаемыми), и возобновимыми (водными, биологическими). Говоря о ресурсовоспроизводящих свойствах ландшафта, мы имеем в виду его способность воспроизводить некоторые возобновимые ресурсы, например биологические, и частично возобновимые — воду.

Средосодержащая и средовоспроизводящая функции. Ландшафт, создавая условия для жизни людей, обладает способностью

быть средообразующей и средовоспроизводящей системой: это и чистые воздух и вода, и возможности для отдыха человека и восстановления его здоровья в естественной природной среде. В реализации этой группы функций заключается социальный смысл охраны природы. Кроме того, с этой группой функций (особенно со средовоспроизводящей функцией), с ее сохранением связано выживание человечества. Средовоспроизводящая группа функций называется немецкими географами ландескультурной.

Функция пространственного базиса, мест размещения хозяйственной деятельности и расселения людей. Эта группа функций самая обширная и разнородная. Она включает промышленную, селитебную, транспортную, сельскохозяйственную, рекреационную, лесо- и водохозяйственную деятельность людей. Все перечисленные виды хозяйственной деятельности связаны с ландшафтом и его многими компонентами отношениями одного типа — для осуществления перечисленных видов хозяйственной деятельности общество нуждается в достаточно обширных пространствах ландшафта с его сложной структурой и разнообразием свойств компонентов.

Функция удаления отходов производства и потребления. Эта функция означает, что ландшафт способен не только принимать отходы производства и жизнедеятельности (то есть быть пространственной основой для их размещения), но и трансформировать загрязняющие вещества, разлагать их и тем самым предотвращать или ослаблять негативные последствия для самой жизни и деятельности людей.

Функция сохранения *in situ* (в местонахождении). Это специфическая функция охраняемых (особо ценных) территорий (мирового, национального и т. д. наследия). Она означает, что ландшафт самодостаточен в своей данности и естественноисторическом окружении, он имеет высокий природно-экологический потенциал и должен быть сохранен в своих характерных чертах и параметрах, в своем «местообитании», например национальный ландшафт. Цели такого сохранения могут быть как научные, так и эстетические, познавательные, мемориальные и другие.

Научная, образовательная, эстетико-художественная функции. Ландшафт не только носитель разнообразных материальных свойств, он имеет существенные информационные и культурные функции. Его можно рассматривать как «книгу знаний о природе», как «природную лабораторию» для изучения механизмов взаимосвязей между компонентами ландшафта в целях разработки путей рационального использования богатств природы и как источник эстетического и этического восприятия.

Смена функций ландшафта. Ранее считалось, что использование ландшафта для решения той или иной задачи исключает одновременное его использование для решения других задач. Это допущение

предшествующего опыта обосновывалось суждением о том, что оптимальным является положение «один ландшафт — одна функция». Так, застройка ландшафта исключает одновременное его использование для земледелия или заготовки древесины, что в свою очередь приводит к невозможности использования ландшафта в рекреационных целях и т. д. Правда, известны примеры и множественности функций, последовательно выполняемых одним ландшафтом (сельскохозяйственные угодья зимой могут использоваться для лыжных прогулок) или одновременно (река используется как транспортная артерия, источник водоснабжения, рыболовное угодье, место отдыха). Суждение «один ландшафт — одна функция» приводит к экстенсивному развитию хозяйства, когда набор (число) ландшафтов количественно превышает набор потребностей и соответствующих им функций. В случае интенсивного развития хозяйства эти рекомендации непригодны, особенно в работах по территориальному планированию и проектированию. Именно здесь необходимо учитывать появление у общества новых потребностей; изменение спроса на территорию в условиях изменяющихся общественных потребностей; фактор времени (темп) в изменении потребностей и их требований к ландшафту; конфликтность ряда ситуаций при определении функций ландшафта. При этом, с одной стороны, сам факт проектирования нового объекта свидетельствует о неизбежной смене функций ландшафта и о придании ландшафту новой функции, а с другой — техническая система закрепит новую функцию на многие десятилетия и затруднит возможность последующей смены функций ландшафта при изменившихся потребностях общества.

При смене функций ландшафтов различают две группы ситуаций. Первая группа связана с «первичным» хозяйственным освоением ранее не вовлеченных в хозяйственный оборот территорий. При этом ландшафты, ранее представляющие собой чисто природные комплексы, впервые приобретают общественную функцию. Этот процесс имеет тенденцию к экстенсивному росту «вширь». Вторая группа ситуаций связана с изменением функций используемых территорий. Это направление характерно для уже освоенных районов. Данная ситуация отражает тенденцию, связанную с переходом старообжитых территорий к более интенсивному развитию.

Смена функций может происходить по двум направлениям: революционному и постепенному (или эволюционному). Революционная смена предполагает прекращение выполнения одной функции и переход к совершенно другой (качественное изменение). Постепенное изменение происходит эволюционно в рамках одного типа функций. Это деление условно, так как оценка сущности изменения зависит от направленности и детальности анализа. Например, трансформация одних сельскохозяйственных угодий в другие

(лес — луг — пашня — дачные участки) выступает как смена функций ландшафта. С более общих позиций его функция — использование для получения продуктов питания — не меняется.

Обычно смена функций ландшафта происходит при смене его социально-экономических функций по определенному направлению: от менее необходимых для общества в данный момент к более необходимым. Смена функций сопровождается, как правило, повышением или внедрением новых технических систем, глубиной изменения связей между компонентами ландшафтного комплекса. Такую смену называют синантропизацией, а обратный ход, более редкий — ренатурализацией. Синантропизация требует значительных материальных затрат и осуществляется быстрее, чем ренатурализация, особенно если последняя связана с восстановлением первоначального состояния (восстановление почвенного покрова, растительности и т. д.). Так, превращение участка целины в поле при современной технике может быть осуществлено в течение одного сезона. Восстановление же исходных биоценозов на ранее распаханном участке потребует более длительного срока.

Степень устойчивости ландшафтных функций различна. Более стабильным оказывается закрепление определенных мест за теми функциями, которые или предъявляют повышенные требования к экономико-географическому положению, или сопряжены с трудоемкой и дорогостоящей подготовкой территории и созданием сложных технических систем, или же сочетают в себе те и другие требования. Например, города, многие из которых устойчиво сохраняются на одних и тех же местах веками, или оазисы. Однако и здесь сохранение функций определяется не столько самими свойствами места, сколько действием на каждом историческом этапе общественных сил, заинтересованных в развитии соответствующих функций.

Для точечных и линейных объектов (города, сельские населенные пункты, водные и сухопутные пути и т. п.) характерна относительная стабильность функций с точки зрения способа использования территории. В то же время народнохозяйственные функции объекта (тип города или поселка, характер грузопотока транспортной линии и т. д.) подвержены довольно быстрой смене. Функции площадей (районов, зон и т. п.) меняются довольно существенно как под воздействием изменений потребностей и способов их удовлетворения, так и в результате включения в функциональную схему новых ландшафтов, принимающих на себя определенные функции. При этом непрерывно идущая смена функций ландшафтов требует обоснования принципов их выбора. Первый принцип — это гуманистический, приоритета здоровья современного и будущего поколений. Второй — обязательность сохранения за ландшафтами способности воспроизводить в настоящем и будущем полезные свойства (В. С. Преображенский и др., 1988).

5. ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИИ ЛАНДШАФТОВ

5.1. ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ НАГРУЗОК НА ЛАНДШАФТЫ

Антропогенно-техногенные нагрузки на ландшафты и их классификация. Интенсивность воздействия хозяйственной деятельности на природу, а соответственно степень и масштабы изменения ландшафтов неодинаковы. В связи с этим введено понятие «нагрузка». Под нагрузкой понимают меру антропогенно-техногенных воздействий на ландшафт, которые могут привести к изменению их отдельных свойств и нарушению выполнения им заданных социально-экономических функций¹. Антропогенная нагрузка — это всегда воздействие, прямо или косвенно производимое на тот или иной ландшафт с участием человека (общества). Преобладающая часть воздействий осуществляется с помощью различных технических средств (вспашка земли — плугами на тракторной тяге, загрязнение реки — неочищенными стоками промышленных предприятий и т. д.). Такого рода воздействия (и связанные с ними нагрузки) принято называть антропогенно-техногенными или просто техногенными. Сравнительно небольшой удельный вес имеют чисто антропогенные нагрузки (например, вытаптывание людьми почвы и напочвенного покрова). И, наконец, можно выделить еще один тип нагрузок, играющий в ряде районов весьма существенную роль — влияние на ландшафты выпаса скота, — это антропогенно-зоогенная нагрузка (И. Ю. Долгушин, 1990).

Целесообразно различать нагрузку на природные и природно-антропогенные ландшафты. Для природных ландшафтов любое воздействие — это нагрузка. Для сбалансированного природно-антропогенного ландшафта нагрузкой считается новое воздействие, производимое сверх ранее запланированного (например, прокладка дорожной сети в сельскохозяйственном ландшафте, использование лесохозяйственного ландшафта в рекреационных целях). Особенно уязвима для нагрузок природная составляющая антропогенного ландшафта.

Нагрузка может быть *целенаправленной*, если она связана с поддержанием функционирования ландшафтов в заданном режиме (распашка, рубка леса и т. д.), или *побочной* (вынужденной), если она является следствием прямого воздействия на ландшафты (загрязнение среды, потеря плодородия почв и т. д.).

¹См.: Охрана ландшафтов. Толковый словарь / отв. ред. В. С. Преображенский. М., 1982.

Нагрузки на ландшафт дифференцируются и по ряду других показателей. Так, *по времени проявления* могут быть выделены:

- эпизодические нагрузки, связанные с существованием сравнительно редких, как правило, кратковременных воздействий (аварийный сброс в водоем сильнозагрязняющих веществ; лесной пожар);
- периодические нагрузки (внесение на поля удобрений; производимый весной и осенью в охотхозозяйствах отстрел водоплавающей дичи);
- практически непрерывные нагрузки (выбросы в воздух пыли и газов из труб доменных цехов; забор воды из водоемов на хозяйственно-бытовые нужды).

По месту проявления в пространстве различают:

- локальные нагрузки: а) локально-точечно-изолированные (например, создание пруда); б) локально-точечные с линейно-поточковым или диффузионным распространением (например, создание в степи скотоводческой фермы с выпасом скота в ее окрестностях);
- локальные нагрузки, переходящие со временем в региональные (например, интенсивное локальное загрязнение одного участка крупного озерного водоема нередко приводит к загрязнению всего водоема);
- региональные воздействия, с самого начала направленные на охват большой территории (например, орошение земель в аридной зоне с помощью крупного канала).

В зависимости от *возможности управления* выделяются нагрузки:

- контролируемые (например, подаваемая для орошения полей вода строго измеряется с помощью специальных приборов);
- слабоконтролируемые (например, подача воды для орошения полей производится «на глаз», с обычной тенденцией дать воды «побольше»);
- неконтролируемые нагрузки (например, аварийные выбросы загрязняющих веществ).

Исходя из *социально-экономических функций ландшафтов*, выделяются следующие виды нагрузок: пастбищная, земледельческая, мелиоративная, лесохозяйственная, водохозяйственная, промышленная, транспортная, градостроительная, рекреационная (А. Г. Емельянов, 2002).

Пастбищная нагрузка выражается в изъятии фитомассы травостоя, дигрессии растительности, уплотнении, изменении водного режима, а в ряде случаев — и в дефляции почв. Для определения ее величины используются такие показатели, как количество голов скота на 1 га пастбищ, стадии дигрессии, процент площади деградированных пастбищ и т. д.

Земледельческая нагрузка включает изъятие биомассы и отчуждение питательных веществ вместе с урожаем сельскохозяйственных культур, распашку почв, внесение в нее удобрений и ядохимикатов, потерю плодородия почв в результате эрозии, перераспределение веществ при пахоте и другие воздействия. Распространенные показатели для ее измерения — процент распаханности территории, внесение удобрений на 1 га пашни, смыв почвы (т/га), площадь эродированных земель (в процентах от площади пахотных земель) и другие показатели.

Мелиоративная нагрузка связана в основном с осушением и орошением земель, обводнением пастбищ, внесением удобрений и других химических соединений, поверхностным и коренным улучшением лугов и пастбищ, рекультивацией нарушенных ландшафтов. В качестве ее показателей могут выступать нормы осушения и орошения, площадь мелиорированных угодий, площадь рекультивированных земель и т. д.

Лесохозяйственная нагрузка состоит из изъятия наземной фитомассы при лесозаготовках, изменении состава лесных фитоценозов, выгорании древостоя при пожарах, проведении мероприятий по уходу за лесом и т. д. Ее можно определить объемом вырубленной древесины относительно расчетной лесосеки, площадью вырубленной древесины, площадью лесов, сгоревших во время пожаров, и другими показателями.

Водохозяйственная нагрузка выражается в использовании воды для целей водопотребления, сбросе загрязненных вод, образовании новых водоемов (водохранилищ, прудов, каналов и т. д.), изменении гидролого-гидрохимического режима аквальных и наземных комплексов. Для ее измерения могут быть использованы такие показатели, как объемы изъятия воды и сброса загрязненных вод, площади затопленных земель, изменения трофического статуса водоемов и т. д.

Промышленная, транспортная и градостроительная нагрузки вызывают наиболее глубокие изменения в состоянии ландшафтов. Они связаны с отчуждением территории, извлечением и использованием природных ресурсов, коренным нарушением ландшафтов, загрязнением окружающей среды, рекультивацией земель. Для определения их величин разработан ряд характеристик — процент площади отчужденных, нарушенных и застроенных земель, степень загрязнения среды, плотность транспортных коммуникаций, состояние здоровья и плотность населения и т. д.

Рекреационная нагрузка заключается в дигрессии растительности, уплотнении почвенного покрова, сооружении искусственных объектов для целей отдыха и туризма, проведении различных мероприятий по усилению пейзажной выразительности ландшафтов. Определить рекреационную нагрузку можно с помощью

таких показателей, как количество отдыхающих (чел/га), которое приходится на единицу площади за определенный промежуток времени, стадия рекреационной дигрессии, процент площади, занятой рекреационными ландшафтами, и т. д.

В ландшафтах регионального уровня, как правило, одновременно проявляется несколько видов антропогенных нагрузок. Нередко эти нагрузки «накладываются» друг на друга в пределах одной ландшафтной системы. Например, в урбанизированных ландшафтах совмещаются градостроительные, промышленные, транспортные, рекреационные воздействия. В такой ситуации возникает необходимость разработки суммарных показателей нагрузки на исследуемые ландшафты в целом. Для решения этой задачи чаще всего применяются системы балльных оценок с использованием весовых коэффициентов. Величина коэффициента зависит от степени антропогенного изменения ландшафтов (а следовательно, и категории используемых земель): чем сильнее изменения, тем выше балл, который присваивается тому или иному виду нагрузки.

Важное значение имеет определение норм нагрузки на ландшафты, то есть величины антропогенного воздействия, не приводящего к нарушению социально-экономических функций ландшафта. Критической или предельно допустимой нагрузкой считается такая нагрузка, при превышении которой происходит разрушение структуры ландшафта и нарушение его функций. Нормы рассматриваются как критерии, определяющие допустимость или невозможность вмешательства человека в природу; средство контроля за осуществляемой деятельностью в сфере природопользования; форма правовой гарантии экологической безопасности здоровья населения, а также как гарантия сохранения некоторых природных объектов или их отдельных свойств (Т. Д. Александрова, 1990).

Основные принципы (правила) ландшафтно-экологического нормирования. Деятельность по обоснованию и разработке норм нагрузок получила название *нормирования*. Выбор средств и действий для разработки научных подходов к нормированию опирается на общие принципы нормирования и принципы, вытекающие из системных свойств ландшафтов. Общие принципы, свойственные любому виду нормирования, вытекают из необходимости учета в процессе нормирования следующих аспектов — общенаучного, социально-экономического, организационно-управленческого, информационного и некоторых других. Принципы, вытекающие из системных свойств ландшафта, основываются на свойствах ландшафта как сложной пространственно-временной системы.

Наиболее важные принципы ландшафтно-экологического (геоэкологического) нормирования следующие. Нормы нагрузок на ландшафт должны быть *территориально дифференцированными*. Этот принцип

является следствием существующей в географической оболочке территориальной дифференциации — наличия множества отличающихся друг от друга как природных, так и природно-антропогенных ландшафтов.

Нормы нагрузок могут быть *типовыми или индивидуальными*. Существующее в реальности множество ландшафтов, с одной стороны, показывает относительную уникальность каждой отдельной геосистемы, а с другой — наличие множества сходных типов ландшафтов (по зональным признакам — тундровые, таежные, степные и т. д., по аazonальным — горные, равнинные, пойменные, котловинные). Существование типологического разнообразия и одновременно индивидуальной неповторимости каждого отдельного ландшафта обуславливает необходимость разработки типовых и индивидуальных ландшафтных норм. Типовые нормы разрабатываются также для определенных типов хозяйственных объектов — промышленных, транспортных, сельскохозяйственных; индивидуальные нормы — для уникальных ландшафтов.

Нормы всегда имеют *целевую ориентацию*, так как они могут быть разработаны лишь для конкретных целей. Это может быть, например, сохранение ресурсов (нормы, ограничивающие пользование разными видами ресурсов), среды (нормы на качество свойств среды), генофонда (нормы на допустимые величины отстрела животных, сбор плодов, на размеры площади охраняемых территорий). Отметим, что в большинстве случаев целью выступает сохранение некоторого диапазона состояний ландшафта, при которых ландшафт выполняет заданные ему функции; производство определенного количества и качества сельскохозяйственной продукции без ущерба для агроландшафта и окружающей его среды; сохранение определенного качества воды и трофности водной экосистемы, пригодной для жизни рыбы, и т. д.

Нормы нагрузок на ландшафт не могут быть жесткими, однозначными. Они должны быть *вариантными*, зависящими от постоянно меняющихся состояний ландшафта, от множества факторов, определяющих нагрузку, от задаваемых целей.

При этом нормы нагрузки на ландшафт могут быть стратегическими (то есть относительно стабильными, рассчитанными на достаточно большой промежуток времени) и оперативными, меняющимися в зависимости от изменения состояния ландшафта или от смены его функций.

Нормы должны иметь *иерархическую структуру*. Это связано со сложной иерархической структурой географической оболочки, наличием в ней нескольких уровней (локального, регионального, глобального), а также с иерархическим уровнем административно-хозяйственной деятельности (например, страна — область — районы —

природно-хозяйственные регионы и т. д.). На каждом из уровней могут нормироваться как одинаковые, так и разные нагрузки.

Кроме того, нормы должны быть *научно-обоснованными*, в том числе экспериментально установленными и статистически достоверными, понятными для специалистов и населения, простыми для контроля в процессе использования. Они должны быть выраженными в четких конкретных единицах — весовых, объемных, территориальных, временных (например, кг/га, мг/л, т/км², т/год и т. д.), а при необходимости — пересчитанными на 1 человека или тысячи жителей.

5.2. ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Многообразие хозяйственной деятельности порождает многообразие видов проектирования. Особое место занимает геоэкологическое проектирование — проектирование различных геотехнических (природно-технических) систем — объектов физико-географической размерности в рамках географической оболочки (К. Н. Дьяконов, А. Дончева, 2002). Любой проект должен учитывать воздействие техники на природу и обратное влияние измененных природных условий на технические объекты и здоровье населения. Поэтому в качестве объекта проектирования выступает не только техническое сооружение как таковое, а система «техническое сооружение — природные комплексы — человек». Такой подход требует изучения и проектирования целостной природно-технической системы, а не просто «вписывания» технологии, объекта или инженерного сооружения в ландшафт¹.

Концепция природно-технических (геотехнических) систем. Становление концепции природно-технических (ПТС), или геотехнических (ГТС), систем происходило, с одной стороны, спонтанно и было обусловлено логикой развития географической науки. С другой стороны, на ее формирование повлияли идеи кибернетики и теории систем, активное внедрение которых в географию началось с середины 60-х гг. XX в. Определенную роль сыграло развитие проблем регулирования и управления природными процессами в смежных с географией науках — геологии, геохимии, гидротехнике, мелиорации и др.

Вычленение техники как особого вида антропогенного влияния на природную среду предпринял в 30-х гг. XX в. А. Е. Ферсман, который предложил термин «техногенез». Позднее идеи геохимии техногенеза нашли среди географов признание и развитие (М. А. Глазовская, А. И. Перельман, Н. С. Касимов и др.). Учение о культурном ландшафте (Ю. Г. Саушкин) и близком к нему антропогенном

¹См.: Геоэкологические принципы проектирования природно-технических геосистем / отв. ред. Т. Д. Александрова, В. С. Преображенский. М., 1987.

ландшафте (Ф. Н. Мильков) позволило нарисовать реальную картину состояния современных ландшафтов. В начале 60-х гг. XX в. Г. Ф. Хильми, обратив внимание на возрастающую роль техники в преобразовании природы, отметил ее контролирующую и созидающую роль в природной среде. Существенное влияние на становление концепции ГТС оказало учение о социальном обмене веществ и энергии (СОВ), разработанное И. П. Лаптевым (1970). Им выделены четыре группы систем, созданных обществом для социального обмена веществом: захватывающая (добывающая) система, перерабатывающая, выделительная и транспортная. Интересна мысль Б. Б. Родомана о возникновении на стыке физической и экономической географии двух новых научных дисциплин — геотехнологии и геоэкономики.

Теоретические и методологические аспекты концепции ГТС успешно стали развиваться с середины 60-х гг. XX в. в Институте географии АН СССР (И. П. Герасимов, В. С. Преображенский, Д. Л. Арманд, Л. Ф. Куницын, А. Ю. Ретеюм, К. Н. Дьяконов и др.). Ее становление связано главным образом с изучением влияния гидротехнических систем (водохранилищ ГЭС, мелиоративных систем). В 1972 г. вышла работа А. Ю. Ретеюма, К. Н. Дьяконова и Л. Ф. Куницына, посвященная взаимодействию техники с природой и геотехническим системам, где были намечены основные принципы концепции ГТС, рассмотрена логическая модель ГТС, вопросы управления и влияния ГТС на окружающую среду. В последующих разработках географов углублялись как теоретические, так и практические стороны концепции ГТС.

В настоящее время ГТС рассматривается как образование физико-географической размерности, у которой природные (как специально созданные человеком, так и естественные, но непреднамеренно измененные в процессе действия техники) и технические части настолько тесно взаимосвязаны, что функционируют в составе единого целого. Более широкое понятие природно-технической системы — это сочетание техники и природы или природных и технических подсистем. Целостность ГТС predetermined на технологией производства и достигается вещественными, энергетическими и информационными потоками (связями).

ГТС — это системы открытые, обменивающиеся со средой веществом и энергией. Поэтому они образуют сферу влияния, состоящую из зон, подзон и поясов, в пределах которых природные процессы в той или иной степени детерминированы функционированием ГТС. Управление ГТС предусматривает учет состояния всех подсистем, в том числе природной в сфере влияния, что необходимо для реализации на практике принципа оптимизации.

В структурном отношении ГТС могут рассматриваться с помощью двух моделей — межкомпонентной и территориальной. В межкомпо-

нентной модели внимание обращено на выделение технологических элементов и блоков, таких как технический, природный и управленческий. Технический блок представлен различного рода сооружениями, устройствами и механизмами, которые образуют в его пределах один или несколько технических комплексов. Природный блок состоит из природных комплексов того или иного ранга, включая комплексы уже измененные человеком. Блок управления образуют люди со вспомогательными техническими средствами, нередко автоматическими.

Структуру ГТС можно также охарактеризовать в территориальном аспекте. При этом большинство ГТС включает в себя технические ядра (производственные цеха, фабрики и т. д.); рабочие площади (обычно примыкающие к техническим ядрам); подсобные рабочие площади (временные склады сырья и т. д.); зоны влияния техники на природу; зоны влияния природы на технику.

ГТС — это системы территориальные. Поэтому возникает вопрос об их территориальных границах и их картировании. Поскольку ГТС формируются под влиянием как природных, так и антропогенных факторов, то при проведении их границ следует руководствоваться не каким-либо одним из этих факторов, а их совокупностью. Надо отметить, что в ряде случаев границы природной и антропогенной составляющих ГТС могут совпадать или быть очень близкими, например в системах сельскохозяйственных, лесохозяйственных. Однако часто они не совпадают. Опыты выделения и картографирования ГТС уже имеются. Чаще всего они относятся к средне- и мелкомасштабным исследованиям, при которых для выделения ГТС оперируют обобщенными показателями. Обычно используется способ наложения границ природной и технической составляющих и последующего проведения общей (интегральной) границы ГТС. Эта общая граница в одних случаях, видимо, может проводиться по природным рубежам, а в других — по антропогенным.

Гораздо сложнее обстоит дело с проведением границ и картографированием ГТС в крупном масштабе. В этих случаях кроме границ распространения самой системы необходимо учитывать, с одной стороны, границы зон влияния техники на природу и природы на технику. При установлении границ зон влияния техники на природу нередко мешают отсутствие точных фактических данных, где именно на местности заканчивается зона влияния; неясность, какому виду влияний (а их бывает несколько и проявляются они одновременно) следует отдать предпочтение; неразработанность вопроса о том, можно ли проводить границу по фактическим показателям влияния или же ее следует отодвигать до естественной границы природного комплекса, исходя из того, что вся его территория со временем все равно подвергнется изменению. В связи с тем, что трудности эти преодолеть пока не всегда удастся, задача часто сводится к определению не истинной, а ус-

ловной границы ГТС (если, конечно, этому не противоречат цели исследования). За условную границу обычно принимают обобщенный (генерализованный) контур всей совокупности составляющих ГТС площадей, которые по периферии представлены главным образом зонами влияния техники на природу. При этом, естественно, предпочтение отдается границам совпадения двух или нескольких зон. Вместе с тем очевидно и то, что для картографирования ГТС может быть использовано несколько (множество, система) рубежей. Набор их в каждом конкретном случае может меняться.

Функционирование ГТС осуществляется в ходе реализации многочисленных связей, которые существуют как внутри геотехсистем, так и между ГТС в целом и другими контактирующими с ними природными, геотехническими и социально-экономическими системами. Связи эти разнообразны: технологические, директивные, координационные, контрольные, информационные, защитные, товарно-производственные и т. д. С географической точки зрения особое значение имеют два вида связей — определяющие (или локализирующие) и преобразовательные (или изменяющие). В основе локализирующих связей лежит свойство природной среды, определяющее размещение техники в пространстве (например, ГЭС всегда сооружается в суженной части долины), а также обуславливающее многие ее конструктивные особенности (у ГЭС, в частности, — общие параметры, характер фундамента и т. д.). Более сложен вопрос о преобразовательных связях. Они могут исходить и от техники, и от природы. Поэтому выделяется два подвида изменяющих связей — первичные и последующие. Первичные связи чаще бывают направлены от технических элементов к природным, а последующие — от одних природных элементов к другим или же к техническим. Преобразовательные связи обычно принимают форму процессов, протекающих в виде цепных реакций и нередко продолжающихся неопределенно долгое время.

Средоизменяющие цепные реакции. Под географическими цепными реакциями понимаются совокупности последовательно обуславливающих друг друга процессов, возникающих в природной среде в ответ на воздействия, направленные на те или иные ее компоненты (или элементы). Эти реакции составляют основу развития природной среды, охватывают природные комплексы всех рангов и уровней.

Начало географическим цепным реакциям дают импульсы, вызываемые со стороны первичных индукторов (от лат. *induction* — наведение, возбуждение), в роли которых выступают либо источники воздействий, либо же их непосредственные активные начала — агенты воздействия. В роли индукторов чаще всего выступают экстремальные природные явления или антропогенные воздействия.

В зависимости от длительности влияния на ландшафты различают индукторы постоянного и временного действия. Озеро или

созданное человеком водохранилище по отношению к ландшафтам прибрежной зоны практически становится источником постоянного действия. Напротив, дождь или искусственный полив увлажняет почву всего несколько часов или дней. Его действие временно. С технической точки зрения воздействие может быть как сравнительно простым (распашка целины, лесопосадки и т. д.), так и очень сложным (строительство промышленных предприятий, крупных плотин, применение химических препаратов и т. п.).

Механизмы активности географических цепных реакций достаточно разнообразны. Наиболее характерные из них — механизм толчка, пороговая, параллельная, совмещенная индукции и самоиндукция.

Механизм толчка характеризуется тем, что играет роль своеобразной «пусковой пружины», «катализатора», сразу же вводящего в действие другие активные механизмы трансформации. Его особенность — относительно слабое по величине начальное воздействие, которое, тем не менее, оказывается достаточным для интенсивного развития цепной реакции. Например, для многих районов северной части Евразии характерно заболачивание. Непосредственным толчком, вызывающим его, чаще всего бывает избыток атмосферных осадков на протяжении нескольких лет при температурах воздуха ниже нормы. При этом оглеение, происходящее в понижениях рельефа, ухудшает водопроницаемость почвы и тем самым способствует ее дополнительному увлажнению, что в свою очередь усиливает и делает устойчивым оглеение. При этом увеличивается анаэробность почв, количество в них гуминовых кислот. Леса начинают гибнуть, их заменяют мхи, резко сокращается транспирация влаги. Рост мощности торфяного горизонта вызывает постепенное поднятие уровня грунтовых вод. Процесс заболачивания испытывает, таким образом, саморазвитие, захватывая с течением времени новые площади.

Пороговая индукция проявляется в скачкообразном изменении элементов природной среды при достижении некоторыми процессами их критических состояний. Например, с механизмом пороговой индукции связано образование осыпей, оползней, после того как силы сцепления их масс с подстилающей поверхностью оказываются меньше силы их тяжести. Или другой пример — ветровал на многих участках леса при достижении ветром скорости 35—40 м/с.

Параллельная индукция осуществляется при наличии двух или более индукторов, разными путями достигающих сходных результатов, которые, в конце концов, суммируются. Действие механизма параллельной индукции хорошо иллюстрируют ползащитные лесные полосы. При их создании и функционировании можно выявить три основные цепочки связей. Первая цепочка связей обусловлена замедлением скорости ветра вблизи лесополос, что в числе своих следствий имеет существенное улучшение режима увлажнения почв на полях, а

также предохранение пахотного слоя от развеивания. Вторая возникает благодаря закреплению почвенного покрова в пределах лесополос корневыми системами растений. В результате созданные лесные полосы легко гасят зарождающиеся на пахоте водно-эрозионные борозды, препятствуют развитию оврагов. Третья — поселяющиеся в лесополосах птицы активно уничтожают насекомых и мелких грызунов — вредителей сельского хозяйства. Все отмеченные три цепочки связей, естественно, оказывают самое благоприятное влияние на урожай сельскохозяйственных культур прилегающих полей.

Совмещенная индукция срабатывает в результате определенного, но, как правило, сравнительно редкого совмещения между собой в пространстве и времени нескольких независимых друг от друга исходных индукторов. Примером действия этого механизма может служить периодическое сильное загрязнение воздуха в карьере. В качестве техногенных индукторов здесь выступают выделение двигателями машин отработанных газов и образование минеральной пыли, а в качестве природного фактора — установление штилевой погоды. При отсутствии ветра пыль и газы очень медленно удаляются из карьера, в результате их концентрация на эксплуатационных участках иногда достигает весьма значительных показателей.

Механизм самоиндукции проявляется в активном самоусилении какого-либо процесса, который, развиваясь, как бы «сам себе помогает». При этом происходит самоусиление таких показателей процесса, как скорость развития, мощность (сила) воздействия, площадь распространения и т. д. Механизм самоиндукции, обнаруженный, в частности, на некоторых участках побережья водохранилищ, и приводит к усилению подтопления их невысоких побережий. Происходит это следующим образом. На участках, сложенных супесями и песками, повышение уровня грунтовых вод до глубины 0,4—0,7 м значительно активизирует рост ряда влаголюбивых растений с хорошо развитыми корневищами. Отмирая и разлагаясь, эти растения обогащают субстрат органическими веществами, уменьшающими диаметр почвенных пор. В результате водоподъемная способность почвы увеличивается, и край капиллярной каймы начинает достигать дневной поверхности. Слабое подтопление, таким образом, постепенно сменяется сильным, а это, как правило, приводит к заболачиванию прибрежной территории водохранилища.

Скорость у географических цепных реакций различна: от нескольких минут или часов (усиление таяния ледников, уничтожение вредителей сельского хозяйства и т. д.) до нескольких десятилетий и столетий (создание полезащитных лесных полос, оазисов и др.).

Создание объектов природопользования (природно-технических систем) должно опираться на **ландшафтно-экологические (геоэкологические) принципы проектирования** — указания и рекоменда-

ции, ориентирующие проектные организации на действия, призванные обеспечить наиболее рациональное использование природных ресурсов, оптимальное средообразование и сохранение среды обитания человека. Общие положения ландшафтно-экологических принципов проектирования были разработаны в 80-х гг. XX в. в Институте географии АН СССР В. С. Преображенским и Т. Д. Александровой, а охраны природы — В. А. Красиловым.

В процессе проектирования геотехсистем важным является соблюдение тех принципов, которые основываются на учете свойств ландшафтов как особо сложных и в то же время целостных образований. Условно выделяется две группы признаков: общие и геосистемные (ландшафтные) (К. Н. Дьяконов, А. В. Дончева, 2002).

Общие принципы. Принцип «охрана природы (ландшафтов) — общественно необходимая деятельность». Следует понимать, что деятельность по охране природы преследует как социальные цели, так и хозяйственные, поскольку с помощью ландшафтов происходит удовлетворение потребностей общества. Деятельность по охране ландшафтов создает надежные предпосылки устойчивого развития государства.

Принцип «приоритет экологической безопасности населения» вытекает из первого. Качество окружающей природной среды, сохранение и преумножение ее ресурсного потенциала определяют долголетие, физическое и психическое здоровье населения и возможность передачи этих качеств потомству, а следовательно, создают предпосылки к устойчивому развитию.

Принцип «охрана природы должна осуществляться в процессе ее использования». Суть этого принципа: природу можно и следует сохранять не только путем консервации (исключения из активного хозяйственного использования), а постоянно, при любых видах деятельности человека всеми доступными средствами (правовые, технические, административные и т. д.). При этом должно быть реализовано правило «кто использует природу, тот ее и охраняет».

Принцип «охрана ландшафтов — задача оптимизационная». Оптимизация (оптимальное использование) ландшафта заключается в определении цели использования, оценке возможных вариантов использования, в выявлении природных и социально-экономических ограничений того или иного вида использования. Поэтому цель этого принципа — относительно полное удовлетворение потребностей общества при минимальных негативных последствиях воздействия на природу.

Принцип «природоохранные мероприятия должны быть всеместными». Этот принцип вытекает из всеобщей связи явлений и процессов в географической оболочке, наличия в ней круговоротов веществ и энергии, принципиально открытого характера ландшафтов, активности в вещественно-энергетическом обмене горизонтальных связей. Смысл принципа в том, что природа

должна охраняться везде, что нужно помнить не только о возможных ее изменениях в узких границах проектируемого объекта, но и в зоне его влияния, на большом расстоянии.

Принцип «превентивность природоохранных мероприятий». Его суть заключается в том, что меры по предупреждению негативных последствий обычно обходятся дешевле, чем ликвидация последствий экологических аварий и катастроф, которые обусловлены непринятием профилактических мер. Принцип базируется на положении «легче предупредить, чем лечить». Этот принцип в наибольшей мере связан с цепным характером изменений в геосистемах, что в свою очередь может привести к необратимым негативным последствиям. Характер и интенсивность последствий часто обусловлены способностью геосистемы к саморегулированию и ее устойчивостью.

Геосистемные принципы. Принцип комплексности. Его суть: геоэкологическое проектирование — это проектирование пространственно-временной природно-технической системы, включение объекта, технологии или инженерного сооружения, технической системы в природу. Необходимость его соблюдения обусловлена тем, что ландшафты (геосистемы) — это сложные пространственно-временные открытые системы, обладающие внутренней взаимосвязью и взаимодействием компонентов (элементов) и структурных частей (подсистем). Одновременно они связаны с соседними и более крупными геосистемами.

Принцип территориальной дифференцированности. Этот принцип отражает факт неоднородности географического пространства, которая выражается в разнообразии типов ландшафтов и их устойчивости к антропогенным воздействиям, а соответственно различными возможностями сохранения или восстановления ценных для общества свойств ландшафтов. Принцип предполагает учет не только природных свойств, но и степень и характер освоенности территории, поскольку подходы к проектированию новых ГТС в староосвоенных и в только что осваиваемых районах не могут быть одинаковыми, так как острота экологических проблем в них различна.

Принцип учета режима функционирования природно-технических систем и управления ими. Необходимость соблюдения этого принципа вызвана диалектической связью изменчивости и устойчивости свойств ландшафтов. С изменчивостью связано существование относительно устойчивой последовательности природных процессов и состояний (наличие сукцессий, режимов). В силу этого проектироваться должно не только одно состояние геотехсистемы, но и ее режимы.

Принцип постоянного контроля за воздействием и изменением ландшафтов (ландшафтно-экологический мониторинг). Обязательным элементом проекта геотехсистемы любого функционального назначения должна быть подсистема комплексного контроля. Контролировать надо, с одной стороны, особенности функционирования ГТС и ее воздействия на окружающую природную среду, с другой — влияние меняющихся природных и социально-экономических условий на ГТС. Контроль должен осуществляться и на этапе строительства, и на этапе функционирования ГТС.

Принцип стадийности подразумевает, что решения по ландшафтно-экологическому обустройству территории осуществляются рядом последовательных приближений — стадий. Процесс проектирования крупных ГТС осуществляется обычно в три стадии: схема проектирования, технико-экономическое обоснование проекта, технический проект. Каждой из них соответствуют определенный ранг анализируемых ландшафтов, масштаб их картографирования, содержание и детальность ландшафтно-экологической информации и направление ее анализа.

В соответствии с **принципом непрерывности** ландшафтно-экологическое обоснование геотехсистемы не заканчивается сдачей ее проекта. Принцип непрерывности допускает корректировку и уточнение выводов и рекомендаций, полученных еще до ввода в действие геотехнической системы. Этот принцип предполагает возможность принятия новых природоохранных и инженерно-технических природопреобразовательных решений на разных стадиях ее эксплуатации.

Принципы ландшафтно-экологического обоснования проектирования различных природно-технических систем тесно связаны друг с другом, и их учет в процессе проектирования должен осуществляться одновременно.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

- Арманд, Д. Л. Наука о ландшафте / Д. Л. Арманд. М., 1975.
- Беручашвили, Н. Л. Геофизика ландшафта / Н. Л. Беручашвили. М., 1990.
- Витченко, А. Н. Геоэкология / А. Н. Витченко. Минск, 2002.
- Геоэкологические принципы проектирования природно-технических геосистем / отв. ред. Т. Д. Александрова, В. С. Преображенский. М., 1987.
- Гродзиньский, М. Д. Основы ландшафтной екології / М. Д. Гродзиньский. Київ, 1993.
- Дьяконов, К. Н. Геофизика ландшафтов : биоэнергетика, модели, проблемы / К. Н. Дьяконов. М., 1991.
- Дьяконов, К. Н. Геофизика ландшафтов. Метод балансов / К. Н. Дьяконов. М., 1988.
- Исаченко, А. Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование / А. Г. Исаченко. М., 1991.
- Крауклис, А. А. Проблемы экспериментального ландшафтоведения / А. А. Крауклис. Новосибирск, 1979.
- Марцинкевич, Г. И. Ландшафтоведение / Г. И. Марцинкевич. Минск, 2007.
- Одум, Ю. Экология : в 2 т. / Ю. Одум. М., 1986. 2 т.
- Перельман, А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. М., 1999.
- Преображенский, В. С. Основы ландшафтного анализа / В. С. Преображенский, Т. Д. Александрова, Т. П. Куприянова. М., 1988.
- Сочава, В. Б. Введение в учение о геосистемах / В. Б. Сочава. Новосибирск, 1978.

Дополнительная

- Арманд, А. Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем / А. Д. Арманд. М., 1988.
- Базилевич, Н. И. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем / Н. И. Базилевич, О. С. Гребенщиков, А. А. Тишков. М., 1986.
- Виноградов, Б. В. Основы ландшафтной экологии / Б. В. Виноградов. М., 1998.
- Гагина, Н. В. Методы геоэкологических исследований / Н. В. Гагина, Т. А. Федорцова. Минск, 2002.
- Глазовская, М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов / М. А. Глазовская. М., 1988.
- Казаков, Л. К. Ландшафтоведение / Л. К. Казаков. М., 1999.
- Охрана ландшафтов. Толковый словарь / отв. ред. В. С. Преображенский. М., 1982.
- Реймерс, Н. Ф. Экология. Теория, законы, правила, принципы / Н. Ф. Реймерс. М., 1994.
- Ретеюм, А. Ю. Земные миры / А. Ю. Ретеюм. М., 1988.
- Счастливая, И. И. Общее ландшафтоведение / И. И. Счастливая. Минск, 2002.
- Уиттекер, Р. Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер. М., 1980.
- Чертко, Н. К. Геохимия ландшафта / Н. К. Чертко. Минск, 1981.
- Яцухно, В. М. Формирование агроландшафтов и охрана природной среды / В. М. Яцухно, Ю. Э. Мандер. Минск, 1995.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. ЭКОЛОГИЯ ЛАНДШАФТОВ: ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ И ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	3
1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИИ ЛАНДШАФТОВ	
1.1. Концептуальные основы экологии ландшафтов.....	6
1.2. Вертикальная структура ландшафта	10
1.3. Ландшафтные территориальные структуры.....	15
1.4. Границы ландшафтов	22
2. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЛАНДШАФТАХ	
2.1. Энергетические потоки в ландшафтах.....	28
2.2. Влагооборот в ландшафтах	37
2.3. Продукционный процесс в ландшафтах.....	43
3. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЛАНДШАФТАХ	
3.1. Химические элементы в ландшафтах.....	47
3.2. Миграция химических элементов в ландшафтах	50
3.3. Геохимическая классификация ландшафтов	62
3.4. Ландшафтно-геохимические барьеры	66
4. ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЛАНДШАФТАХ	
4.1. Динамика и эволюция ландшафтов	70
4.2. Устойчивость ландшафтов.....	76
4.3. Экологические функции ландшафтов.....	80
5. ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИИ ЛАНДШАФТОВ	
5.1. Ландшафтно-экологическое нормирование антропогенных нагрузок на ландшафты	86
5.2. Ландшафтно-экологические принципы проектирования объектов природопользования.....	91
ЛИТЕРАТУРА	100

Учебное издание	Подписано в печать 23.01.2010.
Бакарасов Валерий Анатольевич	Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
ЭКОЛОГИЯ ЛАНДШАФТОВ	Гарнитура SchoolBook. Печать офсетная.
Пособие для студентов	Усл. печ. л. 5,81. Уч.-изд. л. 7,12.
географического факультета,	Тираж 100 экз. Зак. 55.
обучающихся по специальности	Белорусский государственный университет.
1-33 01 02 «Геоэкология»	ЛИ № 02330/0494425 от 08.04.2009.
Редактор Н. Ф. Акулич	Проспект Независимости, 4,
Художник обложки Т. Ю. Таран	220030, Минск.
Технический редактор Т. К. Раманович	Отпечатано с оригинала-макета заказчика.
Корректор Т. С. Петрович	Республиканское унитарное предприятие
Компьютерная верстка Е. В. Заиченко	«Издательский центр Белорусского
	государственного университета».
	ЛП № 02330/0494178 от 03.04.2009.
	Ул. Красноармейская, 6,
	220030, Минск.