

Э.Г. КОЛОМЫЦ

Пушкинский научный центр биологических исследований РАН,
Институт фундаментальных проблем биологии РАН,
142290, Пушкино, ул. Институтская, 2, Россия, egk2000@mail.ru

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВ: ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Описана стратегия количественного анализа моно- и полисистемной организации разноуровневых геопространств с построением серии эмпирических моделей межкомпонентных и межкомплексных связей. В качестве методологической основы предлагается положение о структурных уровнях природно-территориальной организации, опирающееся на концептуальную кибернетическую модель природного комплекса как иерархической системы управления. На основе модели построена система сопряженности разноуровневых характеристик природных компонентов с таксономическим рангом географических пространств (от географического сектора и природной зоны до ландшафтной фации и биогеоценоза). По пространственно-временным соотношениям межкомпонентных и межкомплексных связей описан гипотетический цикл траектории изменения состояний геопространств в их спонтанном развитии и при антропогенных нарушениях. Оценка динамики геопространств проведена путем операций с их экологическими нишами в зонах их контакта и пересечения, т. е. в триггерных зонах. Устойчивость разнопорядковых геопространств к внешнему воздействию предложено выразить мерами значимости отображения ими всего многообразия входных экологических факторов. Эти меры служат обобщенными критериями запасов гомеостатичности природных комплексов. Они рассчитываются на основе матриц и орграфов их отношений включения по тому или иному набору системообразующих факторов с использованием информационной функции Шеннона. На примере южной тайги Волжского бассейна приведен пример расчета одной из этих мер по отношению к изменению среднеиюльской температуры.

Ключевые слова: кибернетическая модель природного комплекса, структурные уровни геосистем, траектория изменения состояний геопространств, экологические ниши, устойчивость геосистем и меры ее расчетов, родовые барьеры фитоценотической трансформации ландшафтов.

E.G. KOLOMYTS

Pushchino Scientific Center for Biological Research, Russian Academy of Sciences,
Institute of Fundamental Problems of Biology, Russian Academy of Sciences,
142290, Pushchino, ul. Institutsкая, 2, Russia, egk2000@mail.ru

HIERARCHICAL ORGANIZATION AND STABILITY OF GEOGRAPHICAL SPACES: ECOLOGICAL-GEOGRAPHICAL ANALYSIS

The article describes a strategy for quantitative analysis of mono- and polysystem organization of multi-level geospaces with the construction of a series of empirical models of inter-component and inter-complex connections. As a methodological basis, a provision on structural levels of natural-territorial organization is proposed, based on a conceptual cybernetic model of a natural complex as a hierarchical control system. Using the model, a system of conjugation of different-level characteristics of natural components with a taxonomic rank of geographic spaces (from a geographic sector and natural zone to a landscape facies and biogeocenosis) was constructed. Based on the spatio-temporal relationships of inter-component and inter-complex connections, a hypothetical cycle of the trajectory of changes in the states of geospaces in their spontaneous development and under anthropogenic disturbances is described. The assessment of the dynamics of geospaces was carried out through operations with their ecological niches in the zones of their contact and intersection, i.e. in trigger zones. The stability of different-order geospaces to external disturbances is proposed to be expressed by measures of significance of their representation of the entire variety of input environmental factors. These measures serve as generalized criteria of homeostatic reserves of natural complexes. They are calculated on the basis of matrices and digraphs of their inclusion relations for a particular set of system-forming factors using the Shannon information function. Using the example of the southern taiga of the Volga basin, an example of calculating one of these measures in relation to a change in the average July temperature is given.

Keywords: *cybernetic model of a natural complex, structural levels of geosystems, trajectory of changes in the states of geospaces, ecological niches, stability of geosystems and measures for its calculations, generic barriers of phytocenotic transformation of landscapes.*

ВВЕДЕНИЕ

В традиционной трактовке географическое пространство есть множество объектов земной поверхности, состоящих из отдельных элементов, которые обладают определенными субстратными свойствами и многоканальными территориальными связями — как внутренними, так и внешними [1–3]. Географический аспект организации природных систем состоит в поиске механизмов соединения разнородных по генезису и темпам изменения геокомпонентов, а также комплексов низшего ранга в единое целостное образование [4]. Организационный принцип призван способствовать решению узловой проблемы синтеза в современной географии — понимания сути процессов создания из разнородных частей некоторого целого, единого и поиска ключей к управлению геосистемами. Этот принцип в полном смысле экологический, если принять понятие экологии (в его широком значении) «...как науки о структуре и функционировании природы» [5, с. 10].

Основными атрибутами геопространства являются: целостность географических образований; масштаб их проявления на земной поверхности; упорядоченность как соотношение предметов или процессов в определенной повторяющейся последовательности. Ведущую системообразующую роль здесь играет сама физическая поверхность Земли как универсальный интегрирующий фактор, превращающий происходящие в поле инсоляционных и гравитационных сил межкомпонентные взаимодействия в определенные территориальные структуры [6]. Поэтому геопространство рассматривается не только как вместилище земных тел и явлений, но и как определенный их образ, а также структура, обусловленная движением, перемещением субстанции [7]. С земной поверхностью связано также одно из узловых понятий географии — местоположение, которое служит ячейкой географического пространства [3, 8].

Важнейшими особенностями функционирования геоэкологической триады «литогенная геода — педон — фитобиота» является несопоставимость временных частот колебаний, или времен релаксации, составляющих ее компонентов, согласно [9], а также их иерархическое соподчинение с резкими различиями в периодах их релаксаций [10], в том числе и в возрасте их современного состояния. Разноскоростная лестница характерных времен представляет собой обязательное условие устойчивости любой разносубстратной экосистемы [11], а равновесное состояние такой системы обеспечивается ее пространственной и временной иерархической организацией [12], в которой решающее значение имеет «принцип функциональной интеграции» [5, с. 13].

Анализ проблемы «...целостности физико-географической среды ... должен быть положен в основу всей системы общей физической географии» [13, с. 11]. Эта целостность обусловлена общим по своей направленности географическим циклом гидрогеоморфологических и связанных с ними почвенно-биотических процессов.

При этом ведущий системообразующий процесс, который служит механизмом устойчивости геосистем любого ранга, — это биологический круговорот [14].

Таковы некоторые основополагающие закономерности формирования биосферы.

Цель настоящего сообщения — эколого-географический анализ механизмов многоуровневой организации геопространств, создаваемых функционально-динамическими геокомпонентами, но состоящих из структурных единиц (природных комплексов), которые выделяются по фиксированным компонентам — консервативным (литогенным) и почвенно-биотическим. Следуя терминологии [15, 16], речь будет идти об изучении механизмов превращения экстерриториальных транзитных геокомпонентов под воздействием литогенного каркаса в территориальные геокомплексные структуры. Это означает «переход от территориального комплекса к системе...» [17, с. 123], т. е. смещение акцентов с генетической взаимообусловленности геокомпонентов к их функциональной упорядоченности [18].

Фиксируемое как при наземной ландшафтной съемке, так и при дистанционном зондировании земной поверхности значение того или иного выходного геокомпонентного признака-явления отображает воздействие множества входных признаков-факторов, как внутриуровневых, так и межуровневых, которые интерферируют не только с различной силой влияния, но даже с разным знаком. Происходит отображение множества элементов одной системы в другую (гомоморфизм), с кодированием информационных сигналов, идущих к данному признаку, и с генерализацией результирующих свойств признака-явления. Кроме того, на внешние информационные потоки накладываются также процессы самоорганизации и саморазвития явления.

Таким образом, исследователь имеет дело с «черным ящиком». При диагнозе множества входных переменных по одной выходной переменной приходится сталкиваться с многозначным преобразованием (бифуркацией восстанавливаемых сигналов), при котором могут иметь место несколько исходов (искомых факторов и их значений) при одном и том же состоянии выходного признака-явления. Обратное изоморфное 1–1 — отображение данного признака-явления в искомый признак-фактор становится невозможным; здесь удается оценить лишь ту или иную долю вероятности парциальных связей. Таковы законы кибернетики [18].

Описанные научно-методические положения послужили основой идеологической разработки излагаемого эколого-географического анализа.

ПРИРОДНЫЙ КОМПЛЕКС КАК ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

В качестве исходной рабочей конструкции формирования разномасштабных геопространств нами предлагается положение о структурных уровнях природно-территориальной (ландшафтной — в общей трактовке этого понятия) организации, опирающееся на концептуальную кибернетическую модель природного комплекса как иерархической системы управления (рис. 1). Природный комплекс в такой модели представлен как система типа «процесс–отклик» [19]. Модель имеет вид блочной схемы фигур подобия, согласно [20], построенной путем симметричных операций скользящего отражения и переноса (трансляции) с одновременным изменением масштаба частей системы и расстояний между ними.

Выбор симметрии подобия для сравнительного показа различных иерархических уровней гео(эко-) систем не случаен. Он исходит из самих фрактальных свойств подобия системной организации географической оболочки и ее частей. Как известно [21], пространственная дифференциация природных комплексов на всех структурных уровнях подчиняется одним и тем же, общим для всех, комплексам закономерностей, которые характеризуют «...единый процесс формирования территориальных ареалов» [3, с. 12], поэтому принципиальных различий между уровнями не существует. Разница состоит главным образом в масштабе и сложности рассматриваемых явлений и процессов, что соответствует неравнозначной ландшафтообразующей «силе» различных природных компонентов. Отсюда следует уже утвердившееся в физической географии представление о фоновых и пространственно-дифференцирующих свойствах одних и тех же геокомпонентов.

Физико-географический фон характеризует состояние любого природного комплекса или его отдельного компонента с низким уровнем пространственного разрешения. Фон — это континуальное распределение признака без резко выраженных скачков. Фоновая функция в каждой пространствен-

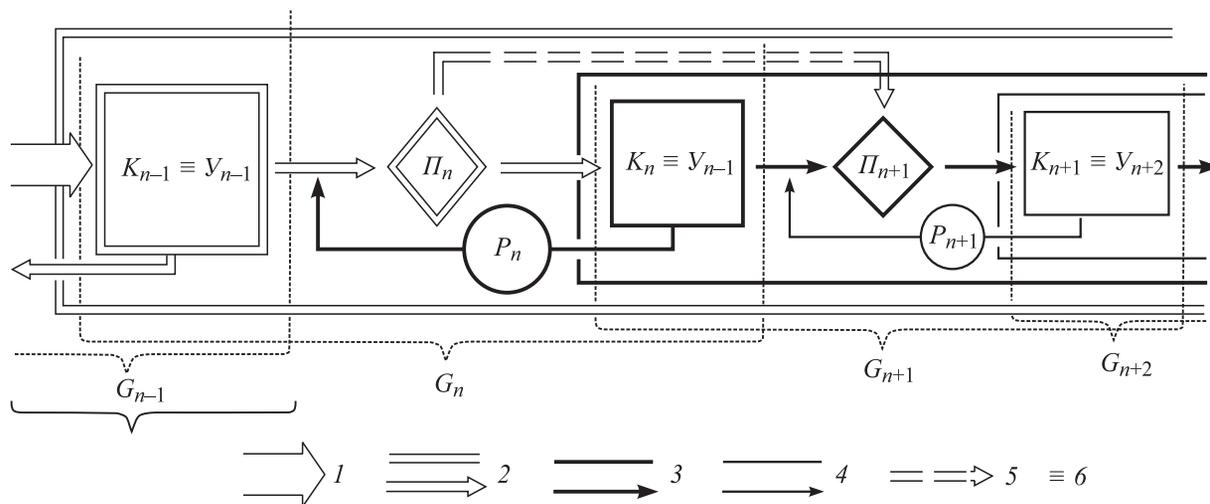


Рис. 1. Концептуальная кибернетическая модель природно-территориального комплекса как иерархической системы управления.

G_{n-1} , G_n , ... — таксономические ранги полных и неполных природных комплексов. 1–4 — очертания блоков модели и направления связей в пределах структурных уровней первого–четвертого порядков. 5 — фоновое влияние вышестоящего уровня геосистемы на нижестоящий уровень; 6 — знак тождества. Блоки кибернетической модели: K — ландшафтный каркас; Y — ландшафтный узор; Π — процессор (комплекс геопотоков); P — регулятор обратной связи.

но-временной точке представляет собой некоторую среднюю величину из значений данного элемента в окрестностях этой точки [22]. Следовательно, параметры фонового поля характеризуют в каждом месте определенную таксономическую «норму» вещественно-энергетических ресурсов формирования данного геопространства.

Пространственно-дифференцирующее влияние геокомпонента связано с его внутрифоновыми вариациями и выражено наиболее отчетливо при масштабной соразмерности сравниваемых компонентов. Такие вариации создаются разностью между действительными и фоновыми значениями компонента в каждой точке пространственно-временной области [21–23]. Локализуя территориальные природные взаимодействия, компоненты формируют собственно территориальную структуру геопространства — его каркас и узор в зависимости от масштаба самой локализации. Каркас и узор природного комплекса являются, соответственно, входными и выходными переменными кибернетической модели (см. рис. 1), которая описывает географический комплекс как функциональную систему «условия – процесс – структура», обладающую свойствами саморегуляции.

Ландшафтный каркас формируется процессами локализации, так сказать, первого порядка. Он представляет собой совокупность наиболее протяженных в пространстве и наименее изменчивых во времени структурных элементов, которые соответствуют территориальному масштабу данной геосистемы и определяют соответствующую этому масштабу относительно замкнутую сеть переноса вещества и энергии, а также узловые точки и линии переломов геопотоков. Каркас создает условия формирования векторных структур. Он зависит в первую очередь от географического положения территории. На региональном уровне сюда входят гравитационный, инсоляционный и циркуляционный факторы (потоки), которые определяются, соответственно, морфотектоникой и морфоструктурой, фоновыми (поясными, зональными, секторными) значениями радиационного баланса и приходом атмосферной влаги. Их суперпозицией создаются необходимые предпосылки для возникновения географических полей [3, 24]. Палеогеографический фактор первого порядка накладывает определенные ограничения на деятельность этих потоков.

В масштабе локальных природных комплексов (местностей, урочищ, фаций) ландшафтный каркас определяется морфоскульптурой соответствующего порядка, характеристиками малых речных бассейнов, а также мезоклиматом и, в последнюю очередь, фитоценозом (табл. 1). На территориях хозяйственного освоения существенным элементом каркаса являются также различные инженерные сооружения.

Признаки ландшафтного каркаса характеризуют так называемую изопотенциальную структуру природно-территориальных комплексов (ПТК): зональную, высотно-поясную, ярусную, полосную и т. п. [24], которая проявляется в той мере, насколько это соответствует территориальному масштабу

Таблица 1

Соотнесение разноуровневых свойств природных компонентов и факторов с таксономическим рангом ландшафтных систем

Природные компоненты и факторы	Физико-географические единицы, по [28]							
	Сектор и страна	Зона и подзона	Область, провинция	Региональный ландшафт	Местность	Урочище	Фация	Биогеоценоз
Морфоструктура I порядка	У	К	К	Ф				
Макроклимат	У	У	К	К–Ф	Ф			
Морфоструктура II порядка			У	К	К–Ф	Ф		
Большие речные бассейны			У	К	К–Ф	Ф		
Морфоскульптура I порядка				У	К	Ф		
Мезоклимат				У	К	Ф		
Малые речные бассейны					У	К	Ф	
Морфоскульптура II порядка						У	К	Ф
Растительные сообщества						У	У–К	К
Микроклимат						У	У–К	К
Почвенный комплекс						У	У	У–К
Почвенно-грунтовый сток						У	У	У–К

Примечание. Уровни свойств: Ф – физико-географический фон; К – ландшафтный каркас; У – ландшафтный узор.

геосистем. Такую структуру в определенном смысле можно назвать инвариантной (по [25]), поскольку именно она определяет граничные условия, в пределах которых реализуется все многообразие структур геосистемы, связанное с обменными процессами на ее территории. Изопотенциальной структуре отвечает также определенная вертикальная стратиграфия взаимодействующих природных тел и сред.

Процесс — второй функциональный блок ПТК. Он объединяет в себе множество вещественно-энергетических потоков, работающих в граничных условиях данного каркаса. Наблюдается определенная таксономическая очередность системообразующей роли геопотоков различной субстратной природы [26]. Так, на планетарном и суперрегиональном уровнях геосистем решающая роль принадлежит воздушным потокам тепло- и влагообмена, а начиная с региональных масштабов — водным потокам, которые создают речные системы разных порядков. Связи между элементарными природными комплексами осуществляют поверхностный и внутрисочвенный сток, гравитационное движение рыхлого материала на склонах и аэральный перенос элементов фитобиоты. Естественный транзит может осложняться техногенными потоками.

Ландшафтный узор — это эпигенетическая (наложенная) структура геосистемы, т. е. овеществленное отображение геополей и геопотоков, «застывший» образ (слепок) с процессов прошедшего и происходящего вещественно-энергетического переноса. Сюда относятся преимущественно почвенно-биотические и геохимические признаки, первичная биопродуктивность, а также низкопорядковые морфоскульптурные и микроклиматические характеристики. Однако, как и в случае с каркасом, признаки ландшафтного узора достаточно четко дифференцируются по структурным уровням геосистем. Развитие природно-территориальной структуры под влиянием направленных геопотоков включает два основных процесса: усложнение вертикальной компонентной ярусности ландшафта; «обрастание» каркаса элементами узора.

Обратную связь (регулятор) можно рассматривать как «память» геосистемы. Развивающиеся по мере работы геопотоков фиксированные компоненты сами оказывают воздействие на эти потоки, усиливая или, наоборот, ослабляя их, что вызывает, соответственно, дальнейшее развитие или стабилизацию структуры. В этом проявляется один из механизмов саморегуляции ПТК с положительной или отрицательной обратными связями. «Дирижерами» саморегуляции геосистем могут выступать, например, звенья «влага—растительность» или «тепло почвы — растительность» [25]. Смена знака обратной связи свойственна логистической траектории изменения функционального признака во времени [27]. Определение контуров обратных связей с разным знаком необходимо для оценки устойчивости природного комплекса к внешним воздействиям. Отрицательная обратная связь — главный признак, по которому самоорганизация системы отличается от ее управления извне [18].

Рассмотренная концептуальная модель применима к природному комплексу любого ранга. Серия таких разноуровневых моделей будет иметь соподчиненный характер, причем ландшафтные узоры вышестоящей по рангу геосистемы (ее выходные переменные) должны рассматриваться как ландшафтный каркас, т. е. как внешние условия (параметры входа) для геосистемы нижестоящей. Отсюда следует непременно относительный характер понятия структурного инварианта природного комплекса. Одни и те же характеристики ландшафтной структуры по отношению к одному геокомплексу могут быть эпигенетическими (функционально обусловленными), а для другого, который является составной частью первого, — инвариантными. Таким образом, кибернетическая модель отображает многоуровневость природно-территориальной организации. По своей идеологии «условия — процесс — структура» она созвучна неодокучаевской парадигме в почвоведении «факторы — процесс — свойства» [27].

СТРУКТУРНЫЕ УРОВНИ ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Физико-географический фон, ландшафтный каркас и ландшафтный узор — понятия относительные и имеют содержательный смысл только применительно к конкретному иерархическому уровню природного комплекса — от географического сектора и природной зоны до ландшафтной фации и биогеоценоза (см. табл. 1). Как правило, одно и то же свойство геокомпонента, будучи локализирующим фактором для геосистемы более высокого порядка, последовательно переходит в разряд природного фона по мере снижения ранга системы. В первую очередь это происходит с геолого-геоморфологическими факторами, в последнюю — с биотическими компонентами. С другой стороны, геокомпоненты различаются между собой и в отношении верхнего иерархического уровня, с которого начинается их пространственно-дифференцирующее влияние. Этот уровень в каждом случае приходится на

ту природную таксономическую единицу, территориальные размеры которой заведомо больше критического масштаба проявления значимых пространственных вариаций геокомпонента или его отдельного признака. Таким образом, триада «фон — каркас — узор» есть некоторая скользящая система, отображающая соподчиненно-вложенный характер организации любого географического пространства. Выделяя и анализируя различные структурные уровни природных комплексов, мы, по существу, реализуем системный подход к их познанию. При этом структура геопространства, т. е. межкомплексные связи, познается через межкомпонентные взаимодействия, благодаря чему легче вскрыть причинные механизмы формирования латеральной структуры ландшафтов и выявить направления с различной устойчивостью ее к внешним воздействиям.

Пространственная и временная иерархия геосистем — необходимое условие их равновесного состояния [4, 13], поэтому принципиально важно однозначное размежевание признаков, с одной стороны, каркаса, а с другой — узора. Эта задача смыкается с проблемой соответствия пространственных и временных частот различных природных признаков, которая еще далека от своего удовлетворительного разрешения. В соответствии с известными методическими разработками [12, 29] можно принять следующее положение: на каждом таксономическом уровне геосистем ареалы изопотенциальной структуры должны быть по своим линейным размерам не менее чем в 3–4 раза больше тех ареалов, которые отвечают эпигенетической структуре. Такое хорологическое соотношение ландшафтного каркаса и ландшафтного узора примерно соответствует разнице их хронологических частот. Только в этом случае каркас и узор как два соседних структурных уровня остаются относительно независимыми друг от друга, что и обеспечивает пространственно-временную устойчивость самой системной иерархии.

Вычленение характеристик фона, каркаса и узора из общего ансамбля территориальных вариаций геокомпонентов можно проводить на основе уже собранного эмпирического материала маршрутных исследований, дешифрирования аэрокосмических снимков или математической обработки картографических данных. Здесь полезно руководствоваться следующим правилом [24]. По мере удаления сравниваемых точек друг от друга связи между ними по фоновым значениям геокомпонентов ослабевают гораздо медленнее, чем связи по узорно-каркасным свойствам, и уже на некотором расстоянии сила связей в первом случае оказывается больше, нежели во втором. На следующем этапе с помощью аналогичного приема можно отделить характеристики ландшафтного узора от каркасных свойств, оперируя выборкой данных, из которой уже исключены фоновые связи.

За меру территориальной изменчивости ландшафтного узора можно принять среднее квадратичное отклонение соответствующего ему параметра или приблизительно одну треть максимальной разницы его значений на данной площади [30]. Тогда узловые линии изопотенциального поля проводятся через интервалы, равные удвоенной величине меры варьирования ландшафтного узора. Также применим метод сравнения функций плотности распределения пространственных частот признака, измеряемого на местности, по карте или аэрокосмическому снимку [31]. Каждому таксономическому уровню векторных структур отвечает некоторая однородная совокупность пространственных частот данного признака, описываемая одновершинной кривой нормального или логнормального распределения. Если модальные значения двух сравниваемых кривых различаются не менее чем в 3–4 раза, то эти кривые отображают, по-видимому, две разномасштабные категории структуры ландшафта или, что то же самое, два соседних структурных уровня.

Как видим, таксономический ранг и структурный уровень природного комплекса — категории, не тождественные друг другу. Каждый ранг охватывает два соседних структурных уровня, образующих динамическую пару каркас — узор, между тем как сами ранги имеют взаимное перекрытие по одному структурному уровню, выполняющему одновременно две структурообразующие функции: узора для вышестоящей по рангу системы и каркаса для системы нижестоящей.

Анализ горизонтальных ландшафтных связей по картам гео(эко-)систем должен выявить прежде всего пространственные изменения геокомпонентной сопряженности между признаками каркаса и узора, которая отображает общий уровень природно-территориальной организации и индицирует ее важнейшие структурные сдвиги при внешних воздействиях. Здесь полезно использовать информационно-статистические меры связей.

По структуре межкомпонентных связей в функциональной системе «каркас (+фон) — процессор — узор» можно судить о соотношении двух конкурирующих начал моносистемной ландшафтной организации — континуального и организменного. Изменение этого соотношения в пользу организменного начала должно указывать на повышение общей целостности геосистемы, на ее высокую чувствительность к внешним воздействиям и столь же значительную упругую устойчивость. Противоположную картину следует ожидать при доминировании континуального механизма ландшафтной организации.

Устойчивость зонально-региональных и локальных подразделений современной биосферы определяется, по-видимому, тем, насколько геосистемы еще обладают признаками организменной организации, т. е. в какой мере сохранились от антропогенного распада их внутренние системообразующие связи.

Концепция структурных уровней природно-территориальной организации позволяет ответить, в частности, на поставленный вопрос [16] о том, какие физические взаимодействия лежат в основе формирования природных комплексов, выделяемых по «нефизическим» критериям, т. е. каково отображение вещественно-энергетических входных параметров в характеристиках выхода — самом ландшафтном субстрате. По существу, речь идет о региональном и локальном разнообразии зональных способов организации биосферы и о соответствующем многообразии формирования дискретных природно-территориальных образований (региональных ландшафтов) в системе непрерывных гидро-климатических полей зонального геопространства. Эти силовые поля, будучи элементами векторно-изопотенциальной структуры, создают вещественно-энергетический каркас ландшафтных комплексов, который, взаимодействуя с литогенным (оро-эдафическим) каркасом, создает целую серию парциальных (частных) ландшафтных структур.

Наиболее близкую аналогию развиваемой нами концепции находим в идее структурных уровней растительного покрова [32]. Для каждого из пяти таких уровней (планетарного, регионального, ландшафтного, ценоотического, популяционного) различаются внешние (экзогенные) и внутренние (эндогенные) факторы развития растительности. При этом подчеркивается, что эндогенные факторы одного уровня иерархии превращаются в «инвариантный фон», т. е. в факторы среды на каждом нижестоящем уровне фитогеографических систем.

ТРАЕКТОРИИ СОСТОЯНИЙ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВ

Организация геопространств включает два взаимосвязанных, но противоположных процесса — интеграцию различных геокомпонентов в целостные природные единства и дифференциацию этих единств на относительно обособленные территориальные части разного масштаба. Первый аспект организации касается так называемых вертикальных — межкомпонентных ландшафтных — связей, которые отражаются в моносистемных моделях природно-территориальных комплексов (ПТК) [4]. Второй аспект природно-территориальной организации составляют связи горизонтальные (латеральные) — межкомплексные, которые формируют полисистемные геопространства, обладающие в той или иной степени векторными свойствами. Они известны под разными наименованиями: геохимические ландшафты, биогеосистемы, катены, каскадные системы, парагенетические комплексы.

Результаты моно- и полисистемного моделирования геопространств важны для сопряженного анализа пространственно-временных соотношений топических и хорических ландшафтных структур, т. е. межкомпонентных и межкомплексных связей. По каждому из указанных способов оценок можно получить в первом приближении два альтернативных состояния природных комплексов: слабую или сильную пространственную межкомпонентную сопряженность H и, аналогично, низкую и высокую межкомплексную территориальную контрастность местоположений R . Эти крайние состояния при своих сочетаниях для одного и того же вектора дают четыре теоретически возможные и вполне реальные ситуации, которые образуют некоторую временную последовательность состояний любого геопространства (рис. 2).

Такая последовательность определяется тем, что вертикальные ландшафтные связи в общем первичны по отношению к горизонтальным и при том или ином импульсе внешних воздействий испытывают перестройку в первую очередь. Латеральные же взаимодействия вторичны. Они перестраиваются, как правило, медленнее, а траектория их изменений обнаруживает определенный сдвиг, однако, по-видимому, не настолько большой, чтобы создать зеркальную метахронность циклов. Поскольку направленность и скорость процессов функционирования природного комплекса, создающих его современную структуру, отличаются территориальным многообразием, то изображенная на рис. 2 последовательность состояний может наблюдаться не только во времени для той или иной геосистемы, но и в ее пространстве для определенного интервала времени. Таким образом, каждая из четырех описываемых ниже ситуаций есть не что иное, как пространственно-временной срез любого геопространства на множественной траектории его обратимых и поступательных изменений. Рассмотрим эти ситуации по порядку.

I. Достаточно низкая межкомпонентная сопряженность при максимально высокой латеральной контрастности геопространства. Такая ситуация свойственна изопотенциальным рядам природных комплексов и, следовательно, характеризует инвариантную структуру данной территории. По отно-

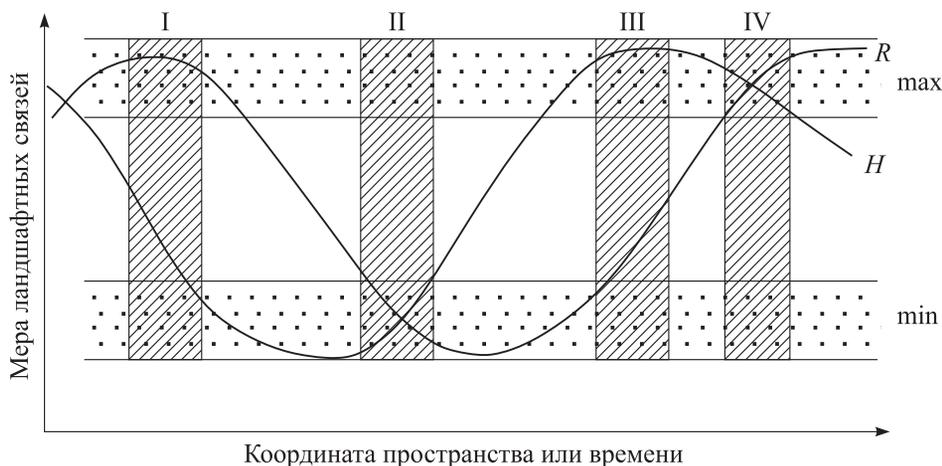


Рис. 2. Пространственно-временные соотношения межкомпонентных и межкомплексных связей в географическом пространстве.

H — мера территориальной сопряженности природных компонентов; R — мера контрастности местоположений; I–IV — основные состояния природных комплексов (объяснение в тексте).

шению же к векторному ряду ПТК это означает начало перестройки всей системы ландшафтных связей под действием резкой смены вещественно-энергетических потоков. Так или иначе, произошла существенная смена внешних условий — входных переменных кибернетической модели геоэкотона.

Прежняя эпигенетическая структура формировалась, очевидно, в иной обстановке энергомассобмена и теперь уже не отвечает новому транзитно-обменному режиму ландшафтов. Вертикальные (геокомпонентные) связи H существенно «расстроились», на что указывает заметное снижение пространственной сопряженности компонентов, между тем как горизонтальные (геокомплексные) отношения R еще несут остаточный эффект прошлых взаимодействий, становясь все более реликтовыми. В дальнейшем должна намечаться тенденция к сглаживанию латеральных контрастов.

II. Наличие низких значений как межкомпонентных связей, так и межкомплексной контрастности состояний. Можно, по-видимому, говорить об отсутствии на данной территории пространственной упорядоченности тех или иных свойств отдельных компонентов и о временном «растворении» тех или иных природных границ, в результате чего прежние контрастные участки территории образуют более однородное целое. Идет процесс локальной или региональной конвергенции ландшафтных свойств. Такая ситуация носит длительно устойчивый характер в «ядрах типичности» природных районов разного ранга, выделяющихся по принципу морфологической однородности.

III. Сочетание высокого уровня геокомпонентной сопряженности с относительно слабой горизонтальной контрастностью местоположений. Оно указывает, скорее всего, на прогрессирующее развитие новой эпигенетической структуры, подчиненной данному вектору вещественно-энергетического переноса. Это создает тенденцию территориальной дивергенции признаков и появления новых природных границ с локализацией отдельных участков, обладающих все более контрастными свойствами. «Ростки» таких ландшафтных новообразований указывают на повышение функциональной (парагенетической) целостности природного комплекса.

IV. Высокая пространственная геокомпонентная сопряженность и столь же значительная латеральная контрастность местоположений (см. рис. 2, состояние IV). Такое сочетание уровней двух типов ландшафтных связей характеризует чаще всего некоторое финальное состояние ПТК с хорошо развитой эпигенетической структурой и с максимально возможной конформностью его структурных и функциональных черт. Отдельные геокомпоненты, несмотря на существенные различия в их характерных временах, достаточно хорошо «подогнаны» друг к другу, а сами геопространства территориально упорядочены геопотоком (или несколькими потоками) в единую, относительно замкнутую, сопряженную систему.

Это так называемый структурно-функциональный оптимум ПТК, наличие или приближение к которому указывает на то, что данная территория развивается направленно уже достаточно длительное время и достигла стадии «зрелости». Обобщающим признаком последней служит четкая поляризация пространственной структуры ландшафтных профилей (катен). С одной стороны, представлены элювиальные местоположения с выровненным рельефом, корой выветривания и глубоким почвенным

профилем, т. е. хорошо развитые ситоны [11], а с другой — аккумулятивные ландшафты (трансоны), где почвенно-биотические компоненты приспособились к процессам экзотрансгенеза (к перемещению, сортировке и трансформации материала). Между ними — целая серия взаимных переходов.

Приведенная схема, конечно, весьма груба и абстрактна. Четыре описанных состояния — лишь основные вехи полного возвратно-поступательного цикла хронологического природного комплекса. Между ними неизбежно множество промежуточных состояний. Главное назначение схемы — определить пути поиска основных закономерностей организации разнопорядковых геопространств и способов оценки их устойчивости к внешним воздействиям.

В зависимости от четырех основных состояний, в которых может находиться данное геопространство, следует ожидать и его соответствующую реакцию на антропогенное воздействие. По-видимому, второе состояние наиболее индифферентно к воздействию, поскольку «каналы» ландшафтных связей слабы. В третьем состоянии ПТК антропогенные нагрузки, превышающие предельно допустимые нормы, способны вызвать весьма быстрое расстройство вертикальных связей в «очаге» воздействия, однако соседние с ним территории могут остаться практически без изменения ввиду слабо выраженных латеральных потоков. Противоположный эффект будет наблюдаться, по-видимому, в первом состоянии ПТК. Импульс внешнего воздействия, полученный данным местоположением, распространяется латеральными потоками от «очага» воздействия, вследствие чего одни участки как бы самоочищаются от антропогенных нагрузок, а другие, наоборот, накапливают происходящие нарушения. Наконец, четвертое (оптимальное) состояние ПТК — несомненно, наиболее чувствительно к внешнему воздействию, импульсы которого передаются сравнительно быстро, вызывая структурные изменения на обширных территориях. Высокая функциональная целостность «зрелого» природного комплекса оборачивается столь же существенной его уязвимостью к внешним воздействиям. Такие геосистемы — наиболее благоприятный объект для разработки проблем целенаправленного преобразования природных ландшафтов и создания новых экологических равновесий в природе.

ВОЗРАСТ И ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ СТРУКТУР

Возраст природного комплекса данного ранга предлагается определить как время приобретения им инвариантной структуры [26], т. е. ландшафтного каркаса. Понятия развития и возраста ландшафтной системы следует непременно соотносить с ее таксономическим рангом и, следовательно, с территориальными размерами, а также с основными чертами ее пространственной структуры, стабильность которой обеспечивается определенным временем протекания ландшафтообразующих процессов. Этот методический принцип основан на известном положении: чем крупнее и сложнее природный комплекс, тем он устойчивее к внешним воздействиям и долговечнее, тем он медленнее изменяется [28], т. е. тем больше в целом его характерное время и тем больший период колебаний внешней среды он способен отобразить в вариациях своего состояния.

Отсюда логически следует принцип сопряженного, или конформного, анализа пространственных и временных характеристик природных комплексов. Так, при изучении структуры и функционирования ландшафтных систем ранга физико-географической страны, области, провинции необходимо оперировать возрастными различиями в десятки и сотни миллионов лет, которые предопределяют неодинаковое время заложения основных морфоструктур региона. На более ограниченных площадях (например, регионального ландшафта или местности) начало формирования современной природно-территориальной структуры следует относить в большинстве случаев к нижнему/верхнему плейстоцену, так как более древние геологические эпохи в ней уже не оставляют сколько-нибудь заметных следов. Наконец, топологический уровень геосистемной структуры связан с последними (голоценовыми и верхнеплейстоценовыми) стадиями геологической истории, в то время как следы предшествующих этапов несут характер реликтов.

Важно подчеркнуть системный характер соотношений двух аспектов ландшафтной эволюции: онтогении и филогении. Эти свойства присущи любому природному комплексу и любому ландшафтному компоненту. Все дело в том, в каких масштабах пространства и времени рассматриваются эти категории. По-видимому, методический смысл имеет следующее универсальное положение, которое можно назвать иерархическим принципом эволюции геопространств: развитие геосистемы данного таксономического уровня выступает, с одной стороны, как процесс онтогении, если рассматривать эту систему по отношению к слагаемым ее более мелким и, следовательно, менее долговечным комплексам, а с другой — как филогенетический процесс при соотношении ее с более долговечной системой вышестоящего таксономического ранга, частью которой она является. В ходе филогенеза благодаря прогрессивной экспансии биоты идет создание новых экологических ниш [33].

Иерархический принцип эволюции геопространств созвучен кибернетической модели природного комплекса, а также вытекающим из нее представлениям о «скользящей системе» трех начал природно-территориальной организации: физико-географического фона, ландшафтного каркаса и узора. Смена ландшафтного узора отображает онтогению геосистемы, а преобразование каркаса — ее филогенетическую траекторию. В силу иерархичности форм проявления пространственных и временных структур геосистем ландшафтный узор данной системы представляет собой каркас для слагающих ее систем более низкого ранга.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НИШИ И ЗАПАС УСТОЙЧИВОСТИ ГЕОСИСТЕМ

Если построить кривую распределения частот (или вероятностей) встречаемости данной категории природных гео(эко-)систем по координате того или иного фактора, то мы получим графическое изображение ее экологической ниши в пространстве значений этого фактора. Тогда среднее квадратичное отклонение в этом распределении будет характеризовать ширину экологической ниши [12]. Чем шире ниша, тем выше должна быть толерантность гео(эко-)системы к данному фактору. В приведенном нами примере по Волжскому бассейну (рис. 3) траектории классов растительной формации (как микросостояний соответствующих природных зон/подзон) в направлении от «ядра» каждой ниши к ее периферии отвечают изменению данного климатического фактора — среднеиюльской температуры. В результате на зональных границах неизбежно взаимное перекрытие (пересечение) двух ниш, сходящихся из соседних природных зон. При прочих равных условиях это должно означать межвидовую и межфитоценотическую конкуренцию, и чем больше такое пересечение, тем конкуренция выше [5]. Пограничные биогеосистемы оказываются в квазиравновесных (критических) состояниях, при которых вынужденная смена одной из них на другую может оказаться необратимой.

Ширина «зоны» пересечения экологических ниш, т. е. триггерной зоны [15], характеризует резкость переходов и возможную скорость вынужденной трансформации одной геосистемы в другую. Такие переходы могут оказаться необратимыми, так как обе конкурирующие системы устойчивы. Таким образом, следует отличать устойчивость геосистем в зонально-ландшафтных «ядрах типичности» от их устойчивости в переходных (триггерных) зонах. Механизмы устойчивости здесь принципиально различны: в первом случае работает положительная обратная связь, обеспечивающая самовосстановление системы при ее некатастрофических нарушениях, а во втором — отрицательная связь, благодаря которой система не возвращается в исходное состояние.

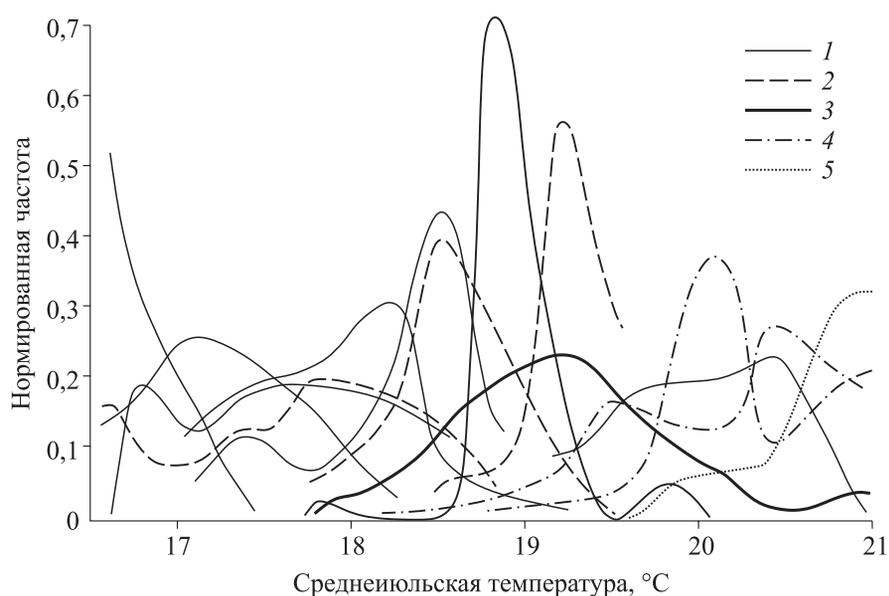


Рис. 3. Экологические ниши классов растительных формаций Волжского бассейна в поле среднеиюльской температуры.

Лесные формации: 1 — темновойные и темновойно-широколиственные; 2 — сосновые и сосново-широколиственные; 3 — широколиственные. 4 — лесостепные формации. 5 — степные формации.

Переходы геосистем в критическое состояние могут быть как резкими, так и постепенными. В случае резких переходов, свойственных триггеру, имеет смысл использовать для оценки устойчивости экосистемы такое понятие, как запас гомеостатичности [34], который можно выразить через объем и мощность вектора экологической ниши [35]. Объем вектора складывается из двух «расстояний» (D_1 и D_2) по координате данного фактора между оптимумом и экстремальными (критическими) значениями ниши. Мощность же вектора определяется как вероятность экологического оптимума, либо как средневзвешенная величина вероятностей всех градаций ниши. В качестве весовых коэффициентов в обоих случаях можно использовать частные коэффициенты связей (по результатам информационного анализа).

Обозначив оптимум климатической ниши (оптимальное микросостояние объекта) и ее более «размытые» части (второстепенные микросостояния) знаками соответственно как «+» и «•», можно выразить каждую нишу определенным вектором-строкой; например, для семизначного климатического поля, когда весь его интервал разбит на семь градаций, это могут быть векторы: (•••+••), (•++•••), (+•••••), (••+•+••) и т. д.

Каждое микросостояние вектора описывается некоторым набором значений гидротермических параметров P_i (температуры, осадков, испарения, стока и т. д.). Из этого набора выбираются три значения: максимальное (P_i^{\max}), оптимальное (P_i^{opt}) и минимальное (P_i^{\min}). Очевидно, в пространстве вариаций каждого фактора среды геосистема будет иметь различный запас устойчивости в зависимости от того, какова ширина данной ниши, и в какую сторону (роста или уменьшения) отклоняются микросостояния «размытой» части ниши от ее оптимального для данной геосистемы значения (или оптимальных значений, если оптимум не один). Общий запас гомеостатичности $D_{\text{об}}$ в этом случае можно выразить суммой двух евклидовых метрик:

$$D_{\text{об}} = D_1 + D_2 = \sqrt{\sum [\omega_i (P_i^{\max} - P_i^{\text{opt}})]^2} - \sqrt{\sum [\omega_i (P_i^{\text{opt}} - P_i^{\min})]^2}, \quad (1)$$

где ω_i — «весовые» коэффициенты по каждому гидротермическому параметру. Для того чтобы использовать формулу как рабочую, все значения P_i необходимо предварительно пронормировать, т. е. привести к 1, взяв весь интервал значений каждого климатического параметра, отвечающий данной нише. Границы климатической ниши геосистемы (P_i^{\max} и P_i^{\min}) — это те критические (экстремальные) области ее состояния, где происходит нарушение механизмов ее саморегулирования, и она переходит в качественно иную геосистему.

В анализе структурных схем разноуровневых геопространств важное место занимает определение значимости каждой нижестоящей геосистемы по величине отображения ею в пределах системы вышестоящей всего многообразия значений того или иного входного экологического фактора (либо группы факторов). Возьмем, например, группу ландшафтов в той или иной природной зоне/подзоне (рис. 4). Значимость группы ландшафтов в данном зональном геопространстве является еще одной оценкой запаса ее гомеостатичности. В пределах этого запаса природный комплекс, согласно принципу Ле Шателье, способен варьировать своей фитоценотической структурой, сохраняя качественную определенность и уровень малого биологического круговорота.

Для оценки меры значимости G_k применяется информационная функция разнообразия Шен-

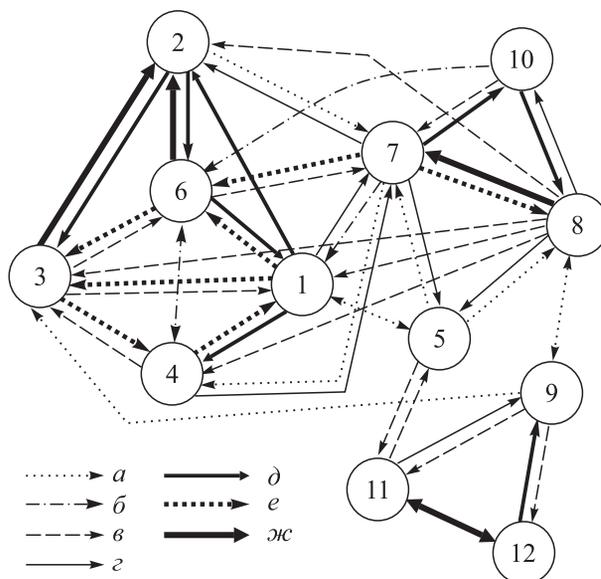


Рис. 4. Орграф отношений включения между группами ландшафтов по среднеиюльской температуре на территории Волжского бассейна.

Номера групп ландшафтов в подзонах средней и южной тайги и в зоне смешанных лесов (см. табл. 2): 1, 5, 9 — элювиальные; 2, 6, 10 — трансэлювиальные; 3, 7, 11 — транзитные; 4, 8, 12 — аккумулятивные. Меры включения [по 37]: a — $\leq 0,30$; b — $0,31-0,40$; c — $0,41-0,50$; d — $0,51-0,60$; e — $0,61-0,70$; e — $0,71-0,80$; $ж$ — $0,81-0,92$.

нона [36]. В нашем примере мера значимости k -й группы ландшафтов в данном зональном геопространстве по средней июльской температуре рассчитывалась, исходя из вероятностей входных и выходных связей у нее на орграфе мер взаимного включения (см. рис. 4). Эти меры рассчитывались методами теории «размытых» множеств [37]. Общая значимость связей каждой группы ландшафтов, характеризующая многообразие отображенных в нем свойств той или иной природной зоны/подзоны, складывалась из негэнтропии полустепеней захода (входных стрелок на орграфе) и энтропии полустепеней выхода (выходных стрелок). Относительная величина запаса гомеостатичности G_k k -й ландшафтной группы вычислялась по формуле:

$$D_k = \left[-\sum_{i=1}^n P_i \cdot \log_2 P_i + \sum_{j=1}^n P_j \cdot \log_2 P_j + 1 \right] / \left[\log_2 N + 1 \right], \quad (2)$$

где P_i и P_j — вероятности (в долях 1), соответственно, входных и выходных связей для каждой группы ландшафтов; n — число ее связей; N — общее число связей по всему орграфу (как входных, так и выходных). Пример результатов расчета запаса гомеостатичности ландшафтов Волжского бассейна по среднеиюльской температуре представлен в табл. 2.

Литогенная основа создает категорию родов ландшафтов [38], или геохор [28]. Эти территориальные единства идут вслед за типами и подтипами ландшафтов. Как фактор консервативный родовые свойства геосистем должны служить существенным препятствием их биогеоценологической трансформации и сдвига природных рубежей при направленных изменениях фонового климатического поля. Это обстоятельство необходимо учитывать при сопряженном анализе экологических ниш (см. табл. 2). Ведущая ландшафтообразующая роль геолого-геоморфологических факторов проявляется в случае значительного пересечения климатических ниш у видов или даже типов ландшафтов, относящихся к различным родам. Чем выше такие хронологические контрасты, тем стабильнее должна быть фитоценологическая структура каждого ландшафта и тем устойчивее его границы к фоновому климатическому воздействию. Особенно высокую устойчивость следует ожидать у родовых границ зонального ранга. С другой стороны, если аналогичное пересечение климатических ниш наблюдается для видов и типов ландшафтов одного и того же рода, то это указывает, скорее всего, на триггерный характер пограничной полосы, которая благодаря повышенной межвидовой и межценологической конкуренции обладает повышенной чувствительностью к изменениям климатического фона. Соответственно, такие геосистемы в первую очередь должны трансформироваться друг в друга (по вектору смещения пересекающихся экологических ниш), а границы между ними будут отличаться максимальной динамичностью.

Таким образом, первоочередные климатически обусловленные сдвиги природных рубежей, в том числе зональных границ, наиболее вероятны между видами и типами ландшафтов единой литогенной основы, т. е. одного рода ландшафтов, либо близких родов. Резкие смены физико-химических свойств

Таблица 2

Ранжирование (в баллах) групп южнотаежных ландшафтов Волжского бассейна по запасам гомеостатичности G_k относительно генетических типов рельефа и прямых экологических факторов

Генетический тип рельефа	Группы ландшафтов (см. рис. 4)	Группы прямых экологических факторов				
		А	Б	В	Г	Д
Эрозионно-денудационный	2	8	3	7	9	4
	6	9	3	7	9	3
Денудационно-зандровый	10	9	2	7	9	5
Моренный	2	9	4	6	8	7
Моренно-зандровый	10	8	1	3	8	3
Зандровый	10	8	4	6	9	5

Примечание. Расшифровка баллов по интервалам значений G_k : 1 — 0,56–0,60; 2 — 0,61–0,64; 3 — 0,65–0,70; 4 — 0,71–0,75; 5 — 0,76–0,80; 6 — 0,81–0,87; 7 — 0,88–0,92; 8 — 0,93–0,97; 9 — $\geq 0,98$. Ландшафтно-экологические факторы: А — радиационно-термические; Б — составляющие водного баланса; В — комплексные ландшафтно-геофизические параметры; Г — почвенно-геохимические характеристики; Д — факторы литогенной основы ландшафтов (морфоструктура и морфоскульптура, современные тектонические движения, механический состав почвообразующих пород и др.).

почвообразующих пород, формы равнинного рельефа или типа местоположения (факторы перечислены в порядке ослабления их влияния) должны служить существенным препятствием для взаимной фитоценологической трансформации соседних ландшафтов, находящихся по обе стороны от литогенной границы. Такие природные рубежи будут смещаться в последнюю очередь, поэтому определение «высоты родового барьера» служит важным средством корректировки прогнозных расчетов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Иерархическая организация географических пространств лежит в основе многочисленных классификаций полных и неполных природных комплексов. Как известно, «классификация есть «горизонтальное» разделение объектов, равных по рангу» [21, с. 138]. Каждый иерархический уровень геопространств соответствует их родовой категории, а классификация проводится по видовым различиям, которые рассматриваются как признаки ландшафтного узора. Совокупность таких видовых категорий природных комплексов в пределах данного рода образует некоторый инвариант данной территории, т. е. ее изопотенциальную структуру.

Геолого-геоморфологические факторы, создающие категорию родов ландшафтов, могут существенно ограничивать климатогенные изменения геопространств, поэтому в прогнозных расчетах динамики природно-территориальных структур по климатическому тренду необходимо учитывать «высоту родового барьера».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гохман В.М., Гуревич Б.Л., Саушкин Ю.Г. Проблемы метагеографии // Вопросы географии. — 1968. — № 78. — С. 3–14.
2. Харвей Д. Научное объяснение в географии. Общая методология науки и методология географии. Пер. с англ. — М.: Прогресс, 1974. — 502 с.
3. Родоман Б.Б. Территориальные ареалы и сети. Очерки теоретической географии. — Смоленск: Ойкумена, 1999. — 256 с.
4. Преображенский В.С. Организация, организованность ландшафтов (препринт). — М.: Изд-во Ин-та географии АН СССР, 1986. — 20 с.
5. Одум Ю. Основы экологии. Пер. с англ. — М.: Мир, 1975. — 740 с.
6. Раман К. Опыт понимания геокомплекса как пространственно-полиструктурного единства // Международная география — 76. Общая физическая география. — М.: Междунар. геогр. конгресс, 1976. — С. 18–22.
7. Костинский Г.Д. Идея пространственности в географии // Изв. РАН. Сер. геогр. — 1992. — № 6. — С. 31–40.
8. Раменский Л.Г. Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова. — Л.: Наука, 1971. — 334 с.
9. Турков С.Л., Кочуров Б.И. Методологические аспекты концепции устойчивого развития // Проблемы региональной экологии. — 2011. — № 6. — С. 145–152.
10. Лосев К.С. Экологические проблемы и перспективы устойчивого развития России в XXI веке. — М.: Космосинформ, 2001. — 400 с.
11. Арманд А.Д., Таргульян В.О. Некоторые принципиальные ограничения эксперимента и моделирования в географии // Изв. АН СССР. Сер. геогр. — 1974. — № 4. — С. 129–138.
12. Пузаченко Ю.Г. Пространственно-временная иерархия геосистем с позиции теории колебаний // Вопросы географии. Сб. 127. Моделирование геосистем. — М.: Мысль, 1986. — С. 96–111.
13. Таргульян В.О. О соотношении понятий «структура» и «функционирование» в исследованиях по географии экосистем // Современные проблемы географии экосистем. — М.: Изд-во Ин-та географии АН СССР, 1984. — С. 10–15.
14. Свирежев Ю.М. Устойчивость и сложность в математической экологии // Устойчивость геосистем. — М.: Наука, 1983. — С. 41–50.
15. Крауклис А.А. Проблемы экспериментального ландшафтоведения. — Новосибирск: Наука, 1979. — 232 с.
16. Солнцев В.Н. Системная организация ландшафтов. — М.: Мысль, 1981. — 239 с.
17. Арманд А.Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем. — М.: Наука, 1988. — 260 с.
18. Исаченко А.Г. Представление о геосистеме в современной физической географии // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. — 1981. — Т. 113, № 4. — С. 297–306.
19. Григорьев А.А. Типы географической среды. Избранные теоретические работы. — М.: Мысль, 1970. — 550 с.
20. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. Пер. с англ. — М.: Изд-во иностр. лит.-ры. — 432 с.
21. Chorley W.J., Kennedy V.A. Physical Geography. A System Approach. — London: Prentice-Hall, 1971. — 370 p.
22. Шубников А.В. Избранные труды по кристаллографии. — М.: Наука, 1975. — 551 с.
23. Арманд Д.Л. Наука о ландшафте. — М.: Мысль, 1975. — 287 с.

24. **Бойчук В.В., Марченко А.С.** Фон и вариации элементов физико-географической среды. — М.: Наука, 1968. — 64 с.
25. **Кренке А.Н.** Континуальные модели в гляциологии // Основные понятия, модели и методы общегеографических исследований. — М.: Изд-во Ин-та географии АН СССР, 1984. — С. 50–57.
26. **Солнцев В.Н.** О некоторых фундаментальных свойствах геосистемной структуры // Методы комплексных исследований геосистем. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока СО АН СССР, 1974. — С. 26–36.
27. **Герасимов И.П.** Учение Докучаева и современность. — М.: Мысль, 1986. — 124 с.
28. **Сочава В.Б.** Избранные труды. Теоретическая и прикладная география. — Новосибирск: Наука, 2005. — 288 с.
29. **Злотин Р.И., Тишков А.А.** Подходы к изучению географии межэкосистемных связей // Современные проблемы географии экосистем (Тезисы докл. Всесоюз. совещ.). — М.: Изд-во Ин-та географии АН СССР, 1984. — С. 43–50.
30. **Арманд Д.Л.** Некоторые задачи и методы физики ландшафта // Геофизика ландшафта. — М.: Наука, 1967. — С. 7–24.
31. **Виноградов Б.В.** Аэрокосмический мониторинг экосистем. — М.: Наука, 1984. — 320 с.
32. **Мазинг В.В.** Структурные уровни растительного покрова. — Владивосток: Изд-во Дальневост. науч. центра АН СССР, 1984. — 19 с.
33. **Шварц С.С.** Экологические закономерности эволюции. — М.: Наука, 1980. — 278 с.
34. **Арманд А.Д.** Ландшафт как конструкция // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. — 1988. — Т. 120, вып. 2. — С. 120–125.
35. **Коломыц Э.Г.** Экспериментальная географическая экология. Записки географа-натуралиста. — М.: КМК, 2018. — 716 с.
36. **Кастлер Г.** Азбука теории информации // Теория информации в биологии. — М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1960. — С. 9–53.
37. **Андреев В.Л.** Классификационные построения в экологии и систематике. — М.: Наука, 1980. — 142 с.
38. **Исаченко А.Г.** Основы ландшафтоведения и физико-географическое районирование. — М.: Высшая школа, 1965. — 327 с.

Поступила в редакцию 08.04.2024

После доработки 12.09.2024

Принята к публикации 21.05.2025