

**ИЗБРАННЫЕ ОЧЕРКИ
ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГИИ: Часть I.
БАЗОВЫЙ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ**

© 2018 Э.Г. Коломыц

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти (Россия)

Поступила 09.09.2017

Коломыц Э.Г. Избранные очерки географической экологии: Часть I. Базовый ландшафтно-экологический анализ. – В очерках представлены разработанные автором в разные годы эмпирико-статистические модели, вскрывающие причинные механизмы структурно-функциональной организации и климатогенной динамики лесных экосистем на примере как равнинных, так и горных территорий. В созданных моделях географическая экология приобретает эффективный формализованный инструмент анализа и прогноза, который использует методы дискретной математики для обработки и обобщения массового эмпирического материала, получаемого при полевых и камеральных ландшафтных исследованиях. В очерках последовательно излагаются: 1) принципы и методы дискретного эмпирико-статистического моделирования пространственной организации разнопорядковых гео(эко-)систем; 2) концепция о географических экотонах как о первоочередных объектах изучения воздействия человека на природу; 3) численные методы регионального и локального ландшафтно-экологического прогнозирования; 4) региональная палео-прогнозная концепция, рассматривающая прогнозируемые эколого-географические сценарии и их палеогеографические аналоги как единую региональную систему глобальных изменений природной среды; 5) топо-экологическая прогнозная концепция «Глобальные изменения на локальном уровне» как научно-методическая основа геосистемного мониторинга; 6) применение методов ландшафтной экологии в оценках биологического круговорота и углеродного баланса лесных экосистем при изменениях климата; 7) методы исчисления функциональной устойчивости локальных и зонально-региональных лесных сообществ на основе дискретных параметров биологического круговорота.

Ключевые слова: географическая экология, эмпирико-статистическое моделирование, ландшафтно-зональные системы, топогеосистемы, биологический круговорот, глобальные изменения климата, прогнозные модели.

Kolomyts E.G. Selected Essays of geographical ecology: Part I. Basic landscape-ecological analysis. – The empirical-statistical models developed by the author in different years, which disclose the causal mechanisms of structural-functional organization and climatogenic dynamics of forest ecosystems by the example of both plain and mountain territories, are presented in the essay. In the constructed models, geographical ecology acquires an effective formalized tool for analysis and prediction using the methods of discrete mathematics for the processing and generalization of bulk empirical data obtained from field and laboratory landscape studies. The book consistently sets forth: (1) the principles and methods of discrete empirical-statistical modeling of spatial organization of geo(ecosystems) of different order; (2) the concept of geographical ecotones as priority objects of studying the anthropogenic effects on nature; (3) the numerical methods of regional and local landscape-ecological prediction; (4) the regional paleo-predictive concept considering the predicted ecological-geographical scenarios and their paleogeographical analogs as a single regional system of global

changes in the natural environment; (5) the topo-ecological predictive concept "Global Changes at a Local level" as a scientific and methodological basis of geosystem monitoring; (6) the application of landscape ecology methods for assessing the biological cycle and carbon balance of forest ecosystems under climatic changes; and (7) the methods of calculation of the functional stability of local and zonal-regional forest communities on the basis of discrete parameters of the biological cycle.

Keywords: geographical ecology, empirical-statistical modeling, landscape-zonal systems, topogeosystems, biological cycle, global climatic changes, prognostic ecological models.

ВВЕДЕНИЕ

Сближение комплексной физической географии с экологией – одна из основных тенденций современного развития наук, изучающих природную среду. Эта тенденция открывает новые перспективы исследования природных режимов с использованием экспериментальных методов и системно-структурного анализа окружающей среды с целью оптимизации природы в ресурсном и экологическом отношениях (Сочава, 1974). Еще в 1952 г., излагая принципы геоботанических исследований, Л.Г. Раменский писал: «Экология – это единственный язык в нашей области, на основе которого только и возможно достижение подлинно комплексного охвата предмета в его многообразии и единстве» (1971, с. 157). В настоящее время все большее признание получает трактовка экологии как науки о структурах и функционировании природы (Одум, 1975), что весьма созвучно задачам современного учения о геосистемах (Сочава, 1970, 1978). Синтез этих научных направлений привел к становлению *географической (ландшафтной) экологии* (Д.Л. Арманд, 1975; Виноградов, 1998; Розенберг и др., 1999), одна из основных задач которой состоит в изучении структуры и функционирования природных комплексов локального уровня (Охрана ландшафтов, 1982).

Системный подход предполагает использование в исследовательском процессе весьма широкого понятия – организации, организованности ландшафтов или экосистем. Это понятие включает две взаимосвязанные части: 1) внутреннюю упорядоченность, согласованность и взаимодействие частей (элементов) целого; 2) совокупность процессов поведения (функционирования), управления и саморегуляции на каждом структурном уровне. Географический аспект организации систем состоит в поиске механизмов соединения разнородных по генезису, субстратным свойствам и темпам изменения природных компонентов, а также комплексов низшего ранга в

единое целостное образование (Преображенский, 1986). Анализ связей внутри гео(эко-)системы и между системами составляет суть самого ландшафтно-экологического исследования.

Эффективность экологического подхода к изучению природы состоит в том, что, во-первых, исследуется весь замкнутый контур прямых и обратных связей в системе объект-среда (причем, не только ближайших, непосредственных, но и отдаленных, опосредованных), а во-вторых, появляется возможность прогнозировать состояние нужных природных компонентов при антропогенном нарушении тех или иных звеньев экологических связей. Последнее обстоятельство следует подчеркнуть особо, так как необходимость широкого внедрения экологической концепции в науки о Земле, в практику мониторинга (Израэль, 1984) обусловлена возрастающей энерговооруженностью человечества и происходящим на наших глазах резким скачком техногенного воздействия человека на природу. Поскольку проблема состоит в сохранении не только биокомпонентов ландшафта, но и других жизненно важных для человека природных ресурсов (чистой атмосферы, природных вод, земных недр и т.д.), то можно говорить об *экологии ландшафта* в целом, включая и человека как биологического и социального индивида, т.е. о *геоэкологии*. Хотя понятие геоэкологии было предложено К. Троллем в 1968 г., содержание этого понятия было раскрыто В.В. Докучаевым и Г.Ф. Морозовым намного раньше (Исаченко, 1971).

В географии обосновано положение о целесообразности и эффективности применения экологического подхода при изучении наземных систем любой физической природы (Минц, Преображенский, 1973). В то же время географогенетический подход широко внедряется в практику исследования сообществ растений и животных. Например, современная лесная типология опирается на закономерности структуры и эволюции природных ландшафтов как на необходимый методологический фундамент при разработке общей теории лесообразовательного процесса (Колесников, 1967; Рысин, 1980).

Коломыйц Эрланд Георгиевич, доктор географических наук, профессор, egk2000@mail.ru

Внедрение экологического подхода во многие естественные науки связано со все большим пониманием роли биологических компонентов ландшафта в его стабилизации и саморегулировании, а также с резким обострением в последние десятилетия проблемы охраны природы в условиях мировой научно-технической революции и мощных социальных и культурных сдвигов в человеческом обществе. Развитие геоэкологической концепции выражается не только в наполнении старого понятия «ландшафтоведение» новым экологическим содержанием, но и в стремлении наметить первые шаги на пути создания конструктивно-преобразовательного направления в науках о Земле, в частности в географии и биологии (Герасимов, 1985).

Наши исследования исходят из наиболее общего понятия экологии «как науки о структуре и функциях природы» (Одум, 1975, с. 10). Это предполагает широкое комплексирование экологических и ландшафтно-географических методов исследования, с трактовкой природной среды с позиций теории систем, позволяющей установить механизмы экологических связей в том или ином геопространстве (Сочава, 1970). Ландшафтная организация включает как известно, два взаимосвязанных, но противоположных процесса – интеграцию различных геокомпонентов в целостные природные единства (ландшафты) и дифференциацию этих единств на относительно обособленные территориальные части разного масштаба, т.е. соподчинение их структурных уровней – локального, регионального и планетарного. Такая двойственность организации географического пространства (интеграция–дифференциация) находит отражение в двух ветвях иерархии гео(эко-)систем – компонентной и ареальной (Геттнер, 1930). Соответственно различают два основных типа моделей ландшафтной организации – моносистемный и полисистемный (Преображенский, 1969). Весь комплекс связей между природными компонентами и факторами, благодаря которому существует многообразие экосистем, является предметом географической экологии.

Мы рассматриваем главным образом *физическую экологию*, где по аналогии с физикой ландшафта (Арманд, 1967) анализируются физические процессы взаимодействия биоты с абиотическими факторами, обуславливающие структурно-функциональную организацию природных экосистем с определенным уровнем их первичной продуктивности. Не менее важное значение имеют, конечно, и биогеохимические круговороты, а также сами биотические взаимодействия в экосистемах, однако эти аспекты экологии нами не рассматриваются.

Экологическая безопасность крупнейших по уровню развития экономических регионов нашей страны связана в значительной мере с проблемой сохранения и воспроизводства лесных ресурсов – прежде всего, на юге бореального пояса и на севере пояса суббореального, т.е. в критических условиях зональных переходов от леса к степи. Особенно актуальной данная проблема становится в условиях возрастающего антропогенного давления на природу, приобретающего в настоящее время общепланетарные масштабы. К таким феноменам современного этапа взаимодействия природы и общества относится уже практически начавшееся глобальное антропогенное изменение климата (глобальное потепление), с его весьма разнообразными и подчас трудно предсказуемыми экологическими последствиями.

В числе наиболее опасных экологических последствий глобального потепления и общей климатической аридизации может оказаться необратимое ухудшение лесорастительных условий на обширных территориях южных маргинальных лесов умеренного пояса. Дальнейшая же прогрессирующая климатическая аридизация может иметь катастрофические последствия для земной биоты в целом. Недавними исследованиями вулканических пород с берегов р. Тунгуски, проведенными в университете Сиракьюз (США), установлено, что «великое Пермское вымирание», когда с лица суши Земли исчезло до 95% живых существ, было обусловлено огромными вулканическими выбросами парниковых газов в атмосферу (сообщение в Интернете). Предполагается также, что уже 2020 год может оказаться «точкой экологического невозврата», если не снизить глобальный поток техногенных выбросов парниковых газов в соответствии с положениями Киотского протокола.

Первоочередной эколого-географической задачей решения указанных проблем является: 1) установление механизмов реакции лесных сообществ умеренного пояса, находящихся у южных границ своего распространения, на неблагоприятные для них воздействия процессов общей аридизации природной среды, вызванных глобальным потеплением; 2) разработка модельных экологических сценариев структурно-функциональной организации, устойчивости и углеродного баланса лесных экосистем согласно глобальным моделям изменений климата на ближайшие 100–200 лет. Решению именно этой фундаментальной задачи посвящена значительная часть данных очерков.

Известные методы биоэкологического и геоэкологического мониторинга, основанные чаще всего на сравнительном анализе аэрокосмических ма-

териалов, не оперируют параметрами биологического круговорота в гео- и экосистемах, поэтому они не в состоянии выявить функциональные связи между биотой и средой, а также спрогнозировать изменение этих связей. Соответственно остается нерешенной проблема раскрытия движущих сил функционирования и устойчивости биогеосистем в условиях изменчивой абиотической среды, что имеет прямое отношение к глобальному потеплению и его экологическим последствиям. Наш многолетний научный поиск как раз и ставил своей основной целью разработку научно-методических основ пространственного функционального мониторинга лесов на основе эмпирически устанавливаемых локальных и региональных ландшафтно-экологических связей, которые рассматриваются в качестве механизмов метаболической реакции лесных экосистем на те или иные климатические тренды. В таком аспекте проблема мониторинга еще не разрабатывалась, поскольку, во-первых, отсутствовала необходимая фактологическая база, а во-вторых, – не была разработана достаточно строгая методика самого локального и регионального экологического прогнозирования. Обе эти проблемы удалось решить, а насколько успешно – судить взыскательному читателю.

Работая в области географической экологии в течение последних лет, автор выдвинул и в различной степени проработал следующие научно-методические концепции: 1) принципы и методы дискретного эмпирико-статистического моделирования пространственной организации разнорядковых гео(эко)систем, а также создания прогнозных моделей их климатогенных преобразований; 2) положение о географических экотонах как первоочередных объектах изучения воздействия человека на природу; 3) региональная палео-прогнозная концепция, рассматривающая прогнозируемые эколого-географические сценарии и их палеогеографические аналоги как единую региональную систему глобальных изменений природной среды; 4) топо-экологическая прогнозная концепция «Глобальные изменения на локальном уровне» как научно-методическая основа геосистемного мониторинга; 5) применение методов ландшафтной экологии в оценках биологического круговорота и углеродного баланса лесных экосистем при изменениях климата; 6) исчисление функциональной устойчивости локальных и зонально-региональных лесных сообществ на основе дискретных параметров биологического круговорота.

В данных очерках освещены наиболее существенные положения этих концепций.

Часть I БАЗОВЫЙ ЛАНДШАФТНО- ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

1. МЕТОДЫ ЭМПИРИКО- СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕО(ЭКО-)СИСТЕМ

1.1. Ландшафтно-экологическая система как объект базового и прогнозного моделирования.

Основным инструментом системного анализа сложных природных объектов служат, как правило, *методы математического моделирования*. Они дают ту необходимую общность подхода к изучению процессов различной природы, без которой сегодня вряд ли можно представить успешное объединение усилий представителей различных научных дисциплин для решения единой задачи. Моделирование становится особенно незаменимым при решении задач долгосрочного экологического прогнозирования, поскольку проблема слишком сложна, масштаб явления весьма велик, а разумный физический эксперимент поставить практически невозможно (Шнайдер, 1993). При этом необходимо иметь в виду, что малые внешние воздействия способны вызвать существенные глобальные изменения (Котляков, 2001).

Уже первые опыты ландшафтного моделирования убедили в «нереальности замысла всесторонне охарактеризовать в одной модели даже главнейшие функциональные зависимости гомогенного участка геосистемы <...> Любая геосистема может быть описана только комплексом моделей, в котором каждая из моделей имеет определенную целевую установку» (Сочава, 1978, с. 51, 53). Идеология моделирования биосферных процессов предполагает также, что «нецелесообразно детально рассматривать в одной и той же модели процессы, для которых характерные времена очень резко отличаются друг от друга» (Ляпунов, 1981, с. 16).

Гео(эко-)системы как многокомпонентные целостные образования с «плохой» структурой наиболее адекватно могут быть описаны с помощью *методов дискретной математики* (теории информации, теории множеств, кластерного анализа, геоморфометрии и др.). Эти методы позволяют формализованно описывать три фундаментальные географические закономерности, по (Сочава, 1978): интеграцию геокомпонентов в природные комплексы данного таксономического ранга, дифференциацию последних в пределах данного геопространства и, наконец, их иерархическую организацию.

При ландшафтно-экологическом моделировании, описывающем поведение экосистем как

целостных образований, удастся оперировать сравнительно небольшим числом наиболее информативных признаков и получать результаты с гораздо более высокой степенью пространственного разрешения по сравнению с тем, что дают известные имитационные модели. При этом удастся существенно снизить такое отрицательное свойство моделей как их эклектичность (смешение свойств объекта и формирующих его процессов), вызванную чрезмерно большим числом одновременно вводимых параметров (Галицкий, Тюрюканов, 1981). Преимущество дискретных (структурных) моделей над известными непрерывными (динамическими) моделями (Innis, 1978; Теоретические основы..., 1983; Гильманов, Базилевич, 1986; Bonan et al., 1992; Impacts of climatic..., 1993; Чертов, Комаров, 1997); и др. состоит также в том, что они способны отображать многообразие качественных свойств исходных элементов структуры.

Выгодно отличаясь от имитационных моделей способностью более полно описывать свойства географического пространства, модели эмпирико-статистические имеют и свои существенные недостатки, которые особенно ощутимы в прогнозно-экологическом анализе. Главным из них является их «неопределенность во времени» (Lischke et al., 1998). По этим моделям можно предсказывать только *потенциальные будущие состояния экосистем*, причем состояний нового равновесия с абиотической средой, время достижения которого остается неопределенным. Дискретные эмпирико-статистические модели природных экосистем относятся к классу *статичных моделей*, позволяющих давать быструю оценку состояний экосистем и их изменений на больших площадях (Lischke et al., 1998). В них могут быть адекватно отражены процессы стабилизирующего отбора (см. очерк 6) как реакция биоты на климатические возмущения, превышающие порог ее адаптации.

Разрабатываемые нами *ландшафтно-экологические модели* (см. также Коломыц, 1998, 2005) являются эмпирико-статистическими и их можно, по-видимому, отнести к типу самоорганизующихся моделей, по Г.С. Розенбергу (1984). Апостериорный характер самого моделирования позволяет оперировать относительно небольшим числом наиболее информативных признаков и получать результаты, может быть, не столь точные, но с более высоким (географическим) уровнем общности, нежели при имитационном моделировании. В отличие, например, от гЭП-моделей (Bonan et al., 1992; Рэнсон и др., 1997; Чертов, Комаров, 1997; и др.), при эмпирическом ландшафтно-экологическом моделировании материалы натурных исследований исполь-

зуются не в качестве проверки тех или иных расчетных данных, а как фактологическая база самого моделирования, что сводит к минимуму влияние фактора субъективности при построении модели.

1.2. Сущность и типы эмпирико-статистического моделирования. Моделирование представляет собой мощное средство развития теории и методологии науки. Модель, в самом широком смысле, – это любая система, которая в некотором отношении способна заменять изучаемый объект, т.е. представляет собой объект-заменитель, в чем-то подобный оригиналу. Модель неизбежно упрощает действительность, но показывает в «обнаженном виде» те элементы и связи в изучаемой системе, которые интересуют исследователя, при устранении второстепенных деталей. Модель позволяет увидеть в сложном географическом целом самостоятельные и вместе с тем взаимосвязанные части. Это достигается обычно путем разделения сложного объекта на отдельные части – блоки, в которых исследователь старается выявить главные, с его точки зрения, черты «поведения» объекта и опустить второстепенные (Симонов, 1986).

Геоэкологический подход к изучению природной среды является по существу подходом системным, который учитывает в равной мере как экологические, так и географический аспекты природно-территориальной организации. Изучение экологических процессов и явлений с ландшафтных позиций предусматривает их пространственное многообразие, обусловленное определенной упорядоченностью вещественно-энергетических образований на земной поверхности и их интеграцией в некоторые территориальные единства (Нэф, 1968). Важнейшим началом формирования ландшафтно-экологических систем служит сама физическая поверхность Земли как «универсальный интегрирующий фактор» (Раман, 1976), с которым тесно связано ключевое понятие ландшафтной географии – *тип местоположения*, служащий элементарной ячейкой географического пространства (Родман, 1979).

На основе параметров организации природных экосистем, рассчитанных с помощью информационных шенноновских мер их структурно-функционального разнообразия (см. далее очерк 6), нами было установлено, что эти экосистемы относятся к категории *простых и сложных детерминированных систем*, по классификации (Антомонов, 1977). Математические модели таких систем должны описывать взаимоотношения между ними и между элементами каждой

из них, а также динамику входных, промежуточных и выходных показателей.

Ландшафтно-экологический подход основан на построении *дискретных эмпирико-статистических моделей природных экосистем*, по определению (Розенберг, 1984). Это класс *статичных моделей*, позволяющих давать быструю оценку состояний экосистем и их изменений на больших площадях (Lischkeetal., 1998). Они описывают категорию самоорганизующихся систем, и в них могут быть адекватно отражены процессы стабилизирующего отбора (см. выше) как реакция биоты на климатические возмущения, превышающие порог адаптации.

Ландшафтно-экологический подход к моделированию природных экосистем локального уровня основывается нами на известной биохорологической концепции В.Н. Тимофеева-Ресовского (Тимофеев-Ресовский, Тюрюканов, 1966). В этой концепции центральное место занимает положение о пространственной организации живым веществом круговорота вещества и энергии в биогеоценозах как дискретных элементарных структурных единицах биосферы. В соответствии с разработками (Крапивин и др., 1982; Горшков и др., 1999) биосфера рассматривается как статистический ансамбль биогеоценозов – слабо взаимодействующих между собой, но внутренне высоко упорядоченных (на основе стабилизирующего отбора) элементарных биохорологических единиц. Каждой экосистеме уровня фаций или их группировок придаются определенные функциональные свойства, связанные со структурой локальных вещественно-энергетических потоков. Такой подход позволяет выявлять территориальную организацию топоэкосистем с позиций фундаментальных принципов био- и георазнообразия (Пузаченко, 2006) и прогнозировать закономерности поведения лесных сообществ в различных геоморфологических и эдафических условиях на основе собираемой в поле массовой эмпирической информации при сохранении статистических методов ее анализа. Тем самым удается представить механизмы ландшафтной организации в эмпирико-статистических моделях локального экологического пространства, что является, по нашему мнению, новым шагом в развитии геоэкологии.

Дискретный характер эмпирико-статистического моделирования означает, что в пространстве рассматриваемых экологических факторов должна существовать некоторая ячеистая структура, определяющая возможность реализации тех или иных категорий биологических объектов, а также типы путей их «онтогенеза» (Тимофеев-Ресовский, 1970). Сам процесс моделирования основан на гипотезе о существовании

иерархии таких ячеистых структур (Галицкий, Тюрюканов, 1984).

Системный подход предполагает использование в исследовательском процессе весьма широкого понятия – организации, организованности ландшафтов или экосистем. Это понятие включает две взаимосвязанные части: 1) внутреннюю упорядоченность, согласованность и взаимодействие частей (элементов) целого; 2) совокупность процессов поведения (функционирования), управления и саморегуляции на каждом структурном уровне. Географический аспект организации систем состоит в поиске механизмов соединения разнородных по генезису, субстратным свойствам и темпам изменения природных компонентов, а также комплексов низшего ранга в единое целостное образование (Преображенский, 1986). Анализ связей внутри гео(эко-)системы и между системами составляет суть самого ландшафтного исследования.

В качестве биотического ядра элементарной природной экосистемы мы будем рассматривать (за редким исключением) фитоценоз (растительное сообщество) – качественно своеобразный и однотипный участок растительного покрова, далее не разделяемый, с однородным характером взаимоотношений между растениями, а также между ними и средой (по дефиниции (Ниценко, 1971). В контексте принципов организации гео(эко-)систем весьма важной представляется известная трактовка фитоценоза как исторически организованного аппарата, приспособленного к оптимальному использованию производительных сил местообитания для аккумуляции и трансформации вещества и энергии и для построения живого вещества (Сукачев, 1972).

Ландшафтная организация включает два взаимосвязанных, но противоположных процесса – интеграцию различных геокомпонентов в целостные природные единства (ландшафты) и дифференциацию этих единств на относительно обособленные территориальные части разного масштаба, т.е. соподчинение их основных структурных уровней – локального, регионального и планетарного, согласно дефинициям Л.Г. Раменского (1971). Такая двойственность организации географического пространства (интеграция-дифференциация) находит отражение в двух ветвях организации гео(эко-)систем – компонентной и ареальной.

Первый аспект организации касается так называемых вертикальных – *межкомпонентных ландшафтных связей*, т.е. взаимоотношений между горными породами, климатом, рельефом, поверхностными и подземными водами, почвами, фито- и зооценозами. Такие связи отражаются в моносистемных моделях гео(эко-)систем

(Преображенский, 1969), применение которых привело, как известно, к успешному развитию индикационных методов в физической географии и экологии.

Второй аспект природно-территориальной организации составляют связи горизонтальные (латеральные) – *межкомплексные*. Они характеризуют отношения между самими природными комплексами, равными по рангу. Ими формируются *векторные ландшафтные системы* (Ретеюм, 1971; Д.Л. Арманд, 1975), известные под разными наименованиями: геохимических ландшафтов (Полынов, 1956; Глазовская, 1964), биогеосистем (Бяллович, 1973), каскадных систем (Chorley, Kennedy, 1971), катен (Джррард, 1984), парагенетических комплексов (Мильков, 1981).

При моносистемном типе моделирования каждый рассматриваемый объект принимается латерально однородным в пределах данной территории; для построения же полисистемных моделей территория предварительно расчленяется на относительно однородные участки, которые затем сопоставляются по параметрам состояний всей (или выборочной) совокупности объектов. Модели первой группы основываются на представлениях о непрерывности (континуальности) ландшафтной сферы, между тем как вторая группа моделей базируется на концепции ее дискретности, мозаичности.

1.3. Методика сбора полевого материала и подготовки его к моделированию. В построении модели гео(эко-)системы как сложно организованного многокомпонентного образования «особенно важен принцип полноты, так как обилие одновременно протекающих обменных процессов требует очень большого количества эмпирических данных» (Ляпунов, 1981, с. 16). Эмпирико-статистическое моделирование природных комплексов осуществлялось нами по материалам крупномасштабных ландшафтно-экологических съемок, проведенных на специально подобранных экспериментальных полигонах. Опыт показывает (Коломыц и др., 1993; Коломыц, 1995), что каждый такой полигон должен состоять не менее чем из 40–50 пробных площадей (географических точек). Весь спектр пробных площадей должен охватывать свойственное данному экорегиону основное разнообразие геоморфологических условий и почвенно-фитоценологических структур. Опишем основные требования к сбору фактического материала.

Модели состояний гео(эко-)систем должны включать в качестве своих элементов признаки основных представителей функциональных блоков природного комплекса. В соответствии с иерархией характерных времен различных гео-

компонентов (А.Д. Арманд, 1975) для любых условий можно выделить следующие геокомпонентные признаки.

А. Независимые переменные – морфометрические характеристики рельефа: абсолютная высота, экспозиция склона, угол наклона поверхности; тип местоположения и форма микрорельефа.

Б. Частично зависимые переменные – нанорельеф и почвенно-литологические характеристики: выходы на поверхность глыб коренных пород, микротеррасированность склона, покрытие почвы остроугольными валунами, щебнем и дресвой, степень смывости почвы, механический состав горизонта В почвы, степень защебенности верхних почвенных горизонтов.

В. Зависимые переменные – почвенно-растительные и микроклиматические характеристики: мощности горизонтов A_0 и A_1 , температура, влажность и влагосодержание почвы на различных глубинах; характеристика растительного покрова (флористическая и фитоценотическая структура, экологические группы напочвенного покрова); сырая и воздушно-сухая фитомасса травостоя; степень пастбищной дигрессии и др.

При сборе фактического материала, пригодного для построения моделей, необходимо соблюдение следующих условий.

1. Каждая пробная площадь, характеризующая некоторый гомогенный ареал (ландшафтную фацию – биогеоценоз), описывается множеством признаков, фиксируемых одновременно и привязанных к одному и тому же локальному местоположению и определенной форме микрорельефа (размер пробной площади в наших исследованиях составлял обычно 20×20 м).

2. Точки должны охватывать по возможности все территориальное многообразие локальных гео(эко-)систем по их независимым и частично зависимым признакам в целях наиболее полного выявления «экологической амплитуды» зависимых переменных. Это обеспечивает необходимую фактологическую базу для последующего анализа пространственной сопряженности геокомпонентов и взаимоотношениями между самими природными комплексами.

3. Все признаки должны быть «сквозными», т.е. присутствовать в той или иной мере во всех точках и иметь минимальное число нулевых значений. Тем самым достигается попарная сопоставимость всех точек между собой по всему набору геокомпонентных признаков.

4. Для построения моделей все признаки необходимо выразить численными показателями либо упорядоченными качественными характеристиками, оцененными в баллах. Число градаций (классов) признака не должно быть чрезмер-

но большим. Опыт статистического анализа показывает, что при числе пробных площадей менее 100 и при современной точности полевых наблюдений и измерений следует выделять не более 5–7 градаций.

5. Согласно представлениям о принципиально вероятной природе ландшафтных закономерностей (Арманд и др., 1969), исходный эмпирический материал должен быть массовым, пригодным для статистической обработки. Количество пробных площадей должно быть соразмерно числу фиксируемых в поле признаков (А.Д. Арманд, 1975). Только в этом случае статистический объем выборки будет отражать генеральную совокупность вариаций каждого признака по территории. В наших исследованиях на каждом полигоне было описано от 40–50 до 70 точек, при съеме информации на каждой из них по 60 параметрам состояния лесного биогеоценоза и по 30 параметрам – для лугового. При дальнейших расчетах число признаков может быть увеличено до 100 и более.

6. При однократной ландшафтно-экологической съемке исследуемые признаки характеризуют «мгновенное» состояние каждого геокомпонента и в своей совокупности дают некоторый пространственно-временной срез природного комплекса с общей траектории его разночастотных изменений (прежде всего, сезонных и многолетних). В связи с этим весь цикл изменений производится в максимально сжатые сроки, в течение которых такие динамические показатели, как температура и влажность средних и нижних слоев почвы, а также состав и масса травянистой растительности не испытывают существенных изменений. Более того, с помощью наблюдений на контрольной площадке значения этих признаков приводятся к некоторому единому сроку. Не фиксируются такие высокочастотные признаки, как температура и влажность приземного слоя воздуха.

Сбор фактического материала на каждой пробной площади и его первичная обработка проводятся в соответствии с известными теоретическими разработками и методическими руководствами (Родин, Базилевич, 1965; Молчанов, 1971; Смирнов, 1971; Программа и методика..., 1974; Перельман, 1975; Методы изучения..., 1978; Биологическая продуктивность..., 1982; Титлянова, 1983; Беручашвили, 1990; Загребев и др., 1992; Швиденко и др., 2008; и др.).

Наиболее объективные показатели структуры и функционирования природных комплексов выявляются при учете их катенарной организации (Тишков, 2005), т.е. при анализе ландшафтных сопряжений того или иного таксономического ранга. В условиях сложно расчленен-

ного горного рельефа основной природной единицей выступает элементарный склон (Котляков, 2001). Согласно ландшафтно-геохимической классификации (Глазовская, 1964) выделяются шесть типов локальных местоположений (МП, рис. 1.1 а). Они образуют парагенетические ряды ландшафтных сопряжений, включающие следующие звенья (в направлении от водораздела к местному базису эрозии): элювиальное (Э), трансэлювиальное (ТЭ), транзитное (Т), трансаккумулятивное (ТА), аккумулятивное (А) и супераккумулятивное (СА). Элювиальные МП относятся к категории *плакоров*, по определению (Высоцкий, 1960). В условиях горного рельефа развивающиеся на плакорах ненарушенные (коренные) или слабо нарушенные растительные сообщества рассматриваются как зональные представители данного высотного пояса, в наибольшей степени отображающие фоновые климатические условия на данном интервале абсолютных высот.

Наряду с этим выделяются определенные формы микрорельефа – по степени их рассеивающего или, наоборот, аккумулярующего влияния на водные и грунтовые массы (рис. 1.1 б): а–б) гребни с ровным или выпуклым продольным профилем; в) бровки террас и уступов с ровным поперечным профилем; г) ровные участки склона (в продольном и поперечном направлениях); д) днища ложбин с ровным тальвегом; е) вогнутые подножия террас и уступов с ровным поперечным профилем; ж) кресловидные ложбины и западины (нивальные ниши). Первые три категории соответствуют элювиальным и трансэлювиальным типам местоположений, вторые три – ТА, А и СА типам.

Выделенные категории форм микрорельефа соответствуют известному в ландшафтоведении понятию «*геотоп*», который характеризует сочетание геоморфологических и эдафических составляющих элементарного природного комплекса – ландшафтной фации, или биогеоценоза (Сочава, 1974). В зарубежной литературе он именуется как «физиотоп» (Нефф, 1968), однако физиотопом мы условимся называть тип МП.

Весь комплекс измеренных и рассчитанных структурно-функциональных признаков, используемых для моделирования, разбивается на шесть геокомпонентных блоков (Коломыц, 2008): 1) гидро-геоморфологический; 2) почвенный структурный; 3) фитоценотический структурный; 4) фитоценотический функциональный; 5) ландшафтно-геофизический; 6) ландшафтно-геохимический.

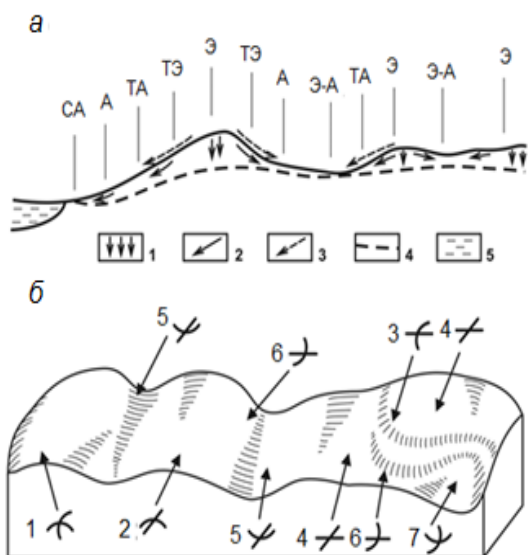


Рис. 1.1. Локальные геоморфологические факторы катенарной организации геосистем:

а) Схема основных типов местоположений ландшафтных фаций и их групп, по (Полынов, 1956; Глазковская, 1964).

Перенос влаги и вещества в почве и рыхлых отложениях: 1 – в вертикальном направлении; 2 – вдоль склона; 3 – литодинамические и воздушные потоки. 4 – уровень грунтовых вод. 5 – водоем. СА, А, ТА, ... – обозначения типов местоположений (см. в тексте)

б) Блок-диаграмма форм микрорельефа (геотопов). 1 – узкие гребни с выпуклым продольным профилем; 2 – уплощенные гребни с ровным продольным профилем; 3 – бровки террас и уступов с ровным поперечным профилем; 4 – ровные участки склона (в продольном и поперечном направлениях); 5 – днища ложбин с ровным тальвегом; 6 – вогнутые подножья террас и уступов с ровным поперечным профилем; 7 – кресловидные западины и ложбины (типа нивальных и оплывных ниш)

При построении полисистемных моделей весьма важной является процедура предварительного разбиения множества значений каждого признака на классы (градации). Для количественных признаков классовые промежутки нами определялись эмпирически – путем анализа поля дисперсии каждого признака в отдельности. Качественные признаки так же были разбиты на классы путем придания каждому классу определенного порядкового номера (балла), начиная с 1. Каждый балл есть не что иное, как «вес» $\mu a_i(P_j^k)$ j, k -го признака в элементе $a_i \in A$ (см. ниже). Например, классы эдафического увлажнения фитоценозов, по шкале Л.Г. Раменского, имеют следующие баллы: лугово-степное увлажнение – 1; сухолуговое – 2; свежелуговое – 3; влажнолуговое – 4.

При квантовании качественных признаков необходимо учитывать данные зонально-региональные гидротермические условия. Так, в

условиях недостаточного увлажнения для таких признаков, как угол наклона поверхности и выходы глыб коренных пород, содержание литомасс (обломков коренных пород) в почвенных горизонтах, поступление солнечной радиации в вегетационный период и температуры почвы на разных глубинах, порядковые номера должны присваиваться грациям в направлении убывания значений признака. Для таких же признаков, как мощность делювиального чехла на склоне, толщина дернины или лесной подстилки, объемные веса, влажность и рН почвенных горизонтов, большему значению признака присваивается и более высокий балл.

На территориях с избыточным увлажнением те же самые признаки будут иметь прямо противоположный порядок нумерации. В первом случае, чем влажнее почва и ниже температура ее в вегетационный период, тем выше и гуще травостой; здесь в указанном направлении «весовые» коэффициенты признаков возрастают. Во втором же случае такая тенденция температуры и влажности почвы снижает биопродукционный эффект геосистемы, поэтому коэффициенты должны уменьшаться. Аналогичная оценка проводится и для геолого-геоморфологических факторов. В целом более высокий балл (вес) всегда придается тому значению признака, которое отвечает более сложной организации растительного сообщества и его более высокой продуктивности. Такой подход соответствует известному принципу максимальной эффективности использования экосистемой ресурсов среды (Утехин, 1977).

При изучении сопряженности одних природных признаков с другими необходимо соблюдать условие сопоставимости пространственных (хорологических) частот каждой сравниваемой пары признаков, т.е. условие соразмерности уровней их территориальных обобщений (уровней квантования). С этой целью следует предварительно установить иерархию хорологических частот признаков-факторов, выделив низко-, средне- и высокочастотные признаки, с соответствующими размерами частотных полос. Аналогичным образом выделяется иерархия пространственных частот признаков-явлений и осуществляться их квантование по территории.

Сопоставление каждого явления должно проводиться лишь с теми факторами, которые имеют вполне соизмеримую с явлением полосу частот. Только в этом случае может быть обнаружена значимая статистическая связь явления с фактором. Согласно (Пузаченко, 1986) для каждой произвольно выбранной территории выбирается та полоса пространственных частот признака, которая отличается наименьшим числом состояний, т.е. в пределах которой данное свойство

характеризуется наименьшей частотой. В этой связи процедура территориального осреднения (квантования) признаков приобретает важное методическое значение. От нее зависят качество первично обработанного материала и корректность последующего анализа.

1.4. Расчеты живых фитомасс и продуктивности лесных экосистем. Отдельно следует остановиться на подготовке к моделированию дискретных параметров малого биологического круговорота в лесных экосистемах. Перечислим основные измеренные и/или рассчитанные параметры, с указанием их обозначений.

А. Фитомассы (т/га):

- 1) запас древесины – BW ;
- 2) скелетная древесно-кустарниковая фитомасса – BS ;
- 3) общая надземная масса подроста и подлеска – BB ;
- 4) общая зеленая масса – BV ;
- 5) общая живая надземная фитомасса – BL ;
- 6) масса корней – BR ;
- 7) воздушно-сухая надземная фитомасса травостоя – DG ;
- 8) общая зеленая масса – BV ;
- 9) общая живая фитомасса (надземная и подземная) – BC ;
- 10) масса лесной подстилки – ML ;
- 11) мертвая скелетная масса (валеж и сухостой) – WD ;
- 12) общая мертвая надземная фитомасса – BD ;
- 13) масса гумуса – HU .

Б. Продуктивность (т/га в год):

- 14) общая годовая продукция лесного фитоценоза – PC ;
- 15) годичный прирост скелетной фитомассы – PS ;
- 16) годичная продукция зеленой массы – PV .

В. Комплексные показатели биологического круговорота:

17) отношение продуктивности к фитомассе – $KE = PC/BC$;

18) аллометрический коэффициент – $KA = \log(PC) / \log(BC)$;

19) коэффициент годового оборота фитомассы – $KR = PV/BL$;

20) коэффициент годичной деструкции надземной фитомассы, или подстильно-опадный индекс – $KY = PV/ML$, лет;

21) коэффициент многолетней деструкции фитомассы – $(KP = BD/BL)$; 22) коэффициент утилизации мертвой надземной фитомассы – $KU = (BL-BD)/BL$;

23) показатель скорости многолетней деструкции фитомассы – $ID = BD/(PV+PS)$, лет;

24) $IV = PV / PS$ – показатель жизненности фитоценоза, определяется как отношение ежегодного опада к запасам надземной скелетной части древесно-кустарниковых ярусов; этот показатель комплексно отражает целый ряд процессов функционирования лесного фитоценоза (интенсивность фотосинтеза, скорость транспирации и темпы поступления минерального питания и др.), определяющие в конечном итоге его жизненность (устойчивость), а для отдельных видов древесных пород – их конкурентоспособность; выражается в долях 1; 25) $IKC = KR / \tau$ – индекс конкурентоспособности лесного сообщества; здесь τ – средневзвешенный возраст основных лесообразующих пород.

Расчеты проводятся по общим и региональным таблицам биологической продуктивности полных (нормальных) насаждений (Швиденко и др., 2008), для чего используются средний возраст и бонитет каждой породы – исходные параметры, полученные при таксации леса на пробных площадях. Шапка расчетных таблиц биологической продуктивности, заимствованная из данной монографии, имеет вид:

Ствол	В том числе кора	Древесина кроны	Хвоя, листва	Итого надземная	Корни	Итого	Подрост и подлесок	Напочвенный покров	Всего	Текущий прирост
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Процедура расчетов состоит в следующем.

А. Фитомассы (живые)

BW – берется признак (1) (запас стволовой древесины);

BS – складываются признаки: (1) + (3) + (0,8·(8));

здесь берутся полностью признаки 1 и 3 и 0,8 от значения признака 8;

BB – это был признак (8);

BV – складываются значения признаков: (4) + (9) + (0,2·(8));

BL – складываются параметры: $BS + BV$;

BR – складываются признаки: (6) + (3·(9)) + (0,45·(8)); это сумма корней деревьев, подроста с подлеском и напочвенного покрова (трав); масса корней травостоя в три раза больше его зеленой массы;

BC – складываются параметры: $BL + BR$.

Зеленая масса напочвенного покрова (*BG*) определяется дополнительно эмпирически – с помощью укосов на геоботанических микроплощадках.

Б. Продуктивность

PS – складываются признаки: $(11) + (0,14 \cdot (8))$;

PV – складываются признаки:

$(9) + (0,15 \cdot (8)) + (4)$ полностью, если дерево лиственное: береза, дуб, липа и т.п.);

– « – + $(0,33 \cdot (4))$, если это сосна, кедр или кедровый стланик);

– « – + $(0,125 \cdot (4))$, если это ель, пихта).

PC (NPP) – складываются параметры:

$PS + PV + (0,07 \cdot (8)) + (0,12 \cdot (11))$, для сосны, березы, ольхи, черемухи, рябины);

– « – + $(0,22 \cdot (11))$, для ели, пихты, осины, тополя, дуба);

– « – + $(0,43 \cdot (11))$, для липы, клена, вяза, ильма).

Наряду с описанной процедурой фитомассы и продуктивность можно определить по известным таксационным таблицам (Загребев и др., 1992), исходя из данных на пробной площади по высоте и диаметру ствола, среднему возрасту породы, а также из формулы древостоя и сомкнутости крон, пересчитанной на полноту леса по найденной эмпирической зависимости.

Количественный анализ функционирования лесных экосистем не может ограничиться рассмотрением отдельных живых фитомасс. Необходима определенная комплексная оценка восходящей ветви биологического круговорота через относительные (безразмерные) параметры, которые могут существенно дополнить картину функциональной организации природных комплексов. В качестве таких интегральных мер в наших исследованиях использовались четыре безразмерных параметра – *KE*, *KR*, *KA* и *ИКС*.

Параметр *KE* – наиболее широко используемая характеристика структуры и функционирования гео(эко-)систем (Герасимов, 1985), через которую в лесоведении, например, выражают относительный прирост (Базилевич и др., 1986). Это отношение есть мера начальной обеспеченности продвижения органического вещества (и энергии) по всей трофической цепи и, следовательно, мера эффективности «работы» растительного вещества по устойчивому функционированию всей экосистемы. В диапазоне функциональных состояний экосистемы можно выделить три зоны стимулирования ее функций – пессимальный, оптимальный и максимальный (Керженцев, 2001). Поэтому, следуя Ю. Одуму (1986), мы

и называем отношение *PC/BC* показателем экологической эффективности (*ПЭЭ*) автотрофного биогенеза. Согласно концепции биоэнергетики развития экосистем (Одум, 1986), это отношение можно рассматривать также в качестве функционального показателя зрелости лесного сообщества. Поскольку биопродукционный процесс является в значительной мере процессом ландшафтно-геофизическим (Арманд, 1967), то отношение *PC/BC* можно рассматривать как коэффициент полезного действия (КПД) фитоценоза. Значения этого параметра тем выше, чем больше производится растительного вещества при одной и той же исходной фитомассе.

Частным выражением отношения *PC/BC* является коэффициент годичного оборота надземной фитомассы *KR* (Крутько и др., 1982) – отношение годичной продукции зеленой массы (+ массы генеративных частей) *PV* к общей надземной фитомассе *BL*. Данный параметр указывает на ту долю общего надземного органического вещества, которая участвует в годовом ее круговороте. Он выражается в долях 1 и служит показателем эффективности автотрофного биогенеза (Одум, 1975; Глазовская, 1988), своего рода КПД лесного фитоценоза. По мере развития леса и приближения его к равновесному (климаксовому) состоянию параметр *KR* снижается почти до нуля, поскольку все большая доля валовой продукции расходуется на дыхание, т.е. на поддержание биомассы.

Коэффициент оборота фитомассы (*KR*) и показатель жизненности фитоценоза (*IV*) – характеристики, достаточно адекватные друг другу. Однако они не являются дублерами, поскольку различаются как по методам оценки и параметрам, входящим в расчетные формулы, так и по их интерпретации. Для расчета *KR* в качестве главного компонента годичной продукции зеленой массы используются табличные значения массы листвы (или прироста хвои) древостоев на основе эмпирических данных по высоте и массе стволов (Вомперский, 1982). Этот параметр показывает, какова доля ежегодного возобновления надземной фитомассы, или, что то же самое, какая часть живой надземной фитомассы вовлекается в годовой оборот детритной цепи. При оценке же показателя жизненности фитоценоза берется непосредственно измеряемая масса ежегодного опада в данном биогеоценозе, а знаменатель составляет не вся живая надземная фитомасса, а только ее скелетная часть – преимущественно стволовая

древесина как достаточно стабильная функциональная характеристика основного яруса фитоценоза на определенном этапе его жизни. Биоиндикатором уровня жизненности и, соответственно, устойчивости ценоза служит масса ежегодно продуцируемого зеленого вещества, идущего в опад.

Производный от KR является *аллометрический коэффициент* KA (Розен, 1969). Этот инвариантный параметр характеризует степень однородности региональных ландшафтов и служит наиболее объективным критерием выделения их коренных зональных типов (Перельман, 1975), находящихся в климаксовом состоянии. Полноразвитые (климаксовые) таежные ландшафты должны иметь зональную норму $KA = 0,54-0,55$, а широколиственные – $0,58-0,60$.

Коэффициент годичной деструкции мертвой надземной фитомассы KY (Коломыц, 1995, 2008), известный как *подстилочно-опадный индекс* (Базилевич, Родин, 1971; Ковда, 1973; Глазовская, 1988), выражается в числах лет, необходимых для накопления данной массы лесной подстилки (или ветоши) при имеющихся скоростях ежегодного поступления в опад и последующего разложения органического вещества. Данный индекс отражает общую скорость малого биологического круговорота, где лесная подстилка является основным пропускным каналом функциональных связей (Дылис, 1978). По значениям этого индекса выделяются различные уровни биологического круговорота – от интенсивного ($KY = 0,7-1$ год) в лесах субтропиков, через умеренный (3–4 года) в широколиственных лесах и до заторможенного (10–17 лет) в темнохвойнотаежных лесах (Ковда, 1971).

Наконец, определяется *индекс конкурентоспособности* IKC лесного фитоценоза – отношение параметра KR к средневзвешенному возрасту (τ) основных лесообразующих пород (Лавриненко, 1965). Чем больше это отношение, тем выше конкурентоспособность. Следует ожидать, что при одном и том же годичном обороте надземной органики молодые древостои должны обладать более высокой конкурентоспособностью, нежели перестойные. Параметр IKC можно рассматривать как показатель функциональной устойчивости лесного сообщества данного типа в его взаимоотношениях с сообществами других типов.

Малый биологический круговорот может быть охарактеризован в первом приближении двумя дискретными параметрами: а) для со-

зидательной (восходящей) ветви – первичной биологической продуктивностью (PC), в значениях которой отображаются, с одной стороны, эффективность использования фитоценозом ресурсов среды (Утехин, 1977), а с другой, – затраты энергии на биологические процессы в почвах (Волобуев, 1974); б) для детритной (нисходящей) ветви – коэффициентом годичной деструкции фитомассы (KY). Параметры PC и KY в своей совокупности характеризуют экологическую эффективность почвенно-фитоценозотического ядра экосистемы (Одум, 1975), и их соотношение определяет сбалансированность процессов метаболизма – фактор, весьма важный для сохранения самой экосистемной структуры. Считается, что в обеспечении этой сбалансированности приоритетная роль принадлежит детритной ветви, которая является наиболее узким пропускным каналом метаболизма и поэтому играет ключевую роль в малом биологическом круговороте, определяя в конечном итоге его интенсивность (Базилевич, Родин, 1969; Одум, 1975; Дылис, 1978). Приведенные выводы получены на основе изучения главным образом лесных экосистем и касаются в первую очередь бореальных лесов.

1.5. Моносистемные теоретико-информационные модели. В моносистемном моделировании гео(эко-)систем, относящихся к категории объектов с «плохой» структурой, высокоэффективным оказалось применение методов теории информации (Пузаченко, Мошкин, 1969; Геренчук, Топчиев, 1970; А.Д. Арманд, 1975; Коломыц, 1984 б; Дьяконов, 1986; и др.), наиболее адекватных принципам организации систем (Эшби, 1959; Хильми, 1966; и др.). На уровне локального эмпирико-статистического моделирования при сборе фактического материала и его последующем анализе исследователь оперирует с различными вертикальными ярусами ландшафтного слоя – биогеогоризонтами, по (Бяллович, 1960). Состояние каждого такого горизонта в латеральном направлении принимается однородным в пределах данного элементарного участка – ландшафтной фации (биогеоценоза).

Теоретико-информационные методы обладают широкими возможностями описания механизмов организации гео(эко-)систем, с учетом не только количественных, но и качественных признаков. «Удобство информационных методов определяется нетребовательностью к условиям нормальности распределения данных, линейности связей, возможно-

стью оперировать как с количественными, так и с качественными признаками компонентов, представленными через дискретные классы-состояния» (Авессаломова и др., 2002, с. 82). Дискретный характер эмпирико-статистических моделей как нельзя лучше подходит к описанию этих моделей методами теории информации.

Информация в гносеологическом смысле есть естественно-научный эквивалент философской категории отображения (Урсул, 1968). При своем взаимодействии два объекта как бы обмениваются своими свойствами, в чем и состоит их взаимное отображение. Такой обмен, как правило, неравноценен в силу неадекватности прямых и обратных связей в системе бинарных отношений между различными природными компонентами или их отдельными признаками, что, в свою очередь, определяется масштабами их характерных времен (Арманд, Таргульян, 1974; А.Д. Арманд, 1975). Первый из двух взаимодействующих объектов, который преимущественно «передает» свои свойства, играет роль оригинала, или фактора (B), а второй, запечатлевающий эти свойства в характеристиках своей структуры и функционирования, – роль отпечатка, или явления (A). Прямая связь направлена, таким образом, от B к A при гораздо меньшей силе обратной связи ($A \rightarrow B$). Сказанное в полной мере относится и к случаю, когда в качестве явления A рассматривается весь природный комплекс или его отдельный блок, а в роли фактора B выступает определенный природный компонент (либо один из его признаков), ландшафтообразующее значение которого, таким образом, подвергается оценке.

Теория информации рассматривает наиболее общие закономерности взаимосовместимости и взаимодействия разнокачественных объектов в пространстве или во времени. При этом, оценивая в информационных единицах силу связей различных природных и антропогенных признаков, исследователь вскрывает определенные функционально-динамические свойства каждой сопряженной системы, поскольку передача информации (разнообразия) от одного признака (фактора) к другому (явлению) в природных комплексах неотделима от движения вещества и энергии, служащих носителями этой информации. Информационное моделирование природных комплексов позволяет выявить систему цепных реакций между различными геокомпонентами, провести их ранжирование по характеру и силе

ландшафтообразующего влияния, наконец, вскрыть природные и антропогенные закономерности формирования современных гео(эко-)систем.

При изучении материальных систем обычно говорят об их состояниях. *Состояние системы* характеризуется совокупностью таких признаков, значения которых в известный момент времени при данных условиях однозначно определяют их значения в течение некоторого времени (Еличеев и др., 1980). Таким образом, для определения состояния необходимо задать соответствующий период времени T_0 . Тогда если явление A реализуется в течение времени T_A , причем $T_A \geq T_0$, то можно говорить, что это явление характеризуется определенным состоянием (суточным, сезонным, многолетним и т.д.). Если же $T_A < T_0$, то данный случай реализации явления A называется событием, или *сигналом*. Это как бы кратковременное осуществление состояния. Однако каждое событие, если оно становится достаточно продолжительным, превращается в состояние.

Любой отпечаток в свойствах явления – носителя отражения, вызванный воздействием фактора, и есть сигнал в широком смысле (Петрушенко, 1967). Упорядоченность и организация (в том числе и самоорганизация) – это своего рода связанная информация, приобретенная данной гео(эко-)системой в процессе ее функционирования, т.е. осуществления межкомпонентных и межкомплексных взаимодействий, с соответствующей «передачей» структуры.

Модели состояний гео(эко-)систем должны включать в качестве своих элементов основные признаки – представители различных функциональных блоков природного комплекса. При этом, входными переменными моделей будут независимые или частично зависимые признаки, а выходными – зависимые структурные элементы, формирующиеся в процессе функционирования системы данного иерархического уровня. Ранжирование признаков производится в соответствии с рангом гео(эко-)системы, а также с их характерным временем (Арманд, Таргульян, 1974), или временем релаксации (Симонов, 1982). Напомним, что вход есть множество переменных, характеризующих внешние условия существования данной системы или параметры внешних воздействий на нее. Выход – это совокупность состояния системы, посредством которых она может оказывать обратное воздействие на среду, в том числе на любую другую систему.

1.5.1. Построение генеральной информационной модели. Континуальная парадигма в биогеоценологии и ландшафтоведении служит идеологической основой теоретико-информационного подхода. Среди основных положений континуализма для нас наиболее важны представления об экотопической обусловленности состава растительности, о низком уровне ее целостности и стохастичности пространственного распределения видов и сообществ, что позволяет широко использовать статистические методы анализа (Д.Л. Арманд, 1975; Раменский, 1971; Уиттекер, 1980; Миркин, 1985).

На основе информационного моделирования дается количественная оценка пространственной (или временной) сопряженности между различными природными компонентами и факторами, каждый из которых может быть представлен несколькими признаками. Информационные меры бинарных отношений признаков друг с другом показывают, каким значениям одного из них соответствуют в пространстве или во времени значения другого, т.е. в какой степени их состояния отображают друг друга и, следовательно, насколько изменение первого повлечет за собой изменение второго или – наоборот (в зависимости от направления связи). Такие отношения между компонентами называются каналом связи в ландшафте или экосистеме (Пузаченко, Мошкин, 1969). Каналы связи – это по существу наиболее уязвимые для внешнего воздействия звенья всей геокомпонентной системы взаимосвязей и в то же время наиболее благоприятные объекты для целенаправленного изменения структуры и функционирования ландшафта. Дублирующие каналы связи могут рассматриваться как признаки определенной «пластичности» гео(эко-)системы.

Сущность информационного анализа сложных систем состоит в количественной оценке соотношения частот (или вероятностей) совместной встречаемости различных градаций явления A (a_1, a_2, \dots, a_i) и фактора B (b_1, b_2, \dots, b_j), т.е. условных вероятностей явления $p(a_i/b_j)$, с одной стороны, и его априорных вероятностей $p(a_i)$ – с другой (Кастлер, 1960). Когда в качестве явления мы рассматриваем фитоценозы или биогеоценозы, то различные абиотические условия среды выступают в роли экоценологических факторов, по терминологии (Галицкий, Тюрюканов, 1984). В исходной рабочей матрице вектор состояний (градаций) фактора B образует строчки, а вектор состояний явления A – столбцы. Матрица характеризует прямое отображение

множества состояний явления на множество состояний данного фактора. В клетках матрицы помещены вероятности, или частоты, p_{ij} совместной встречаемости рассматриваемых состояний A и B , а суммы по столбцам и строкам дают, соответственно, $p(a_i)$ и $p(b_j)$; по ним вычисляются значения $p(a_i/b_j)$. Априорные вероятности $p(a_i)$ характеризуют явление A в предположении его полной независимости от фактора B , когда $p(a_i/b_j) = p(a_i)$. Мерой различия условного и априорного распределения A служит энтропийная функция $I(A/b_j)$, равная:

$$I(A/b_j) = H(A) - H(A/b_j), \quad (1.1)$$

$$\text{где } H(A) = -\sum_{j=1}^N p(a_j) \log_2 p(a_j); \quad (1.2)$$

$$H(A/b_j) = -\sum_{i=1}^N p(a_i/b_j) \log_2 p(a_i/b_j). \quad (1.3)$$

Информация $I(A/b_j)$ о явлении A , содержащаяся в состоянии b_j фактора B , есть мера силы воздействия этого состояния на явление. Чем выше значение $I(A/b_j)$, тем более жесткой является детерминация явления данным состоянием фактора. Параметры $H(A/b_j)$ и $I(A/b_j)$ вычисляются для каждой строки рабочей матрицы. Общее же количество информации, переданное от фактора к явлению, равно:

$$T(AB) = \sum_{j=1}^m p(A/b_j) \cdot I(A/b_j), \quad (1.4)$$

где m – число классов (градаций) фактора B .

Общее правило сопряженности двух объектов гласит (Кастлер, 1960) если сложное событие AB состоит из двух независимых событий A и B , то разнообразие (неэнтропия) сложного события равна сумме разнообразий, характеризующих отдельно A и B , за вычетом меры их совместного разнообразия, т.е.

$$T(AB) = H(A) + H(B) - H(AB), \quad (1.5)$$

$$\text{где } H(AB) = -\sum_{ij=1}^N p_{ij} \cdot \log_2 p_{ij}. \quad (1.6)$$

Графически это правило изображено на рис. 1.2. В самом деле, p_{ij} означает, что при реализации состояния a_i состояние b_j наступает лишь с определенной долей вероятности – за счет влияния других, неучтенных факторов, который здесь играют роль «шума», искажающего тесноту связей между A и B . Этот «шум» необходимо вычесть из общего разнообразия состояний.

Разнообразие $H(A/B)$ обозначает одну часть «шума», обусловленную неопределенностью a_i при известном b_j , $aH(B/A)$ – вторую часть «шума», связанную с неопределенностью b_j при известном a_i . Если раздвигать

фигуры на рис. 1.2, то $T(AB)$ будет уменьшаться и в конечном итоге обратится в ноль, что будет означать отсутствие связи между объектами. Если же фигуры совместить друг с другом, то $H(A) = H(B) = T(AB)$ – связь становится функциональной, без посторонних искажающих влияний.

Количество информации оценивается в двоичных единицах (битах). Однако удобнее пользоваться относительными мерами связи, выраженными в долях единицы. Таковым является в частности нормированный коэффициент сопряженности (Пузаченко, Скулкин, 1981):

$$K(A;B) = \frac{2^{T(AB)} - 1}{2^{H(\min A,B)} - 1}, \quad (1.7)$$

где $2^{T(AB)}$ есть число общих состояний A и B , а $H(A)$ и $H(B)$ – общая мера разнообразия (априорная негэнтропия), соответственно, признаков A и B . Отметим, что параметр $K(A;B) = 0,19$ соответствует коэффициенту корреляции около 0,7. Аналогичный смысл имеют еще два информационных параметра: коэффициент приема информации $K(B/A)$ (А.Д. Арманд, 1975) и нормированный коэффициент связи $K(A,B)$, основанный на известной в геоботанике мере сходства Сьеренсена (Василевич, 1969; Семкин, 1973). Формулы для их расчета имеют вид:

$$K(B/A) = \frac{T(AB)}{H(B)}; \quad (1.8)$$

$$K(A,B) = \frac{2T(AB)}{H(A) + H(B)}. \quad (1.9)$$

При расчетах параметра $K(A/B)$ в знаменателе ставится $H(A)$.

Очевидно, что при $K_{AB} > K_{BA}$ преобладает входное воздействие от B к A , а при $K_{AB} < K_{BA}$ – выходное воздействие от A к B . В случае $K_{AB} = K_{BA}$ признаки A и B влияют друг на друга примерно с одинаковой силой. Пределом неразличимости преобладающего направления воздействия можно принять $K_{AB} - K_{BA} = \pm 0,05$. В первом случае признак A выступает в качестве индикатора состояния признака B , во втором – как эдификатор (средообразователь) по отношению к этому признаку, а в третьем – как ретранслятор, в равной степени воспринимающий и передающий информацию. Обозначим информационный показатель связи для первого случая – $T_{AB}\uparrow$, для второго – $T_{AB}\downarrow$ и для третьего – $T_{AB}\updownarrow$. Тогда коэффициент ретрансляции K_{PT} данного признака A по отношению ко всем остальным признакам B ($B = 1, 2, 3, \dots, N$) будет равен (Коломыц, 1998):

$$K_{PT} = \frac{\sum_{B=1}^N T_{AB}\uparrow + \sum_{B=1}^N T_{AB}\downarrow}{\sum_{B=1}^N T_{AB}\downarrow + \sum_{B=1}^N T_{AB}\uparrow}. \quad (1.10)$$

Условно можно принять, что при $K_{PT} < 0,70$ данный признак выступает в качестве индикатора, при $K_{PT} = 0,70 - 1,40$ он является ретранслятором, а при $K_{PT} > 1,40$ – служит эдификатором.

С помощью значений $T(AB), K(A;B)$ или $K(A,B)$ строится общая схема-модель межкомпонентных ландшафтных связей для данной территории, на основании чего решается первая задача моделирования: что от чего зависит и насколько.

Как известно, эмпирико-статистические модели сами по себе (в их чисто формальном выражении) не позволяют вскрыть причинно-следственных связей между рассматриваемыми объектами (Розенберг, 1984). Для получения содержательных результатов моделирования построение таких моделей должно опираться на совокупность эвристических предпосылок, основанных на предшествующих научно-методических достижениях данной отрасли науки и на общем опыте исследователя (Балкаров, 1989). Тем самым эмпирико-статистический анализ приобретает объяснительную способность, свойственную аналитическим моделям (Розенберг, 1984).

В качестве таких малоформализованных эвристик нами использованы известные представления об иерархии системообразующей роли различных природных компонентов и об их характерных временах (Арманд, Таргульян, 1974; А.Д. Арманд, 1975), а также о дву-членной структуре экоценотических факторов (Галицкий, Тюрюканов, 1984). При построении общей информационной модели (см. далее рис. 4.6) направление межкомпонентных связей определялось на основе этих представлений. В целом связь направлена от признака с большим характерным временем к признаку, имеющим меньшее характерное время. Чем больше, с одной стороны, входных стрелок к данному признаку и чем они крупнее, а с другой, – чем меньше выходных стрелок и чем они мельче, тем сильнее выражены свойства этого признака как *индикатора* состояния экосистемы. Преобладание же выходных стрелок, особенно крупных, указывает на то, что данный признак играет роль преимущественно *эдификатора*, т.е. средообразователя.

1.5.2. Векторное представление экологических ниш. Следующая задача состоит в раскрытии кода информации (Пузаченко,

Скулкин, 1981), т.е. в установлении взаимоспецифичности конкретного состояния фактора B и явления A , что позволяет провести соответствующее упорядочение свойств явления по данному фактору. С этой целью рассчитывается частный коэффициент связи $C(a_i/b_j)$ по каждому классу (градации) явления A в пределах данного класса фактора B :

$$C(a_i/b_j) = \frac{p(a_i/b_j)}{p(a_i)} \quad (1.11)$$

Считается, что связь конкретных состояний фактора и явления значима, если $C(a_i/b_j) > 1$.

Поскольку любая система состоит из элементов, которые тоже имеют свои состояния, то принято говорить, что макросостояние данной системы описывается набором микросостояний ее элементов. Такой набор характеристик составных частей (элементов) системы называется *вектором*. Изменение состояния объекта есть не что иное как преобразование переменных вектора (Эшби, 1959).

Матрица частных коэффициентов связи состоит из векторов-столбцов, каждый из которых описывает ранговое распределение соответствующего явления в пространстве значений данного фактора. Такая матрица характеризует систему *экологических ниш* тех или иных состояний рассматриваемого явления в множестве состояний данного фактора. Здесь нами используется ресурсная интерпретация многопланового понятия экологической ниши (Одум, 1975; Свиричев, 1982), а само это понятие относится главным образом к биотическим компонентам природного комплекса, в данном случае к растительному покрову и к почве как биокосному телу. В нашем рассмотрении экологическая ниша есть реализованный диапазон распространения топозкосистем (фитоценологических, почвенных, ландшафтных), а также их группировок в одном из парциальных пространств ведущих экологических факторов: положения в рельефе и в системе ландшафтных сопряжений, свойств почвообразующих пород и соответствующих состояний термо- и гидроэдафотопов (Коломыц, 2008).

В графически преобразованных матрицах значимых (>1) частных коэффициентов связи по горизонтали расположены градации явления, а по вертикали – градации фактора. Каждый вектор-столбец описывает экологическую нишу определенной градации явления в пространстве значений данного фактора. В результате все континуальное экологическое пространство как бы разделено на «соты»

(Галицкий, Тюрюканов, 1984), каждой ячейке которых соответствует со значимой вероятностью тот или иной тип объекта (биогеоценоз или фитоценоз на локальном уровне и группа ландшафтов – на региональном). Градации фактора с максимальными значениями $C(a_i/b_j)$ образуют некоторую область доминирования явления – *экологический доминант, или оптимум* (обозначается символом «+»), остальные же градации относятся к «размытой» части ниши (со знаком «•»), см., например, рис. 4.7 и 4.8). Дополнительными (пунктирными) линиями соединяются границы экологических ниш, что позволяет отчетливо представить развертку объема (ширины) ниш (как числа реализованных позиций вектора-столбца) в пространстве изменений состояний фактора. Очевидно, чем шире ниша, тем более толерантно данное состояние явления к изменению состояний фактора и в этом смысле оно более устойчиво. И наоборот, более узкая ниша (в предельном случае состоящая из одного доминанта, без «размытых» частей) указывает на жесткую детерминацию данного состояния явления тем или иным фактором, т.е. на его высокую чувствительность к изменению этого фактора.

Согласно (Пузаченко, 1996), наиболее вероятное значение экологической ниши данной градации считается наиболее устойчивым, отвечающим равновесному процессу изменения состояний явления по градиенту состояний фактора. Однако это допустимо лишь при условии, когда распределение состояний явления в пределах ниши не отличается от нормального распределения, что на самом деле встречается достаточно редко (см. далее). В большинстве случаев экологические доминанты нельзя рассматривать как наиболее устойчивые состояния объектов.

Матрицы частных коэффициентов связей использованы нами для моделирования моно-системной организации гео(эко-)систем путем ординационного анализа бинарных отношений «фактор–явление», а также для расчета мер отношений сходства и включения между состояниями объектов как дескриптивных множеств (см. ниже). По этим же матрицам строились графические трехмерные модели гидротермических ниш лесной либо луговой растительности. С этой целью производилось нормирование каждого вектора-столбца экологической ниши состояния явления, с получением соответствующих удельных частот (вероятностей – C_{ij}) его встречаемости по всем градациям фактора. Нормирование част-

ных коэффициентов связи означает, что $\sum C_{ij} = 1$.

1.5.3. Бинарная ординация геокомпонентных признаков. Экологическая ниша данного геокомпонентного признака или всего природного комплекса есть область его распространения в одном из пространств того или иного экологического фактора. Прямой градиентный анализ экологических ниш соответствует известному в геоботанике и ландшафтной экологии методу ординационного анализа (Раменский, 1971; Уиттекер, 1980), который основан на изучении статистического варьирования того или иного объекта, взятого в качестве явления, в пространстве значений различных значимых факторов.

Ряды экологических ниш по каждому явлению описывают *фазовое пространство* системы фактор–явление (Эшби, 1959). Фазовое пространство экологической ниши отражает динамику ее объема и мощности (см. ниже) при смене состояний фактора. Двигаясь по строкам матрицы или по линии экологических доминантов (что то же самое), можно проследить, как меняется «запас гомеостатичности» явления и соответственно его чувствительность к изменениям фактора.

Все возможное разнообразие системы экологических ниш топогеосистем можно свести к 12 типам, объединенным в две группы – с простым и сложным регулированием (Коломыц, 2008). Первой группе свойственно четкая бинарная связь явления с данным фактором. Сложное же регулирование осуществлено «шумовым» эффектом неучитываемых факторов

Все значимые величины $C(a_i/b_j)$, распределенные по определенным позициям градаций фактора, образуют вектор-столбец экологической ниши. Столбцы матрицы частных коэффициентов связи с областями доминирования явления по каждому состоянию фактора характеризуют по существу проекции экологических ниш, которые заняты состояниями явления в их бинарных отношениях с данным фактором. Таким образом, экологическая ниша представляет собой частный канал связи от фактора к явлению, а сама процедура бинарной ординации – это и есть раскрытие кода информации в двухкомпонентной системе. Территориальная организация локального или зонально-регионального геопространства познается через взаимосвязи его элементов с факторами среды, что соответствует, согласно (Одум, 1975),

фундаментальным принципам современной экологии.

На языке статистической физики, природно-территориальную структуру той или иной высотно-зональной гео(эко-)системы, выраженную определенным набором и пространственной упорядоченностью слагающих ее элементов (например, геотопов или групп фитоценозов), можно именовать макросостоянием этой системы, а каждый рассматриваемый элемент – как ее микросостояние. Тогда чередование элементов по тому или иному вектору высотно-зонального геопространства будет означать смену его микросостояний. Если эта смена упорядочена и соответствует изменениям градиентов фонового поля некоторого вещественно-энергетического фактора, то правомерно говорить о системоформирующей функции этого фактора. Вектор-столбец экологической ниши данного геотопа или фитоценотической группы выражает не что иное как форму распределения условных вероятностей микросостояний одного из элементов высотно-зональной гео(эко-)системы в пространстве значений рассматриваемого экологического фактора.

Системы экологических ниш, представленные в графической форме (см. рис. 4.7 и 4.8), позволяют не только судить о каналах связи между фактором и явлением, но и в неявном виде отслеживать динамику этой связи, находить критически (переломные) точки траектории связи и, что не менее важно, выявлять в определенных областях фазового пространства признаки механизмов положительной или отрицательной обратной связи в системе фактор–явление, а также механизмов переключения прямой связи. Тем самым удается выйти за рамки бинарных отношений явления с данным фактором, оценивать, с одной стороны, роль других факторов, а с другой, – процессы саморегуляции явления, имеющие непосредственное отношение к проблеме устойчивости тех или иных его состояний.

При анализе бинарных отношений системы фактор–явление целесообразно использовать различные параметры экологических ниш данного явления. Как известно, важным показателем здесь является ширина экологической ниши, которая может быть выражена, например, средним квадратичным отклонением в ряду статистического распределения (Свирижев, 1982), в нашем случае – распределения частных коэффициентов свя-

зей в векторе-столбце. Чем шире ниша, тем выше должна быть толерантность гео(эко)системы к данному фактору и тем соответственно больше в ней будет структурно-функционального многообразия, обусловленного другими факторами. Пересечение (взаимное перекрытие) ниш, при прочих равных условиях, должно означать межвидовую и межфитоценотическую конкуренцию, и чем больше такое пересечение, тем конкуренция сильнее (Свирижев, 1982; Пузаченко, 1996). Соответственно будет снижаться общая устойчивость конкурирующих гео(эко)систем к внешнему воздействию, с появлением в них определенных триггерных свойств, по (Арманд, Ведюшкин, 1989), которые переводят их в состояние неустойчивого равновесия.

Нами были разработаны новые подходы в содержательной интерпретации результатов информационно-статистического моделирования природных экосистем. Прежде всего, по матрице частных коэффициентов связи строились соответствующие графики, причем градации явления располагались в порядке роста, либо снижения их экологическим доминантов по градациям данного фактора. Через доминанты затем проводилась огибающая кривая, дающая достаточно четкое представление о наиболее существенной тенденции изучаемой связи.

В векторе экологической ниши, который представлен столбцом в матрице частных коэффициентов связи (см. далее табл. 5.3), нередко были случаи, когда две доминирующих области разделены одним промежутком с нулевой или незначительной вероятностью связи фактора и явления. В этих случаях, следуя правилам информационного анализа (Пузаченко, Скулкин, 1981), при построении графика траектории экологических доминантов явления в пространстве данного фактора кривая проводилась между этими областями доминирования, а все расстояние между ними относилось к «размытой» части ниши.

Многие структурные и функциональные характеристики лесных экосистем имеют не только основную экологическую нишу по тому или иному фактору (с соответствующим экологическим доминантом и с «размытой» частью ниши), но и своего рода *анклавы*, отделенный на графике частных коэффициентов связи от самой ниши не менее чем на одну градацию фактора. Появление анклавов свидетельствует о разрывах (дизъюнкциях) ареала данного объекта – весьма частом явлении в географии растений (Толмачев, 1974). Мигра-

ция видов и целых сообществ, осуществляющая эволюцию растительного покрова в целом, сопровождается, как правило, появлением разрывов их ареалов (Васильев, 1946). Следовательно, анклав свидетельствует о непрекращающихся миграционных процессах на данных участках растительного покрова, о динамичности слагающих их лесных образований. Каждый такой анклав можно рассматривать как трансгрессивную локализацию рассматриваемого явления при других значениях данного фактора, но под эффективным влиянием других факторов, создающих аналогичные условия существования явления. Для флористических фратрий, типов насаждений и типов леса это означает создание локальных условия местопрорастания, сходных с основной нишей.

Если принять доминирующую часть ниши той или иной характеристики лесного покрова (флористических фратрий, типов насаждений или типов леса) как соответствующую наиболее благоприятным, оптимальным условиям ее существования, то можно полагать, что местоположение каждого такого оптимума служит «очагом» пространственного распространения (трансгрессии) данной характеристики в направлении существующего анклава. Само же направление отклонения анклава от ниши рассматривается как вектор локализованной трансгрессии данного явления – его распространения от доминирующей области.

Обращалось также внимание на те ячейки бинарной ординации явления с фактором, в которых частный коэффициент связи $K_{ij} \leq 1$. Это области спорадического распространения данного явления по градиенту изменения рассматриваемого фактора, с нередким возникновением анклава, удаленного от основной ниши. Вероятности таких спорадических ячеек при широкой экологической нише (с тремя и более значимыми градациями фактора) составляют 10–20%, а при крайне узкой (когда почти вся ниша сосредоточена в своем доминанте) – до 30–40%.

По системе экологических ниш вычислялась *таксономическая норма* того или иного функционального признака для данного объекта. Для этого использовались центральные значения всех градаций фактора, а также матрица нормированных частных коэффициентов связи объекта, которые были введены в расчеты в качестве «весовых» коэффициентов. Норма, или иначе – средневзвешенное значение функционального признака, определялась как сумма произведений центральных значений всех его градаций на «весовой» ко-

эфициент, соответствующий данной градации явления (объекта). Таксономическая норма есть не что иное как функциональное среднее, по Л.Г. Раменскому (1971), основное свойство которого – взаимная сопряженность всех элементов явления в поле действия данного фактора.

1.6. Полисистемные теоретико-множественные модели

1.6.1. Идеологические предпосылки моделирования. Вертикальные ландшафтные связи по отношению к горизонтальным являются всегда первичными, так как истоком всей структурной организации биосферы служит обмен веществом и энергией между различными природными средами (компонентами) – горными породами, почвами, водными и воздушными массами, фитосредой, зоо- и микробоценозами, которые образуют в вертикальном разрезе экосистемы определенные ярусы – биогеогоризонты. Применительно к горам, где господствуют круто наклоненные поверхности раздела сред, говорить о вертикальных связях можно лишь с оговоркой. В общем случае эти связи направлены перпендикулярно простиранию деятельных поверхностей.

В силу неодинакового эффекта межкомпонентного взаимодействия возникает пространственная неоднородность параметров состояния экосистемы. Эта неоднородность создает внутреннюю территориальную контрастность (диссимметрию) природного комплекса и соответствующие градиенты изменения признаков состояния, которые направлены по простиранию деятельных поверхностей, т.е. горизонтально или субгоризонтально. Используя крылатое выражение Пьера Кюри, можно сказать: «это она – диссимметрия – творит явление» (цит. по: Шубников, 1975). Градиенты вызывают направленный энерго- и массообмен между локализованными участками природного комплекса. Так формируются горизонтальные связи в гео(эко-)системе, придающие ее плановой структуре в той или иной мере векторный характер. Согласно (Мильков, 1981), горизонтальная контрастность природных сред служит необходимым условием, но не самим источником развития ландшафтных комплексов. Источник развития сосредоточен в межкомпонентных взаимодействиях, формирующих вертикальные ландшафтные связи.

Длительно устойчивое существование горизонтальных контрастов и градиентов в гео(эко-)системе, несмотря на выравниваю-

щее воздействие межкомплексных вещественно-энергетических потоков, указывает на то, что эти контрасты постоянно поддерживаются устойчивой разнородностью вертикальных связей на различных участках. Следовательно, горизонтальная (плановая) контрастность структуры гео(эко-)систем косвенно отображает внутреннюю пространственную неравномерность использования ею вещественно-энергетических ресурсов среды, в частности солнечной энергии, атмосферной влаги и запасов минеральных веществ из материнской природы. Чем однороднее уровень утилизации экологических ресурсов между различными участками природного комплекса, тем слабее горизонтальная контрастность последнего, и – наоборот. С другой стороны, сопоставление внутренней контрастности ненарушенных (естественных) и сильно измененных человеком экосистем есть один из путей оценки степени антропогенного сдвига в структуре гео(эко-)системы.

Таким образом, наиболее общими структурно-функциональными моделями межкомплексных связей могут служить модели, основанные на представлении о *сходстве и различии* между элементами *конечного множества признаков*, адекватного тому или иному состоянию гео(эко-)системы. Следовательно, анализ парных отношений между природными комплексами целесообразно проводить с использованием *методов теории множеств*. Модели состояния систем, выраженные этими методами, являются так или иначе дискретными. Их достоинство в том, что они способны отображать многообразие качественных свойств исходных элементов структуры.

Напомним, что множество есть любая совокупность определенных и вполне различных между собой объектов, рассматриваемых как единое целое. Сами объекты называются элементами, или членами, данного множества. Набор структурных и/или функциональных признаков экосистемы (значений ее переменных), которые укладываются в обозначенные границы, характеризует определенное *состояние системы* (Черкашин, 1997).

Согласно теории множеств (Столл, 1968), отношения между объектами A и B выявляются с помощью следующих операций (рис. 1.3): 1) объединения – $(A \cup B) = C$; 2) пересечения (произведения множеств) – $(A \cap B) = C$; 3) включения множества A во множество B – $C = A \mid A \in B \mid$. Мера сходства двух множеств $N(A, B)$ определяется числом их общих элементов $n - N(A, B) = n (A \cap B)$. Третья операция

дает полное включение, вторая – неполное, когда множество C характеризует степень взаимного включения множеств A и B друг в друга. Поскольку в общем случае $A \neq B$, относительная мера включения C оказывается несимметричной.

1.6.2. Меры сходства и включения в межкомплексных связях гео(эко-)систем. Описывая природный комплекс как сложную систему, исследователь получает набор признаков, которые образуют, как правило, нечеткие множества. В них различия между элементами данного класса явлений не всегда существенно меньше различий между элементами разных классов. Сходство и различие могут быть выявлены только статистическим путем, при использовании «веса» каждого признака. Иными словами, различия между элементами одного и того же класса (в данном случае одной и той же градации фактора по вектор-столбцу экологической ниши) не всегда существенно меньше различий между элементами разных классов, что и определяет функцию принадлежности от 0 до 1.

Если каждому элементу множества придать определенное свойство (качественное или количественное), причем выразить в соответствующих мерах степень проявления этого свойства, то получим так называемое нечеткое, «размытое» множество (по англ. – *fuzzyset*), или дескриптивный (описательный, от англ. *description*) вектор состояния данного объекта (Odeh et al., 1992). В дескриптивных множествах различия между элементами данного класса (градации) явлений не всегда существенно меньше различий между элементами разных классов. Сходство и различие здесь могут быть выявлены только статистическим путем, при использовании веса каждого признака. К настоящему времени уже достаточно разработаны теория и методы таких дескриптивных (описательных) множеств (Семкин, 1973; Андреев, 1980), где функция принадлежности не принимает жестко значений 0 или 1, как это имеет место в классических множествах. Применение методов теории «размытых» множеств оказалось достаточно эффективным в различных разделах географической экологии (Семкин, Комарова, 1977; Дыренков, 1978; Коломыц, 1984 а; Семкин и др., 1986).

Горизонтальную контрастность экосистемы удастся оценить с помощью мер пересечения, сходства и различия, а также включения «весовых» множеств на основе бинарных отношений между элементами данного множе-

ства. Любой природный комплекс (экосистему) A можно представить в виде корреляционной системы, состоящей из набора комплексов (экосистем) $a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n$ более низкого порядка, так что:

$$A = \{a_i | a_i \in A\}, \quad (1.12)$$

где \in – символ принадлежности.

Аналогично для другой экосистемы B имеем: $B = \{b_i | b_i \in B\}$. Каждый элемент a_i экосистемы A образует определенное территориальное единство, где взаимодействующие природные компоненты и факторы $P_1, P_2, \dots, P_j, \dots, P_N$ принимают различные значения (количественные или качественные) – $P^l_i, P^2_j, \dots, P^k_j$, причем $k \neq \text{const}$. Совокупность этих значений, или признаков, по каждому компоненту (фактору) характеризует данное состояние элемента a_i , которое можно назвать микросостояние системы A . Для того чтобы описать состояние всей системы A , в первом приближении достаточно выявить бинарные отношения $a_1 Ra_2, a_1 Ra_3, \dots, a_{n-1} Ra_n$ между элементами a_i на основе их упорядочения по признакам P_j^k соответствующих природных компонентов (факторов).

Будем считать элементы a_i экосистемы A в качестве объектов. Основу теоретико-множественного анализа сложных систем составляют две меры попарного упорядочения объектов: мера сходства (или различия) и мера включения одного объекта в другой. Мера сходства $N(a_1, a_2)$ в общем виде определяется как

$$N_0(a_1, a_2) = \frac{2(a_1 \cap a_2)}{a_1 + a_2}. \quad (1.13)$$

Мера различия $D_0 = 1 - N$. Мера $J_1(a_2; a_1)$ включения объекта a_2 в объект a_1 определяется из соотношения

$$J_1(a_1; a_1) = \frac{a_1 \cap a_2}{a_2}, \quad (1.14)$$

а мера J_2 включения a_1 в a_2 находится как

$$J_2(a_1; a_2) = \frac{a_1 \cap a_2}{a_1}. \quad (1.15)$$

Здесь $a_1 \cap a_2$ – пересечение объектов по данному признаку. В общем случае $J_1(a_1; a_2) \neq J_2(a_2; a_1)$, поэтому речь идет о несимметричных отношениях включения между объектами. Аналогичным образом можно рассчитать меры сходства и включения, характеризующие бинарные отношения между элементами a_i и b_j экосистем соответственно A и B . Если же проводится сравнение экосистем A и B в целом, то рассчитываются меры $N(A, B)$, $J_1(A; B)$ и $J_2(B; A)$ по тому или иному струк-

турно-функциональному признаку, либо по комплексному параметру.

Таким образом, теоретико-множественные модели гео(эко-)систем можно рассматривать как один из путей реализации выдвинутого В.Н. Сукачевым (1972), а затем развитого В.Н. Тимофеевым-Ресовским (Тимофеев-Ресовский, Тюрюканов, 1966) положения о материально-энергетических отношениях в биогеоценозе и окружающей его среде, которые характеризуют эту элементарную биохорологическую единицу как целостное природное образование. Аналогичный подход правомерен для количественной оценки организации и всех вышестоящих структурных уровней биосферы.

Для дескриптивных множеств вычисление соответствующих мер бинарных отношений ведется по формулам (Семкин, Комарова, 1977):

$$N(a_1, a_2) = \frac{2 \sum_{j=1}^r \min[\mu, a_1(P_j^k), \mu, a_2(P_j^k)]}{\sum_{j=1}^r \mu, a_1(P_j^k) + \sum_{j=1}^r \mu, a_2(P_j^k)}, \quad (1.16)$$

$$J_1(a_1, a_2) = \frac{\sum_{j=1}^r \min[\mu, a_1(P_j^k), \mu, a_2(P_j^k)]}{\sum_{j=1}^r \mu, a_2(P_j^k)}, \quad (1.17)$$

$$J_2(a_2, a_1) = \frac{\sum_{j=1}^r \min[\mu, a_1(P_j^k), \mu, a_2(P_j^k)]}{\sum_{j=1}^r \mu, a_1(P_j^k)}. \quad (1.18)$$

Здесь $\mu, a_j(P_j^k)$ – «вес» j, k -го признака в элементе a_i ; r – общее число признаков.

При теоретико-множественном моделировании экосистем рассматривается сила связи между объектами a_i в системе A по определенному набору признаков P_j^k . Среди недостатков этого метода главным является недоучет того, что различные признаки имеют далеко не одинаковый удельный вес в отображении состояния экосистемы. Между тем они входят в расчетные формулы как равноценные параметры. Формализация признаков, необходимая для пространственной модели, связана с неизбежной потерей некоторых важных свойств моделируемой системы.

Меры включения позволяют упорядочить рассматриваемые гео(эко-)системы в определенные ряды «оптимальности–банальности» (см. очерк 6), которые

характеризуют уровень структурно-функционального развития каждой из них, а также степень эффективности использования ее биотой ресурсов абиотической среды. Например, при $J_1(a_1; a_2) > J_2(a_2; a_1)$ можно говорить о том, что в гео(эко-)системе A элемент a_1 оказывается банальнее (проще по структуре функционированию и менее устойчив к внешнему воздействию), нежели элемент a_2 . При $J_1(a_1; a_2) < J_2(a_2; a_1)$, напротив, второй элемент более банален. Речь идет, таким образом, о явлении гомоморфизма (одно-однозначного соответствия) в бинарных отношениях объектов. В первом случае объект a_1 гомоморфно отображается объектом a_2 , во втором – наоборот.

В пределах региона с определенным зонально-региональным биоклиматическим фоном мы можем построить серию факториально-динамических рядов плакорно-экстрозональных топогеосистем (см. очерк 4, раздел 4.1.2), расположив члены каждого ряда в порядке усиления (или ослабления) воздействия локального геоморфологического фактора. Получаем *эргодическую операционную систему*, согласно (Симонов, 1966). Исходя из свойств самоподобия этой системы, мы можем заменить пространственные последовательности на временные и, анализируя векторный ряд, проводим своего рода *имитацию локального отображения фонового климатического тренда*, на основе чего выявляем региональный спектр возможных направлений функционально-структурных перестроек топогеосистем при тех или иных сценариях климатического прогноза.

1.6.3. Матрицы и графы отношений включения между гео(эко-)системами. Меры включения позволяют упорядочить геотопы (и типы местоположений) в определенные ряды по эффективности использования ими экологических ресурсов, а также по степени их антропогенной трансформации. С этой целью по матрицам строятся ориентированные графы включений одних геотопов в другие. Представим условно однородные экосистемы (в данном случае геотопы) в виде точек (или кружков), а направления включения одних экосистем в другие покажем стрелками, соединяющими эти точки. Получим ориентированный граф (орграф) отношений включения между геотопами (рис. 1.4). При этом стрелки должны отображать и саму меру включения (например, толщиной или цве-

том), чтобы наглядно представить геотопы с различным уровнем развития соответствующих биогеоценозов. Неориентированный же граф будет характеризовать отношения сходства (здесь вместо стрелок проводятся линии, соединяющие точки). Заметим, что точки – это вершины графа, астрелки или линии – его ребра.

В табл. 1.1 представлена характерная ситуация: различия между мерами сходства или включения наблюдаются в пределах довольно высоких значений этих мер – в данном случае при уровнях свыше 70–90%. Ниже этих уровней геотопы можно считать однородными (неразличимыми), поэтому в дальнейший анализ целесообразно ввести порог неразличимости (Z). Все значения мер сходства или включения, которые будут выше этого заданного порога, обозначим цифрой 1, а значе-

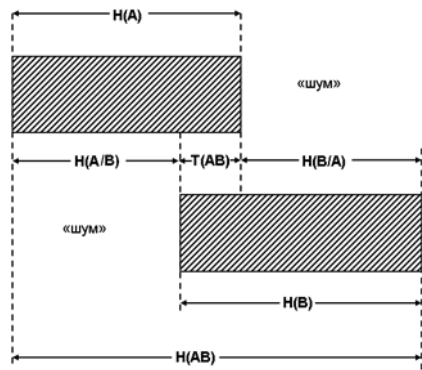


Рис. 1.2. Схема соотношений между информационными функциями, по Кастлер, (1960), объяснения в тексте

ния, лежащие ниже порога неразличимости – цифрой 0. При этом 1 будет означать наличие стрелки в орграфе включения или линии в орграфе сходства, а 0 – их отсутствие.

Наибольший интерес представляет критический порог неразличимости ($Z_{\text{крит}}$), при котором орграф (или граф) остается еще связным, т.е. каждая точка (вершина графа) имеет хотя бы одну связь (ребро графа) с какой-либо другой точкой. Критический порог находится путем перебора всех значений Z , соответствующих полученным мерам сходства или включения. Перебор следует начинать с наиболее высокого порога неразличимости и постепенно снижать его до уровня, после которого хотя бы один геотоп должен потерять все связи с остальными и, следовательно, на графе останется изолированным (рис. 1.4 б).

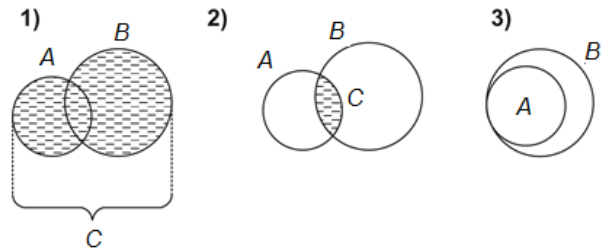


Рис. 1.3. Диаграммы Венна, иллюстрирующие отношения между множествами A и B, по Столл (1968), объяснения в тексте

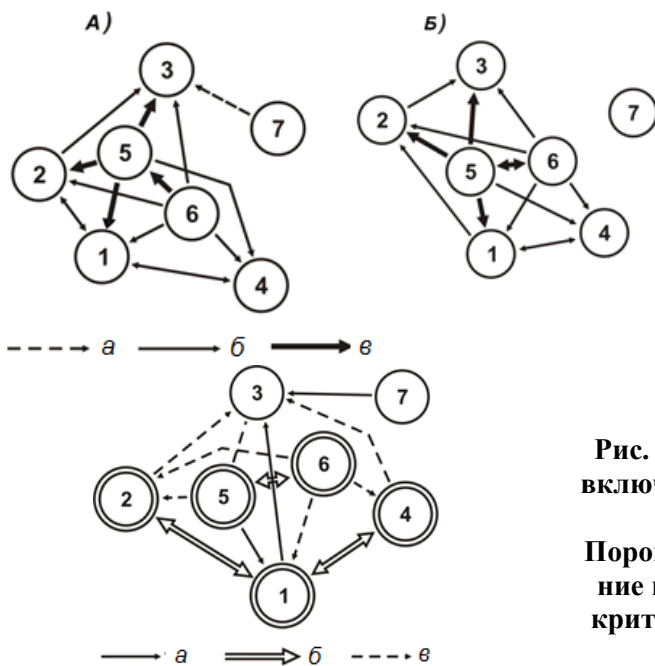


Рис. 1.4. Ориентированные графы отношений включения между геотопами (см. табл. 1.1) при заданных порогах неразличимости $Z_1 \geq 0,89$ (А) и $Z_2 \geq 0,90$ (Б). Меры включения: a – 0,89; b – 0,90-0,92; v – 0,93-0,96. Здесь порог Z_1 является критическим

Рис. 1.5. Ориентированный граф отношений включения между луговыми геотопами южного склона ущелья Адылсу. Порог неразличимости $Z_1 \geq 0,89$; a – направление включения; b – связи толерантности; v – критические связи; двойными кружками показаны сильно связанные геотопы

Таблица 1.1

Матрица мер включения между геотопами (1, 2, 3, ...) в поясе субальпийских лугов южного Приэльбрусья (ущелье Адылсу)

	↖ 1	↗ 2	↘ 3	↙ 4	↕ 5	↗ 6		↘ 7
↖ 1	-	0.90	0.90	0.90	0.88	0.85		0.69
↗ 2	0.91	-	0.91	0.87	0.88	0.85		0.77
↘ 3	0.85	0.85	-	0.84	0.83	0.80		0.72
↙ 4	0.91	0.87	0.90	-	0.86	0.84		0.72
↕ 5	0.94	0.93	0.93	0.90	-	0.94		0.78
↗ 6	0.92	0.91	0.92	0.90	0.96	-		0.82
↘ 7	0.79	0.88	0.89	0.83	0.85	0.87		-

→
Направление включения

Для выявления уровней структурно-функционального развития биогеоценозов проведем следующие операции над матрицей мер включения (табл. 1.1). Используя $Z_{\text{крит}} = 0,89$, преобразуем эту матрицу в новую мат-

рицу смежностей M , т.е. матрицу непосредственных связей, где вместо первоначальных мер стоят 1 и 0:

	M						
	1	2	3	4	5	6	7
1	-	1	1	1	0	0	0
2	1	-	1	0	0	0	0
3	0	0	-	0	0	0	0
4	1	0	1	-	0	0	0
5	1	1	1	1	-	1	0
6	1	1	1	1	1	-	0
7	0	0	1	0	0	0	-

Далее проводим операцию транспонирования матрицы (Андреев, 1980). Матрица M^T называется транспонированной к матрице M , если все строки M суть столбцы M^T . Проведем

операцию поэлементного сложения матриц M и M^T , получим:

	M							M ^T							M+M ^T						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1	-	1	1	1	0	0	0	-	1	0	1	1	1	0	-	2	1	2	1	1	0
2	1	-	1	0	0	0	0	1	-	0	0	1	1	0	2	-	1	0	1	1	0
3	0	0	-	0	0	0	0	1	1	-	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1
4	1	0	1	-	0	0	0	1	0	0	-	1	1	0	2	0	1	-	0	0	0
5	1	1	1	1	-	1	0	0	0	0	0	-	1	0	1	1	1	1	-	2	0
6	1	1	1	1	1	-	0	0	0	0	0	1	-	0	1	1	1	1	2	-	0
7	0	0	1	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-	0	0	1	0	0	0	-

На матрице $M+M^T$ находим сильно связанные геотопы (эти связи будут показаны двойками). В нашем случае имеются две группы сильно связанных элементов матрицы: $U_1 = \{1,2,4\}$ и $U_2 = \{5,6\}$. При этом в парах элементов 5-6, 1-2 и 1-4 имеют место обоюдные включения, т.е. взаимно однозначные соот-

ветствия, называемые связями *толерантности*. Удалив затем из начальной матрицы M элементы U_1 и U_2 , получим сокращенную матрицу M' . Проведем с ней аналогичные операции транспонирования и сложения:

$$\begin{array}{c|cc} & \mathbf{M}' & \mathbf{M}^T, & \mathbf{M}'+\mathbf{M}^T, \\ & \mathbf{3} & \mathbf{7} & \mathbf{3} & \mathbf{7} & \mathbf{3} & \mathbf{7} \\ \hline \mathbf{3} & - & \mathbf{0} & + & - & \mathbf{1} & = & - & \mathbf{1} \\ \mathbf{7} & \mathbf{1} & - & & \mathbf{0} & - & & \mathbf{1} & - \end{array}$$

Элементы матрицы $\mathbf{M}' + \mathbf{M}^T$, равные 1, укажут на слабо связанные геотопы; в данном случае это будут $m = \{3, 7\}$. Наконец, возвращаемся к первоначальной матрице \mathbf{M} и выде-

ляем на ней группы сильно (U_1, U_2) и слабо (m) связанных элементов:

$$\begin{array}{c|cccccc} & \mathbf{1} & \mathbf{2} & \mathbf{4} & \mathbf{5} & \mathbf{6} & \mathbf{3} & \mathbf{7} \\ \hline \mathbf{1} & - & \mathbf{1} & \mathbf{1} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{2} & \mathbf{1} & - & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{4} & \mathbf{1} & \mathbf{0} & - & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{5} & \mathbf{1} & \mathbf{1} & \mathbf{1} & - & \mathbf{1} & \mathbf{1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{6} & \mathbf{1} & \mathbf{1} & \mathbf{1} & \mathbf{1} & - & \mathbf{1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{3} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & - & \mathbf{0} \\ \mathbf{7} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} & - \end{array}$$

Оставшиеся за пределами очерченных квадратов элементы с 1 укажут те критические связи между геотопами, удаление которых ведет к распаду связности орграфа. В нашей матрице таких связей оказалось 11 в парах геотопов: 1-3, 2-3, 4-3, 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 6-1, 6-2, 6-3 и 6-4.

На основе проведенных операций с матрицей построен полный орграф отношений включения рассматриваемых геотопов (рис. 1.5). Сокращенный орграф, очевидно, имеет вид: $U_1 \leftarrow U_2 \rightarrow m$. Такой орграф будем называть *структурной схемой полисистемного геоэкологического пространства*, а также *структурной схемой доминирования*. Структурная схема выражается через отношение включения между слагающими это пространство элементами по тому или иному набору структурных и функциональных признаков.

Матрицы и графы отношений сходства и включения гео(эко-)систем так или иначе отображают их состояние, которое может быть выражено в двух аспектах – статическом и динамическом. В первом случае бинарные отношения рассматриваемых систем описывают их различную качественную определенность на данный момент времени, во втором, – те или иные тенденции функциональных и структурных изменений, переводящие их в новое качество.

На основе матриц и орграфов отношений включения удастся провести *ранжирование* рассматриваемых объектов – единиц полисистемного геоэкологического простран-

ства, с выделением их определенных *экотипов*. Как известно, *понятие экотипа* используется для выделения экосистем, адаптированных к местным почвенно-климатическим условиям (Быков, 1973; Одум, 1986). Мы различаем *две категории экотипов*: 1) *метаболическую* и 2) *транзитную*, характеризующую структуру их взаимных переходов в прогнозно-климатических моделях. В обоих случаях выделяются три основных и два промежуточных экотипа (последние имеют приставку «суб»), которые образуют следующий иерархический ряд.

1. Оптимальные (доминирующие) экотипы, имеющие на орграфах максимальное число полустепеней захода (входных стрелок, инцидентных соответствующим вершинам графа). Это своего рода лидеры в системе бинарных отношений экосистем и в них могут включаться другие виды с помощью сильных, критических или слабых связей (очевидно, что степень доминирования максимальна в первом случае и минимальна – в третьем). В рассматриваемом примере (см. рис.1.4) таким лидером является геотоп 3, занимающий верхнюю ступень иерархии отношений включения.

2. Экотипы субоптимальные (субдоминанты) – со средним числом полустепеней захода (нередко при наличии исходящих стрелок). Они стоят на повышенной ступени отношений включения, но обладают ослабленными свойствами

доминирования. В данном случае к этому экотипу относятся 1-й и 2-й геотопы.

3. Темпоральные (умеренные) экотипы, имеющие соразмерное число входных и выходных стрелок на орграфе и занимающие, таким образом, промежуточное положение в системе отношений включения. Это иерархический мезоуровень бинарных отношений.

4. Экотипы субпессимальные, характеризующиеся на орграфе преобладанием выходных стрелок при незначительном числе входных. Им свойствен пониженный уровень отношений включения. Таким является 5-й геотоп на рис.1.4.

3. Пессимальные экотипы, с максимальным числом полустепеней исхода и с отсутствием входных стрелок. Они находятся на нижней ступени иерархии отношений включения. В нашем примере к пессимальным экотипам относятся геотопы 6 и 7.

Обратимся к содержательному смыслу критического порога обозначив его символом $Z_{\text{крит}}$ ($Z_{\text{крит}} \approx J_{\text{крит}}$). Сопоставление критических значений мер включения гео(эко-)систем позволяет судить о таких свойствах зонально-региональных и локальных геопространств, которые не описываются самими схемами их парциальных структур. Дело в том, что формирование таких структур происходит на неодинаковом вещественно-энергетическом уровне и соответственно с различной напряженностью латеральных взаимодействий, что и отражено в самом значении параметра $Z_{\text{крит}}$.

Критический порог обозначает по существу тот нижний предел меры включения объектов, при котором еще сохраняется непрерывная цепь пересечений их экологических ниш, что и обеспечивает структурно-функциональную целостность вышестоящей системы. Как показали наши расчеты, для высокогорных природных комплексов величина их взаимного включения варьирует достаточно широко: от 0,55–0,60 до 0,95–1,00, однако $Z_{\text{крит}}$ находится в гораздо более узких пределах – 0,82–0,90. Можно полагать, что в этом диапазоне своих изменений более низкий критический порог должен означать достаточно высокую степень межкомплексных взаимодействий в данном геопространстве. Это обеспечивает территориальную целостность последнего даже при относительно малых величинах мер включения. Соответственно следует ожидать

наиболее высокую общую сложность латеральных связей, при господстве связей критических. В структурной схеме отчетливо выделяются чаще всего два типологических ядра, к одному из которых направлены сильные толерантные связи, к другому – исключительно слабые. Налицо явная неоднородность (мозаичность) парциальной природно-территориальной структуры, тесная взаимосвязь одних ее элементов и автономность – других.

При аномально же высоком критическом пороге следует говорить о сравнительно слабой степени межкомплексных взаимодействий, несмотря на значительное взаимное перекрытие экологических ниш природных комплексов. В соответствии с этим рассматриваемая гео(эко-)система сохраняет свою структурно-функциональную целостность по данной группе факторов только при весьма сильном пересечении экологических ниш ее элементов, что и выражается в высоком значении Z . При этом, наиболее вероятны господство слабых связей, отсутствие сильных и незначительное количество связей критических. Само геопространство становится мелко раздробленным на отдельные структурные элементы, поэтому общая мера сложности его парциальной структуры оказывается весьма низкой. Слабо выражено одно типологическое ядро, редко – два. По-видимому, в данном случае структура этих геопространств определяется преимущественно не теми факторами, по которым проведена ординация.

1.7. Интегральные параметры полисистемной организации устойчивости природных комплексов. В комплексном (моно- и полисистемном) ландшафтно-экологическом анализе можно использовать предлагаемые нами *интегральные параметры* структурно-функционального состояния биогеоценозов на тех или иных геотопах, а также состояний различных групп растительных сообществ. В целях получения таких параметров проводятся сначала теоретико-множественные вычисления мер нетранзитивных отношений между объектами, а затем – информационно-статистические расчеты разнообразия этих отношений в пределах, например, высотно-зонального геопространства либо всей рассматриваемой высокогорной экосистемы.

Приведем общую схему расчетов на примере элементарных форм микрорельефа – геотопов, с определенным набором структурно-функциональных показателей состояния

соответствующих биогеоценозов. Для каждого геотопа по данным предварительно рассчитанных матриц отношений сходства и включения его биогеоценоза с ценозами других геотопов находятся три комплексных параметра:

1) мера изоморфизма (инвариантности) биогеоценоза I_k ;

2) метаболический индекс биогеоценоза S^m_k , характеризующий общий уровень его структурно-функционального развития;

3) показатель значимости биогеоценоза в данном региональном, либо зональном геопространстве G_k , отображающий запас его гомеостатичности (упругой устойчивости). Ниже излагаются идеология и методы расчета перечисленных параметров.

Экологические объекты относятся к обширной группе природных систем с относительной независимостью поведения слагающих их компонентов (Солнцев, 1981; Пузаченко, 1997), поэтому гео(эко-)системы представляют собой относительно слабо связанные природные образования (Арманд, 1988), что является одним из главных условий проявления в них свойств полиструктурности (Раман, 1976; Солнцев, 1997), или в более широком смысле – полиморфизма (Коломыц, 1998).

Полиморфизм выражается, в частности, в относительной взаимонезависимости (автономности) структурных и функциональных характеристик природных экосистем. При изменении внешних условий гео(эко-)система меняет в первую очередь свою структуру в целях сохранения прежнего уровня функционирования, в том числе уровень биопродукционного процесса как своего важнейшего инвариантного свойства (Тимофеев-Ресовский, Тюрюканов, 1966; Сочава, 1978; Свирежев, 1982; Керженцев, 1999).

В тех случаях, когда две рассматриваемые экосистемы близки по своим структурным и/или функциональным характеристикам, то правомерно говорить о том, что они *изоморфны* друг другу. Понятие изоморфизма двух систем подразумевает способность их элементов к взаимозаменяемости, обеспечивающей подобие их структуры и функционирования (Паффенгольц, 1973). Если же экосистема проявляет изоморфизм по отношению к целому ряду других систем, то можно считать, что она обладает определенной *инвариантностью* (*симметричностью*) своих свойств в данном геоэкологическом пространстве. Здесь, по-видимому, проявляется одна из форм инвариантности как фундаментального закона природы – а именно инвариантность относитель-

но сдвигов в пространстве, т.е. евклидоваго преобразование симметрии (Вигнер, 1971). Созвучное с этим понятие инвариантности предложил В.Б. Сочава (1978). Он рассматривал его как критерий разграничения динамики геосистем и их эволюционных преобразований.

Для расчета меры структурно-функционального изоморфизма (инвариантности) биогеоценозов I_k нами использовались матрицы мер их сходства. По каждому k -му геотопу, с соответствующим биогеоценозом, шенноновская информационная мера I_k определялась как

$$I_k = \frac{H_k}{H_{\max}}, \quad (1.19)$$

$$H_k = -\sum_{i=1}^n N(k,i) \cdot \log_2 N(k,i);$$

$$H_{\max} = \log_2 N \quad (1.20)$$

Здесь $N(k,i)$ – мера сходства i -го геотопа с k -геотопом, а n и N – число связей k -го геотопа и число геотопов соответственно. Максимально инвариантным является тот геотоп, где элементарная экосистема имеет наибольшее сходство с другими системами такого же ранга и в этом смысле она наиболее изоморфна им.

Параметр I_k позволяет давать сравнительную оценку степени изоморфизма систем с различным числом выделяемых градаций. Он характеризует *разнообразие сходства* биогеоценозов данного геотопа со всеми биогеоценозами других геотопов по различному набору признаков их структуры и функционирования. Чем разнообразнее такой набор, тем выше мера сложности отношений сходства, т.е. тем больше данный геотоп может рассматриваться в качестве структурно-функционального инварианта вышестоящей гео(эко)системы. Следует подчеркнуть, что мера инвариантности характеризует не сами величины сходства, а разнообразие отношений сходства (от самых высоких значений $N(k,i)$ до самых малых), поэтому данная мера не дублирует матрицы и графы сходства, а имеет свое самостоятельное содержание. Инвариантным может быть геотоп не обязательно с самым функционально развитым биогеоценозом.

Высокие значения параметра I_k указывают на то, что данный объект имеет наиболее равномерные уровни сходства со всеми другими объектами, причем эти уровни близки к некоторому оптимальному значению сходства ($N(k,i) \rightarrow N(k)_{opt} \approx 0,38$, когда произведение

$N(k) \cdot \log_2 N(k)$ оказывается наибольшим (0,5307 бит). Если же данный объект имеет сходство с одними объектами очень высокое (0,90–0,95 и более), а с другими – наоборот, низкое ($\leq 0,65-0,70$), то итоговая мера разнообразия сходства будет наименьшей ($\sum N(k,i) \cdot \log_2 N(k,i) \rightarrow \min$).

Помимо геотопов аналогичные меры разнообразия сходства могут быть рассчитаны также для самих фитоценологических групп, независимо от их местоположения. В этом случае рассматривается степень инвариантности каждого k -го растительного сообщества I_k по набору его структурно-функциональных характеристик.

Для определения двух других комплексных параметров состояния биогеоценозов использовались исходные матрицы и/или орграфы отношений включения. Здесь так же дадим необходимые пояснения.

Оба параметра рассчитываются, исходя из структурной схемы доминирования рассматриваемого геопространства (см. выше). Для каждой зонально-региональной гео(эко-)системы в первую очередь необходимо определить степень структурно-функционального развития слагающих ее локальных элементов – например, групп биогеоценозов, либо фитоценологических групп. Тем самым можно оценить общий уровень организованности самого экорегиона, а также поле его пространственных биогео- или фитоценологических контрастов. Общее структурно-функциональное состояние каждого топологического элемента выражается определенным значением его метаболического индекса S_k . На структурных схемах зонально-региональных геопространств результирующая картина уровней организации их элементов фиксируется ребрами орграфов отношений включения. Стрелки связей направлены от менее развитых локальных экосистем в сторону более высоко-развитых.

Для каждого геотопа (или каждой фитоценологической группы) определяются число входных связей (n_i) и число связей выходных (n_j). Подсчитывалось также N – общее число связей в системе. Исходя из этого, метаболический индекс S_k биогеоценологической группы k -го геотопа, либо k -й группы фитоценоза, находили из простого соотношения:

$$S_k^m = P_i - P_j + 1, \quad (1.21)$$

где $P_i = n_i/N$, $P_j = n_j/N$. Очевидно, $0 \leq S_k^m \leq 2$.

Значение параметра S_k^m можно рассматривать как обобщенный структурно-функциональный показатель рассмотренных

выше *экологических групп* фитоценозов на тех или иных геотопах. Он позволяет выделить определенные *метаболические экотипы биогеоценозов*. При $S_k^m \gg 1$ сравнительный уровень структурно-функционального развития биогеоценологической группы на рассматриваемом геотопе оказывается достаточно высоким. Такая группа относится к категории *субдоминанта* и ее можно назвать *субмакробологическим экотипом*. Если при этом $n_j = 0$, то она становится *доминантом – макроболитом*. По мере снижения своего метаболического индекса группа биогеоценозов становится сначала *рядовым членом* высотно-зонального множества таких групп, т.е. *мезобологическим экотипом*. Наконец, при $S_k^m \ll 1$ гео(эко-)экосистемы отличаются наиболее слабо развитой структурой и пониженной напряженностью функционирования, поэтому они переходят в категории *редуцированных экотипов – субмикроболитов и микроболитов*. В последнем случае на структурной схеме доминирования соответствующий им геотоп, либо фитоценологическая группа не имеют входных связей ($n_i = 0$).

Наконец, третий комплексный параметр G_k полисистемной организации природных комплексов характеризует *значимость каждого геотопа в отображении его биогеоценозом всего многообразия состояний входных экологических факторов* (абс. высоты, соляной экспозиции и крутизны склона, гидротермических условий и др.). По величине значимости проводится ранжирование (своего рода классификация) топогео(эко-)систем – определение их места в структуре данного зонально-регионального пространства.

Параметр G_k отображает одну из сторон устойчивости гео(эко-)системы к внешним возмущениям. По самому общему определению (Риклефс, 1979), устойчивость системы есть отношение между изменчивостью в среде и изменчивостью в самой системе. Речь идет о способности системы противостоять возмущениям среды или достаточно быстро нейтрализовать последствия нарушений своей структуры и функционирования, вызванные этим возмущением. Как известно, понятие экотипов используется для выделения экосистем, адаптированных к местным почвенно-климатическим условиям (Быков, 1973; Одум, 1986). В первом случае проявляется так называемая *резистентная устойчивость*, во втором – *устойчивость упругая*. Последняя связана с явлением *гомеостаза* – внутреннего динамического равновесия в системе, которое

постоянно поддерживается функциональной саморегуляцией ее компонентов (Реймерс, 1990).

Когда мы рассматриваем реакцию гео(эко-)системы на внешние гидротермические сигналы, выведшие ее из состояния прежнего динамического равновесия, мы имеем дело в первую очередь с резистентной устойчивостью этой системы. Полученный вывод имеет прямое отношение к локальному экологическому прогнозу. Он был использован нами при анализе сетей прогнозируемых фито-экологических переходов (см. очерк 5).

Определяя значимость того или иного биогеоценоза в данном – зонально-региональном геопространстве, мы оцениваем «запас его гомеостатичности» (терминология А.Д. Арманда, 1993), в пределах которого элементарный природный комплекс, согласно принципу Ле Шателье (Горшков, 1995), способен варьировать своей фитоценотической структурой, сохраняя качественную определенность и уровень малого биологического круговорота. В иерархической лестнице механизмов устойчивости природных экосистем (Тишков, 1991, 2005) это не что иное как третий, самый высокий, уровень устойчивости (после собственно биотического и экотопического уровней). Он, связан с «потенциалом инвариантности геосистемы» (Сочава, 1979) – физико-географическим фоном и ландшафтным каркасом (Коломыц, 1987, 1998), поэтому устойчивость, выраженную запасом гомеостатичности гео(эко-)системы правомерно относить к *общей потенциальной устойчивости* – как резистентной, так и упругой.

Для оценки меры значимости G_k нами применялась информационная функция разнообразия Шеннона. Мера значимости k -й топозкоэко-системы в данном регионально-зональном пространстве рассчитывается, исходя из вероятностей входных и выходных связей у нее на матрицах $J_1(A;B)$ и $J_2(B;A)$ (см. выше). При этом принимается, что входные и выходные связи взаимно независимы. Это позволяет использовать свойство аддитивности индивидуальных информационных (Кастлер, 1960). Общая значимость связей данного биогеоценоза, характеризующая многообразие отображенных в нем свойств экорегиона, складывается из негэнтропии (Бриллюэн, 1960) полустепеней захода (входных стрелок на орграфе) и энтропии полустепеней выхода (выходных стрелок). Относительная величина запаса гомеостатичности G_k биогеоценозов на k -том геотопе вычисляется по формуле:

$$G_k = [-P_i \cdot \log_2 P_i + P_j \cdot \log_2 P_j + 1] / [\log_2 N + 1], \quad (1.22)$$

где P_i и P_j – вероятности (в долях 1) входных и выходных связей соответственно, а N – общее число связей. По значению параметра G_k непосредственно оценивается степень чувствительности биогеоценоза, к изменениям гидротермических условий.

Параметры S_k и G_k тесно взаимосвязаны. Выделяя метаболические экотипы элементарных гео(эко-)систем на основе обобщенной меры их структурно-функционального развития, мы одновременно определяем их гомеостатический потенциал, способствующий их устойчивости при тех или иных вариациях климатических и геоморфологических условий данного геопространства. Это созвучно эколого-термодинамической оценке устойчивости экосистем (Назаров, 2004), где понятие устойчивости связано с изменением негэнтропии – разнообразия состояния системы. Рост негэнтропии приводит к увеличению свободной энергии, к активизации обменных процессов в экосистеме. По этой причине более высокому уровню организации фито-или биогеоценоза соответствует и более интенсивные биологический круговорот, который служит механизмом упругой устойчивости. Ранее аналогичные критерии использовались для оценки потенциальной устойчивости региональных ландшафтных комплексов горно-таежных территорий юга Восточной Сибири и Дальнего Востока (Букс, 1977). В целом упругая устойчивость биогеоценозов к вариациям абиотической среды должна уменьшаться в направлении от их макроболических экотипов к мезоболитам и далее к экотипам микроболическим.

Предложенная мера устойчивости гео(эко-)систем носит в значительной мере абстрактный характер, так как она не учитывают сам тип внешнего воздействия. Между тем одни и те же экосистемы могут иметь весьма неодинаковую степень устойчивости к изменениям различных экологических факторов. У каждой из них существует целый гомеостатический спектр. Запас гомеостатичности экосистемы по отношению к конкретному экологическому фактору можно выразить через объем и мощность вектора ее экологической ниши в пространстве значений этого фактора (см. очерк 3, раздел 3.4). В качестве «весовых» коэффициентов в обоих случаях можно использовать частные коэффициенты связей ($C(a_i/b_j)$).

2. БОРЕАЛЬНЫЙ ЭКОТОН И ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ

2.1. Понятие географического экотона. В фундаментальных эколого-географических исследованиях весьма актуальной остается проблема развития феноменологических представлений о многоуровневых способах интеграции одних и тех же природных компонентов в гео(эко-)системы разного таксономического ранга и об иерархическом устройстве биосферы как необходимом условии ее устойчивости (Сочава, 1978; Ретеюм, 1985; Преображенский, 1986; Пузаченко, 1986; Арманд, 1988 б; и др.). С другой стороны, дальнейший прогресс ландшафтоведения и геоэкологии тесно связан со становлением концепции полиструктурности (или полиморфизма, в нашем определении) ландшафтных систем разного уровня (Солнцев, 1974, 1997; Пузаченко, 1997; Коломыц, 1998; и др.). Эта концепция должна, по-видимому, стать составной частью современной теории *географического пространства*, под которым понимается множество объектов земной поверхности, состоящих из отдельных элементов, обладающих определенными субстратными свойствами и многоканальными территориальными связями – как внутренними, так и внешними (Гохман и др., 1968; Родоман, 1972). Принцип полиморфизма гео(эко-)систем, или парциальных структур ландшафта, способствует познанию механизмов их формирования, саморегуляции и устойчивости на основе изучения вещественно-энергетического и информационного взаимодействия разнотипных природных компонентов, которые в любом природно-территориальном комплексе сохраняют определенную автономию и тем самым создают свои парциальные геопространства. На региональном иерархическом уровне биосферы наиболее отчетливо выделяются два типа таких парциальных геопространств – *природные (географические) зоны и речные бассейны*.

Первому типу отвечают биоклиматические изопотенциальные геосистемные структуры (Солнцев, 1974) циркуляционно-инсоляционного генезиса, при доминировании радиальных (вертикальных) вещественно-энергетических потоков. Будучи латерально изотропными по своим исходным системообразующим процессам, эти структуры обладают, однако, определенными векторными свойствами: долготно-секторными, барьерными, экспозиционными и др. Зональные системы и образуемые ими географические

(биоклиматические) пояса характеризуются ядрами-полями, с последовательным характером сопряжения структурных элементов и с открытым способом организации, по определению (Ретеюм, 1988), поскольку вещественно-энергетические потоки, как радиальные, так и латеральные, не замыкаются в пределах каждой из них. Благодаря этому, в зонально-поясной геосистеме возникают «межъядерные» переходные зоны – *зональные и поясные экотоны*, входящие в особую группу *географических экотонов*, по терминологии (Залетаев, 1984), и отличающиеся повышенной латеральной контрастностью гидротермических полей и соответствующей напряженностью водно-тепловых потоков (Сочава, 1979; Залетаев, 1984; Коломыц, 1987).

Географический экотон есть сопряженная коннекционная (парагенетическая, каскадная и т.п.) система природно-территориальных комплексов как относительно однородных на данном иерархическом уровне географических образований, функционально взаимосвязанных и пространственно упорядоченных соответствующими геопотоками. В свете известных рубежей горизонтальной контрастности (Мильков, 1981) на региональном уровне наиболее важное значение имеют две категории геоэкотонов – климатический и орографический. На локальном уровне нередки также фитоэкотоны, особенно характерные для лесостепи. Катену *можно рассматривать как линейное (одномерное) выражение орографического экотона данного ранга, между тем как переходные полосы между звеньями самой катены оказываются экотонами следующего, более низкого ранга*. При своих различных сочетаниях частные экотоны создают комплексные переходные зоны, которые получили название ландшафтов-экотонов (Преображенский, 1986).

Явную противоположность зональному типу парциальных ландшафтных структур составляет бассейновый тип – морфосистемный, он же биогеосистемный разветвленный, или биогеогеосистемный (Бяллович, 1973; Симонов, Борсук, 1977; Исаков, Панфилов, 1984). Этому типу свойствен конвергентный характер пространственных сопряжений структурных элементов (концентрация свойств при слиянии геопотоков). Ведущую системообразующую роль здесь играет речной сток, поэтому бассейн есть геосистема с ядрами-потоками, обладающими полузамкнутым способом организации.

Взаимное наложение (суперпозиция) крупного речного бассейна и системы природных

зон с зональными экотонами создает весьма сложную, многомерную векторную систему – *дислокационный экотон*, ярким примером которого сложит основной водосбор Волжского бассейна.

На геоэкотонах формируются нередко свои специфические природные единства, отсутствующие на соседних однородных территориях и отличающиеся обычно более высоким уровнем структурного и функционального развития. Например, прибрежные и островные внутропические ландшафты Тихоокеанского кольца, образующие цепь наземных звеньев этого субпланетарного континентально-океанического экотона, отличаются от внутриматериковых геосистем-аналогов более высокой первичной биопродуктивностью и повышенными запасами фитомассы при феноменальном развитии травяных сообществ, энергетически более экономных по сравнению с лесными (Базилевич, 1981). Теоретико-множественный анализ состояния высокогорных ландшафтов Центрального Кавказа показал (Коломыц, 1984 б), что комплекс разнотравных лугов и парковых редколесий в полосе верхней границы леса (регионального высотного поясного экотона) характеризуется более сложной структурой и повышенной первичной биопродуктивностью по сравнению с вышележащими по склону собственно субальпийскими лугами и нижележащими вершегорными лесами.

В то же время экотон – отнюдь не редко встречающееся в географической оболочке явление, ибо проведение границ принципиально возможно почти через любую точку поверхности земного шара, так как в каждой точке что-нибудь меняется (Д.Л. Арманд, 1955). Граница есть неотъемлемое свойство географического континуума, она не только разделяет, но и соединяет (Родман, 1972), поэтому практически каждую территорию правомерно изучать с обеих методических позиций – относительной однородности ландшафтов или, наоборот, их контрастности (Нэф, 1968; Д.Л. Арманд, 1975; Мильков, 1981). Вопросы классификации и типологии геоэкотонов еще не разработаны, поэтому в дальнейшем изложении мы будем пользоваться традиционной терминологией ландшафтных единиц, полагая вслед за Ф.Н. Мильковым (1981), что таксономический ранг парагенетического природного комплекса определяется рангом входящих в него комплексов, рассматриваемых как относительно однородные.

Подавляющее большинство работ, как в нашей стране, так и за рубежом, касается изучения локальных фитоэкотонов (Одум, 1971; Риклефс, 1979; Уиттекер, 1980; Armand, 1992; Hansen, diCastru, 1992; и др.), что связано с проблемами дискретности и континуума растительного покрова, биоразнообразия, а также распределения видов и сообществ по градиентам абиотических факторов и на границах контрастных природных сред. В этом аспекте созданы различные классификационные схемы экотонов, рассмотренные в работе (Соловьева, Розенберг, 2006). Известны также исследования экотонов более высокого таксономического ранга, например, зональные геоэкотоны и ороэкотоны (Риклефс, 1979; Мильков, 1981; Коломыц, 1987; Залетаев, 1997; Bailey, 1998; и др.).

Геоэкотоны как наиболее чувствительные к внешним сигналам фрагменты природно-территориальной мозаики должны служить первоочередными объектами изучения воздействия человека на окружающую среду. Дело в том, что толчком к преобразованию гео(эко-)систем и переходу их в качественно новое состояние (Хильми, 1966) служит обострение в первую очередь межкомплексных (горизонтальных) ландшафтных связей (Злотин, 1987), которые в наибольшей мере свойственны именно географическим экотонам (Коломыц, 1987). Активизация латеральных природных взаимодействий в периоды нарушения достигнутой ранее (в той или иной степени) устойчивости природных экосистем под действием новых климатических сигналов является первопричиной и движущей силой тех ландшафтно-экологических перестроек, которые были в прошлом и которые ожидаются в будущем. Таким образом, латеральные отношения и связи становятся предметом самостоятельного палеопрогнозного исследования на геоэкотонах; параметры этих связей должны непосредственно включаться в соответствующие расчетные модели.

Проблемы изучения геоэкотонов тесно связаны с вопросами развития и деградации ландшафтов, движущих сил и темпов эволюционного процесса, таксономических и возрастных соотношений структуры и функционирования геосистемных онтогении и филогенетических смен, наконец, закономерностей становления ландшафтных связей на суше. По существу должны рассматриваться те научно-методические проблемы, которые касаются самих истоков природно-территориальной организации континентальной части географической оболочки Земли.

2.2. Концептуальная модель географического экотона. Необходимость одновременного учета как межкомпонентных, так и межкомплексных связей требует при изучении ландшафтов-экотонных более сложных приемов моделирования по сравнению с методикой анализа однородных районов. Прежде всего необходимо ввести в модели два ключевых геометрических параметра пространства – вектор и градиент. Информационно-статистические меры межкомпонентной сопряженности целесообразно рассчитывать по определенным векторам геопотоков, а сходство (различие) и включение местоположений по тому или иному набору природных признаков должны помимо своих модульных значений дополняться их градиентами (также по фиксированным направлениям).

В качестве рабочей методической основы исследований на разноуровневых ландшафтах-экотонах нами предлагается положение о структурных уровнях ландшафтной организации, опирающееся на составленную автором концептуальную модель экотона как иерархической системы управления (рис. 2.1). Модель имеет вид блоковой схемы фигур подобия (Шубников, 1975), построенной путем симметричных операций скользящего отражения и переноса (трансляции) с одновременным изменением масштаба частей системы и рас-

стояний между ними.

Выбор симметрии подобия для сравнительного показа различных иерархических уровней ландшафтов не случаен. Он исходит из самих свойств подобия системной организации географической оболочки и ее частей. Как известно (Арманд, 1967, 1975; Михайлов, 1985), процессы территориальной дифференциации природных комплексов на всех структурных уровнях подчиняются одним и тем же, общим для всех комплексов закономерностям, 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. Ландшафтообразующее значение каждого компонента качественно меняется в зависимости от соотношения размеров территории и пространственных масштабов проявления его тех или иных свойств. В соответствии с этим исследователь производит генерализацию рассматриваемых компонентных признаков.

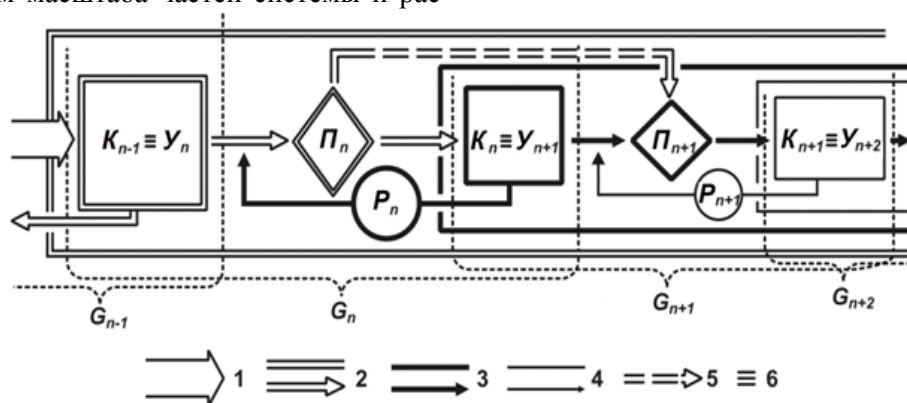


Рис.2.1. Концептуальная кибернетическая модель ландшафта-экотона как иерархической системы управления

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

Физико-географический фон характеризует состояние любого природного комплекса или его отдельного компонента как бы с низким уровнем пространственного разрешения. Фон это – континуальное распределение признака, без резко выраженных скачков. Фоновая функция в каждой пространственно-временной точке представляет собой некоторую среднюю величину из значений данного элемента в окрестностях этой точки (Бойчук, Марченко, 1968). Следовательно, параметры фонового поля характеризуют в каждом месте определенную таксономическую «норму» вещественно-энергетических ресурсов ландшафтообразования. С фоновыми свойствами связан общий потенциальный уровень участия природного компонента в организации ландшафтов. Как частный случай физико-географического фона А.А. Крауклисом (1974) рассмотрена зонально-региональная «норма» природных условий для Среднесибирской физико-географической области. Аналогичные «нормы» можно установить, скажем, для природного района, местности или урочища, а также зоны и страны.

Переход от фонового значения геокомпонента к его пространственно-дифференцирующей роли наблюдается всякий раз, когда размер территории достигает собственного минимума частного геопространства, в котором организован этот компонент. Минимум пространства есть критический уровень, выше которого территориальные вариации фактора уже превышают ошибку его измерения или сравнительной оценки и пространственное разрешение геокомпонентной структуры становится вполне значимым.

Пространственно-дифференцирующее влияние геокомпонента связано с его внутри-фоновыми 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 (Бойчук, Марченко, 1968; А.Д. Арманд, 1975; Кренке, 1984). Локализуя территориальные природные взаимодействия, компоненты формируют собственно пространственную структуру ландшафта – его каркас и узор в зависимости от масштаба самой локализации. Каркас и узор ландшафта-экотона являются соответственно входными и выходными переменными кибернетической модели (см. рис. 2.1), которая описывает экотон 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, т.е. экспозиции в широком понимании этого термина (Бунге, 1967; Хаазе, 1980). На региональном уровне геосистем сюда входят гравитационный, инсоляционный и циркуляционный факторы, которые определяются соответственно морфотектоникой и морфоструктурой, фоновыми (поясными, зональными, секторными) значениями радиационного баланса и приходом атмосферной влаги. Их суперпозицией создаются три необходимые предпосылки для возникновения географических полей (Родоман, 1972; Арманд, 1988 б): материальных носителей поля, градиента потенциала и источников энергии – движущей силы геопотоков. Существенное значение имеет также морфоструктурная «память» ландшафта – палеогеографический фактор первого порядка, накладывающий определенные ограничения на деятельность потоков. В масштабе локальных природных комплексов (местностей, урочищ, фаций) ландшафтный каркас определяется морфоскульптурой соответствующего порядка, характеристиками малых речных систем, а также мезоклиматом и в последнюю очередь фитоценозом (см. табл. 2.1). На территориях хозяйственного освоения существенным элементом каркаса являются также различные инженерные сооружения.

Признаки ландшафтного каркаса характеризуют так называемую изопотенциальную структуру природно-территориальных комплексов: зональную, высотно-поясную, ярусную, полосную и т. п. (Солнцев, 1974), которая проявляется в той мере, насколько это соответствует территориальному масштабу геосистем.

Такую структуру в определенном смысле можно назвать инвариантной, по В.Б. Сочаве (1978), так как именно она определяет граничные условия, в пределах которых реализу-

ется все многообразие структур геосистемы, связанное с обменными процессами на ее территории. Изопотенциальной структуре отвечает также определенная вертикальная стратиграфия взаимодействующих природных тел и сред. Таким образом, удается перевести понятие геосистемного инварианта из весьма абстрактной категории, как оно было сформулировано В.Б. Сочавой, в категорию с более конкретным ландшафтным содержанием, что позволяет использовать это понятие в качестве инструмента ландшафтного анализа. В самом деле, линейные и узловыи элементы геосистемного каркаса заданного иерархического уровня нетрудно выявить непосредственно на местности, по карте или аэрокосмическим снимкам. Ландшафтный каркас является «конфигуратором» геопотоков, определяя их интенсивность, взаимодействие и пространственную упорядоченность.

Процесс – второй функциональный блок концептуальной модели. Он объединяет в себе множество вещественно-энергетических потоков, работающих в граничных условиях данного каркаса. Наблюдается определенная таксономическая очередность системообразующей роли геопотоков различной субстратной природы (Злотин, Тишков, 1984). 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 внутрипочвенный сток, гравитационное движение рыхлого материала на склонах и аэральныи перенос элементов фитобиоты. Естественный транзит может осложняться техногенными потоками.

Ландшафтный узор – это овеществленное отображение геополей и –геопотоков, «застывший» образ (слепок) с процессов прошедшего и происходящего вещественно-энергетического переноса. Сюда относятся преимущественно почвенно-биотические и геохимические признаки, биопродуктивность ландшафта, 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 ландшафтной структуры под влиянием направленных геопотоков включает два основных процесса: 1) усложнение вертикальной компонентной ярусности ландшафта; 2) «обрастание» карка-

са элементами узора. В первом случае важно отметить появление так называемых контактных геоконпонентов, например «контактного слоя рельефа» (Солнцев, 1981) вместе с почвой как производным биокосным телом. Таким образом, кибернетическая модель ландшафта-экотона по своей идеологии «условия–процесс–структура» созвучна неодокучаевской парадигме в почвоведении «факторы–процесс–свойства» (Герасимов, 1976).

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 геосистем с положительной или отрицательной обратной связью. «Дирижерами» саморегуляции геосистем могут выступать, например, звенья «влага – растительность» или «тепло почвы – растительность» (Крауклис, 1974; Сочава, 1978). Смена знака обратной связи свойственна логистической траектории изменения функционального признака во времени (Арманд, 1967). Определение контуров обратной связи 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 (Арманд, 1988 б).

Рассмотренная концептуальная модель применима к ландшафту-экотону 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 геоконплексу могут быть эпигенетическими (функционально обусловленными), а для другого, который является составной частью первого, – инвариантными. Таким образом, модель отображает многоуровненность ландшафтной организации, что коренным образом отличает ее от известных «безразмерных» моделей ландшафта (Арманд, 1975; Крауклис, 1979; Рихтер, 1983; Сочава, 1978; и др.). 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. В.С. Преображенский (1969) уже отмечал необходимость такого существенного дополнения к методам ландшафтных исследований.

2.3. Структурные уровни ландшафтной организации некоторые методы их выделения. Физико-географический фон, ландшафтный каркас и ландшафтный узор – понятия относительные и имеют содержательный смысл только применительно к конкретному иерархическому уровню природного комплекса, в том числе экотону (см. табл. 2.1). Как правило, одно и то же свойство геокомпонента, будучи локализирующим фактором для ландшафта 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 ландшафтную 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 ландшафтной организации, что отображено и на рассмотренной выше модели. Выделяя и анализируя различные структурные уровни природных комплексов, мы по существу реализуем системный подход к познанию структуры и функционирования ландшафтов (см. табл.2.1).

Пространственная и временная иерархия геосистем – необходимое условие их равновесного состояния (Преображенский, 1978), 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 (Виноградов, 1984; Пузаченко, 1986) можно принять следующее положение: на каждом таксономическом уровне геоэкотонов ареалы изопотенциальной структуры должны быть по своим линейным размерам не менее чем в 3–4 раза больше тех ареалов, которые отвечают эпигенетической структуре. Такое хронологическое 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 (Бойчук, Марченко, 1968). 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 аналогичным приемом можно отделить характеристики ландшафтного узора от каркасных свойств, оперируя выборкой данных, из которой уже исключены фоновые связи.

К векторным ландшафтным структурам, по-видимому, применимы те же показатели статистических оценок варьирования признаков, которые используются при выделении однородных единиц. Например, 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 (Кренке, 1984). Тогда узловые линии изопотенциального поля проводятся через интервалы, равные удвоенной величине меры варьирования ландшафтного узора. Применяется также метод сравнения функций плотности распределения пространственных частот признака, измеряемого на местности, по карте или аэрокосмическому снимку (Виноградов, 1984). Этот метод можно использовать при условии, что каждому таксономическому уровню векторных структур отвечает некото-

рая однородная совокупность пространственных частот данного признака, описываемая одновершинной кривой нормального или лог-нормального 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 видно, таксономический ранг и струк-

турный 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.

Таблица 2.1

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

Природные компоненты и факторы	Физико-географические единицы (по Исаченко, 1965)							
	Сектор и страна	Зона и позна	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

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

Ландшафт-экотон выражается на карте определенным ареалом. Первую, векторную координату этой двумерной модели экотона составляет геосинэргическая катена, простирающаяся в направлении системообразующих геопотоков и объединяющая в относительно замкнутую систему ряд местоположений – от элювиального до аккумулятивного. Вторая, «геосинхорическая» (Нэф, 1968) координата, в общем случае перпендикулярная первой, характеризует направление «поперечных» (сетобразующих) связей

между звеньями смежных катен. На основе сопряженного анализа обеих структур выявляются, систематизируются и классифицируются ландшафты-экотоны данного иерархического уровня. Границы ареала геоэкотона проводятся: 1) по синэргической координате – путем «замыкания» противоположных «полюсов» катен; 2) по синхорической – в местах смены одного сетобразующего ряда однородности местоположений другим рядом однородности. Одновременно составляются векторные и изопотенциальные,

т.е. сопоставимые по интенсивности процессов, ряды геосистем, входящие в данный экотон.

Многоуровневый хронологический анализ региона целесообразнее начинать с наиболее простых ландшафтов-экотонов (ранга урочищ и местностей), а затем переходить ко все более крупным экотонам на основе генерализации свойств каждого предшествующего уровня. При генерализации существенное значение имеет правильный выбор репрезентативных точек. Для решения большинства «ресурсных» задач имеет смысл выделять типологические центры катен (Мордкович, Титлянова, 1984), отображающие фоновую норму природных комплексов данного ранга. В районах избыточного увлажнения это будут преимущественно верхние звенья ландшафтного сопряжения (трансэлювиальные), при умеренном увлажнении территории – средние звенья, а в условиях недостатка влаги – и нижние звенья катены (трансаккумулятивные). Однако если поставлена задача выявить на геоэкотонах участки и направления, наименее устойчивые к внешнему воздействию, то репрезентативные точки должны определяться, очевидно, по совершенно иным критериям. В частности, для оценки техногенного загрязнения ландшафтов следует выбирать в первую очередь аккумулятивные местоположения (Таргульян и др., 1977), а при других типах антропогенных воздействий (вырубке лесов, пастбищной нагрузке и др.) и при влиянии климатических колебаний первоочередными индикаторами экологических сдвигов служат верхние звенья катен – элювиальные и трансэлювиальные местоположения, обладающие наименьшим экологическим резервом (Коломыц, 1984 а). Анализ горизонтальных ландшафтных связей по картам экотонов должен выявить прежде всего пространственные изменения геокомпонентной сопряженности между признаками каркаса и узора, которая отображает общий уровень организации ландшафта-экотона и индицирует важнейшие структурные сдвиги в геосистемах при внешних воздействиях. Здесь полезно использовать информационно-статистические меры связей. Путем перекрестного анализа векторных и изопотенциальных рядов межкомпонентной сопряженности можно получить искомую картину отображения «пространственных

процессов в пространственной структуре» (Бунге, 1967).

2.4. Бореальный экотон как ландшафтно-экологическая система. Территория Русской равнины в свое время послужила объектом, на примере которого была разработана концепция зональной дифференциации природной среды и возобновимых естественных ресурсов с помощью анализа широтных и долготно-секторных изменений климата как ведущего фактора формирования равнинных ландшафтов (Докучаев, 1948; Берг, 1958; Мильков, 1964; Михеев, 1977; и др.). Четко выраженное зональное распределение здесь имеют не только собственно биоклиматические параметры (радиационно-термический режим и атмосферное увлажнение, основные признаки почвенно-растительного покрова), но также водного баланса и современных экзогенных процессов. Стратегические задачи *эколого-географического прогнозирования*, ставшие актуальными в наши дни, требуют разработки новых научно-методических вопросов территориальной организации, устойчивости, а также естественной и антропогенной динамики природных гео(эко-)систем.

Успешное решение прогнозно-экологических проблем видится нам в значительной мере на пути осуществления выдвинутой в свое время Б.Б. Польшовым идеи о том, что «ландшафт мы должны рассматривать не только как эффект взаимодействия природных процессов, но и как систему, осуществляющую это взаимодействие» (1956, с. 509). Экотон как ландшафтные и биогеографические переходные зоны (Залетаев, 1984, 1997; Коломыц, 1987) представляют собой наиболее подходящие объекты для изучения таких взаимодействий. Схематически экотон нередко представляется в виде различных природных рубежей. В субконтинентальном масштабе на Русской равнине таким рубежом является обширная пограничная полоса между бореальными (преимущественно таежно-лесными) и суббореальными (лесостепными и степными) растительными формациями. Этот трансконтинентальный *бореальный экотон* (по нашей терминологии) простирается от Южной Прибалтики до Восточного Саяна и Предбайкалья (Базилевич и др., 1986; Крауклис, 1991) и далее после перерыва идет через Юго-Восточное Забайкалье к Внутренней Монголии. В его пределах оказывается почти весь основной водосбор Волжского бассейна.

В пределах Восточно-Европейского субконтинента (основного водосбора Волжского бассейна) бореальный экотон включает в себя широкий спектр относительно однородных зональных систем: южную тайгу, подтайгу (зону смешанных лесов), широколиственные леса, типичную и южную лесостепь, северную степь. В этой сравнительно узкой переходной полосе, совершаются принципиальные изменения в структуре и функционирование природных экосистем зонального типа (Базилевич и др., 1986), обусловленные важнейшим климатическим рубежом – переходом соотношения тепла и влаги через 1. Благодаря своим повышенным гидротермическим градиентам, бореальный экотон может рассматриваться как векторная, коннекционная, или парадинамическая зонально-поясная система, с резко выраженной пространственной (преимущественно субширотной) поляризацией структурных элементов и процессов функционирования (Д.Л. Арманд, 1975; Мильков, 1981). В связи с этим экотонные гео(эко)системы должны обладать более высокой чувствительностью к глобальным изменениям климата, нежели их аналоги в «ядрах типичности» соседних биоклиматических поясов – бореального и суббореального. Это подтверждает, в частности, известная динамика природных зон и зональных границ в Верхнем и особенно Среднем Поволжье на протяжении голоцена.

На бореальном экотоне начинается перестройка ландшафтных, фитоценологических и почвенных ареалов, здесь возникают новые эволюционные тенденции в окружающей природной среде. Изменения соотношения тепла и влаги в этой переходной полосе, обусловленные фоновыми климатическими сдвигами, может повлечь за собой существенный экологический перелом – смену знака связи структуры природных экосистем и их продуктивности с основными ландшафтно-геофизическими параметрами. Образно говоря, рассматривая поведение ландшафтно-зональных систем на бореальном экотоне в прошлом, настоящем и будущем, исследователь получает в руки «быстротекущую» модель регионального проявления глобальных изменений природной среды.

Бореальный пояс на Русской равнине отличается от северной (лесостепной и степной) части пояса суббореального по характеру миграции веществ (преимущественно абиотической в первом случае и биогенной – во втором), по типу фонового процесса почвообразования (соответственно подзолистого и дер-

нового), наконец, по запасам органического вещества в природных экосистемах и величине первичной биологической продуктивности (Базилевич и др., 1986).

Повышенная чувствительность бореального экотона к внешним воздействиям обусловлена, прежде всего, весьма узкими рамками экологического пространства, в пределах которого происходит сравнительно быстрая и резкая смена природных зон. Как показала гидротермическая ординация зональных типов ландшафтов (Исаченко, 1988), в пределах умеренного пояса степь, лесостепь, широколиственные, смешанные и хвойные леса существуют в интервалах сумм биологически активных температур 1500–2000⁰ и коэффициента увлажнения Высоцкого-Иванова 0,7–1,0, т.е. в достаточно узких диапазонах гидротермического пространства. Отсюда – неизбежное взаимное перекрытие климатических ниш большинства зональных систем на бореальном экотоне. По суммам температур это перекрытие, как правило, наименьшее, что говорит о термическом режиме как ведущем пространственно дифференцирующем факторе, между тем как ниши по годовому количеству осадков перекрываются гораздо сильнее. Следовательно, изменения зональной структуры бореального экотона должны быть связаны в первую очередь с фоновыми термическими сигналами.

В указанных граничных условиях приграничные лесные экосистемы неизбежно приобретают черты триггерных систем с гистерезисными свойствами, по определению (Арманд, Ведюшкин, 1989), и находятся в состояниях, близких к критическим. Такие экосистемы в первую очередь несут на себе печать хозяйственного воздействия (сплошных вырубок, выпаса, распашки земель, гидромелиоративных мероприятий, промышленного строительства), необратимо изменяющих структуру теплового и водного балансов территорий в сторону аридизации, а с ними и соотношение тепла и влаги как основного свойства зональности. На Средне-Русской, Приволжской и Бугульминско-Белебеевской возвышенностях, «предрасположенных» к антропогенному остепнению в силу особенностей литогенного субстрата, «климатически неоправданные» лесостепные и даже степные ландшафты внедрились местами уже далеко в пределы лесной зоны, что и стало причиной чрезвычайной извилистости южной границы подзоны широколиственных лесов. Примерами локального остепнения юга лесной зоны могут служить Арзамасская, Починковская и Сергачская

(Пьянско-Сурская) лесостепь на Приволжской возвышенности.

В пределах широколиственных лесов и типичной лесостепи проходит спектр изолиний годового радиационного баланса 1450–1850 МДж/м² (35–45 ккал/см²). Он служит важным рубежом, разделяющим два термических пояса: северный (бореальный) недостаточной теплообеспеченности, при достаточном и избыточном увлажнении, и южный (суббореальный), с достаточной теплообеспеченностью, но с недостатком влаги. Особенно следует подчеркнуть смену на бореальном экотоне ролей тепла и влаги как фоновых лимитирующих факторов структуры и продуктивности фитоценозов. В бореальном поясе рост атмосферного увлажнения ведет к снижению продуктивности экосистем, в суббореальном – напротив, к ее увеличению (Базилевич и др., 1986). Как видно из климадиаграммы А.Г. Исаченко (1988), зональный спектр северного крыла бореального экотона (смена южной тайги смешанными и широколиственным лесам) обусловлен нарастанием теплообеспеченности, а южного крыла (переход к лесостепи и северной степи) – снижением атмосферного увлажнения. Соответственно увеличение первичной продуктивности зональных растительных формаций в первом случае происходит за счет роста теплообеспеченности, а во втором – при возрастании обеспеченности влагой. Наши ландшафтно-экологические исследования в Среднем Поволжье показали (Коломыц и др., 1993), что этот гидротермический перелом наступает уже вблизи южной границы зоны подтайги, поэтому не только хвойные, но и широколиственные леса здесь находятся в условиях все возрастающего к югу дефицита влаги, что и является решающим фактором их потенциальной неустойчивости.

Экотон как межпоясной структурно-функциональный скачок природных условий имеет не только биоклиматическое проявление. В пределах Верхнего и Среднего Поволжья с ним сопряжены (сближены или проходят внутри него) целый ряд других геокомпонентных границ (рис. 2.2):

А) орографическая граница (система долин крупных рек – Оки, и широтного отрезка Волги), по обе стороны от которой преобладают два весьма различных морфогенетических типа водоразделов Русской равнины: а) се-

верные преимущественно низменные водоразделы, лишенные асимметрии, моренно-ледниковые, аккумулятивные, с преобладающими абсолютными высотами 60–150 м; б) южные возвышенные водоразделы, асимметричные, эрозионно освоенные, преимущественно денудационные, представленные древними поверхностями выравнивания со ступенями высот около 160, 180, 200 и 240–250 м (Средняя полоса..., 1967; Дедков, 1972; Мильков, 1981);

Б) литогенная граница (северный рубеж широкого распространения лессов и лессовидных суглинков, обеспечивающих высокую трофность почв; севернее они замещаются гораздо менее плодородными покровными суглинками и супесями, при широком распространении песков);

В) почвенная граница (северный предел распространения черноземов и серых лесных почв, с резким сокращением содержания гумуса, а в его составе – гуминовых кислот, определяющих водопрочную зернистую структуру почвы и ее плодородие);

Г) флористические границы (северный предел массового распространения на плакорах дуба, южный предел – ели европейской и юго-западный – ели сибирской).

Сочетание указанных природных границ образует весьма четко выраженную комплексную зональную границу, получившую название Главного ландшафтного рубежа Русской равнины (Мильков, 1981). Этот рубеж проходит непосредственно по долинам Оки и Волги по линии Калуга – Рязань – Нижний Новгород – Казань и отделяет хвойнолесную зону от зоны лесостепи с подзоной широколиственных лесов (рис. 2.2). Главный ландшафтный рубеж, таким образом, непосредственно проходит через территорию Нижегородского Поволжья, рассекая ее на две части – левобережное бореальное (таежно-лесное) Низменное Заволжье и суббореальное (лесостепное и широколиственнолесное) Возвышенное Правобережье, т.е. по существу он является ландшафтной «сердцевинной» бореального экотона. На южную границу подтайги приходится наиболее резкий скачок теплоэнергетических ресурсов, поэтому Главный ландшафтный рубеж можно рассматривать как ландшафтно-геофизический фокус бореального экотона.

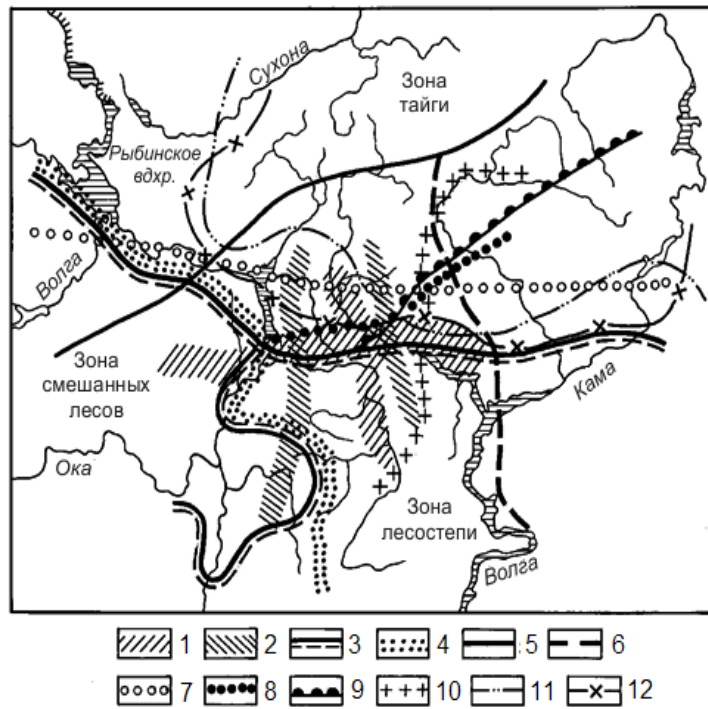


Рис. 2.2. Главные природные рубежи Верхнего и Среднего Поволжья (по Алисов, 1956; Средняя полоса..., 1967; Мильков, 1981; Терентьев, Фридман, 1985; Мильков, Гвоздецкий, 1986)

Платформенные тектонические структуры: 1 – первого порядка, 2 – второго порядка; 3 – зональная граница; 4 – меридиональный ландшафтный рубеж; провинциальные границы: 5 – субширотная, 6 – меридиональная; 7 – климатическая граница; 8 – граница механического состава рыхлых отложений в Заволжье; 9 – зональная граница распределения грунтовых вод; 10 – граница максимального оледенения на Русской равнине; 11 – пределы распространения пихты; 12 – пределы распространения лиственницы

В южной субмеридиональной, преимущественно транзитной, части Волжского бассейна представлен спектр семиаридных и аридных природных зон: степной, полупустынной и пустынной, – концентрически опоясывающих континентальное «ядро» Евразии. Соответствующие зональные границы пересекают Волгу в районах Саратова, Волгограда и Харабали. Благодаря резкому нарастанию аридности в юго-восточном направлении здесь создается так же свой суперзональный экотон, который можно отнести к категории внутрипоясных долготно-секторных климаэкотонов.

Биоклиматические контрасты между лесными и лесостепными территориями на боральном экотоне усиливаются геолого-геоморфологическими факторами, доводящими разницу между ними до уровня физико-географических провинций. Экотон разделяет две наиболее крупные геоморфологические (и соответственно физико-географические) области Русской равнины: 1) северную, преимущественно аккумулятивную, с относительно молодым рельефом, образованным насаженными формами ледниковой, древнеаллювиальной и эоловой аккумуляции; 2)

южную, эрозионно-денудационную и эрозионно-аккумулятивную, с более древним, а потому и более зрелым рельефом, унаследованным в своих основных чертах еще от третичного периода (Средняя полоса..., 1967, Макунина, 1985). Указанные литогенные контрасты двух обширных территорий, лежащих по обе стороны от Главного ландшафтного рубежа Русской равнины, были заложены, по видимому, в эпохи среднечетвертичных (Донского и Днепровского) оледенений и окончательно сформировались в верхнем плейстоцене (в эпоху Валдайского оледенения) и в раннем голоцене.

Будучи унаследованными от геологического прошлого, эти морфоструктурные контрасты поддерживаются также современными тектоническими движениями по всей субширотной полосе системы речных долин Ока-Волга-Кама, называемой Великой Волжской аллювиальной равниной и являющейся частью Владимиро-Казанской морфотектонической межи (Терентьев, Фридман, 1985). Последняя представляет собой цепь депрессионных структур, испытывающих наибольшие современные прогибания – до 2,8–3,1 мм/год.

Северные левобережные низменные таежно-лесные территории опускаются с несколько меньшей скоростью (до 1,5–2,0 мм/год), между тем как лесостепные и степные районы возвышенного Правобережья имеют тенденцию к поднятию (до 2,0–2,5 мм/год). Таким образом, по указанной системе речных долин проходит резкая, инверсионная смена тектонических процессов, и эта смена отражается на глубине залегания подземных вод, характеризующей степень дренированности территории. В результате, с одной стороны, поддерживаются режимы почвенно-грунтового переувлажнения по всему низменному лесному окско-волжскому Левобережью, а с другой, – усиливается естественный дренаж, с эрозионным расчленением поверхности, районов возвышенного лесостепного Правобережья, повышая тем самым их упомянутую выше «предрасположенность» к антропогенному остепнению.

Широтно-зональная смена общих климатических условий существенно преломляется неоднородностью геологического строения и рельефа. Русская равнина, в том числе основной водосбор Волжского бассейна, имеет достаточно четко выраженную «поляризацию» своего геоморфологического каркаса (Коломыц, 1998). Морфоструктура современных ландшафтов здесь окончательно сформировалась в неогене (точнее, в конце олигоцена - миоцене), когда в результате дифференцированных тектонических движений на фоне общего поднятия палеогеновой поверхности выравнивания Русской равнины возникли Средне-Русская и Приволжская возвышенности, а также оформились возвышенные гряды Верхне-Волжского амфитеатра. Активные экзогенные процессы расчленили повышения на серию пластовых возвышенностей и гряд, при этом были углублены и расширены понижения (Средняя полоса..., 1967; Дедков, 1972). Вплейстоцене, в связи с накоплением мощных (до 150–200 м и более) толщ ледниковых и флювиогляциальных отложений, преимущественно на низменностях, и дальнейшей денудацией пластовых возвышенностей, оформились основные элементы морфоскульптуры, подчеркнувшие векторность («поляриность») современного геоморфологического каркаса территории и предопределившие тем самым систему региональных и локальных ландшафтных сопряжений (водораздел-склон-долина).

Такая геоморфологическая «поляризация» не только создает внутризональное многообразие почвенно-биотических и ландшафтных

структур в регионе, но и служит первопричиной значительного меридионального смещения самих зональных границ – причем, смещения взаимно противоположного на возвышенностях и низменностях. Результатом этого стало известное феноменальное явление вертикальной обратной (для юга бореального пояса и севера суббореального) дифференциации зональной растительности и ландшафтов (Лавренко, Исаченко, 1976; Мильков, 1981). С одной стороны, прослеживаются песчаные (зандровые) флювиогляциальные и древнеаллювиальные слабо расчлененные низменности (например, Верхне-Волжская, Унже-Ветлужская, Окско-Мокшинско-Донская, Низменное Заволжье), а с другой, – возвышенные суглинистые эрозионно-денудационные равнины (Средне-Русская, Приволжская, Верхне-Камская, Высокое Заволжье). Бореальные гео(эко-)системы, главным образом сосново-лесные, продвигаются на юг по песчаным низменностям, а суббореальные (дубравно-лесо-степные, превращенные человеком почти повсеместно в распаханые территории – ополья) – на север по суглинистым возвышенностям.

Таким образом, территория основного водосбора Волжского бассейна представляет собой достаточно уникальную и сложную ландшафтно-экологическую мегасистему, образованную суперпозицией двух систем: векторной гидрологической (самой речной сетью) и векторно-изопотенциальной биоклиматической (бореальным экотонном). Каркас территориальной организации этой мегасистемы образован двумя взаимно перпендикулярными векторами: 1) субширотным гидрологическим вектором, с которым интерферирует вектор климатической секторности (оба вектора являются движущей силой горизонтального энерго-массо-обмена); 2) субмеридиональным зонально-климатическим вектором как системой однонаправленных смен изопотенциальных биоклиматических структур, с преобладающим вертикальным энерго-массообменом. Благодаря этому, результирующая диссимметрия экологического пространства Волжского бассейна приобретает ярко выраженные черты *дислокационной зональности*, по терминологии (Гарцман, 1971), которая порождает неизбежное множество региональных и локальных откликов на одно и то же фоновое воздействие.

2.5. Зональность как объект эколого-географического исследования. В учении о географическом способе организации систем

земной природы центральное место занимает выдвинутая в свое время В.В. Докучаевым (1948, 1949), а затем всесторонне развитая и теоретически обоснованная А.А. Григорьевым (1966, 1970) концепция о цельности и неразрывности географической среды, получившая наиболее полное развитие в теории географической зональности. Эти концептуальные положения получило дальнейшее развитие также в фундаментальных работах Л.С. Берга (1947 а), Г.Д. Рихтера (1962, 1965), В.Р. Волобуева (1963), Ф.Н. Милькова (1986), М.И. Будыко (1971, 1977) о зональных ландшафтных комплексах и вещественно-энергетических факторах и процессах, определяющих географическую зональность. Л.С. Берг (1958, с. 210) был, по-видимому, первым, кто охарактеризовал географические зоны как ландшафтные, подчеркнув тем самым глубокое единство понятий «ландшафт» и «природная зона». Следует особо подчеркнуть тесную связь последующего совершенствования теории зональности как общепланетарного биоклиматического явления с развитием ландшафтоведения, а затем и геоэкологии, что отобразило общую тенденцию сближения географии и экологии. Экологический подход позволил существенно расширить рамки такого, уже традиционного объекта физической географии, как природная зональность (Д.Л. Арманд, 1975; Базилевич и др., 1986; Исаков и др., 1986; Глазовская, 1992). В структуре и функционировании зональных типов ландшафтов и природных экосистем, прежде всего, в сложности строения фитобиоты и ее продуктивности, видится проявление высшей формы организации биосферы. Тем самым, создается наиболее оптимальная для биоты форма устойчивого, взаимообусловленного функционирования компонентов биосферы (Герасимов, 1985). В явлении зональности мы видим «целостную картину возможно большего числа различных, но связанных между собою особенностей природной среды» (Хаггет, 1979, с. 151). Эту феноменальную особенность зональной формы организации биосферы подчеркнул и весьма образно изложил сам В.В. Докучаев (1949, с. 320): «Большой аналогии, большого параллелизма, большей связи и генетического родства <...> и – даже, так сказать мировой сопомощи и любви между отдельными стихиями и отдельными царствами природы нельзя и требовать».

Следует, однако, заметить, что экологический подход сравнительно полно реализован только применительно к двум крайним струк-

турным уровням биосферы: планетарному (Григорьев, 1970; Будыко, 1971, 1977; Рябчиков, 1972; Bailey, 1998; и др.) и топологическому (Сочава, 1978; Крауклис, 1979; Беручашвили, 1990; и др.). Гораздо слабее освещен ее региональный уровень, где весьма проблематичным становится изучение переменных и инвариантных свойств геосистем, их сукцессионных и климаксных состояний и других важных закономерностей их организации (Крауклис, 1997). Здесь исследователь сталкивается с необычайно большим территориальным разнообразием геосистем, с наиболее резко выраженной индивидуальностью и дискретностью последних, что осложняет типизацию региональных геопространств, затрудняет использование для их изучения традиционных методов моделирования. Разработка региональных физико-географических проблем ограничивается чаще всего созданием той или иной схемы природного районирования, хотя по существу получение такой схемы должно быть лишь началом, а не концом серьезного регионального анализа. Не случайно В.Б. Сочавой (1978) был поставлен вопрос о необходимости получения негэнтропийных и энтропийных характеристик регионов, данных по их метаболизму и другим экологическим параметрам. Это тем более актуально, что большинство глобальных экологических проблем современности должны решаться именно на региональном уровне (Меняющийся мир..., 1991).

Согласно докучаевской парадигме, зональные черты организации свойственны в той или иной мере всем ступеням иерархии природных комплексов (Солнцев, 1973), однако в наибольшей мере они проявляются в типах географической среды (Григорьев, 1970). Именно зональный, в первую очередь, тип ландшафта подразумевал в свое время Л.С. Берг, определяя ландшафт как «сообщество высшего порядка, <...> в котором все части связаны друг с другом в упорядоченное целое» (1947 а, стр. 6, 8). Значительно позже это определение наполнилось экологическим содержанием. Так, при характеристике основных направлений геосистемного мониторинга И.П. Герасимов (1985) выделил зональные категории ландшафтных комплексов в качестве главных типов природных экосистем суши, обратив особое внимание на степень замкнутости и сбалансированности веществ, а также на скорость их внутреннего оборота как на важнейшие показатели общего совершенства организации и устойчивости экосистем.

Современная теория зонального строения биосферы и ее частей допускает сосуществование различных форм частной (компонентной) и ландшафтной зональности: равнинной (горизонтальной) и горной (высотной), широтной и меридиональной, парагенетической и парадинамической (Мильков, 1986), а также экспозиционной (в том числе циркуляционной, солярной и ветровой) и так называемой дислокационной зональности – формы наиболее сложного сочетания зонаформирующих факторов (Гарцман, 1971). Мы будем рассматривать те свойства зонального геопространства равнин, которые выражены территориальной упорядоченностью региональных ландшафтов как в «ядре типичности» природной зоны, по Д.Л. Арманду (1975), так и на ее периферии, включая и саму зональную границу.

Организация зонального геопространства тесно связана с территориальным распределением и соотношением *экологических ниш гео(эко-)систем*. В ландшафтной экологии вполне допустимо применять два из трех известных (Одум, 1975; Свирежев, 1982; Пузаченко, Санковский, 1992) аспектов экологической ниши: 1) пространственный, близкий к понятию местообитания и сводимый так или иначе к типу местоположения (на микро-, мезо- и макроуровнях ландшафтных систем); 2) ресурсный, или пространственный, определяемый положением объекта относительно градиентов того или иного вещественно-энергетического фактора (температуры, влажности, физико-химических свойств почвы и т.п.); назовем этот аспект параметрическим. Говоря об экологических нишах ландшафтных систем, мы имеем в виду, прежде всего, их фитоценотические блоки, размещение которых в зональном геопространстве соответствует климатическим и эдафическим нишам доминирующих видов-эдификаторов и образуемых ими сообществ. При этом, речь идет в первую очередь о зональных типах и подзональных подтипах ландшафтов, основным диагностическим признаком которых служит, как известно, коренная растительность.

Применительно к региональным экосистемам мы используем «представление об экологической нише как об области некоторого пространства жизненно важных факторов среды, <...> внутри которой популяция данного вида может существовать» (Свирежев, 1982, с. 37). Это понятие вполне допустимо распространять и на биотические сообщества разных видов, и в таком случае, как отметил

Р. Уиттекер, «мы можем <...> генерализовать понятие и пространство ниши <...> Принципиальная основа концепции остается той же» (1980, с. 99). В отношении рассматриваемых нами растительных формаций (см. ниже) сущность такой генерализации состоит в том, что для каждой из них изучается не весь комплекс слагающих их видов растений, а главным образом популяции эдификаторов-ценозообразователей, которые очевидны уже из определения самих формаций.

Для низшей категории ландшафтной классификации – видов ландшафтов и биогеоценозов, экологические ниши фитобиоты создаются субрегиональным и локальным преломлением зонального климатического фона (главным образом влиянием мезо- и микрорельефа, а также литологии и мехсостава почвообразующего субстрата). Если не считать плакорных видов ландшафтов, здесь мы имеем дело с литогенными нишами топологического уровня, которые, однако, так же могут быть выражены гидро-термическими характеристиками. Пространственная мозаика этих ниш обусловлена известным эффектом взаимозаменяемости экологических факторов (Докучаев, 1953; Раменский, 1971), в данном случае – заменой климатических факторов литогенными, так или иначе связанными с палеогеографической «памятью» ландшафта.

Различные сочетания экологических ниш видов ландшафтов образуют *множество экологических пространств* в вышестоящих по рангу геосистем зонально-регионального уровня. В соответствии с приведенными выше двумя трактовками понятия экологической ниши мы выделяем две основные категории экологических (и соответственно географических) пространств: 1) территориальное (геокомплексное, полисистемное) и 2) параметрическое, или ресурсное (оно же геокомпонентное, моносистемное).

2.2. Полиморфизм ландшафтно-зональных систем

2.6.1. Состояние проблемы. В ряду наиболее острых проблем современной географии выделяется «поиск новых фундаментальных закономерностей, пополняющих научную картину мира» (Преображенский, 1997, с. 3). Одно из направлений этого поиска связано с разработкой теории полиструктурности географического пространства (Раман, 1976; Солнцев, 1997), в которой соотношения дискретности и континуальности географических явлений и процессов составляют важнейшую методологическую проблему (Пуза-

ченко, 1984; Ретеюм, 1997). По нашему мнению, речь идет о создании научной концепции полиморфизма геосистем.

Истоки этой концепции мы находим в теоретических разработках отечественных и зарубежных исследователей прошлых лет. Так, рассматривая географический район (ландшафт) как «произведение, с одной стороны, пространства, а с другой – движения», В.П. Семенов-Тянь-Шанский подчеркивал необходимость учитывать географические явления не только по их пространственному расположению, но и по «количественным взаимоотношениям», отражающим «интенсивность явлений» (1928, с. 11, 16). Б.Б. Польшов обосновал представление о ландшафте как о сложной цепи взаимосвязей природных компонентов, имея в виду неоднозначность и неравноценность связей каждого элемента ландшафта с другими элементами: «<...> каждое звено такой цепи и составляет одну из главнейших задач учения о ландшафтах» (Польшов, 1952, с. 359). Развивая континуальное направление в ландшафтной экологии, Л.Г. Раменский (1971) выделял пять разномасштабных факторов формирования растительного покрова. Различные сочетания этих факторов дают соответствующее разнообразие региональных и топологических эколого-фитоценологических структур. Странник гетнеровского хорологизма в географии, Р. Хартшорн отметил, что «синтез взаимодействий явлений, определяющий характер территории (пространства), представляет одну из форм интеграции» (Hartshorn, 1960, p. 32).

Представление о полиструктурности ландшафтных систем вытекает также из теории физико-географического процесса А.А. Григорьева (1965), который указывал, что развитие физико-географической среды идет по спиралевидным незамкнутым циклам. Стадии этого цикла различаются как соотношением геокомпонентов, так и ландшафтообразующим эффектом их взаимодействия, создающих дифференцированную систему межкомпонентных ландшафтных связей.

В отечественном ландшафтоведении наиболее аргументированные представления о полиструктурности природных комплексов любого ранга развивал Д.Л. Арманд (1952, 1955, 1975): он установил принципиально корреляционный характер межкомпонентных связей, показал условность выделяемых ландшафтных границ и доказал невозможность создания универсальной схемы природного районирования. В конце концов, к аналогичным выводам пришел один из его оппо-

нентов Н.А. Солнцев (1973). Обобщив результаты исследований Г.И. Танфильева, К.Д. Глинки, И.М. Крашенинникова, Б.А. Келлера, И.П. Герасимова и др., он высказался в пользу поливариантности зональных типов почвенно-растительного покрова (и соответственно зональных типов ландшафтов), обусловленной различными формами устойчивого взаимодействия гидроклиматических и литогенных факторов. Эти выводы созвучны положениям фитоценологии об эмпирическом и теоретическом плюрализме – множественности моделей формирования устойчивых растительных сообществ при различных соотношениях абиотических факторов (Миркин, 1990; Миркин, Наумова, 1994). Распространенная в нашей стране двухрядная система таксономических единиц геосистем – типологических и региональных, – дополненная такой же «сквозной» схемой «переменных», или парагенетических, природных комплексов (Арманд, 1952; Ретеюм, 1975; Мильков, 1981), по существу исходит из признания полиморфизма как фундаментальной закономерности иерархического устройства биосферы.

Как отметил еще В.И. Вернадский (1965), полиморфизм есть общее состояние материи, а полиморфными разностями являются ее критические состояния симметрии, смена которых сопровождается определенным термодинамическим эффектом.

Представление о геосистемах как о полиструктурных природно-территориальных единствах получило дальнейшее развитие в работах (Раман, 1976; Солнцев, 1981). Оно приобрело вид рабочей гипотезы, состоящей из целого ряда узловых положений: а) об относительной независимости геокомпонентов и образуемых ими геопотоков и геополей (Солнцев, 1981, 1997); б) о ядерно-оболочечном способе организации геосистем разной субстратной природы в условиях континуальности как фундаментального свойства географических пространств (Ретеюм, 1975, 1997); в) о множественности вариантов автономного поведения геокомпонентов, создающих на каждом иерархическом уровне наложенные разнокачественные структуры (Пузаченко, 1984, 1997). К ним же можно причислить сформулированные в 60-х годах К.К. Марковым (1986) представления о метахронности природных процессов и явлений. Отсюда в дальнейшем оформились основные черты концепции полихронности геосистем, дающей трактовку природного комплекса любого ранга как некоторого «диахронного целого», где каждый природный компонент

обладает собственным характерным временем цикла развития со своими свойствами инерционности, унаследованности и лабильности (Величко, 1991) и где поэтому геокомпоненты выступают фактически как разные объекты (Солнцев, 1981).

Развитию идеи полиструктурности ландшафта способствовал переход от начального понятия природный комплекс к более емкой и сложной дефиниции геосистема (Сочава, 1967). Это позволило рассматривать природные компоненты в их разнообразных взаимосвязях и выявлять множество парциальных структур, каждая из которых по-своему отображает свойства целого - ландшафта. Развитие теории ландшафтного полиморфизма означает по существу переход от единой модели природно-территориальной организации к множеству моделей, дающих более разнообразную картину процессов интеграции и дифференциации в географической оболочке и обогащающих наши представления о механизмах этих процессов.

Однако идею полиструктурности геопространства большинство авторов высказывают как некое обобщение их опыта многолетних ландшафтных исследований и обычно не подкрепляют ее фактическим материалом. По-видимому, еще рано говорить о превращении идеи полиструктурности в концепцию геосистемного полиморфизма. Ниже изложен наш опыт регионального анализа моносистемной природно-территориальной организации, в процессе которого были установлены конкретные парциальные ландшафтнозональные структуры – реальное воплощение идеи полиструктурности геосистем.

2.6.2. Методы исследования. Объектом изучения послужили различные геосистемы регионального уровня на территории борального экотона Волжского бассейна: виды ландшафтов, ландшафтные области, физико-географические провинции, речные бассейны, геоморфологические секторы – для чего были использованы собственные и фондовые, а также опубликованные другими авторами картографические материалы в масштабе 1 : 2 500000. В итоге получено следующее генеральное множество геокомпонентных признаков: 1,2 – годовые суммарная радиация и радиационный баланс; 3,4 – средние температуры января и июля; 5 – сумма активных температур; 6 – годовая испаряемость; 7–9 – суммы осадков за год, холодного и тепло-го периодов; 10 – годовое суммарное испарение; 11,12 – годовой поверхностный и под-

земный сток; 13 – коэффициент стока; 14 – валовое увлажнение территории; 15 – максимальная высота снежного покрова; 16, 17 – радиационные индексы сухости Будыко и Базилевич; 18, 19 – коэффициенты увлажнения Высоцкого–Иванова и Селянинова; 20 – снежно-температурный коэффициент Рихтера; 21 – коэффициент снежности Осокина; 22–24 – коэффициенты континентальности Симонова и Полозовой (зимний и летний); 25 – первичная биологическая продуктивность; 26, 27 – типы морфоструктур и морфоскульптур; 28 – ступени абсолютных высот; 29 – современные тектонические движения; 30 – механический состав почвообразующих пород; 31 – глубина залегания грунтовых вод; 32 – литология и влажность грунтов; 33 – летние запасы влаги в пахотном слое почвы; 34 – химический состав грунтовых вод; 35 – почвенно-геохимические комплексы.

Качественная определенность каждой ландшафтной единицы и особенности размещения ее ареалов определяются характером контактной геокомпонентной структуры (Солнцев, 1981) и степенью ее геосинэргической однородности (Хаазе, 1980). Степень контактности и геосинэргичности моносистемной ландшафтной структуры мы выразили через меру тесноты связей между признаками различных геокомпонентов. Как подчеркивал В.Б. Сочава, «теснота связей между компонентами геосистем может быть поставлена на первое место в ряду логических критериев учения о геосистемах, так как характеризует очень важную особенность структуры этих систем» (1978, с. 29–30).

Изучение тесноты связи между объектами земной природы с помощью различных математических методов – задача, которая уже ставилась неоднократно и решалась по-разному (Крамбейн, Грейбилл, 1969; А.Д. Арманд, 1975; Кобелева, 1975; Александрова, 1981; Пузаченко, Скулкин, 1981; и др.). Однако в большинстве случаев рассматривалась лишь парная корреляция и анализ ограничивался несколькими парами признаков. Ниже излагается метод расчета единого показателя тесноты межкомпонентных связей для множества признаков.

Сопряженный анализ карт (с помощью известного метода ортогональных сеток) позволил получить матрицы совместной встречаемости каждой пары A и B из 35 признаков (по их соответственно i -м и j -м градациям). По этим матрицам рассчитывались парциальные коэффициенты связи K_{ij} :

$$K_{ij} = 2 P_{ij} / (P_i + P_j), \quad (2.1)$$

где P_{ij} – условные, а P_i и P_j – априорные вероятности (очевидно, что $0 < K_{ij} < 1$). Далее, для каждой из 1467 точек измерительной сети составлялась новая матрица K_{ij} между всеми 35 признаками. В каждой клетке матрицы помещались те значения K_{ij} , которые отвечали парному сочетанию градаций признаков, принадлежащему данной точке. Наконец, путем объединения точек по ареалам отдельных видов или групп ландшафтов (см. Коломыц, 2005), природных зон (подзон), физико-географических областей (см. Мильков, Гвоздецкий, 1986) и т.д., были получены значения K_{ij} для соответствующих объектов. Изложенный алгоритм был разработан Б.И. Семкиным по идее, предложенной автором. Все расчеты проведены по компьютерной программе, составленной С.И. Михальченко.

Параметр K_{ij} характеризует степень взаимной эквивалентности (сбалансированности) коррелятных геокомпонентных признаков, т.е. пространственную упорядоченность состояний каждого природного компонента в связи с теми или иными состояниями других компонентов, что позволяет говорить о степени равновесности функциональных отношений геокомпонентов. В этом смысле K_{ij} есть мера упорядоченности и относительной равновесности моносистемной структуры ландшафтов, а следовательно, определенная мера целостности самого природного комплекса.

Для оценки наиболее существенных черт эквивалентности геокомпонентов была произведена выборка полностью или относительно не зависящих друг от друга признаков входа из их генеральной совокупности, а также выходных параметров состояния геосистем. Всего было отобрано 26 признаков, сгруппированных в семь блоков:

Блок	Обобщенное наименование	Номера признаков
A	Радиационно-термический режим атмосферы	1–6
B	Составляющие водного баланса территории	8–12, 14
C	Комплексные гидротермические показатели	16–19, 22
D	Геолого-геоморфологические факторы	26–30
E	Гидроэдафические условия местоположений	31–34
P	Первичная биологическая продуктивность	25
G	Почвенно-геохимические комплексы	35

Блоки характеризуют три обобщенных ландшафтообразующих фактора: приземную атмосферу, континентальную гидросферу и поверхностную литосферу, а также два выходных структурно-функциональных показателя ландшафтов: первичную биопродуктивность (геофизический показатель) и почвенно-геохимические комплексы (геохимический признак). Согласно (А.Д. Арманд, 1975), к независимым переменным отнесены признаки блоков А, В и D, к частично зависимым – элементы блоков С и Е.

Далее, из начальных (полных) матриц мер тесноты межкомпонентных связей для всех видов ландшафтов были удалены все значения K_{ij} между признаками внутри каждого геокомпонентного блока и оставлены только межблочные отношения. Полученные таким образом новые матрицы характеризовали в отпрепарированном виде наиболее существенные ландшафтообразующие связи между входными геокомпонентами – «представителями» трех абиотических геосфер: атмосферы, гидросферы и литосферы. В этом ряду отсутствует представитель биосферы как системы сообществ живых организмов, прежде всего растительности. Однако последняя введена в качестве руководящего признака при выделении типов и видов ландшафтов.

Итак, мы различаем две категории меры тесноты межкомпонентных связей: меру $K_{ij}(1)$ по всей генеральной совокупности 35 структурно-функциональных признаков ландшафтов и меру $K_{ij}(2)$ связей между пятью абиотическими геокомпонентными блоками (А, В, С, D и Е), а также между двумя выходными характеристиками (F и G). Параметр $K_{ij}(2)$ описывает «в чистом виде» системоформирующие вертикальные связи в ландшафте, поскольку он отображает отношения между генетически разнородными и разнотипными природными компонентами.

По гистограмме распределения межблочных значений $K_{ij}(2)$ эмпирически были установлены следующие семь классов эквивалентности структурно-функциональных блоков в ландшафтах Волжского бассейна:

класс	Мера $K_{ij}(2)$
1	0.504–0.307
2	0.306–0.255
3	0.254–0.216
4	0.215–0.185
5	0.184–0.146
6	0.145–0.110
7	0.109–0.0

Анализ геокомпонентной структуры ландшафтов выполнен с помощью кластерных

моделей, построенных на параметре K_j (2). Кластеризация межкомпонентных связей проведена по средневзвешенному парно-групповому методу (Ludwig, Reynolds, 1988), когда осредняются все межблочные отношения в данной паре блоков с учетом неравенства количественных признаков в разных блоках. При анализе кластер-дендрограмм использован предложенный нами парциальный индекс интеграции геокомпонентных блоков $I(int)$:

$$I(int) = 1 - N_i / N_{i-1}, (2.2)$$

где N_i и N_{i-1} – соответственно числа кластеров на данном и предшествующем уровнях эквивалентности. Индекс тем больше, чем выше общность геокомпонентных блоков на данном уровне эквивалентности и чем большее их число находится в состоянии конформности. Степень максимальной кластеризации соответствует уровню эквивалентности геокомпонентов с наибольшим значением индекса интеграции.

Параметр $I(int)$ рассматривается как парциальная мера геокомпонентной целостности природного комплекса, и в этом смысле он служит критерием равновесности его моно-системной структуры. Для введения этого критерия в структурные схемы каждый вид ландшафтов был представлен семизначным (по числу классов эквивалентности) вектор-строкой парциальных индексов интеграции геокомпонентных блоков. Так, геосистемам среднетаежных элювиальных моренных ельников соответствует вектор-строка $Vekt \leftrightarrow (0.14 \ 0.33 \ 0.25 \ 0.33 \ 0.50 \ 0)$, а подтаежным трансаккумулятивным задровым еловым и елово-сосновым ландшафтам – $Vekt \leftrightarrow (0.16 \ 0 \ 0.33 \ 0.50 \ 0.50 \ 0)$. В первом случае геокомпонентные блоки имеют более высокий общий уровень связности, чем во втором. Для учета значимости различных классов эквивалентности геокомпонентов в общей схеме их интеграции использованы «весовые коэффициенты» w_j : максимальный для 1-го класса и минимальный – для 7-го (см. Коломыц, 2005, с. 264).

2.6.3. Общий уровень межкомпонентных связей. Параметры $K_{ij}(1)$ и $K_{ij}(2)$ были рассчитаны для 64 видов ландшафтов Волжского бассейна и по всем 35 геокомпонентным признакам. В целом теснота межкомпонентных связей оказывается весьма низкой и лежит в сравнительно узком диапазоне (табл. 2.2): 0,15–0,22, при таком же невысоком и стабильном коэффициенте вариации: от 40–45 до 55–60%. Максимальные значения K_{ij} обычно

находятся в пределах 0,35–0,40 и лишь в редких случаях достигают 0,75–0,80. Минимумы же нередко оказываются на уровне 0,03–0,06. Низкие в целом среднестатистические значения $K_{ij}(1)$ и весьма узкие рамки их варьирования свойственны не только региональным ландшафтам, но и вышестоящим по рангу региональным геосистемам: природным зонам и подзонам, геоморфологическим провинциям, ландшафтным областям, бассейнам крупных и средних рек, наконец, всему борельному экотону Волжского бассейна:

Геосистемы регионального уровня	Средник значения тесноты межкомпонентных регионального уровня связей (коэффициент вариации)
Природные зоны и подзоны	0,168–0,193 (32–52)
Геоморфологические провинции, по (Гвоздецкий, Жучкова, 1980)	0,180–0,189 (31–40)
Ландшафтные области, по (Исаченко, 1965)	0,175–0,191 (32–35)
Большие и средние речные бассейны	0,183–0,192 (30–32)

Вопреки сложившимся представлениям геокомпонентная сопряженность в целом не уменьшается сколько-нибудь существенно вверх по иерархической лестнице региональных природных комплексов, а остается на уровне ландшафта. Это означает, что теснота межкомпонентных связей не может служить надежным диагностическим признаком того или иного таксономического уровня региональной геосистемы.

Таким образом, слабая пространственная сопряженность геокомпонентов – важнейшее имманентное свойство моно-системной организации ландшафта как низшей ступени физико-географического районирования, отображающая, как принято считать (Григорьев, 1965; Исаченко, 1965; Мильков, 1981; Михайлов, 1985; и др.), единство зональных и азональных черт природно-территориальной дифференциации. Это единство оказывается далеко не столь тесным, что позволяет различным геокомпонентным признакам сохранять определенную взаимную независимость и формировать те или иные парциальные структуры. Мы считаем, что низкий общий уровень межкомпонентных связей – неперемutable условие проявления ландшафтного полиморфизма.

Для выявления признаков геосистемного полиморфизма была проведена дифференцированная оценка моносистемной ландшафтной организации по матрицам эквивалентности геокомпонентных блоков. Приведенные примеры (см. табл. 2.3 и 2.4) показывают, что в одном и том же виде ландшафтов уровни конформности геокомпонентов могут варьировать весьма широко – от первого (наиболее высокого) класса эквивалентности до седьмого (наиболее низкого). С другой стороны, одна и та же пара геокомпонентных блоков может иметь столь же неодинаковую степень связности в различных геосистемах.

Сводка данных из матриц интеграции геокомпонентных блоков, полученных для каждого вида ландшафтов (табл. 2.3), позволила установить общую картину бинарных отношений эквивалентности компонентов и оценить сами ландшафты по степени связности геокомпонентов. С помощью информационно-статистической процедуры бинарной ординации (Коломыц, 2005) выявлена также система областей доминирования (своего рода ниш) классов эквивалентности геокомпонентных блоков на множестве бинарных отношений этих блоков (табл. 2.4).

Мы выделяем два типа геосистемного полиморфизма – параметрический и территориальный. Первый из них лежит в основе второго, что и предопределило порядок последующего анализа.

2.6.4. Параметрический полиморфизм.

Как и следовало ожидать, наиболее высокую эквивалентность обнаруживают блоки, связанные друг с другом односторонней зависимостью. Таковы отношения А–С – радиационно-термических факторов с комплексными ландшафтно-геофизическими показателями, а также связи (D–E) – геолого-геоморфологических условий с гидроэдафическими факторами (см. табл. 2.3). Интеграция составляющих этих пар компонентов происходит обычно на уровнях 1–3-го классов, которые и образуют оптимумы областей доминирования эквивалентности геокомпонентных блоков (см. табл. 2.4).

Прослеживается сравнительно частая повторяемость высокой и умеренной связности двух взаимно независимых групп факторов:

радиационно-термических и комплексных ландшафтно-геофизических (А и С), с одной стороны, и литогенных в общем смысле (ороэдафических – D и E), – с другой. При этом сами исходные факторы А (теплоэнергетический) и D (геолого-геоморфологический) имеют низкую взаимную конформность (преимущественно 5–7 классов эквивалентности), что подчеркивает их взаимную независимость в условиях равнинных ландшафтов. Однако связаны они опосредованно – через гидроэдафический фактор E, причем эквивалентность компонентов в парах А–E и D–E весьма высока. Оптимумы областей доминирования этих связей приурочены к 1–2-ому классам эквивалентности, с теснотой связи $K_{ij}(2) = 0.255–0.400$ и выше. Эти связи можно считать достаточно устойчивыми, что и определяет ведущую роль теплоэнергетического и литогенного факторов в ландшафтной организации зональных геопространств.

На общем фоне межкомпонентных связей явную отрицательную аномалию представляют бинарные отношения блока составляющих водного баланса территории (B), класс эквивалентности которого почти со всеми остальными абиотическими блоками (А, С, D, E) не поднимается выше 6–7-го ($K_{ij}(2) < 0,145$). Даже гидроэдафический блок D, в составе которого присутствует фактор поверхностного увлажнения эдафотопы, имеет весьма низкую связь с общим круговоротом влаги.

Это феноменальное явление характерно для всех без исключения зональных геопространств и для подавляющего большинства видов ландшафтов. Оно не находит простого объяснения. Ясно, по крайней мере, что характеристики водного режима ландшафтов (осадки, испарение, поверхностный и подземный сток) в целом по экотону не образуют однозначной системы связей ни с теплоэнергетическими условиями территории, ни с коэффициентами атмосферного увлажнения, ни с литогенной основой (равнинным рельефом, механическим составом почвообразующих пород, поверхностным увлажнением эдафотопы). Еще более низок уровень связности гидрологического блока с первичной биопродуктивностью ландшафтов (7-й класс эквивалентности, $K_{ij}(2) < 0.109$).

Таблица 2.2

**Матрицы классов эквивалентности геокомпонентных блоков
для некоторых видов ландшафтов зоны смешанных (а)
и подзоны широколиственных (б) лесов *)**

Блоки	а) Ельники элювиальных местоположений моренных равнин							б) Широколиственные леса транзитных денудационно-зандровых местоположений						
	A	B	C	D	E	P	G	A	B	C	D	E	P	G
A	–							–						
B	5	–						6	–					
C	3	5	–					3	6	–				
D	4	5	4	–				5	6	5	–			
E	1	5	3	4	–			5	6	5	5	–		
P	3	5	3	4	3	–		7	7	7	7	7	–	
G	4	5	4	2	4	4	–	4	6	4	4	5	4	–

*) Обозначения геокомпонентных блоков см. в тексте.

Таблица 2.3

**Распределение высоких (1–2), средних (3–4) и низких (6–7) классов
эквивалентности геокомпонентных блоков по видам ландшафтов различных
природных зон (подзон)***

Виды ландшафтов	Сочетание геокомпонентных блоков											
	A-B	A-D	A-E	B-D	B-E	C-E	D-E	P-A	P-D	P-E	G-A	G-B
1/1	6		4	6	6	4				4	3	6
1/3	6			6	6		3	7	7	7	7	7
1/9		4	4			4	3		3	3	7	7
1/11	6	6	6	6	6	6	6		6	6	4	6
2/1		4	2			3	4	4	4	4	7	7
2/4	6			6	6		3		4	4		6
2/8		4	4			4	4	4	4	3	4	
2/10	6	4		6	6			6	6	6		6
3/1	4	4	4	4	4	4	2	6	6	6	4	4
3/4		4	4			4	2	6	6	6	2	
3/11	6	6	2	6	6	3	6	3		6		
3/12	4	2	3	4	4	3	3	4	4	4	3	4
4/1	4	4	2	4	4	4	3	6	6	6	4	4
4/3	6	6	6	6	6	3		6	6		6	6
4/11	6			6	6		3		6		7	7
4/14									4	4	4	
5/1	6	6	6	6	4	6	6			6		4
5/3				4	4		2	6	6	6		
6/3	3	4					1				1	3
6/4	4						2		4	4	2	4

* Связка геокомпонентов А–С имеет доминирующие 2–3-й классы эквивалентности, связки В–С и В–D – почти исключительно 6-й класс, пары P–B – только 6–7-й и P–G – преимущественно 6–7-й классы.

Условные обозначения видов ландшафтов: в числителе – номер природной зоны или подзоны (1 – средняя тайга, 2 – южная тайга, 3 – смешанные леса, 4 – широколиственные леса, 5 – лесостепь, 6 – северная степь); в знаменателе – порядковый номер вида ландшафтов (см. Коломыц, 2005).

Таким образом, налицо несомненная автономность подсистемы водного баланса в общей системе межкомпонентных связей. Можно предположить, что эта автономность вы-

звана известной достаточно сильной зависимостью расходных составляющих водного баланса от структуры речной сети и морфометрии самих водосборов (Гарцман, 1977;

Антипов, Короткий. 1981) – тех характеристик, которые не вошли в ансамбль рассматриваемых нами геокомпонентных признаков и которые создают слишком большой информационный “шум” в системе изучаемых межкомпонентных связей. Не исключен также фактор саморегулирования гидрологических систем с проявлением их компенсационных механизмов (Коронкевич, 1995), поэтому, с одной стороны, гидрологический режим территории оказывается слабо зависящим от традиционно выделяемых абиотических процессов и явлений в ландшафтах, а с другой –

его изменения не вызывают однозначной реакции в механизме функционирования почвенно-биотического ядра геосистем. Следует, однако, оговориться, что автономность водного режима природных комплексов по отношению к другим структурно-функциональным характеристикам может считаться реальной лишь в той “системе отсчета” ландшафтных связей, которая принята в данном структурном анализе и которая оказывается нетрадиционной для ландшафтно-гидрологических исследований.

Таблица 2.4

Распределение классов эквивалентности геокомпонентных блоков в системе бинарных отношений этих блоков^{*)}

Блочная пара	Класс эквивалентности						
	1	2	3	4	5	6	7
а) средняя и южная тайга и смешанные леса							
A-B				–	X	X	
A-D		–	–	X	*	–	
A-E	X	*	*	–	–	–	
B-D				–	X	X	
B-E				–	X	X	
D-E		X	X	–	–	–	
C-D			–	X	–	–	
C-E		–	X	*	–	–	
P-A		–	X	*	*	–	–
P-B				–	X	*	–
P-E			X	*	*	–	–
G-A	X	*	*	–	–	–	*
G-B				–		X	X
G-D		X	–	–	–	*	–
P-G		–	–	–	–	*	X
б) ироколисвенные леса, лесостепь и сев. степь							
A-B			X	*	*	–	
A-D			–	–	*	X	*
A-E	*	*	*	–	–	–	–
B-D				–	*	X	*
B-E			–	X	X	*	–
D-E	X	*	*	*	–	–	–
C-D			–	–	*	X	*
C-E		*	X	*	*		
P-E			X	*	*	*	
G-A	*	X	*	*	–	–	
G-B			–	X	–	–	*
G-C	*	X	*	*	–	–	–
P--G				–	–	*	X

^{*)}Знак «X» обозначает оптимум доминирования классов эквивалентности; «*» – «размытую» часть этой области; «–» – незначимые связи; пропуск означает полное отсутствие связи эквивалентности.

Как видим, бассейновая структура, относящаяся к классу анизотропных структур и образованная составляющими водного баланса, при ее взаимодействии с ландшафтно-геохимическим блоком представляет собой геосистемную конструкцию, принципиально отличную от подразделений изотропного класса – ячеистых и изопотенциальных структур (ландшафтных районов, областей и провинций, природных зон и подзон), которые служат традиционными единицами физико-географического районирования. Образно говоря, это два весьма слабо пересекающихся параллельных мира природно-территориальной организации, и каждый из этих миров обладает своими специфическими механизмами интеграции геокомпонентов в систему, поэтому закономерности, установленные, скажем, для геосистем изотропного класса, почти не проявляются у систем класса анизотропного, и наоборот. Таким образом, налицо первый (высший) уровень параметрического полиморфизма региональных геосистем. В свете изложенного представляется неоправданной и неконструктивной критика теоретических основ классического ландшафтоведения, касающихся геосистем изотропного класса, сторонниками изучения анизотропных структур – каскадных, бассейновых и пр. (Ретеюм, 1975; Величко, 1991; и др.). Тем более неправомерна однозначная интерпретация изотропных структур как генетических (или типологических), а анизотропных – как функциональных.

Выходные параметры геосистем: первичная биологическая продуктивность (P) и почвенно-геохимические комплексы (G) – имеют заметно более высокий уровень конформности с входными абиотическими факторами, нежели соответствие этих факторов между собой (см. табл. 2.4). Несомненно, они отображают две резко отличные друг от друга группы вещественно-энергетических процессов в одних и тех же абиотических геокомпонентных блоках, прежде всего радиационно-термическом и гидроэдафическом, с которыми связи у P и G соответственно наиболее тесные. При этом, почвенно-геохимический блок индицирует наиболее связанные и целостные (равновесные) парциальные ландшафтные структуры – гораздо более целостные, нежели биопродукционный блок как результат ландшафтно-геофизических процессов. По-видимому, геохимическая составляющая метаболизма создает более высокую моносистемную организацию

ландшафтов, чем составляющая геофизическая, формирующая массу живого органического вещества.

Параметрический полиморфизм выявляется через систему бинарных отношений геокомпонентных блоков, которая позволяет выявить определенное множество «проекции» ландшафта, по терминологии А.Д. Арманда (1988 а), – парциальных природно-территориальных структур, обусловленных наиболее тесной взаимосвязью двух или нескольких блоков различной субстратной природы. Выделение высокоэквивалентных признаков имеет ключевое значение в анализе моносистемной ландшафтной организации, поскольку наиболее прочными межкомпонентными связями создается геосинэргическая гомогенность природных комплексов, т.е. определенная однородность комбинации свойств геокомпонентов в данном природно-территориальном единстве. В этом смысле высокосвязные признаки геокомпонентов образуют синэргический инвариант природного комплекса; они могут быть использованы как основа классификации и типизации геосистем (Хаазе, 1980). Назовем высокоэквивалентные связки признаков геосинэргическими ядрами геокомпонентной структуры природных комплексов.

Если в качестве таких ядер принять геокомпонентные связки с эквивалентностью 1–3-го классов, т.е. с $K_{ij}(2) > 0,215$, то окажется, что параметрическая полиструктурность региональных геосистем бореального экотона Русской равнины включает семь геосинэргических ядер (см. табл. 2.3 и 2.4). Этим ядрам отвечают семь парциальных моносистемных ландшафтных структур (семь ландшафтных «проекции»), объединенных в три группы: а) в группе входных абиотических факторов – термо-эдафическая (A–E, C–E) и эро-эдафическая (D–E); б) в группе факторов и явлений геофизического функционирования ландшафтов – термопродукционная (A–P, C–P) и эдафо-продукционная (E–P), в) в группе почвенно-геохимического функционирования – термо-геохимическая (A–G), оро-геохимическая (D–G) и эдафо-геохимическая (E–G). Помимо этого на южном крыле экотона: в широколиственных лесах, лесостепи и северной степи, – отчетливо выражена гидро-термическая парциальная структура (A–B), с оптимумом в 3-м классе эквивалентности геокомпонентов. Это, пожалуй, единственная региональная ландшафтная «проекция», возникающая при участии блока составляющих

водного баланса.

Таким образом, из 21 возможного парного сочетания геокомпонентных блоков создается только восемь сравнительно высокоупорядоченных парциальных ландшафтных структур, которые, по-видимому, и определяют общую целостность моносистемной ландшафтной

организации территории. Остальные бинарные отношения геокомпонентов (А–D, В–D, В–Е, D–P, D–G и др.) оказываются разбалансированными. Поэтому они лишь снижают общий уровень целостности ландшафтов.

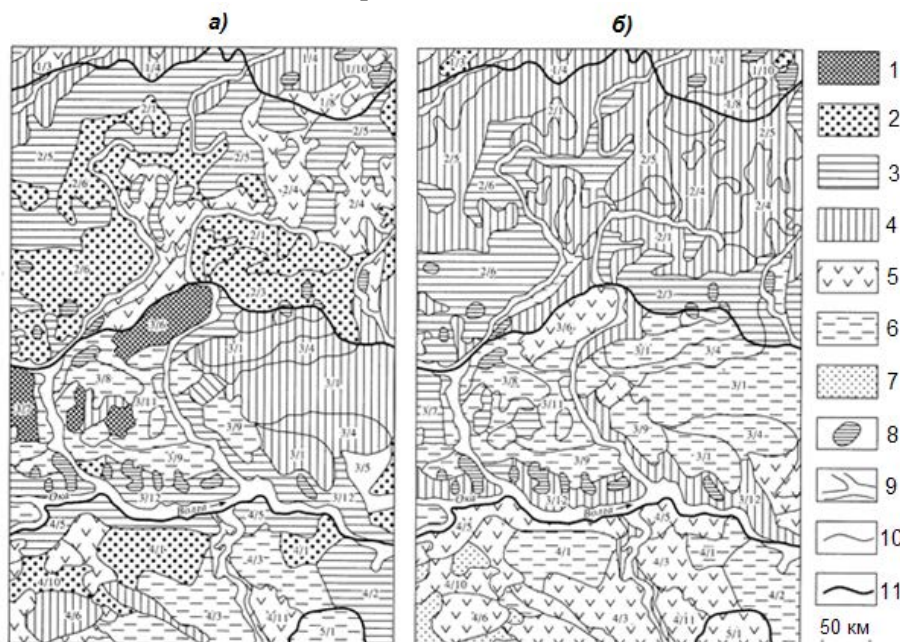


Рис. 2.3. Фрагменты карт проявлений различных парциальных ландшафтных структур на бореальном экотоне Русской равнины

Парциальные структуры: А – термо-эдафическая; Б – эдафо-продукционная. 1–7 – классы эквивалентности геокомпонентных блоков (см. в тексте). 8 – болотные ландшафты; 9 – речные долины. Границы: 10 – видов ландшафтов; 11 – природных зон и подзон.

1/3, 1/4 ... – обозначения видов ландшафтов (в числителе номер природной зоны или подзоны (1 – средняя тайга, 2 – южная тайга, 3 – смешанные леса, 4 – широколиственные леса, 5 – лесостепь, в знаменателе порядковый номер вида ландшафта)

На основе полученного материала мы построили серию карт, иллюстрирующих степень проявления этих структур в различных видах ландшафтов и в самих зональных геопространствах бореального экотона (рис. 2.3). На эту же территорию была построена карта осредненной эквивалентности всех рассматриваемых геокомпонентных блоков, (см. Коломыц, 2005), которая по существу является картой целостности моносистемных структур видов ландшафтов.

2.6.5. Территориальный полиморфизм. Ландшафты южной полосы бореального пояса отличаются в целом наиболее высоким уровнем конформности геокомпонентов, что выражается максимальными обобщенными значениями статистических связей между ними. С переходом от северного крыла бореального экотона к его южному крылу явно усиливается общая разбалансированность

геокомпонентных блоков, т.е. происходит “размыв” устойчивых связей между ними (см. карты), что должно означать уменьшение степени равновесности моносистемной структуры, снижение целостности ландшафтов. Наблюдаются не только падение среднего уровня эквивалентности геокомпонентов, но и усиление контрастов их бинарной связности между различными видами ландшафтов. Последнее касается прежде всего таких блочных пар связок, как А–В, А–С, D–Е, G–А, G–С, G–D.

В общем направлении с севера на юг явно снижается также связность первичной биопродуктивности ландшафтов с абиотическим компонентом. Если в средней и южной тайге в этих парах доминируют 4–5-й классы эквивалентности (причем здесь нередки и связи 3-го класса), то в лесостепи и северной степи фоновый уровень сопряженности снижается до 6–7-го классов при растяжении во многих

случаях вектора-строки области доминирования (см. табл. 2.4). Следовательно, таежная и подтаежная зоны должны иметь более высокий уровень целостности природных комплексов, нежели лежащая южнее них зона лесостепи с подзонами широколиственных лесов и северной степи, несмотря на то, что литогенная основа суббореальных ландшафтов прошла гораздо более длительный путь геоморфологического развития по сравнению с ландшафтами бореальными (Средняя полоса..., 1967). Особенно заметное (вплоть до скачкообразного) уменьшение значений геокомпонентной связности и соответствующее снижение целостности моносистемных ландшафтных структур наблюдаются в полосе переходов от подтаежной зоны к зоне лесостепи, т.е. на экологическом переломе соотношения тепла и влаги в умеренном поясе.

Указанные тенденции означают, что дефицит тепла вызывает заметно меньшую разбалансированность моносистемных ландшафтных структур, чем дефицит влаги. Следовательно, из двух лимитирующих геофизических факторов: тепла и влаги - второй фактор, будучи в минимуме, оказывает наиболее сильное воздействие на моносистемную организацию региональных ландшафтов. Яркий пример тому – резкое усиление роли составляющих водного баланса (блока В) в распределении почвенно-геохимических комплексов (G) с переходом от северного крыла бореального экотона к южному (см. табл. 2.4): оптимум эквивалентности в паре В–G смещается с 6–7-го класса на 4-й класс. Теплоэнергетический фактор в этом отношении гораздо менее эффективен. Аналогичный вывод был получен нами ранее применительно к топологической уровню гео(эко)систем на основе информационно-статистического анализа межкомпонентной сопряженности (Коломыц и др., 1993). Повидимому, это общая закономерность моносистемной организации природных комплексов.

Север и юг бореального экотона существенно различаются также положением (в системе бинарной ординации) и структурой областей доминирования выходных характеристик ландшафтной организации, причем эти различия неодинаковы для Р и G (см. табл. 2.4). Конформность биопродуктивности абиотическим факторам (прежде всего радиационно-термическим) наиболее высока в пределах подзон средней и южной тайги и зоны подтайги, между тем как по почвенно-геохимическому блоку максимум эквивалент-

ности приходится на зону лесостепи с подзонами широколиственных лесов и северной степи. Следовательно, переход от бореального пояса к суббореальному должен сопровождаться снижением целостности биопродукционной парциальной структуры и повышением этой целостности у структуры ландшафтно-геохимической.

Итак, в переходной полосе от бореального пояса к суббореальному на Русской равнине происходит общее разбалансирование пространственной сопряженности как абиотических геокомпонентных блоков между собой, так и каждого из них с интегральным показателем геофизического функционирования ландшафтов – их первичной биопродуктивностью. Соответственно в этом же направлении должен снижаться уровень ландшафтно-геофизической целостности региональных природных комплексов. Противоположную картину имеем в отношении почвенно-геохимических структур. Обусловленные ими свойства целостности ландшафтов в направлении с севера на юг должны возрастать. Таким образом, можно говорить о территориальном региональном полиморфизме геосистем первого порядка. Он выражается в наличии двух принципиально различных мегатипов природно-территориальной организации, один из которых свойствен бореальному поясу, другой – суббореальному. Налицо две пространственные модели формирования ландшафтных структур высшего (поясного) ранга.

Территориальный полиморфизм второго порядка выражен долготно-секторными вариациями общей широтно-зональной тенденции смены мегатипов ландшафтной организации. Эти вариации обусловлены главным образом зимней континентальностью климата – одним из наиболее сильных ландшафтообразующих факторов. В условиях более высокой зимней континентальности моносистемные ландшафтные структуры оказываются более упорядоченными (более целостными). Таким образом, сила ландшафтообразующего фактора проявляется не только в качественной дифференциации природных комплексов или в обострении контрастов между ними, но и в повышении их межкомпонентной связности, в общем росте моносистемной целостности ландшафтов. При этом территориальная упорядоченность функциональной парциальной структуры возрастает по мере того, как ведущий фактор, формирующий эту структуру, становится лимитирующим. По этой причине на северном крыле бореального экотона более

высоко упорядоченной оказывается ландшафтно-геофизическая (термопродукционная) структура, а на южном крыле – группа ландшафтно-геохимических структур.

3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНАЛЬНОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА И ЕГО ГРАНИЦ

3.1. Зональный экотон как триггерная система. На языке статистической физики, ландшафтную структуру природной зоны, выраженную определенным набором и пространственной упорядоченностью видов ландшафтов, можно именовать макросостоянием зоны, а каждый вид ландшафта есть ее микросостояние. Тогда чередование видов ландшафтов по тому или иному вектору зонального геопространства будет означать смену микросостояний природной зоны. Если эта смена упорядочена и соответствует изменениям градиентов фонового поля некоторого вещественно-энергетического фактора, то правомерно говорить о зоноформирующей функции этого фактора.

Пространственная упорядоченность гео(эко-)систем, обусловленная действием тех или иных ландшафтно-геофизических факторов (прежде всего, климатических), может служить аналогом их смен во времени, что и лежит в основе методов геоэкологического прогнозирования. Однако, как подчеркивает А.Д. Арманд (1989), здесь необходимо предусмотреть, чтобы пространственные и временные ряды гео(эко-)систем характеризовали один и тот же процесс, т.е. определялись динамикой одних и тех же факторов, при максимальном снятии «шумового» эффекта структурной памяти системы – влияния геолого-геоморфологической основы. Тогда смена микросостояний зональной системы по градиенту того или иного гидро-термического фактора правомерно рассматривать как аналог движения во времени в сторону соответствующих изменений климатической системы.

Познание механизмов формирования зональной (подзональной) границы как сложного процесса пространственно-временного взаимодействия соседних ландшафтов различного типа (подтипа) существенно облегчается, если использовать модельные представления о триггерных геосистемах и их гистерезисных свойствах (Арманд, Ведюшкин, 1989; Ведюшкин, 1989, 1992). Как известно, триггер представляет собой систему, состоящую из множества равновесных состояний (множества подсистем), которое отвечает

условиям, когда система стабильна в любом из двух сравниваемых состояний. В каждом случае триггер рассматривается как совокупность двух альтернативных конкурирующих подсистем, находящихся в состоянии неустойчивого равновесия. Переход из одного состояния в другое называется переключением триггера.

Для пояснений обратимся к рис. 3.1. Границы геосистемы в поле ландшафтообразующего фактора Q определяется некоторым его критическим значением $Q_{кр}$, которое приурочено, в силу стохастичности ландшафтных связей, к множеству n точек, находящихся на различных расстояниях L_1, L_2, \dots, L_n от начала координат в направлении градиента изменения параметра Q (см. рис. 3.1 А). В каждой паре такой диффузной группы точек с $Q_{крит}$ можно найти среднее значение этого расстояния ($L_{ср}$). Траектория ординации геосистем по данному фактору в области равновесных состояний образует «складку», или петлю гистерезиса, поэтому гистерезис рассматривается как несовпадение прямой (а) и обратной (б) траекторий смены равновесных состояний в пределах триггера (рис. 3.1 Б). Возникают две диффузные группы точек, с их средними расстояниями ($L_{ср}^1$ и $L_{ср}^2$), которым соответствуют неодинаковые критические значения ландшафтообразующего параметра ($Q_{кр}^1$ и $Q_{кр}^2$). Разность $L_{ср}^1 - L_{ср}^2$ характеризует ширину петли гистерезиса, т.е. силу экотона, по терминологии (Hansen and diCasty, 1992), которую можно оценить по разности $Q_{кр}^1 - Q_{кр}^2$.

Для гистерезиса необходимы два контура отрицательной обратной связи между конкурирующими подсистемами и два контура обратной связи положительной у каждой подсистемы с создаваемой ею вторичной средой. Взаимоотношение двух соседних экосистем, граница между которыми обусловлена внешними, изменчивыми во времени факторами физико-географического фона (такowymi являются, прежде всего климатические), можно отнести к категории конкурентных отношений, по (Арманд, 1989), когда между экосистемами преобладают взаимно отрицательные связи.

В триггерной полосе зонального экотона достаточно устойчивы обе конкурирующие экосистемы из соседних природных зон (подзон). Гистерезисный характер этой полосы выражается в том, что следующая по градиенту фонового климатического фактора экосистема (или ее важнейший структурный элемент) появляется раньше, чем полностью исчезает либо утрачивает свои основные струк-

турные элементы предыдущая экосистема. Явление гистерезиса, собственно говоря, и служит причиной того, что природный рубеж имеет чаще всего характер диффузной, или пятнистой, полосы (Ведюшкин, 1989, 1992) с определенной шириной; резкие линейные границы – скорее исключение, чем правило. Диффузность пограничной полосы выражена ее хорошо известной мозаичностью – взаимопроникновением структурных элементов в ареалы соседних гео(эко-)систем. Такая ландшафтная мозаика особенно свойственна зональным экотонам. Благодаря ей, извилистость зональной границы между ландшафтными ареалами оказывается гораздо больше тангенциальных пространственных флуктуаций (извилистости изолиний) самих климатических факторов. Это и есть конечный результат гистерезиса зональных переходов. Чем сильнее выражено локальное преломление физико-географического фона и чем выше эдификаторная роль биотического ядра экосистемы (прежде всего, растительности), тем отчетливее должен проявиться гистерезис и тем соответственно шире и извилистее будет пограничная полоса между двумя конкурирующими экосистемами зонального уровня. Применительно к зональной границе ширину «петли гистерезиса» можно выразить разницей между максимальным и минимальным значениями рассматриваемого климатического параметра для данного пограничного вида ландшафта.

Вместе с тем, аналогичная мозаичность гео(эко-)систем в пограничной полосе может создаваться и влиянием других факторов, не ответственных за появления данной ландшафтно-зональной границы, – например, литологии горных пород, гидрологического режима почво-грунтов, формы рельефа. В этом случае петля гистерезиса создается не только эдификаторной ролью данной пограничной гео(эко-)системы, но и положительным воздействием второстепенных факторов, которые до определенной степени компенсируют отрицательные изменения ведущего (климатического) фактора и способствуют сохранению прежней структуры системы в пределах некоторой территории.

Межзональный пространственный гистерезис как «остаточное» явление возникает, по-видимому, в результате многократных осцилляций зональной границы под воздействием циклических колебаний климата. При этом неизбежно участие локальных факторов гидро-литогенного ряда (типа местоположения, экспозиции и крутизны склона, мехсостава

почвы и почвообразующих пород, глубины залегания грунтовых вод и др.), которые, во-первых, трансформируют мощность внешних (фоновых) сигналов, проходящих по внутренним каналам связи в системе фитоценоз-экотоп, а во-вторых, – препятствуют восстановлению первоначального сукцессионного звена топозекосистемы после завершения очередного климатического ритма. Таким образом, необходимым условием проявления гистерезиса является достаточно сильно выраженная положительная обратная связь фитоценоза с локальными факторами местообитания (по принципу самоиндукции), что обеспечивает определенную устойчивость топозекосистемы при неблагоприятных изменениях климатического фона. В результате этого временной гистерезис превращается в пространственный, поэтому «двигаясь через экотон – переходную полосу между биоценозами, ландшафтами, природными зонами, мы повторяем эволюцию геосистемы в эпохи ухудшения или улучшения климатических условий» (Арманд, Ведюшкин, 1989, с. 42).

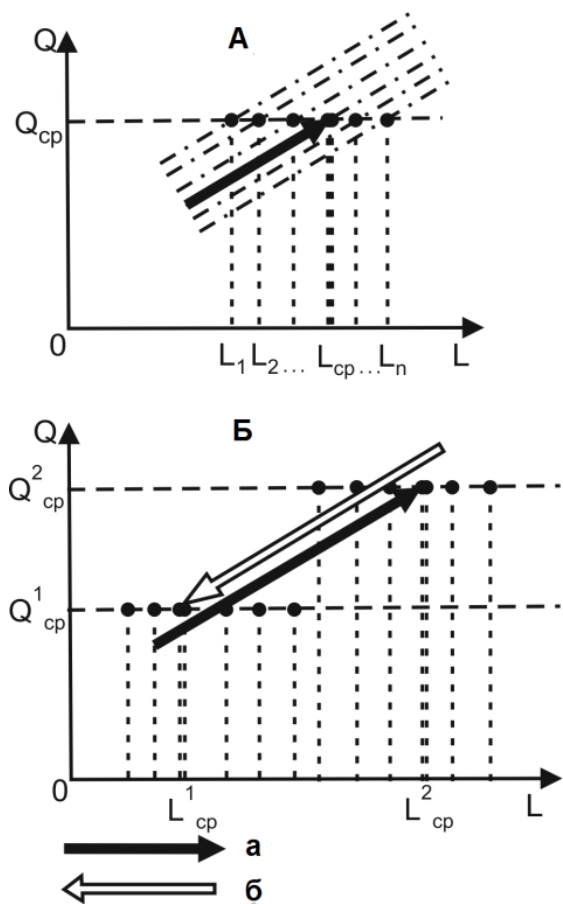


Рис. 3.1. Схема, иллюстрирующая триггерный характер зональной (подзональной) границы; объяснения в тексте

Примером гистерезиса мезомасштабного уровня может служить проникновение хвойнолесных природных комплексов Волжского бассейна в общем случае на юг по задровым долинам и, напротив, – неморальнолесных геосистем на север по суглинистым эрозионным междуречьям на зональном экотоне смешанных и широколиственных лесов. На уровне топологических ландшафтных сопряжений аналогичный, но более дробный, процесс диффузии зональной границы связан с литогенными и гидротермическими контрастами между элювиальными, транзитными и аккумулятивными звеньями катены.

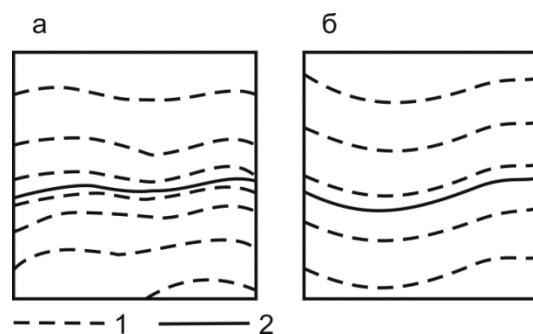


Рис. 3.2. Два типичных случая положения зональной границы в гидротермическом поле: 1 – изолинии климатического параметра; 2 – положение зональной границы

Таблица 3.1

Распределение групп ландшафтов Волжского бассейна в системе координат биоклиматической зональности, геоморфологических и почвенно-эдафических условий

Природные зоны и подзоны	Типы местоположений	Факторально-динамический тип эдафотопы				
		Гидроморфный	Субгидроморфный	Гидро-литоморфный	Сублитоморфный	Литоморфный
Средняя тайга	Э			1*		
	ТЭ			2		
	Т		3			
	ТА-А	4				
Южная тайга	Э			5		
	ТЭ		6	6		
	Т		7	7		
	ТА-А	8				
Смешанные леса	Э			9	9	
	ТЭ					10
	Т		11	11		
	ТА-А	12	12			
Широколиственные леса	Э					13
	ТЭ					14
	Т			15	15	
	ТА-А		16			
Лесостепь и северная степь	Э					17
	ТЭ					18
	Т				19	
	ТА-А			20		

*¹ 1 ÷ 20 – порядковые номера групп ландшафтов.

Необходимо обратить внимание на пространственное положение зональных ландшафтных границ относительно «зон» повышенных климатических градиентов. Если эта граница, представленная обычно сменой доминантных типов или подтипов ландшафтов, совпадает с резко выраженными градиентами зоноформирующих факторов среды, а в промежутках между этими полосами таких ландшафтных аномалий не наблюдается (рис. 3.2 а), то это значит, что мы имеем дело с квазистационарным, или квазигомеостатиче-

ским, по А.Д.Арманду (1989), процессом перехода от ядра зональной гео(эко-)системы к ее периферии. Подобная часть зонального пространства представляет собой достаточно открытую систему для воздействия внешних климатических факторов, которые поэтому играют ведущую роль во внутризональной территориальной мозаике ландшафтов.

Обладая слабо выраженной буферностью, т.е. низким порогом восприятия внешнего воздействия, пограничные ландшафты этих участков природной зоны отслеживают изме-

нения состояния климатической системы, демонстрируя адекватную ответную реакцию на эти изменения. Высокая чувствительность ландшафтной структуры к флуктуациям зонаформирующих факторов указывает на преобладание внешних взаимодействий (зонально-региональных) над внутренними (топологическими). Это, свою очередь, должно приводить к потере зональным экотонам гистерезисных свойств и соответственно - к сужению и усилению резкости зональной границы. При этом, сохраняется относительно широкая область гомеостатического пространства в самом ядре природной зоны, где зональные типы ландшафтов достаточно устойчивы.

Если же кардинальная смена типов или подтипов ландшафтов не соответствует в явном виде резкому изменению состояния ведущего климатического фактора (рис. 3.2 б), т.е. не приурочена к его полосе с повышенными градиентами, то следует, по-видимому, говорить о достаточной замкнутости каждой из приграничных гео(эко-)систем, об эффективном преломляющем воздействии локальных факторов, выборочно подавляющих или, напротив, усиливающих фоновые сигналы, т.е. об определенном приоритете внутренних взаимодействий в системе фитоценоз-экотоп. Соответственно должны увеличиваться и извилистость пограничной полосы, а также ее структурная «пятнистость», что будет указывать на усиление гистерезисных свойств приграничных гео(эко-)систем. При ведущей роли геоморфологической контрастности провинциального ранга и выше, т.е. выходящей за рамки локальных различий, зональная пограничная полоса резко суживается, наглядным примером чего служит Главный ландшафтный рубеж Русской равнины, проходящий по системе долин Ока-Волга-Кама. Такие природные рубежи по существу теряют триггерные свойства, поэтому здесь вряд ли возможно длительное состояние равновесия двух конкурирующих ландшафтно-зональных систем.

3.2. «Экологизация» ландшафтной карты. Ландшафтная карта основного водосбора Волжского бассейна, фрагмент которой представлен на рис. 3.3, составлена В.П. Юниной в рабочем масштабе 1:2 500 000 (Коломыц и др., 1995). В основу классификации ландшафтов и соответствующей легенды к ландшафтной карте положена классификационная система А.Г. Исаченко (1965, 1985), которая учитывает основные ландшафтообразующие факторы и закономерности формирования ландшафтов на

региональном уровне. Классификационными объединениями наиболее высокого ранга приняты зональные группы, соответствующие зональным подразделениям суши. Сочетание зональных и секторных (связанных со степенью континентальности климата) критериев позволили выделить *зонально-секторные типы и подтипы ландшафтов*.

На нижних ступенях ландшафтной классификации определяющими критериями служат субрегиональные и локальные признаки литогенного фактора. По генезису, общим чертам морфогенетических комплексов рельефа и их возрасту выделяются роды ландшафтов, т.е. их генетические группы (эрозионно-денудационные, моренные, зандровые и т.д.). Литологический и механический состав почвообразующих пород и формы мезорельефа предопределили выделение *видов ландшафтов*. В качестве диагностических признаков здесь использованы также почвенно-растительные признаки.

Для целей ландшафтно-экологического анализа и фонового экологического прогнозирования, связанного с изменениями глобально-регионального климата, традиционная легенда к мелкомасштабной ландшафтной карте оказывается, вообще говоря, малоприменимой, поскольку в основу выделения основных ландшафтных единиц (видов ландшафтов) положены консервативные литогенные признаки, практически не реагирующие на вековые и даже сверхвековые колебания климата. Необходимо было «насытить» легенду такими экологическими признаками, благодаря которым в облике видов ландшафтов более четко отражались бы зонально-региональные особенности биоклиматической системы. С этой целью в легенду были внесены два признака: 1) тип местоположения (элювиальный, трансэлювиальный, транзитный и т.д.) и 2) степень литоморфности-гидроморфности. Первый признак позволяет группировать природные комплексы в определенную парагенетическую (векторную) систему, все звенья которой взаимосвязаны латеральными геопотоками, которые служат носителями распространения тех или иных внешних, в том числе антропогенных, воздействий (Коломыц, 1987). Этот подход основан на классической польновской схеме ландшафтных сопряжений. Он заимствован из геохимии ландшафтов и получил уже широкое распространение в ландшафтных исследованиях, однако до сих пор применялся преимущественно на топологическом (крупномасштабном) уровне анализа (Глазовская, 1964; Исаченко, 1965, Крауклис, 1969; и др.). Между

тем, сам Б.Б. Плынов (1956) подчеркивал, что его схема в равной мере может описывать векторные пространственные связи и на всех вышестоящих уровнях организации биосферы, вплоть до системы «суша-океан».

В среднем масштабе вполне могут выделяться «так называемые региональные типы-местоположений» (Барш, 1980, с.105), особенно если геоморфологический каркас рассматриваемой территории обладает свойством векторности. Это как раз характерно для Средней полосы Русской равнины (Коломыц и др., 1995). В течение неогена–плейстоцена в результате дифференцированных тектонических движений избирательной аккумуляции толщ ледниковых и водно-ледниковых отложений сформировалась достаточно четко выраженная геоморфологическая «поляризация» территории (см. выше), предопределившая современную систему мезомасштабных (региональных и субрегиональных) ландшафтных сопряжений: от элювиального и трансэлювиального на возвышенностях до аккумулятивного и супераккумулятивного на низменностях.

Выделенные нами региональные типы местоположений соответствуют трем основным группам типов рельефа основного водосбора Волжского бассейна, по А.А. Асееву (Средняя полоса..., 1967): 1) элювиальные (Э) и трансэлювиальные (ТЭ) местоположения – положительным морфоструктурам, т.е. возвышенным равнинам; 2) аккумулятивные (А) и трансаккумулятивные (ТА) – отрицательным морфоструктурам, т.е. низменностям; 3) транзитные (Т) местоположения – промежуточным средневысотным равнинам. Исходя из этого, все виды ландшафтов в пределах каждой природной зоны (подзоны) были разнесены нами по типам мезоместоположений – от элювиального водораздельного до аккумулятивного долинного. Такие факторально-динамические ряды субрегионального уровня, или мезокатены (рис. 3.4), в отличие от уровня локального, топологического (Сочава, 1967; Крауклис, 1969), являются собирательными, поскольку в своем полном виде на конкретных ландшафтных профилях (мезотрансектах) встречаются редко. В большинстве случаев выпадает одно из верхних звеньев ландшафтного сопряжения (элювиальное или трансэлювиальное), а два нижних звена: трансаккумулятивное и аккумулятивное, – в условиях равнинного рельефа бывают трудно различимы либо просто замещают друг друга.

Как видно на схеме, наибольшим разнообразием видов ландшафтов в зонах широколиственных и смешанных лесов, т.е. в полосе тяго-

тения к Главному ландшафтному рубежу Русской равнины, отличаются транзитные макроместоположения – средние участки пологоволнистых склонов междуречий. Значительное, хотя и гораздо меньшее ландшафтно-видовое разнообразие свойственно элювиально-трансэлювиальным (автономным) местоположениям – пологоволнистым и холмистовалистым водоразделам с эрозионным и эрозионно-денудационным рельефом. Подчиненные жеместоположения (трансаккумулятивные и аккумулятивные) отличаются гораздо более бедным набором видов ландшафтов.

По мере удаления на север и на юг от Главного ландшафтного рубежа Русской равнины наблюдается явное смещение «фокуса» ландшафтно-видового разнообразия с «типологического центра» мезокатены к одному из ее периферийных звеньев: на северном крыле борального экотона (в южной тайге) к подчиненным ландшафтам, а на южном крыле (в лесостепи и северной степи) – к автономным. Такое смещение обусловлено, по-видимому, геолого-геоморфологическими и палеогеографическими причинами, и прежде всего – экзогенными процессами в недавнем геологическом прошлом, сформировавшими современные формы морфоскульптуры с комплексом рыхлых отложений. Чем активнее протекали эти процессы в плейстоцене и голоцене, тем разнообразнее оказалась литогенная основа ландшафтообразования и тем соответственно богаче стал набор видов ландшафтов. На северном крыле экотона преобладали процессы ледниковой и водноледниковой аккумуляции, споследующей золовой и древнеаллювиальной переработкой насыпных форм рельефа, что и дало наибольшее видовое разнообразие ландшафтов аккумулятивных и трансаккумулятивных местоположений – в долинах крупных рек и на нижних участках коренных склонов.

Южное же крыло экотона, начиная с зоны широколиственных лесов, отличалось наиболее длительным проявлением эрозионно-денудационных процессов, с образованием на обширных возвышенных междуречьях разнообразных форм рельефа «пластового» типа, по терминологии К.К. Маркова (1986), и пестрого помеханическому составу и мощности плаща склоновых отложений. Разнообразие литогенной основы ландшафтообразования здесь способствовали многочисленные местные базы денудации. Этим, несомненно, и следует объяснить смещение «фокуса» видового разнообразия ландшафтов на южном крыле экотона в сторону элювиальных и трансэлювиальных

местоположений, что особенно ярко заметно в лесостепной зоне.

С типами местоположений непосредственно связан второй используемый в данной ландшафтной классификации признак – степень литоморфности-гидроморфности. Этот признак служит «прямодействующим», по терминологии Л.Г. Раменского (1971), т.е. в полном смысле экологическим фактором. Как отмечено в (Раковская и др., 1984), введение признака эдафического увлажнения как классификационного критерия на низших ступенях иерархии региональных природных комплексов позволяет связать воедино ландшафтообразующий эффект зональных и азональных факторов.

Альтернативность проявления лито- и гидроморфности обусловлена достаточно сложными и противоречивыми отношениями двух ландшафтообразующих свойств эдафотопов: степени почвенно-грунтового увлажнения, связанной с интенсивностью дренажа территории, и механического состава почвообразующих пород. Эта противоречивость вызвана с тем, что указанные факторы интерферируют не только однозначно, но и нередко с разным знаком, как бы взаимно погашая общий экологический эффект.

В общем случае переход от возвышенно-равнинных местоположений к низменно-долинным сопровождается ухудшением дренажа и соответствующей активизацией процессов гидроморфизма, при ослаблении роли литоморфности. Процесс литоморфизации выражен преимущественно на хорошо дренируемых, особенно расчлененных, возвышенностях, откуда происходит вынос мелкозема, между тем как гидроморфизация свойственна низменно-долинным местоположениям, где наблюдаются накопление тонкодисперсного материала и перегрузка поверхностных и грунтовых вод.

Такая пространственная дифференциация лито- и гидроморфизма существенно возрастает, если при переходе от водоразделов к долинам одновременно происходит утяжеление механического состава рыхлых отложений (интерференция с одинаковым знаком). Дело в том, что в литоморфизации природного комплекса определяющее экологическое значение имеет содержание в почво-грунтах иловато-пылевых фракций (Михеев, 1974). При прочих равных условиях, чем оно меньше, тем выше скелетность почвообразующих пород и тем сильнее выражена литоморфность геосистемы. С ростом жесодержания иловато-пылевой фракции идет утяжеление механического состава почво-

грунтов (от связных песков и хрящеватых супесей до суглинков и глин) и одновременное увеличение их влажности за счет роста содержания рыхлосвязанной воды, что вызывает нарастающую гидроморфизацию всего природного комплекса.

Подобные условия складываются главным образом в южной (лесостепной) полосе борального экотона Русской равнины. Здесь на всех формах мезорельефа доминируют тяжелые (или пылеватые) суглинки и глины, однако «фокус» этого доминирования смещается к древнеаллювиальным низменностям. В то же время эрозионно-денудационные склоны водоразделов покрыты гораздо более тонким суглинистым чехлом и нередко имеют выходы элюво-делювия плотных коренных пород (песчаников, глинистых сланцев, известняков, конгломератов), которые создают повышенную скелетность почво-грунтов. Таким образом, в зоне лесостепи литоморфность и гидроморфность – два альтернативных экологических фактора, последовательно замещающих друг друга в системе ландшафтных сопряжений на мезокатенах.

Более сложная ситуация складывается во всех лесных подзонах, причем здесь рельеф и субстрат чаще всего интерферируют с разным знаком. В средней и южной тайге, в смешанных и широколиственных лесах элювиальные и трансэлювиальные ландшафты являются областями доминирования не только выходов элювия коренных пород, но и тонкодисперсных отложений – от глинистых и тяжелосуглинистых до легких и опесчаненных суглинков. Более того, две последние разности распространены на всех типах местоположений, а в средней тайге редко встречающиеся легкие суглинки занимают в основном днища озерно-ледниковых понижений. В то же время пески и супеси приурочены главным образом к аккумулятивным и трансакумулятивным местоположениям – днищам речных долин и примыкающим к ним нижним частям склонов междуречий.

Тем не менее, несмотря на определенные «поправки» со стороны мехсостава почвообразующих пород, общий уровень почвенно-грунтового увлажнения, обусловленный типом местоположения, является ведущим экологическим фактором дифференциации лесных ландшафтов. Как показано в табл. 3.1, при спуске с хорошо дренируемых водоразделов к переувлажненным днищам речных долин происходит неизбежная смена доминантов на почвенного растительного покрова, указывающая на закономерные переходы уровней эдафиче-

ского увлажнения гео(эко-)систем: от лито- субгидроморфной и гидроморфной. морфной и сублитоморфной категорий до

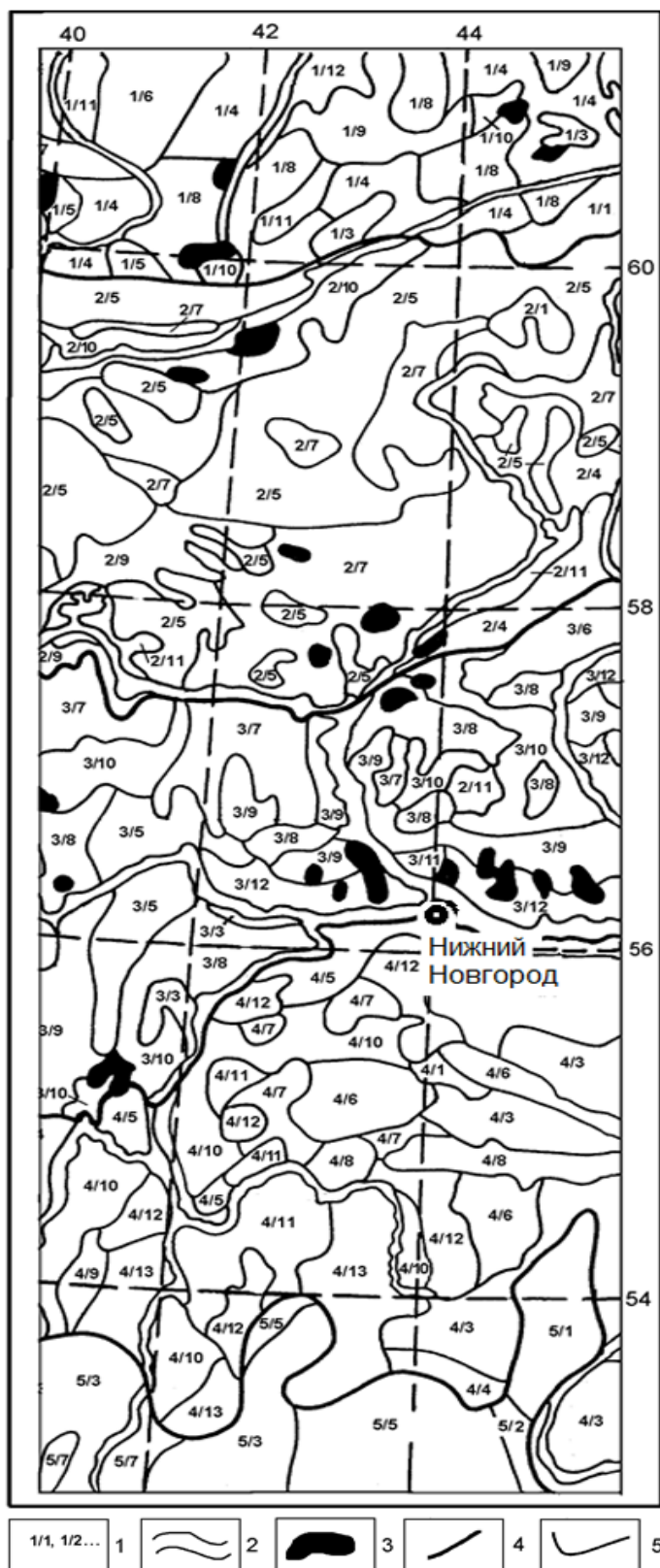


Рис. 3.3. Фрагмент ландшафтной карты территории Волжского бассейна (составитель – В.П. Юнина). См. легенду на следующей странице

1 – обозначения номера зоны или подзоны (в числителе) и номера вида ландшафтов (в знаменателе); 2 – ландшафты речных долин; 3 – заболоченные территории; 4 – границы природных зон (подзон); 5 – границы видов ландшафтов

Роды и виды ландшафтов.

Среднетаежные: *Эрозионно-денудационные (э-д):* 1/1 – пихтово-еловые элювиальные, пологоволнистые, гидро-литоморфные; II. *Денудационно-зандровые (д-з):* 1/3 – пихтово-еловые, транзитные, пологоволнистые. I II. *Моренные (м):* 1/5 – ельники элювиальные, транзитные, гидро-литоморфные. IV. *Моренно-зандровые (м-з):* 1/8 – елово-сосновые и сосновые транзитные, субгидроморфные; 1/9 – сосняки трансаккумулятивные, субгидроморфные 1/10 – елово-сосновые, трансаккумулятивные, гидроморфные.

Южнотаежные: I. *Эрозионно-денудационные (э-д):* 2/1 – пихтово-еловые, элювиальные, пологоувалистые, суглинистые, гидро-литоморфные. II. *Денудационно-зандровые (д-з):* 2/3 – пихтово-еловые, транзитные, гидро-литоморфные; 2/4 – пихтово-еловые и сосновые транзитные, гидро-литоморфные. III. *Моренные (м):* 2/5 – ельники элювиальные, холмистые, гидро-литоморфные. V. *Зандровые (з):* 2/7 – сосновые, трансаккумулятивные плоско-волнистые, на мощных песках, субгидроморфные; 2/8 – елово-сосновые, трансаккумулятивные, гидроморфные. VII. *Долиннозандровые (д/з):* 2/11 – елово-сосновые, аккумулятивные, плосковолнистые, гидроморфные.

Подтаежные: I. *Эрозионно-денудационные (э-д):* 3/1 – широколиственно-пихтово-еловые, элювиальные, пологоволнистые, суглинистые, сублитоморфные. III. *Денудационно-зандровые (д-з):* 3/4 – пихтово-еловые и елово-сосновые транзитные, пологоволнистые, гидро-литоморфные; 3/5 – широколиственно-сосновые, транзитные, пологоволнистые, гидро-литоморфные. IV. *Моренные (м):* 3/7 – еловые, сложные, элювиальные, полого-холмистые, гидро-литоморфные. V. *Моренно-зандровые (м-з):* 3/8 – еловые, транзитные, субгидроморфные. VI. *Зандровые (з):* 3/9 – еловые и елово-сосновые, трансаккумулятивные, субгидроморфные; 3/10 – еловые и елово-сосновые, трансаккумулятивные, гидроморфные. VII. *Озерно-аллювиальные и озерно-ледниковые (оз/л):* 3/11 – еловые, транзитные, гидроморфные. VIII. *Долиннозандровые (д/з):* 3/12 – сосновые и елово-сосновые, аккумулятивные, гидроморфные.

Широколиственнолесные: I. *Эрозионно-денудационные (э-д):* 4/1 – дубово-липовые, элювиальные, литоморфные; 4/2 – ясенево-липово-дубовые, элювиальные, скарстовыми формами, литоморфные; 4/3 – дубово-липовые, элювиальные литоморфные; 4/4 – липово-дубовые, с сосной, трансэлювиальные, холмисто-увалистые, с карстовыми формами, литоморфные. II. *Эрозионные (э):* 4/5 дубово-липовые, трансэлювиальные, литоморфные; 4/6 – дубово-липовые, трансэлювиальные, литоморфные. III. *Денудационно-зандровые (д-з):* 4/7 – широколиственно-елово-сосновые, транзитные, сублитоморфные. IV. *Моренно-зандровые (м-з):* 4/9 – сосново-елово-широколиственные, транзитные, гидро-литоморфные. V. *Зандровые (з):* 4/10 – елово-сосновые и сосновые, трансаккумулятивные, гидро-литоморфные; 4/11 – широколиственно-сосновые и елово-сосновые, трансаккумулятивные, плоские и пологоволнистые, субгидроморфные. VI. *Озерно-ледниковые и озерно-аллювиальные (оз/л):* /12 – дубово-липовые, с сосной и елью, транзитные, сублитоморфные; 4/13 – дубово-липовые, транзитные, сублитоморфные.

Лесостепные: I. *Эрозионно-денудационные (э-д):* 5/1 – луговые степи в сочетании с липово-дубовыми и дубовыми лесами, элювиальные, литоморфные; 5/2 – луговые степи с дубовыми лесами и сосняками, трансэлювиальные, литоморфные. II. *Озерно-ледниковые и озерно-аллювиальные (оз/л):* 5/3 – луговые степи в сочетании с широколиственными лесами, транзитные, сублитоморфные. V. *Древнеаллювиальные (д/алл):* 5/7 – широколиственно-сосновые и сосновые, трансаккумулятивные, гидро-литоморфные

Совершенно очевидной была необходимость повышения ранга исходных ландшафтных единиц, с объединением видов ландшафтов в более крупные категории. Для обозначения таких категорий мы использовали дефиницию «группы ландшафтов», в трактовке В.А. Николаева (1978). В основе этой дефиниции лежит та же полыновская схема в

масштабе региональных типов местоположений. Это достаточно высокоранговые единства, идущие вслед за историко-генетическими классами и подклассами ландшафтов и стоящие выше их зональных типов. Согласно В.А. Николаеву, группы ландшафтов выделяются по типам водного и геохимического режимов: соотношениям ат-

мосферного, грунтового и натежного увлажнения, степени дренированности территории, преобладанию выноса, транзита или накопления подвижных химических элементов.

На обобщенной для всех зон и подзон мезокатене мы выделили четыре типа уже упомянутых субрегиональных местоположений: элювиальный, трансэлювиальный, транзитный и аккумулятивный (совместно с трансаккумулятивным местоположением). По этим типам были распределены все 61 вид ландшафтов Волжского бассейна. Тип местоположения, или группа ландшафтов, по В.А. Николаеву, является «сквозной» таксономической единицей не только для самих ландшафтных типов и подтипов, но и для соответствующих им групп и классов растительных формаций и типов (подтипов) почв. В целях приведения ландшафтов, растительности и почв к единому таксономическому рангу, мы провели объединение видов ландшафтов в более высокоранговые группировки, с учетом их принадлежности как к природной зоне (подзоне), так и к типу местоположения, и получили 20 *типологических групп ландшафтов* (рис. 3.5). Эти таксономические категории сохраняют в себе все отмеченные выше черты экологизации природных комплексов и являются весьма информативными, поскольку они выделяются по двум независимым друг от друга признакам – зонально-типологическому и морфогенетическому.

Каждая типологическая группа ландшафтов диагностируется входением в ту или иную природную зону (подзону) и типом местоположения (табл. 3.1), а также производным от этих исходных признаков свойством – соотношением факторов «литоморфность–гидроморфность», которые, как уже говорилось, замещают друг друга при смене типов местоположений на мезокатенах. В итоге удалось кратко охарактеризовать наиболее важные черты каждой типологической группы ландшафтов и сблизить ранги рассматриваемых нами ландшафтных единиц с единицами растительного и почвенного покровов. Так, например, 5-я типологическая группа южнотаежных пихтово-еловых элювиальных гидро-литоморфных ландшафтов, или 14-я группа широколиственнолесных трансэлювиальных литоморфных ландшафтов и т.д..

Описанные методы экологизации традиционной ландшафтной карты, с преобразованием ее в категорию ландшафтно-экологических карт, позволяют получить необходимую картографическую основу для *регионального геосистемного мониторинга* как наиболее

сложной, согласно (Герасимов, 1985), системы слежения за состоянием окружающей среды

3.3. Механизмы формирования зональной границы. Анализ соотношений ядра (центра) и периферии составляет один из традиционных методических приемов изучения организации биологических и географических объектов. Хорошо известна экологическая триада, которая включает некоторый оптимум (центр) значений фактора для существования вида, популяции, сообщества и два крайних пессимума (минимальное и максимальное значения фактора), характеризующих критические состояния объекта и пределы его толерантности к данному фактору (Одум, 1975; Риклефс, 1979). В географии правило триады использовал еще В.П. Семенов-Тянь-Шанский (1928) при выделении границ районов. Значительно позднее Ф.Н. Мильков (1986) предложил применять это правило для расчленения природной зоны на три подзоны, из которых средняя подзона принимается за «ядро типичности» данной зоны, а две крайних считаются переходными к соседним зонам. При этом, ядро геосистемы нередко рассматривается как ее ведущая часть, обладающая наибольшей плотностью вещества, энергии и информации, между тем как периферии приписывается относительно разреженная субстанция (Ретеюм, Серебряный, 1985). Однако последнее положение явно ошибочно, поскольку противоречит фактам и не соответствует современным представлениям об экотонах как зонах более напряженного, чем в ядре типичности, системообразующего взаимодействия природных компонентов и комплексов (см. выше, а также (Одум, 1975; Сочава, 1979; и др.).

Что это действительно так, подтверждают результаты проведенного нами количественного анализа ландшафтной текстуры бореального экотона Волжского бассейна (Коломыц, 1994; Коломыц и др, 1995), с использованием известных мер ландшафтного соседства (Симонов, 1982) и парагенеза (Арманд, Кушнарера, 1989), а также предложенных автором моделей эффекта дальнего действия ландшафтов. Были разработаны топологические и топометрические графо-аналитические модели природных зон и границ между ними. В проведенной классификации ландшафтных рубежей выделены: типы границ – по сочетанию значений мер соседства и парагенетического индекса; виды границ – по механическому составу поверхностных отложений и характеру его смены на мезокатене.

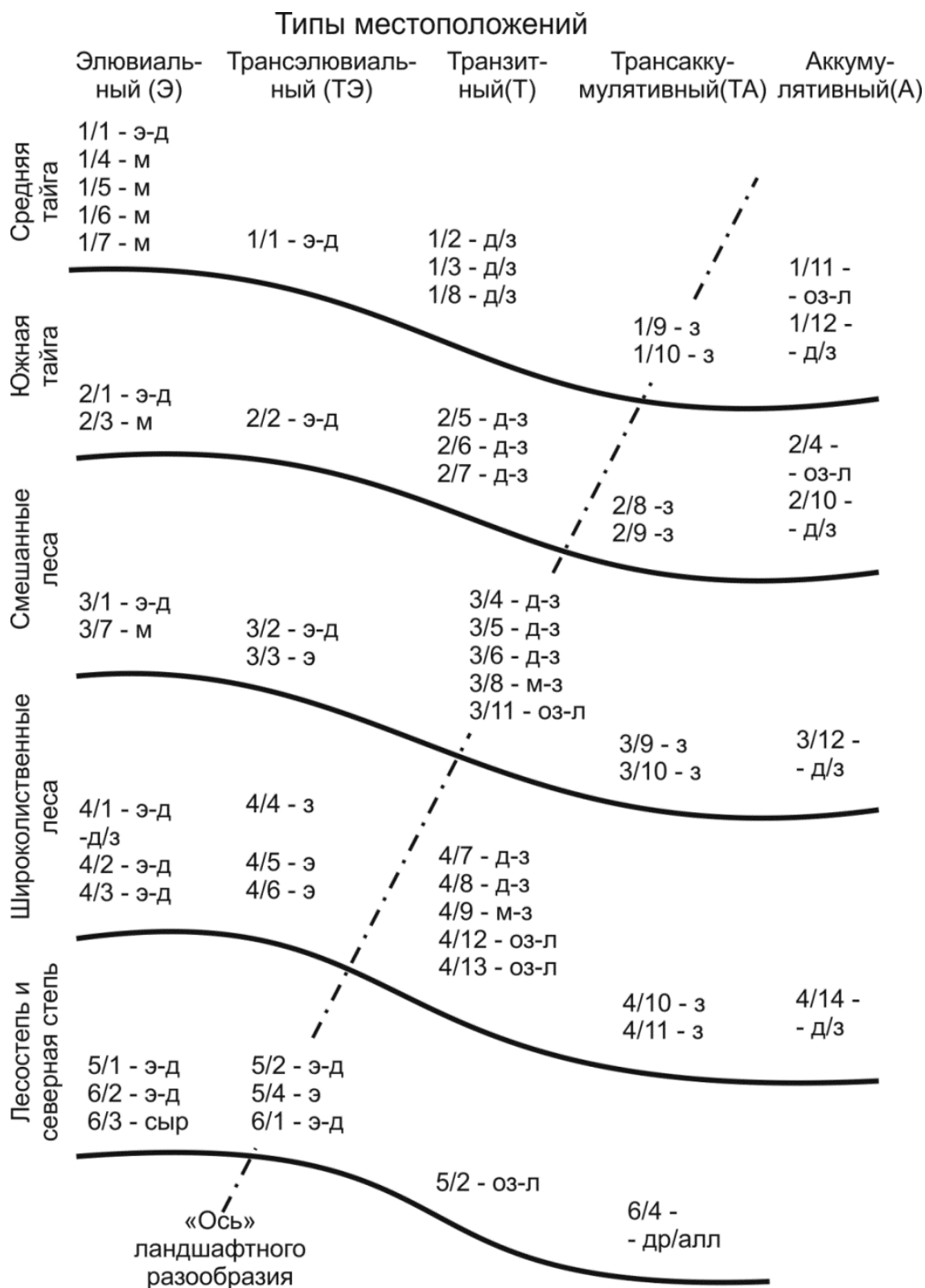
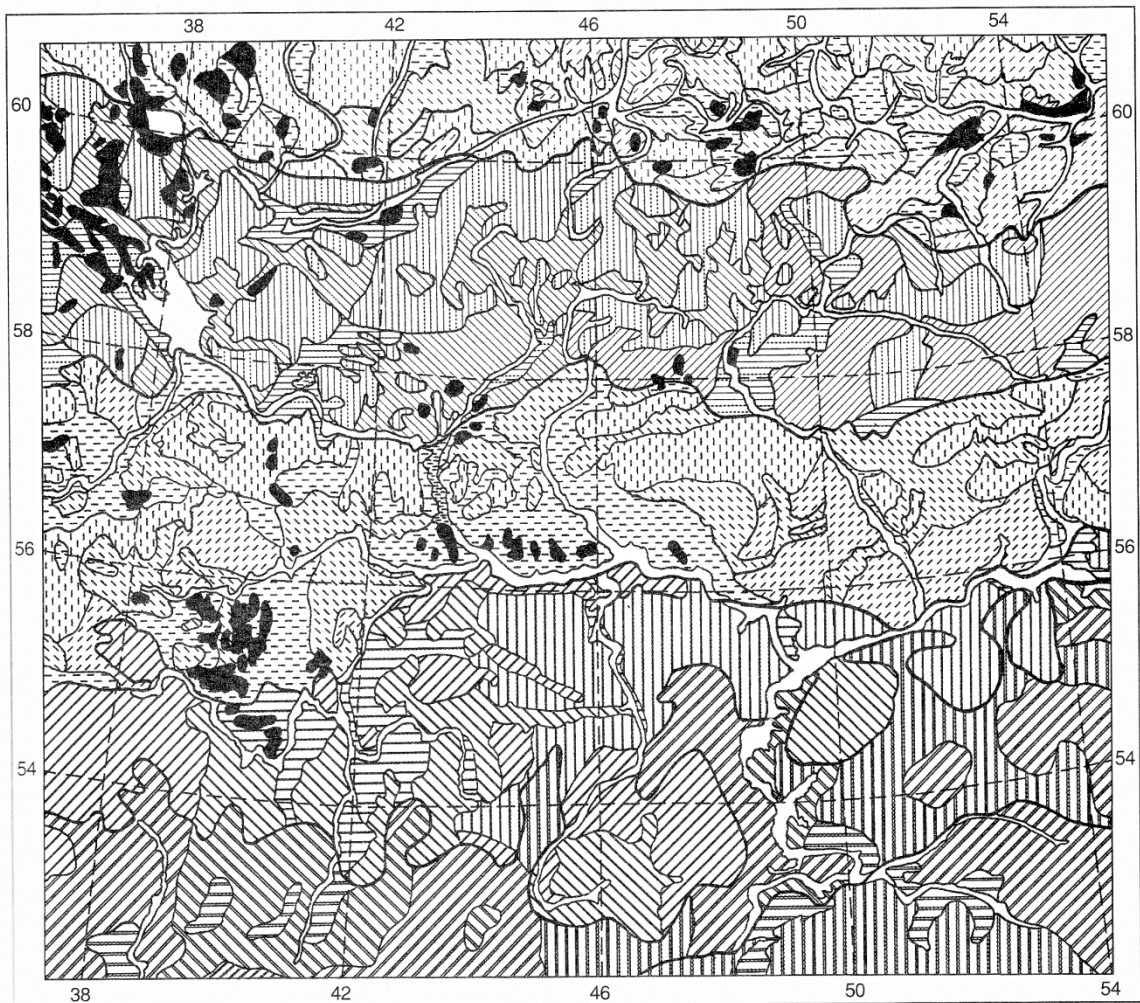


Рис. 3.4. Распределение видов ландшафтов по мезомасштабным типам местоположений в boreальном поясе и на boreальном экотоне Русской равнины:

1/1, 1/4, 1/5, ... – виды ландшафтов (см. экспликацию к рис. 3.3); Э, ТЭ, ... – типы местоположений. Роды (морфогенетические типы) ландшафтов: э-д – эрозионно-денудационные; э – эрозионные; д-з – денудационно-зандровые; м – моренные; м-з – моренно-зандровые; оз-л – озерно-ледниковые и озерно-аллювиальные; э-д – элювиально-делювиальные («сыртовые»); з – зандровые; др-алл – древнеаллювиальные



Типы местоположения	Природные зоны и подзоны				
	средняя тайга	южная тайга	смешанные леса	широколиственные леса	лесостепь и северная степь
Элювиальный	1	2	3	4	5
Транс-элювиальный	6	7	8	9	10
Транзитный	11	12	13	14	15
Трансаккумулятивный и аккумулятивный	16	17	18	19	20



Рис. 3.5. Карта групп ландшафтов территории Волжского бассейна (масштаб 1 : 7 000 000):

а – территории и акватории речных долин, озер и водохранилищ; *б* – заболоченные территории; *в* – границы групп ландшафтов; *г* – границы природных зон и подзон. 1 ÷ 20 – порядковые номера групп ландшафтов

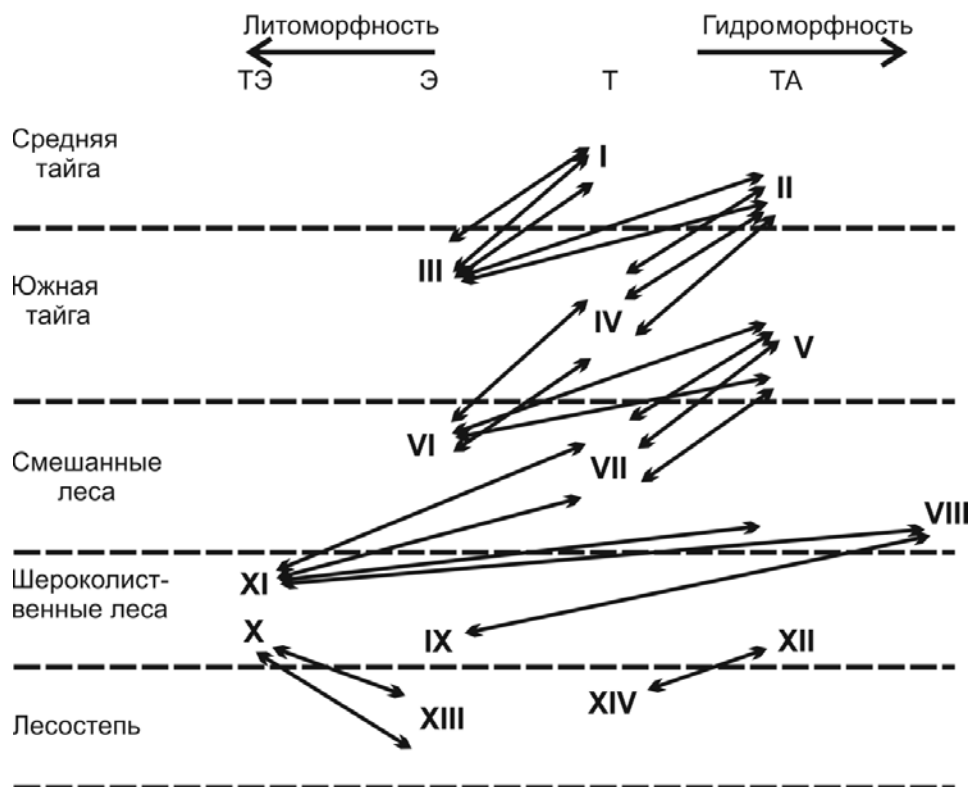


Рис. 3.6. Схема ландшафтных соседств первого порядка на зональных и подзональных границах бореального экотона Волжского бассейна

Группы видов ландшафтов.

Среднетаежные: I – денудационно- и моренно-зандровые транзитные субгидроморфные; II – моренно-зандровые трансаккумулятивные субгидроморфные. **Южнотаежные:** III – эрозионно-денудационные и моренные элювиальные гидролитоморфные; IV – денудационно- и моренно-зандровые транзитные гидро-литоморфные; V – зандровые трансаккумулятивные субгидроморфные.

Подтаежные: VI – эрозионно-денудационные и моренные элювиальные сублитоморфные; VII – денудационно-зандровые и моренные элювиальные и транзитные гидролитоморфные; VIII – долинозандровые и озерно-аллювиальные трансаккумулятивные и аккумулятивные гидроморфные. **Широколиственнолесные:** IX – эрозионно-денудационные элювиальные литоморфные; X – эрозионные трансэлювиальные литоморфные; XI – моренно-зандровые транзитные гидро-литоморфные. **Лесотепные:** XII – эрозионно-денудационные элювиально-трансэлювиальные литоморфные; XIII – озерно-аллювиальные транзитные сублитоморфные

Для количественной характеристики ландшафтной структуры использована шенноновская информационная мера разнообразия (H_i):

$$H_i = - \sum_{j=1}^N P_j \log_2 P_j. (3.1)$$

Здесь P_j – вероятность j -той морфологической единицы ландшафтной структуры (в данном случае это отношение ее площади к общей площади рассматриваемой территории), выраженное в долях 1; N – общее число морфологических единиц. Мера разнообразия максимальна тогда, когда все морфологические части равновелики (равновероятны). Этот максимум зависит только от числа мор-

фологических частей и определяется по формуле Хартли:

$$H_{max} = \log_2 N (3.2)$$

Действительное значение меры разнообразия обычно меньше максимального, вследствие неодинаковых размеров морфологических частей. Соотношение параметров H_i и H_{max} дает представление о степени территориальной упорядоченности (или, наоборот, неупорядоченности) геопространства (Коломыц, 1994). В качестве меры $K(n/y)$ неупорядоченности географического пространства нами использован показатель относительной организованности биологических систем (Антомонов, 1977):

$$K(n/y) = 1 - H_i / H_{\max}. \quad (3.3)$$

Коэффициент неупорядоченности зонально-региональных геопространств тем выше, чем существеннее различие в значениях того или иного признака слагающих их видов ландшафтов. Мы рассматриваем два таких признака: относительные площади ландшафтных ареалов и меру их географического соседства. Первую характеристику упорядоченности зонально-региональных геопространств можно назвать ареальной, вторую позиционной. Нами принято, что на региональном уровне развитие природно-территориальной структуры идет в направлении сглаживания контрастов в площадях ландшафтных ареалов и в длинах их границ, что означает снижение значений параметров $K(n/y)$ - как ареального, так и позиционного.

Расчеты показали, что в своем «ядре типичности» природный комплекс зонального ранга слагается из структурных элементов (видов ландшафтов), сравнительно слабо упорядоченных в пространстве (табл. 3.2) и разделенных преимущественно резкими (барьерными) границами. Следовательно, ведущую роль в формировании ландшафтной текстуры ядра зональной геосистемы играют не транзитные (гидро-климатические), а консервативные (литогенные) факторы, причем роль эта в целом возрастает в направлении от южной тайги к северной степи. Резкость и контрастность ландшафтных границ указывает на повышенную гомеостатическую устойчивость самих ландшафтов (Арманд, Кушнарева, 1989), что обеспечивает устойчивость и более высокой по рангу геосистемы в ее ядре.

При переходе от ядра к периферии зональной системы пространственная упорядоченность ее структурных элементов возрастает (табл. 3.3) фактически при том же индивидуальном и видовом разнообразии ландшафтов, а резкость границ между ними снижается, что свидетельствует о несомненном повышении пространственно дифференцирующей роли транзитных факторов, в том числе латеральных геопотоков. Системообразующая роль этих потоков на зональных границах выражена гораздо сильнее, нежели в «ядрах типичности» природных зон, что уже само по себе указывает на повышенную чувствительность зональных границ к фоновому климатическому воздействию.

Итак, мы приходим к парадоксальному, на первый взгляд, выводу: территориальная взаимосвязанность видов ландшафтов, а также пространственная упорядоченность ландшафтных ареалов на зональных границах су-

щественно выше, чем в «ядрах типичности» самих природных зон. Этот вывод не может быть обойден вниманием уже потому, что он касается фундаментальных вопросов ландшафтоведения – в частности, способов природно-территориальной организации в ядре и на периферии геосистемы, а также принципиальных различий в характере ландшафтных связей между относительно однородными и коннекционными системами. В данном случае были рассмотрены причинные механизмы и возможные функциональные последствия трансграничной селективной упорядоченности ландшафтных ареалов, обусловленной главным образом современными латеральными геопотоками. Полученный эмпирический результат явно противоречит отмеченному выше гипотетическому положению (Ретеюм, Серебрянный, 1985) о ядре и периферии природных комплексов.

Как известно, выделить на местности или на карте ту или иную природно-территориальную систему означает, прежде всего, очертить ее границы. Сама же граница оказывается там, где в наибольшей мере выражен данный пространственно дифференцирующий фактор (в нашем случае – гидро-климатический), по которому эта система и выделяется. В ядре системы структурирующая роль данного фактора явно снижается; она оказывается изначально подчиненной действию других факторов (литогенных).

Зональная граница есть полоса критических состояний контактирующих между собой гео(эко-)систем – «представителей» двух соседних природных зон. Говоря о такой границе, мы так или иначе подразумеваем переход от одного зонального типа ландшафта к другому типу, имея в виду прежде всего плакорные геосистемы с коренной растительностью, отображающей данный зональный физико-географический фон. Эти рубежи, характеризующие смену зонального фона, так сказать, в чистом виде, выделены нами в качестве климатогенных ландшафтных границ. Однако в конкретной ландшафтной обстановке такие границы скорее исключение, чем правило. В самом деле, из всего набора сочетаний ландшафтных соседств, образующих на бореальном экотоне ту или иную зональную границу, на долю рубежей климатогенного вида приходится не более 25–30%, и лишь при переходе от широколиственных лесов к лесостепи эта доля достигает 55%. При этом, в направлении с юга на север встречаемость и относительная протяженность климатогенных границ однозначно уменьшаются; все боль-

шее распространение на зональных экотонах получают ландшафтные рубежи, обусловленные региональными и локальными факторами, преломляющими данный зональный фон.

Среди таких факторов в качестве ведущего следует выделить, прежде всего, тип макро(мезо-)местоположения приграничных ландшафтов, который способен усиливать или, наоборот, ослаблять их критические состояния и создавать соответствующие почвенно-биотические контрасты в системе местных ландшафтных сопряжениях, обусловленных латеральными геопотоками. В результате зональный рубеж может сдвигаться с плакорного местоположения (если оно реально существует) к средним и даже нижним звеньям мезокатены, где такие контрасты выражены наиболее резко, достигая зонального уровня. Так, по-видимому, вырисовывается на местности извилистая зональная граница, отклоняясь в ту или другую сторону от своих климатогенных отрезков в соответствии со сменой пересекающего ее пограничного ландшафтного сопряжения.

Описанный механизм мезо- и микромасштабной реализации зональной границы в условиях влияния субрегиональных и локальных факторов, станет более понятным, если поместить каждую пару приграничных видов ландшафтов в интервал соответствующих им типов местоположений, а сами местоположения расположить по градиенту двух альтернативных локальных факторов – литоморфности и гидроморфности, проявление которых так или иначе связано с работой латеральных геопотоков. Местоположения займут определенные позиции в их факторально-динамическом ряду: от автономных (ТЭ, Э) до подчиненных (ТА, А). В результате для территории бореального экотона Русской равнины мы получаем систему трансграничных ландшафтных соседств (рис. 3.6). Связи между ландшафтами имеют векторный характер, поэтому показаны обоюдными стрелками.

Как видим, переход через зональную границу от более южной природной зоны к более северной означает на местности, как правило, смену типа местоположения от автономного к подчиненному, чаще всего смены Э → Т, Э → ТА, Т → ТА, т.е. в сторону большей гидроморфности экотопа, что способствует местному (локальному) повышению коэффициента увлажнения до критического уровня, вызывающего скачкообразную смену зонального типа растительности. На местоположениях верхних звеньев мезокатены, где благодаря латеральным геопотокам возникает местный

недостаток почвенно-грунтового увлажнения, с относительным избытком тепла, формируется ландшафт более южной природной зоны, а в нижних звеньях, испытывающих, наоборот, избыток влаги, – возникает ландшафт более северного зонального типа.

Исключение составляют те немногочисленные случаи, когда ведущими факторами субрегиональной дифференциации оказываются солярная экспозиция склона, либо механический состав поверхностных отложений, определяющий степень увлажнения эдафотопы. Тогда происходит своего рода инверсия местоположений в трансграничной паре ландшафтов из двух соседних природных зон, что ведет к определенному усилению резкости зонального рубежа. Примером первого случая служит достаточно протяженная граница между южной тайгой и подтайгой на вятско-чепецком междуречье (связка видов ландшафтов 2/2–3/4). Здесь приводораздельные пихто-ельники сменяются ниже по более крутым солнцепечным склонам широколиственно-хвойными лесами. Второй случай дает трансграничная связка видов ландшафтов 1/4–2/9 на одном из участков долины Сухоны: с одной стороны, элювиальные моренные заболоченные равнины среднетаежного левобережья, а с другой, – правобережные южнотаежные озерно-аллювиальные равнины, занимающие аккумулятивные местоположения.

Предлагаемый нами способ оценки местной факторально-динамической ординации зональной границы позволяет найти относительную меру критичности состояния приграничных ландшафтов и тем самым установить степень потенциальной и реальной контрастности зонального рубежа. При этом, потенциальная контрастность определяется градиентами фонового макроклиматического поля, а реальная – деформациями этого поля местными факторами. С целью проведения такого анализа можно использовать предлагаемый нами параметр – *парагенетическое расстояние* ($L_{нар}$) как величину взаимной удаленности в ряду литоморфности-гидроморфности двух типов местоположений, которым соответствует данная связка приграничных видов ландшафтов. Парагенетическое расстояние выражается в шагах (или баллах). Например, в трансграничной связке видов ландшафтов 2/1(Э)–1/3(Т) это расстояние равно 1 шагу (баллу), в паре 2/5(Э)–1/9(ТА) – двум шагам, а для наиболее удаленных друг от друга по типу местоположения видов 4/5(ТЭ) и 3/12(А) – насчитывается 4 шага.

Минимальное парагенетическое расстояние ($L_{нар} = 1$ шагу) указывает на то, что фоновое поле лимитирующих климатических параметров на данном участке имеет резко выраженные градиенты (в нашем случае субширотные), поэтому достаточно незначительной деформации этого поля местными факторами, как возникает зональный рубеж того или иного вида. Сама же климатогенная граница должна проходить вблизи этого факторально-зонального рубежа и отличаться наибольшей резкостью (контрастностью). Низкая реальная контрастность ландшафтных рубежей указывает на то, что приграничные гео(эко)системы достаточно открыты, со слабо выраженными обратными связями между растительными компонентами и фитосредой (Арманд, Кушнарера, 1989). Такими визуально слабо выраженными факторальными рубежами составлена преобладающая часть зональных границ на бореальном экотоне Волжского бассейна, что соответствует общему равнинному рельефу его территории.

Максимальные же значения $L_{нар}$ (в 3–4 шага) возникают на фоне «размытого», слабо градиентного макроклиматического поля, когда сами климатогенные границы выражены нечетко и встречаются довольно редко. В этом случае зональная граница, слабо выраженная потенциально, но фактически резкая, слагается пестрой вереницей различных «факторальных» отрезков, которые территориально могут сильно отклоняться (в нашем случае на север или на юг) от региональной климатической нормы зональных переходов. Высокая реальная контрастность границ означает также усиление положительной обратной связи в системе растительность-фитосреда. Яркий пример подобной трансграничной ситуации дает крупный фрагмент Главного ландшафтного рубежа Русской равнины, проходящий по субширотной системе долин Ока-Волга (см. на схеме связки видов ландшафтов 4/5–3/12, 4/5–3/10 и 4/2–3/12). Значительное общее смещение здесь к северу зональной границы между подтайгой и широколиственными лесами обусловлено выступом Приволжской возвышенности, с резко выраженными геоморфологическими контрастами между право- и левобережьем Оки и Волги, на фоне слабо выраженных широтных макроклиматических градиентов. В итоге фактическая резкость данной зональной границы выражена тем резче, чем дальше на север она смещена субрегиональными и локальными факторами.

Таким образом, парагенетическое расстояние можно использовать в качестве *меры относительной контрастности зональных границ*, что имеет непосредственное отношение к региональному геоэкологическому прогнозу. Чем выше значение параметра $L_{нар}$, тем активнее проявляются латеральные геопотоки в системе ландшафтных сопряжений и тем соответственно сильнее должна быть ответная реакция местной ландшафтной текстуры на внешние климатические возмущения.

Пусковым механизмом процесса появления данного зонального рубежа служит достижение на том или ином участке ведущим зоноформирующим фактором некоторых критических фоновых значений, которые «провоцируют» резкое усиление (вплоть до зонального уровня) экологической роли местных (локальных) факторов. При этом, под критическими значениями физико-географического фона подразумеваются такие, которые разрушают прежний механизм гомеостаза в системе «растительность – фитогенная среда», по А.Д. Арманду (1989), и обуславливают переход геосистемы к новой области гомеостаза. Обратный сигнал возвращается к первому фактору, но уже на местном структурном уровне, в результате чего в рассматриваемой системе ландшафтных сопряжений и появляется данная зональная граница. Так, можно полагать, функционирует зоноформирующая система информационных сигналов, которая объединяет фоновые и местные (локальные) факторы, с обратной связью, «работающей» непременно на более низком структурном уровне, нежели первичный сигнал. Описанная функциональная система должна, по-видимому, осуществлять подобным же образом дифференцированные сдвиги зональных рубежей при том или ином возмущении существующего климатического фона.

Итак, в первом приближении вырисовываются два основных звена механизма формирования зональной границы. Первое звено образует процесс «растворения» (дробления, поглощения) фоновых зональных градиентов климатических параметров в множестве разнонаправленных векторов действия субрегиональных и локальных факторов: форм мезо- и микрорельефа, характера почвообразующего субстрата, эдафического увлажнения и др. Повышение роли топологических факторов до уровня зонально-региональных – характерная черта периферии природной зоны, где климатический фон достигает критических значений. Вторым звеном является процесс терри-

ториального упорядочения приграничных ландшафтных ареалов в «нуклеарном поле» ведущих местных факторов, когда собственно и появляется зональный рубеж в его конкретном выражении. Зональная граница формируется как векторное природно-территориальное образование и может возникнуть лишь благодаря обусловленной местными факторами пространственной упорядоченности структурных элементов по периферии двух соседних природных зон (под-

зон). Трансграничная упорядоченность структурных элементов, гораздо более высокая, чем в ядрах гео(эко-)систем, – по-видимому, важнейшее имманентное свойство природных границ (Коломыц, 1994). Выявленная функциональная система формирования зональной границы рассматривается нами как возможный механизм дифференцированных сдвигов зональных рубежей при ожидаемых глобальных изменениях климата.

Таблица 3.2

Меры позиционной упорядоченности географического пространства различных природных зон (подзон) Волжского бассейна

Природная зона (подзона)	Показатель разнообразия ландшафтных соседств, биты		Коэффициент неупорядоченности геопространства	
	видовой	индивидуальный	видовой	индивидуальный
Южная тайга	2,9144	3,9070	0,3557	0,3996
Смешанные леса	3,3758	4,5662	0,3418	0,3253
Широколиственные леса	3,6009	4,8166	0,3234	0,2125
Лесостепь и сев. степь	2,7300	3,5057	0,2383	0,1747

Таблица 3.3

Меры позиционной упорядоченности географического пространства на зональных границах Волжского бассейна

Природная зона (подзона)	Показатель разнообразия ландшафтных соседств, биты		Коэффициент неупорядоченности геопространства	
	видовой	индивидуальный	видовой	индивидуальный
Средняя тайга	–	–	–	–
Южная тайга	3,7158	4,8374	0,2920	0,2359
	3,7081	4,4255	0,1685	0,2097
Смешанные леса	4,0005	4,7327	0,1331	0,0982
	3,7889	4,5722	0,1681	0,1256
Широколиственные леса	3,5965	4,5074	0,2411	0,1215
	3,8188	4,6140	0,1671	0,1240
Лесостепь и северная степь	3,3812	4,8272	0,2411	0,1158
	3,5981	4,1045	0,1005	0,1753
	–	–	–	–

Примечание. В верхней строке указаны значения мер для приграничных северных ландшафтов каждой природной зоны (подзоны), в нижней – для приграничных южных ландшафтов.

3.4. Климатические ниши и запас устойчивости гео(эко-)систем. Если построить кривую распределения частот (или вероятностей) встречаемости данного вида ландшафтов (или любой другой категории природных экосистем) по координате того или иного фактора, то мы получим графическое изображение экологической ниши гео(эко-)системы в пространстве значений этого фактора. Тогда среднее квадратичное отклонение в этом рас-

пределении будет характеризовать ширину экологической ниши (Свиричев, 1982). Чем шире ниша, тем выше должна быть толерантность экосистемы к данному фактору. Траектория микросостояний природной зоны (подзоны) в направлении от ее ядра к периферии сопровождается соответствующей сменой экологических ниш видов ландшафтов по данному климатическому фактору. В результате на зональных границах неизбежно вза-

имное перекрытие (пересечение) двух ниш, сходящихся из соседних природных зон. Пересечение ниш, при прочих равных условиях, должно означать межвидовую и межфитоценотическую конкуренцию, и чем больше такое пересечение, тем конкуренция выше (Свирижев, 1982). Пограничные экосистемы оказываются в квазиравновесных (критических) состояниях, при которых вынужденная смена одной из них на другую может оказаться необратимой, что и служит причиной повышенной чувствительности зональных границ к внешнему воздействию. Триггерные свойства зональных экотонов как раз и выражаются обостренными конкурентными отношениями экологических ниш фитоценозов, принадлежащих соседним зонам или подзонам. Сам же зональный триггер есть не что иное, как система пересечения фоновых и локальных ниш ландшафтов разного типа (подтипа).

Границы климатической ниши указывают на критические состояния данной гео(эко-)системы по тому или иному геофизическому фактору, при которых начинается ее преобразование в другую систему. При этом, в условиях одного и того же климатического тренда для отдельных геокомпонентов (растительности и почвы), переходы в критические состояния могут наступать чаще, нежели для ландшафта в целом. Иными словами, частота и характер перехода в критическое состояние зависит от структурного уровня природных экосистем.

Ширина климатической ниши есть область устойчивости экосистемы, ее параметрической толерантности, где система обладает определенной эластичностью, способностью к самовосстановлению после «снятия» воздействия. Определение вектора (объема) экологической ниши по какому-либо фактору есть установление, прежде всего, границ толерантности системы к этому фактору, за пределами которых система переходит в качественно новое образование. Чем меньше объем ниши (т.е. короче вектор) и больше ее мощность (сильнее выражен экологический оптимум), тем экосистема менее устойчива, более уязвима к внешнему воздействию.

С другой стороны, ширина «зоны» пересечения экологических ниш, т.е. триггерной зоны, характеризует резкость переходов и возможную скорость вынужденной трансформации одной гео(эко-)системы в другую. Такие переходы могут оказаться необратимыми, так как обе конкурирующие системы устойчивы. Таким образом, следует отличать

устойчивость гео(эко-)систем 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.

Переходы экосистем 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 (Арманд, 1989), который можно выразить через *объем и мощность вектора экологической ниши* (см. Коломыц, 2003). Как известно, понятие экотипов используется для выделения экосистем, адаптированных к местным почвенно-климатическим условиям (Быков, 1973; Одум, 1986).

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 экосистема 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 экосистемы значения (или оптимальных значений, если оптимум не один). Общий запас гомеостатичности

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

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

где ω_i – «весовые» коэффициенты по каждому климатическому 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 экосистемы (P_i^{max} и P_i^{min}) – это те критические (экстремальные) области ее состояния, где происходит «отказ» механизмов ее саморегулирования, по терминологии (Гродзинский, 1990), и она переходит в качественно иную экосистему. Следовательно, вероятность (частота) нахождения экосистемы в одном из двух критических состояний есть мера возможности ее функционального «отказа» при соответствующих значениях данного гидротермического параметра. Если произошел сдвиг интервала климатической ниши (с возможным ее сужением или расширением), то новым экстремальным и оптимальным значениям геофизического фактора будут территориально отвечать уже новые вероятности состояний экосистемы, а один из экстремумов может вообще оказаться вне диапазона начальной ниши. Используя соотношения этих вероятностей (в начальный и прогнозируемый моменты времени), можно, по-видимому, рассчитать время наступления «отказа» экосистемы путем решения обратной задачи по методу теории надежности технических систем (см. Гродзинский, 1990).

В процедуре ландшафтно-геофизического прогнозирования одним из первых этапов является сопряженный анализ экологических ниш различных типов и видов ландшафтов. Этот анализ должен установить: 1) степень адекватности микросостояний природной зоны значениям каждого климатического параметра, что позволит выявить ведущие и второстепенные факторы, с получением соответствующих «весовых» коэффициентов; 2) силу преломляющего воздействия на климатический фон субрегиональных и локальных факторов литогенной группы для ландшафтов того или иного вида, принадлежащих данному роду ландшафтов (скажем, в центральных районах Русской равнины – моренному,

$D_{об}$ в этом случае можно выразить суммой двух евклидовых метрик:

зандровому, эрозионно-аккумулятивному роду и т.п.).

Литогенная основа как фактор консервативный должна служить существенным препятствием фитоценотической трансформации гео(эко)-систем и сдвига природных рубежей при направленных изменениях фонового климатического поля. Это обстоятельство необходимо учитывать при сопряженном анализе экологических ниш. Ведущая ландшафтообразующая роль геолого-геоморфологических факторов проявляется, по-видимому, в случае значительного пересечения климатических ниш у видов или даже типов ландшафтов, относящихся к различным родам. Чем выше такие родовые контрасты, тем стабильнее должна быть фитоценотическая структура каждого ландшафта и тем устойчивее его границы к фоновому климатическому возмущению. 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 межценотической конкуренции, обладает повышенной чувствительностью к изменениям климатического фона. Соответственно такие экосистемы в первую очередь должны трансформироваться друг в друга (по вектору смещения пересекающихся экологических ниш), а границы между ними будут отличаться максимальной динамичностью. При этом, если конечное значение предполагаемой фитоценотической трансформации или сдвига природного рубежа можно оценить по разнице мер пересечения экологических ниш до и после их смещения, то исходная величина пересечения ниш даст представление о самой скорости таких преобразований.

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

почвообразующих пород, формы равнинного рельефа или типа местоположения (факторы перечислены в порядке ослабления их влияния) должны служить существенным препятствием для взаимной фитоценотической 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. Выявляя, например, пространственные связи растительности с климатом в пределах ландшафтов одного и того же рода или близких родов и сопоставляя их с общими внутризональными связями, можно, по-видимому, решить две последовательные задачи: 1) как велика ландшафтообразующая роль родового признака в формировании ландшафтной структуры зонального геопространства и его границ; 2) насколько преодолим тот или иной «родовой барьер» при ожидаемых шагах климатического тренда. Далее можно выделить ландшафты-аналоги (по растительному покрову), принадлежащие различным родам и получить меры их пространственных связей с той или иной климатической характеристикой. Если связи окажутся слабыми, то это должно указывать на весьма эффективную барьерную роль литогенных факторов. При наличии же достаточно сильных связей правомерно говорить, наоборот, а высокой чувствительности природных границ к климатическим колебаниям.

3.5. Система природной зональности Русской равнины в свете теории симметрии

3.5.1. Симметричная интерпретация географической зональности. Симметричный подход к изучению природных процессов и явлений есть подход геометрический (Вернадский, 1965; Шубников, Копчик, 1972 и др.). В геометрии природных тел отражаются наиболее устойчивые процессы взаимодействия этих тел с окружающей средой, что обеспечивает качественную определенность и функциональное единство самих рассматриваемых объектов. Согласно В.И. Вернадскому, симметрия есть геометрическое проявление природных состояний земного пространства. «Симметрия является субстратом, охватывающим свойства всех физических полей» (1965, с. 175). Геометрический анализ свойств гео(эко-)систем различных иерархических уровней позволяет выявить наиболее общие закономерности и процессы их территориаль-

ной организации и установить принципиальные различия в самих механизмах этой организации.

Не случайно в естественных науках динамическая симметрия связывается с геометрическим понятием инвариантности и имеет прямое отношение к природным взаимодействиям: «<...> динамические принципы инвариантности основаны на существовании определенных типов взаимодействий», причем, «каждый тип взаимодействия обладает некоторой группой динамической симметрии» (Вигнер, 1971, с. 24).

На проблему инвариантности географических явлений и их соответствующего симметричного анализа впервые обратил серьезное внимание В.Б. Сочава. Он подчеркнул необходимость и актуальность «разработки специального аппарата количественного изучения переменных состояний и инвариантных структур географической среды, а наряду с этим научных объяснений философских понятий, сопряженных с симметрией» (1974, с. 475). В центре внимания симметричного анализа гео(эко-)систем должны быть, очевидно, бинарные отношения «симметрия – пространственная упорядоченность». Однако предшественником В.Б. Сочавы в данном вопросе следует признать, по-видимому, П.Н. Савицкого (1927), который за много десятилетий до этого изложил достаточно стройную систему природной (почвенно-геоботанической) симметрии. Рассматривая «периодическую систему зон <...> как систему симметрическую», П.Н. Савицкий считал «осью симметрии, в <...> наиболее общей форме этой системы, <...> границу между степной и лесной зоной» (с. 139–140), что как раз соответствует ландшафтной сердцевине бореального экотона, в нашем понимании.

Как видим, понятие о периодической системе географической зональности П.Н. Савицкий ввел задолго до А.А. Григорьева и М.И. Будыко (1956), хотя и рассматривал только умеренный и субарктический пояса Евразии. Несомненно, именно Савицкому принадлежит открытие этого одного из фундаментальных законов глобальной экологии.

Система природных зон любой равнинной территории формируется под воздействием двух исходных климатических факторов: широтной зональности и долготной секторности. В основе первого фактора лежит радиационно-термический режим территории, второй фактор создается планетарными и региональными механизмами атмосферной циркуляции. При этом секторное преломление зонального

фона на протяжении материка, как правило, бывает настолько сильным, что «в пределах зоны мы имеем не тождество ландшафтов, а лишь сходство некоторых свойств их» (Полинов, 1956, с. 50).

Как известно (Алисов, 1956, Исаченко, 1985), Русская равнина выделяется в качестве субокеанического сектора – одного из переходных секторов Евразии, разделяющих ее на два основных климатических сектора: океанический (западноевропейский) и континентальный (восточносибирский). В этом секторе прослеживается характерное сужение и последующее выклинивание двух осевых природных зон (подзон) бореального экотона: смешанных и широколиственных лесов, – что указывает на весьма быстрое нарастание здесь с запада на восток континентальности климата. Это нарастание оказывается настолько сильным, что от бассейнов Западной Двины и Днепра до Предуралья меняется сама структура географической зональности. Как показал еще в начале 40-х годов А.А. Григорьев (1970), в западной и, в меньшей степени, осевой меридиональных полосах Русской равнины спектр зональности формируется в условиях сильного преломления солярно-радиационных факторов, определяющих широтную зональность, факторами циркуляционными, существенно «размывающими» эту зональность путем придания всему спектру зон климата, близкого к морскому.

Восточная же меридиональная полоса Русской равнины, начиная примерно с 48° в.д., испытывает сравнительно слабое влияние Атлантического океана, поэтому здесь мы имеем «наиболее полное выявление характернейших черт физико-географического процесса умеренного пояса и Субарктики в его типичнейших зональных видоизменениях» (Григорьев, 1970, с. 241). Подтверждение этому служит весьма тесная корреляция в этой меридиональной полосе границ геоботанических зон с энергетическим рубежами, чего не наблюдается с такой отчетливостью в западной полосе равнины.

Таким образом, А.А. Григорьев вскрыл причинные механизмы суперпозиции широтной зональности и долготной секторности на Русской равнине, суперпозиции, лежащей в основе достаточно сложной системы географической зональности умеренного и субарктического поясов этого переходного в климатическом отношении сектора Евразийского материка.

Вместе с тем, судя по очертаниям зональных границ, рост континентальности с запада

на восток весьма неодинаков в различных природных зонах Русской равнины. Этот контраст выявляется особенно отчетливо, если схематизировать линии зональных границ, сгладив их субрегиональные отклонения, вызванные местными литогенными факторами в соответствии, например, с известными закономерностями прямой и обратной вертикальной дифференциации равнинных ландшафтов, по (Мильков, 1981). Тогда становится хорошо видно, что в бореальном поясе, начиная со средней тайги, зональные границы идут практически субширотно, с меридиональным вектором основных биоклиматических изменений, между тем как зоны и подзоны суббореального пояса оконтурены овально-концентрическими границами (рис. 3.7), с диагональным радиусом-вектором, направленным с юго-востока (от регионального ядра континентальности, расположенного в центральном Казахстане и Средней Азии) на северо-запад. Вектор a характеризует направление и величину преобладающих градиентов ландшафтно-геофизических полей, вызывающих их зональную дифференциацию.

Разложение вектора a по двум координатным осям (на векторы OX_1 и OY_1 указывает на соразмерное соотношение в южной полосе Русской равнины факторов широтной зональности и долготной секторности ($OX_1 = OY_1, \angle aOX = \angle aOY = 45^\circ$). Эта черта свойственна основному спектру природных зон и подзон суббореального пояса: пустынь, полупустынь, южной и средней степи. Более того, на южной окраине Русской равнины (в Предкавказье) максимальные биоклиматические градиенты направлены субширотно (вектор b на рис. 3.7). Однако уже в подзоне северной степи и особенно в лесостепной зоне радиус-вектор принимает субмеридиональное направление (вектор c), что свидетельствует о постепенном усилении широтно-зонального фактора, который становится подавляющим на границе зон смешанных лесов и тайги.

С другой стороны, на субарктическом экотоне Русской равнины, т.е. при переходе от северной тайги к лесотундре и тундре, зональные границы вновь принимают концентрические очертания, с вектором максимальных градиентов ландшафтно-геофизических полей, направленным с северо-востока на юго-запад. Правда, эти концентры имеют гораздо больший радиус кривизны, чем в первом случае ($Y_1 \ll X_1 0$): фактор долготной секторности здесь выражен значительно слабее. Выклинивание зоны лесотундры происходит в направлении с востока на запад, т.е.

обратном тому, которое свойственно лесостепной зоне на бореальном экотоне. Как видим, веерообразное расхождение зональных границ на южном и северном рубежах бореального пояса подчинено зеркальной симметрии, с плоскостью зеркального отражения, приуроченной к границе средней и южной тайги. Эту границу, по-видимому, и следует считать ядром типичности бореального пояса для Русской равнины в целом.

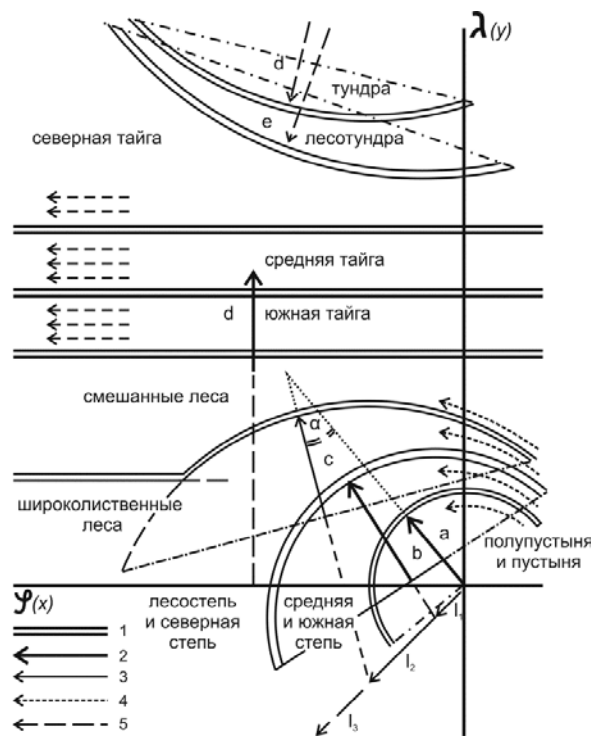


Рис. 3.7. Схема-модель, демонстрирующая операции переноса (трансляции) и всестороннего растяжения, которые описывают процессы формирования природных зон и зональных границ на Русской равнине:

1 – схематизированные зональные границы; 2 – радиусы-векторы, характеризующие суммарные градиенты ландшафтно-геофизических полей на бореальном (векторы a , b , c) и субарктическом (d , e) экотонах; 3 – векторы трансляции центра симметрии (l_1 , l_2 , l_3), формирующей зональные границы как сегменты овално-кольцевых структур; 4 – направление вращения радиуса-вектора, вызванное деформацией широтной зональности фактором долготно-климатической секторности; 5 – вектор (семиконтинуум) внутрizonальной анизотропности геопространств бореального пояса, обусловленной долготно-секторным фактором

Таким образом, оба основных поясных экотона Русской равнины (бореальный и субарктический) формируются как переходные области нарушений широтной зональности, свойственной ядру типичности бореального пояса, фактором долготной секторности, ко-

торый вызывает сверхзональную меридиональную дифференциацию ландшафтно-геофизических полей (см. рис. 3.7). В средне- и южнотаежных районах эта дифференциацию не выходит за пределы одной и той же подзоны.

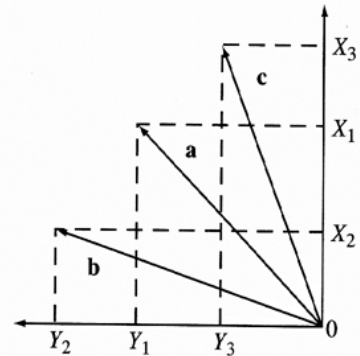


Рис. 3.8. Три вектора ландшафтно-геофизических градиентов, характеризующие различные соотношения широтной зональности (проекция векторов на ось X) и долготной секторности (проекция на ось Y)

Вектор a указывает на соразмерность этого соотношения ($X_1 = Y_1$), вектор b – на явное преобладание меридиональной секторности ($X_1 \gg Y_1$), вектор c – на господство фактора широтной зональности ($X_1 \ll Y_1$)

Примем далее следующие обозначения элементов симметрии: L_n – ось симметрии n -го порядка; nP – n плоскостей симметрии, проходящих через эту ось; Π – плоскость симметрии, перпендикулярная оси; C – центр симметрии (инверсии); в скобках приводятся международные символы симметрии, где m – плоскость симметрии.

Овално-концентрические границы суббореальных и субарктических зональных геопространств имеют симметрию $L_2P(2m)$, входящую, согласно (Шафрановский, Плотников, 1975), в группу моноклинической динамической симметрии, которая характеризует статистически гетерогенное поле «давления» широтно-зонального и долготно-секторного факторов. Очертания этих границ весьма близки к так называемым гомологичным фигурам (Шафрановский, 1968), с характерными для них элементами криволинейной симметрии, у которых расстояния между соответствующими точками не равны (в отличие от классической прямолинейной симметрии). В каждой зоне (подзоне) здесь можно провести криволинейную плоскость симметрии (перпендикулярную плоскости рисунка 3.7). Кри-

волинейное сужение зональных геопро-
странств сначала в северо-восточном, а затем
в восточном направлениях указывает на яв-
ный дефицит их площадного развития, вы-
званный резким усилением меридиональных
климатических градиентов в северной полосе
суббореального пояса при переходе от субо-
кеанического (восточноевропейского) сектора
Евразии к субконтинентальному (западноси-
бирскому).

В отличие от внешних зональных границ,
внутренние границы бореального пояса обу-
словлены планаксиальной симметрией
геопро- $\infty L_2 \infty P (\infty / m)$, отвечающей
их линейному «напластованию» на земной
поверхности. Характеристической симметри-
ей этих границ служит симметрия неподвиж-
ного эллипсоида вращения $L_\infty L_2 \infty PPS (\infty /$
 $mm)$, которой подчинена в целом климатиче-
ская и почвенная зональность Земного Шара
(Шафрановский, 1962; Шафрановский, Плот-
ников, 1975).

**3.5.2. Симметричный анализ формиро-
вания зональных геопро-
странств.** Рассмотрим далее закономерности самой смены зо-
нальных границ на бореальном экотоне с по-
зиций динамической симметрии климатиче-
ских вещественно-энергетических полей.
Представленная на рис. 3.7. графическая мо-
дель природной зональности Русской равни-
ны позволяет охарактеризовать наиболее об-
щие причинные механизмы формирования
системы зональных геопро-
странств субборе-
ального и бореального поясов в переходном
секторе материка с помощью представлений и
простейших операций динамической симмет-
рии. Согласно принципу П. Кюри, любой дис-
кретный объект обладает геометрической
симметрией, вложенной в группу симметрии,
которая свойственна движениям вещества и
энергии, заполняющим окружающее про-
странство (Вейль, 1968; Шубников, Копцик,
1972, Шубников, 1975; и др.). В соответствии
с «законом сохранения элементов симмет-
рии», в его расширенном понимании (Шафра-
новский, 1971, Шубников, Копцик, 1972),
криволинейная симметрия, гомология и сим-
метрия подобия являются переходными от
классической ортогональной симметрии к
неклассическим формам – от более высоко-
симметричных, и потому менее сложных,
образований к менее симметричным, более
сложным объектам. При этом, «элементы
динамической симметрии при формировании
<...> искаженных форм <...> отнюдь не исче-
зают бесследно, а сохраняются, превращаясь в

элементы криволинейной (или ломаной) сим-
метрии» (Шафрановский, 1971, с. 9).

Как видно из схемы-модели (см. рис. 3.7), в
спектре природных зон Русской равнины пу-
стыня–лесостепь мы имеем дело как раз с
гомологичной симметрией подобия (лога-
рифмической, или равноугольной, спирали).
Согласно А.В. Шубникову (1975), симметрия
подобия – это такие условия симметрии, при
которых равными считаются объекты не
только совместимо- или отраженно-равные,
но и все подобные им фигуры одной и той же
формы, но разного размера. Такая симметрия
обусловлена соединением двух операций пре-
образования зональных геопро-
странств: все-
стороннего растяжения радиуса-вектора каж-
дого из них по обоим координатным осям (по
широте и долготе) и одновременного перене-
са (трансляции) центра вращения вектора, т.е.
оси симметрии, в юго-западном направлении.
Вектор этого переноса ($I_1 \rightarrow I_2 \rightarrow I_3$) для
простоты будем считать диагональным (\angle
 $OX = \angle OY = 45^\circ$). В результате вектор испы-
тывает постепенный поворот вправо, указы-
вая тем самым на усиление широтно-
зонального фактора и на ослабление фактора
долготно-секторного. Согласно Г.Д. Рихтеру
(1964), это означает, что изменение количе-
ства осадков становится все более адекватным
изменению количества тепла (изогиеты и изо-
термы принимают взаимно параллельное
направление – субширотное). Угол поворота
радиуса-вектора от северной границы полупу-
стыни до южной границы северной степи (\angle
 a , см. рис. 3.7) составляет около 30° .

Всестороннее растяжение фигуры описы-
вается матрицей A преобразований (Бакель-
ман, 1976):

$$A = \begin{vmatrix} l & 0 \\ 0 & l \end{vmatrix},$$

где $l = l_1 + l_2$.

В нашем случае $l = 3$, т.е. радиус-вектор
увеличивается в три раза. Операция поворота
вектора на $\angle a$ имеет матрицу B (Сонин,
1976):

$$B = \begin{vmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{vmatrix},$$

где $\angle a = 30^\circ$.

Комбинацию обеих преобразований можно
представить как произведение матриц A и B .
Нас интересуют, прежде всего, соотношения
площадей рассматриваемых зональных
геопро-
странств, что можно легко выразить
определителями (детерминантами) указанных

матриц и их произведения: $D(A)$, $D(B)$, $D(AB)$. Напомним, что определитель матрицы второго порядка для плоской фигуры равен коэффициенту изменения площади этой фигуры при ее линейном преобразовании (Бакельман, 1976); $D(B)$ означает собственное подобие фигуры, подверженной операции трансляции (Вейль, 1968).

Используя правило вычисления определителей (Боревич, 1970), получаем: $D(A) = 9$; $D(B) = 1$; $D(AB) = 9$. Иными словами, в направлении от зоны пустынь к северной границе лесостепи происходит почти 10-кратное увеличение площадей зональных геопространств при сохранении симметрии подобия в очертаниях их границ. В этом сказывается влияние изменений соотношения широтно-зонального и долготно-секторного факторов в пользу первого.

Как видно из векторной схемы ландшафтно-геофизических градиентов (рис. 3.8), в зоне смешанных лесов наступает фактический предел зонально-дифференцирующему воздействию меридиональной секторности. На северной границе этой зоны (а в крайних западных районах уже на южной границе) радиус-вектор принимает субмеридиональное направление, а центр симметрии концентрируется в бесконечность. Субширотное простираание зональных границ в ядре типичности бореального пояса означает один из предельных случаев логарифмической спирали, когда в комбинации «перенос + растяжение» первая компонента становится тождественным преобразованием. Подобная структура широтной зональности складывается в условиях умеренной зимней адвекции тепла и влаги с океана на материк, при небольших отклонениях региональных температур от среднеширотных (Рихтер, 1960).

Долготная секторность проявляется и здесь, однако в весьма ослабленном виде, поэтому для ее оценок требуется более строгий симметричный подход. С этой целью можно использовать введенное А.В. Шубниковым понятие о плоских односторонних семиконтинуумах (Шубников, Копчик, 1972). В разряд семиконтинуумов объединяются бесконечные фигуры, построенные в одних направлениях (в нашем случае по меридиану) дискретно, а в других (по параллелям) – непрерывно. Вдольширотная непрерывность зонального геопространства обусловлена слабо выраженными градиентами гидротермических полей. Симметрию анизотропных геопространств зон тайги и, до известной степени, смешанных лесов как семиконтинуумов

можно обозначить формулой $P(m)$; такие объекты входят в группу симметрии типа L_n $nP(nm)$.

Итак, налицо принципиальные различия в исходных механизмах формирования геопространств бореального пояса Русской равнины, с одной стороны, и его северного и южного экотонов, – с другой. Субширотное простираание территорий средней и южной тайги, а также приграничных с ними районов северной тайги и смешанных лесов отражает в наиболее «чистом» виде глобальную систему природной зональности, указывая тем самым на то, что в пределах субокеанического сектора материка только бореальному поясу свойственна однонаправленность векторов изменений составляющих радиационного баланса и преобладающих движений воздушных масс (климатообразующий изоморфизм). Оба вектора имеют субмеридиональное направление. Субширотный вектор континентальности климата вносит определенные поправки в биоклиматические режимы западных и восточных районов бореального пояса, однако, как уже говорилось, эти поправки не вызывают сколько-нибудь заметного смещения зональных границ на север или на юг.

Субширотное простираание зональных границ в ядре типичности бореального пояса указывает на преобладание инсоляционных системоформирующих потоков – вертикального лучистого теплообмена земной поверхности с атмосферой в сочетании с вертикальным же влагооборотом (осадки – испарение). Из циркуляционных факторов существенное значение имеют лишь меридиональные формы адвекции, осуществляющие междуширотный тепло- и влагообмен и сдвигающие зональные границы преимущественно на север или на юг, но не меняющие их общего субширотного простираания. На всем протяжении каждой природной зоны или подзоны меридиональная адвекция подавляется местной трансформацией приходящих с севера или с юга воздушных масс, что указывает на доминирующее зоноформирующее значение именно вертикальных инсоляционных потоков в системе земная поверхность – атмосфера.

Поясные экотоны формируются в более сложных динамических условиях, чем ядро типичности самого биоклиматического пояса. Меридионально-концентрическое простираание зональных границ на бореальном и субарктическом экотонах (см. рис. 3.7) свидетельствует о весьма существенном, помимо инсоляционного фактора, значении вдольширотной адвекции тепла и влаги – западной и

восточной форм атмосферной циркуляции. Действие этих форм не компенсируется местной трансформацией воздушных масс, что и создает высокие меридиональные гидротермические градиенты, с соответствующим разворотом зональных границ. На южном крыле бореального экотона: в широколиственных лесах, в типичной и южной степи и в северной степи, – циркуляционный зоноформирующий фактор оказывается соразмерным с фактором инсоляционным, а на территории самого суббореального пояса (в пределах Русской равнины) он становится преобладающим. На субарктическом экотоне действие обоих факторов так же примерно одинаково.

С точки зрения динамической симметрии, структура геопространств бореального и, в меньшей степени, субарктического экотонов на Русской равнине обусловлена сильной деформацией поля широтной зональности долготно-секторным фактором, имеющим сугубо региональный характер. Высокая анизотропность этих семиконтинуумов обусловлена суперпозицией двух вещественно-энергетических потоков: инсоляционного (вертикального) и циркуляционного (горизонтального). Геометрически эта анизотропность создается вращением радиуса-вектора ландшафтно-геофизических градиентов (см. рис. 3.8), что придает геопространствам очевидные свойства энантиоморфности – правого и левого, по (Шубников, 1975). В этом случае никаких ортогональных плоскостей симметрии нет и для каждой точки пространства можно говорить лишь о наличии симметрии вращающегося конуса – типа $L_n(\infty)$, т.е. одной оси симметрии бесконечного порядка при поворотах радиуса-вектора на бесконечно малую величину ($n \rightarrow \infty$). В масштабе же всей природной зоны (подзоны) на экотоне имеем полную анизотропию – симметрию типа 1.

Таким образом, в субокеаническом секторе материка при переходе от ядра типичности бореального пояса к его южной или северной периферии не наблюдается последовательное ослабление ведущей пространственно дифференцирующей роли инсоляционного макроклиматического фактора и замена его фактором циркуляционным.

Следует отметить еще три немаловажных вывода. Во-первых, необходимо еще раз обратить внимание на характерные очертания зональных границ на бореальном и, в меньшей степени, субарктическом экотонах в виде логарифмической спирали. Последняя же является, как известно (Вейль, 1968; Бейли, 1970), овеществленным отображением роста,

поступательного развития систем как живой, так и неживой природы. В зональной структуре обоих экотонов нельзя не видеть проявление единого фактора пространства-времени, который, согласно В.И. Вернадскому (1965), непосредственно связан с симметрией земных тел и отображает эволюционный характер природных процессов. Исходя из этого, правомерно полагать, что системы современных зональных границ бореального и субарктического экотонов возникли как результат эволюционного, усложняющегося (экспоненциального) биоклиматического процесса суперпозиции широтно-зональных и долготно-секторных факторов формирования геопространств на южной и северной окраинах бореального пояса. Следовательно, современная природная зональность Русской равнины является достаточно молодым образованием, сформировавшемся, по-видимому в верхнем голоцене (см. Коломыц, 2003) Можно также утверждать, что процесс формирования зональной структуры этой физико-географической страны еще не закончился и находится в стадии поступательного развития. Более детальный анализ по другим материалам (Развитие ландшафтов..., 1993; Коломыц и др., 1995) показывает, что современная зональная структура бореального экотона Русской равнины приняла свой облик, по-видимому, лишь в последние 2,5-3 тыс. лет – в субатлантическое время, на заключительном этапе термогигротической стадии голоцена.

Во-вторых, очертания зональных границ имеют более высокую динамическую симметрию по сравнению с соседними зональными геопространствами. Это свойственно как всему бореальному поясу, так и его экотонам – северному и южному. Можно полагать, что процессы региональной диссимметризации зональных геопространств в их «ядрах типичности» более разнообразны и/или выражены гораздо сильнее, чем на периферии. Соответственно в зональных ядрах типичности должна быть ниже и геосинэргическая гомогенность, по терминологии (Хаазе, 1980), элементов ландшафтной структуры. Следовательно, можно говорить о более гетерогенном и менее упорядоченном устройстве территориального ядра гео(эко-)системы по сравнению с ее периферией. Как уже было показано выше, территориальная взаимосвязанность и упорядоченность видов ландшафтов, а также роль в этих явлениях латеральных вещественно-энергетических потоков на зональных границах существенно выше, нежели в ядрах типичности самих природных зон. При пере-

ходе от периферии к ядру зонального геопро-странства происходит литогенно обусловлен-ная диссимметризация его структурных эле-ментов, при снижении системообразующей роли латеральных геопотоков.

В-третьих, зональные границы на бореаль-ном экотоне (между зоной подтайги, подзо-нами широколиственных лесов и типичной лесостепи) формируются в условиях более высокой диссимметрии, т.е. более сложных вещественно-энергетических полей, нежели внутри самого бореального пояса (на грани-цах подзон северной, средней и южной тай-ги). Это так же соответствует сущности пред-ставлений об экотонах (Одум, 1975; Сочава, 1979) как о зонах повышенного напряжения природных взаимодействий.

4. Топология эколого-географического пространства

4.1. Эколого-географические аспекты изу-чения малых природных комплексов

4.1.1. Исходные методологические поло-жения. Одно из основных направлений ком-плексной физической географии и ланд-шафтной экологии состоит в изучении про-странственной неоднородности свойств при-родно-территориальных комплексов (ПТК) и биогеосистем различного таксономического ранга, а также в установлении причинных механизмов формирования этой неоднородности. Истоки этой фундаментальной хоро-логической концепции лежат в классических трудах В.В. Докучаева (1949), Г.Н. Высоцкого (1909), В.П. Семенова-Тян-Шанского (1927), А. Геттнера (1930), Л.Г. Раменского (1971), В.Н. Сукачева (1972) и др. В последние деся-тилетия объем понятия о пространственной неоднородности гео(эко-)систем существенно расширился. Сейчас уже речь идет не столько о разномасштабной мозаичности географиче-ской оболочки (биосферы) и составляющих ее частей, сколько об устойчивой во времени упорядоченности территориального размеще-ния определенных природно-территориальных единств и их структурно-функциональных признаков, отображающих закономерности поведения вещества и энер-гии в пределах каждого такого единства. С позиций системного подхода это обычно вы-ражается понятием организации гео(эко-)систем (Блауберг и др., 1970; Солнцев, 1981; Преображенский, 1986), которая неразрывно связана с пространственными (хорологиче-скими) и временными (хронологическими) взаимоотношениями и взаимодействиями

различных элементов структуры природных комплексов. При этом должны сохраняться две идеи географии – пространственность и локальность. Внутренняя упорядоченность гео(эко-)систем и взаимосвязанное функцио-нирование их отдельных компонентов и мор-фологических частей – основные признаки ландшафтной организации (Сочава, 1978).

Гео(эко-)систему топологической размер-ности можно представить как сообщество биогеоценозов данного иерархического уров-ня, с приданием такому объединению опреде-ленных функциональных свойств, связанных со структурой вещественно-энергетических потоков. Такой подход позволяет выявлять и прогнозировать закономерности поведения гео(эко-)системы при сохранении статистиче-ских методов анализа.

В становление и развитие геотопологии как современного этапа ландшафтоведения существенный вклад внесли науки биологиче-ского профиля, в том числе и лесоведение. Термин «экотоп», предложенный Г.Н. Высоцким (1909) и развитый Л.Г. Раменским (1971), используется в качестве биологической интерпретации понятия «местоположение, занятое организмами». Понятие «тип леса» в формулировке Б.П. Колесникова (1956) отличается широким географическим содержанием и включает не только собственно фитоценотический (геоботанический) аспект, но и экологиче-ский, который выражается в подробной ха-рактеристике типов лесорастительных усло-вий, т.е. условий местопроизрастания участ-ков леса, объединяемых в одном типе. Тип лесорастительных условий определяется как абстрагированная совокупность участков земной поверхности, дающих одинаковый лесорастительный эффект – производительность леса (Сукачев, 1972) и обладающих сходными экологическими режимами, прежде всего гидротермическим и геохимическим. В тип лесорастительных условий логично включать не только некото-рую категорию локального географического пространства, но и динамику взаимодей-ствий средообразующих факторов во време-ни – в суточных, сезонных, годовых и мно-голетних режимах и циклах.

Тип лесорастительных условий в ланд-шафтной интерпретации может рассмат-риваться в качестве одного из низших ПТК топологического порядка – ландшафтной фации (биогеоценоза) или группы близких друг к другу фаций (Рысин, 1980). Это соот-ветствие обусловлено тем, что биогеоценоз

как элементарная ячейка биогеохимической работы биосферы (Тимофеев-Ресовский, 1970) представляет собой «первичный аппарат энергетического и материального обмена» (Сочава, 1974, с. 5) и, следовательно, наиболее дробное проявление системной природно-территориальной организации. Ландшафтная фация, занимающая элементарный гомогенный пространственно-временной ареал – тип местоположения (МП), или физиотоп, по (Нэф, 1968), является пределом географического деления территории. В настоящем исследовании мы будем оперировать группами фаций. Каждой фациальной группе, представляющей собой некоторое типологическое обобщение родственных типов местоположений (выделов фаций) отвечает не только коренной тип фитоценоза, находящийся в нетронutom первобытном состоянии, но и определенный набор производных от него типов, характеризующих этапы спонтанных или антропогенных смен растительных сообществ. Группа ландшафтных фаций (биогеоценозов) – это совокупность элементарных геосистем, находящихся в пределах генетически единой поверхности и близких друг к другу по своей вертикальной структуре, режимным параметрам, динамическим признакам прошлого и тенденциям будущего развития (Сочава, 1962; Михеев, 1974). Необходимо выделять такие группы, которые в наибольшей мере характеризовали бы локальные контрасты типов местоположений, связанные с морфогенетическими, литологическими, экспозиционными, гидроэдафическими и другими внутриландшафтными закономерностями. Контрасты могут быть выявлены на сопряженных рядах фаций и их групп в *системе локальных ландшафтных сопряжений*, т.е. на *катене*. При этом, «учет катенарной организации ландшафта и степени антропогенной трансформации экосистем дают не только иные параметры суммарных характеристик продуктивности природных экосистем, но и иные выводы о закономерностях ее связей с рельефом, климатом и историческими факторами» (Тишков, 2005, с. 52).

Каждый сопряженный ряд фаций при переходе от одного звена катены к другому в связи с вариациями удельных весов различных экологических факторов локального порядка характеризуется закономерно направленными изменениями природных признаков. *Такой ряд называется факторальным, или факторально-динамическим*. Все звенья его обозначаются по ведущему

для каждого из них экологическому фактору. Крайние звенья ряда отражают обычно гипертрофированное воздействие одного какого-либо фактора. Формируются элементарные ПТК редуцированного развития, между тем как гео(эко-)системы средних звеньев ряда имеют более оптимальные для данного ландшафта структурно-динамические признаки. Изучение факторально-динамических рядов фаций помогает выявить причины, порождающие существование в пределах данного ландшафта различных условий местообитания.

4.1.2. Принципы факторально-динамического анализа локальных гео(эко-)систем. Факторально-динамические модели гео(эко-)систем отображают только те особенности их структуры и функционирования, которые важны для решения конкретной ландшафтно-экологической задачи. Факторально-динамический ряд ландшафтных фаций – определенный способ упорядоченности их отдельных свойств в пространственных и/или временных координатах. Для построения такого ряда необходимо пользоваться системой отсчета от некоторого состояния типов местоположений, принятого за нулевое. Начать систему отсчета любых структурных и режимных параметров элементарных геосистем целесообразно с признаков такой группы фаций, которая в максимальной степени отвечает зонально-региональной норме данной территории и, таким образом, является внутриландшафтным ядром ее физико-географического фона, согласно (Крауклис, 1969). С этой целью еще сто лет назад Г.Н. Высоцким (1906, 1909) было введено понятие «плакорного типа местоположения» (см. выше). Согласно его определению, плакоры формируются на умеренно дренируемых полого-наклонных водоразделах, «находясь в условиях отсутствия смыывания или намывания почвенных частиц <...> и в то же время при более или менее отдаленном уровне грунтовых вод, близость которого в других экспозициях вносит определенного характера отклонения от типичных плакорных образований» (1909, с. 115). И еще: «Зональность <...> выступает наиболее ярко, если выдвинуть типы сообществ и почв, образовавшихся на определенного состава грунтах (например, на суглинках) и в определенных условиях экспозиции по отношению к тем или иным частям рельефа, преимущественно же на возвышенно-равнинных местоположениях» (там же, с. 113).

На таких «возвышенно-равнинных экспозициях», или «плакорах-ровнях» (Высоцкий, 1960), развиваются «нормальные» типы почв и растительности, которые еще Н.М. Сибирцев относил к зональным типам. Считается поэтому, что плакорные природные комплексы отображают зонально-региональную биоклиматическую «норму» данной территории. При этом Г.Н. Высоцкий считал плакоры полигенетическими образованиями, возникающими под преломляющим воздействием почвенно-эдафических факторов в одних и тех же климатических условиях. На плакорах формируются *коренные ландшафтные фации (биогеоценозы)*, которые представляют собой некоторое эквифинальное динамическое состояние элементарных геосистем, отвечающее «гармоничному (оптимальному) сочетанию их компонентов» (Сочава, 1978, с. 294), т.е. плакорным условиям. В 30-х годах XX в. И.П. Герасимов выразил эту закономерность в емком афоризме – «зональность фациальная» (цит. по: Сочава, 1978, с. 183).

С почвенно-геохимической точки зрения, плакор есть элювиальный, или автономный, «элементарный ландшафт» (Полынов, 1956; Глазовская, 1964; Перельман, 1975). Он характеризуется «независимостью процессов почвообразования от грунтовых вод, отсутствием притока материала путем жидкого или твердого бокового стока, наличием расхода материала путем стока и просачивания, составом растительности, приспособленной к борьбе с просачиванием и выносом минеральных элементов, формированием в профиле почв иллювиальных горизонтов, а в течение длительных геологических периодов – остаточных форм древней коры выветривания» (Полынов, 1956, с. 498). Все эти почвенно-гидрологические и биотические особенности плакора обеспечивают ему роль зонального представителя в данном «сообществе» природно-территориальных комплексов.

Упомянутые Высоцким различные «определенного характера отклонения от типичных плакорных образований» создаются местными геоморфологическими и почвенно-эдафическими факторами, которые преломляют данный климатический фон и создают соответствующие факторально-динамические ряды локальных гео(эко-)систем (Крауклис, 1974; Коломыц, 1977). Эти ряды состоят из множества так называемых *катаклинальных*, по терминологии самого Высоцкого, или *экстразональных* (Спрыгин, 1986), *природных комплексов*, вызывающих «размывание» зональных эколого-географических границ

(Мильков, 1986), т.е. создающих субрегиональную экотонизацию территории. Такая экотонизация нередко оказывается столь масштабной, что выходит на региональный уровень. Плакорные и экстразональные геокомплексы создают рассмотренную выше систему ландшафтных сопряжений: от элювиального типа местоположения до супераккумулятивного и элювиально-аккумулятивного.

Г.Н. Высоцкий использовал понятие плакора только по отношению к равнинным территориям. Применительно к горным районам это понятие употребляется не всегда, хотя и здесь в каждом высотном поясе или ландшафтном ярусе присутствуют элементарные ПТК с признаками, отвечающими высотнопоясному или ярусному фону. В горнолесных районах плакорные местообитания формируются при сочетании свойственных горным типам леса следующих локальных условий (Колесников, 1956): приуроченности к горным склонам или вершинам; близости коренных пород или их элюво-делювия к дневной поверхности; залегании грунтовых вод вне досягаемости корневой системой растений; формировании почвы при постоянной денудации и выносе продуктов выветривания.

Топологические контрасты природных условий создаются, как уже говорилось, различного рода локальными факторами, преломляющими данный зонально-региональный физико-географический фон. Среди них ведущее значение имеют следующие два динамических фактора (Колесников, 1956): 1) литоморфизация – обновление минерального субстрата, связанное главным образом с выносом из почвы или накоплением в ней пылевато-глинистых частиц; 2) гидроморфизация – усиление или ослабление дренажа, обуславливающие степень концентрации склонового стока. Следовательно, внутриландшафтная дифференциация гео(эко-)систем тесно связана со свойствами гидроэдафотопы – водно-минерального субстрата, образующего нижний горизонт элементарного ПТК. Поскольку в элементарном природном комплексе преобладают процессы вертикального вещественно-энергетического обмена между геокомпонентами, то водно-минеральный субстрат определяет черты многоэтажной стратификации живого и мертвого вещества фации, в том числе и ярусность лесного фитоценоза (Михеев, 1974).

В свете изложенного правомерно говорить о *гидротермической структуре ландшафта* (Коломыц, 1977) как об упорядоченности тер-

риториального размещения в его пределах различных характеристик тепло- и влагообмена между природными компонентами. Через параметры вертикальных и горизонтальных потоков тепла и влаги она дает представление о важнейших чертах природно-территориальной организации. Структура гидротермических полей служит также основой для эмпирического имитационного моделирования различных климатических трендов в целях получения наиболее реальных прогнозных сценариев функциональных состояний гео(эко-)систем при реализации того или иного тренда.

Тип условий местообитания определяется в конечном итоге характером и интенсивностью биологического поглощения веществ, получаемых преимущественно из подстилающего водно-минерального субстрата, и радиационной энергии, поступающей к деятельным поверхностям гео(эко-)системы. В этом, очевидно, и состоит ведущая роль эдафических факторов в формировании внутриландшафтной структуры территории, на что неоднократно указывали Г.Н. Высоцкий (1909) и Л.Г. Раменский (1971). Растительность связана с региональными и локальными экологическими факторами, прежде всего, через почвенно-грунтовый субстрат – носитель необходимой для биоты водно-минеральной среды, который служит весьма емким аккумулятором тепла и влаги, поступающих к данному местообитанию. По сравнению с другими природными компонентами материнская порода и почва обладают наиболее высокими значениями тепло- и влагоемкости, и поэтому максимально инертны при суточных и годовых циклах функционирования гео(эко-)системы. В связи с этим свойства почво-грунтов оказываются решающими в создании качественной определенности того или иного локального природного комплекса с соответствующим фитоценозом.

Формы мезо- и микрорельефа вместе с литологией коренных пород создают генетическое начало в многочисленных связях между внутриландшафтными динамическими факторами, поэтому литогенная основа является ведущим фактором формирования не только самого ландшафта, но и его частей – вплоть до фаций. С геоморфологическими границами связаны и динамически устойчивые природные рубежи, при пересечении которых происходит резкая смена фитоценоза и почвенной разности, указывающая на существенные изменения процессов и результатов метаболизма. «В конечном итоге форма рельефа дает

как бы синтетическое выражение сумме большинства факторов среды, характерных местопроизрастаниям изучаемой комплексной группировки растительности» (Колесников, 1956, с. 150). В этом вся сущность экологической многофакторности литогенной основы ландшафтов.

4.1.3. Типология локальных ландшафтных сопряжений. Рассмотрим закономерности формирования парагенетических сопряжений локальных гео(эко-)систем, обусловленные текстурным эффектом литогенного субстрата в каждой паре топологических соседств. Наиболее простой парагенез возникает в обстановке относительно однородного литогенного субстрата. Подразумевается однородность с точки зрения водного баланса территории, с которым связаны поверхностный и подземный сток. Литогенная основа вносит существенные поправки в эти связи через характеристики водопроницаемости почво-грунтов, которые зависят от минералогического и механического состава почвообразующих пород и водоносных горизонтов.

Исходя из этого и следуя систематике (Глазовская, 1964, 1973), можно выделить для условий однородного субстрата два крайних альтернативных вида локальных ландшафтных сопряжений. Первый вид сопряжения – грунтово-водный (с разновидностью водного почвенно-грунтового). Он имеет место в тех случаях, когда на повышенных элементах рельефа и на склонах верхние толщ рыхлых отложений представлены песками или легкими супесями (рис. 4.1 а). Атмосферные осадки глубоко инфильтруются в такие почво-грунты, почти не давая поверхностного и внутрпочвенного стока. Гидрологический режим почвы определяется главным образом близостью ризосферы к капиллярной кайме грунтовых вод, поэтому глубина залегания последних на территории зандровых равнин служит важнейшим экологическим фактором, оказывающим как прямое, так и опосредованное влияние на структуру и функционирование ландшафтов (Коломыц и др., 1993). С подавлением бокового стока резко ослабевают горизонтальные, межкомплексные ландшафтные связи, поэтому сформированные на катене экосистемы оказываются слабо подчиненными друг другу и их территориальные связи осуществляются преимущественно через взаимоотношения каждого из них с грунтовыми водами (сопряжение не прямое, а опосредованное). Согласно терминологии (Викторов, 1986), грунтово-водный вид ландшафтных сопряжений

шафтного сопряжения можно назвать *гидрогенным*.

Второй альтернативный вид ландшафтного сопряжения – водный поверхностно-(внутри)-почвенный, по (Глазовская, 1964). Разновидностями его являются: водная поверхностно-почвенная потускулярная и водная поверхностно-эрозионная. Этот вид сопряжения свойствен территориям с преобладающими плохо водопроницаемыми породами (суглинками, оглиненными песками и супесями, конгломератами, известняками и др.) на всех элементах рельефа (рис. 4.1 б). Инfiltrация атмосферных осадков затруднена, поэтому хорошо развит поверхностный и внутрпочвенный сток, осуществляющий четко выраженные горизонтальные связи и соответствующее соподчинение топоэкоистем на катене. Вместе с водным потоком мигрируют химические вещества (геохимический поток), переносятся твердые, преимущественно илестые частицы (литодинамический поток), по (Флоренсов, 1978). Такой вид прямого ландшафтного сопряжения будем считать, по (Викторов, 1986), *миграционным*.

Следующие виды сопряжений связаны с территориальными контрастами свойств литогенной основы ландшафтов. Смена литолого-механического состава коренных и почвообразующих пород сопровождается, как правило, достаточно резкими изменениями в структуре почвенно-растительного покрова. При этом если это происходит в условиях слабо выраженного равнинного (пологоволнистого) рельефа, где по существу нет ни автономных, ни подчиненных ландшафтов (все они в той или степени автономны), то мы имеем собственно *литогенный* вид ландшафтного сопряжения.

Гораздо сложнее картина при относительно расчленённом рельефе (эрозионно-денадуционном, холмисто-увалистом, бугристо-западинном и т.п.), когда в средних звеньях ландшафтного сопряжения, преимущественно на транзитных местоположениях, происходит резкая смена состава почвообразующих и водоносных пород. На рис. 4.1 в и г представлены два таких типичных случая. В каждом из этих случаев установку вида сопряжения целесообразно проводить по режиму нижних звеньев катены, поскольку именно в них сосредоточен основной результирующий эффект парадинамических взаимодействий.

Если в направлении от водораздела к долине наблюдается смена хорошо водопроницаемых рыхлых отложений плохо водопрони-

цаемыми породами (например, слабо связанных песков суглинками), то это означает, что элювиальные и трансэлювиальные геотопы имеют *грунтово-водный вид* сопряжения, а трансаккумулятивные и аккумулятивные – *поверхностно(внутри)-почвенный вид* (см. рис. 4.1 в). В связи с резким ослаблением вниз по катене инfiltrации и переводом значительной части подземного стока в поверхностный и внутрпочвенный сток нижние звенья катены получают дополнительное эдафическое увлажнение – вплоть до избыточного, сопровождающегося ухудшением аэрации верхних горизонтов почвы, торфонакоплением и развитием глеевых процессов. В противоположном случае, когда сверху вниз по катене наблюдается скачкообразный рост водопроницаемости почво-грунтов, мы имеем лито-гидрогенный вид ландшафтного сопряжения (см. рис. 4.1 г).

Нельзя не отметить также достаточно широкое распространение контактов двух различных подсистем ландшафтного сопряжения на переломных линиях рельефа – водоразделах и водотоках. Речь идет соответственно о *дивергентных* (гребневых) и *конвергентных* (ложбинных) видах сопряжения. Переломные природные рубежи здесь весьма устойчивы, особенно если они проходят по руслам крупных рек, поскольку вектор смещения границы в любую из этих двух сторон всегда противоположен вектору водно-геохимических потоков. Дополнительную устойчивость конвергентным рубежам нередко придают контрасты между лево- и правобережьем в рельефе, литолого-механическом составе почвообразующих пород и в гидрогеологических условиях. В эти случаи конвергентный вид сопряжения являются одновременно литогенными или лито-гидрогенными.

Дивергентные же сопряжения, проходящие по резко выраженным водоразделам, относятся скорее всего к миграционному виду, поэтому их можно выделить в качестве дивергентно-миграционной разновидности. Устойчивость границ в этом ряду зависит главным образом от степени выраженности экспозиционных контрастов по обе стороны водораздела (циркуляционных, соляных, ветровых), поэтому при оценке возможного смещения таких рубежей необходимо учитывать, насколько ожидаемый климатический тренд будет усиливать или, наоборот, ослаблять эти контрасты.

Наконец, надо выделить еще один, последний по счету, но не по значению, вид ландшафтного сопряжения – *климатогенный*. В

этом случае не наблюдается сколько-нибудь существенных изменений в характере рельефа (например в типе местоположения) или в литолого-механическом составе почвообразующих пород. Факторально-динамический ряд топозкосистем выстраивается исключительно по почвенно-фитоценотическим признакам – резкой смене зональных типов почв и растительного покрова, т.е. он носит в «чистом виде» биоклиматический характер почему и назван нами климатогенным. Можно полагать, что в таком ряду возникает некоторое пороговое значение климатических ландшафтообразующих факторов (прежде всего, соотношения тепла и влаги), при которых происходит смена зонального типа (или подзонального подтипа) природного комплекса.

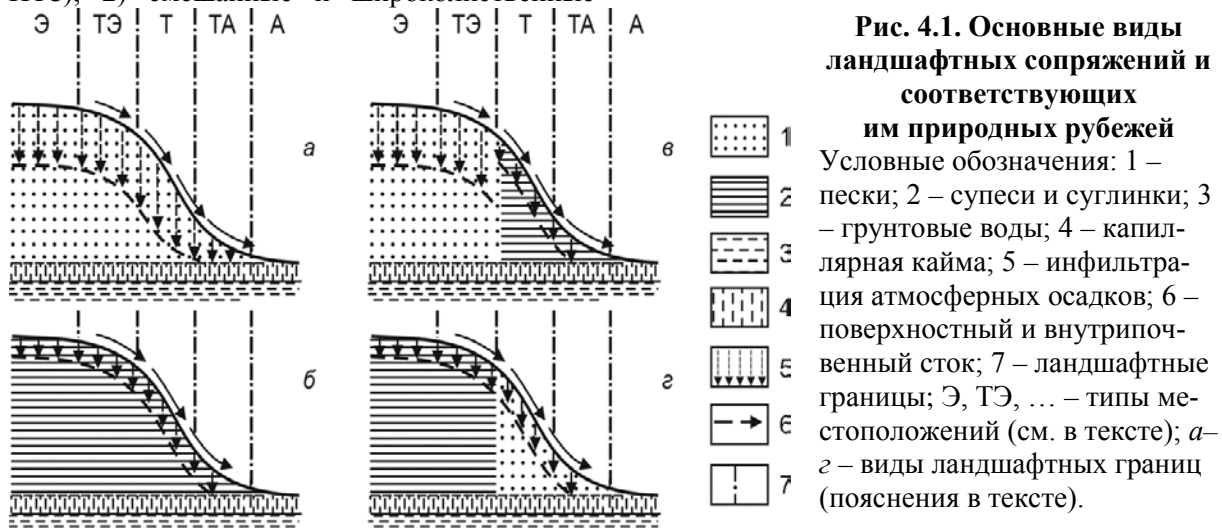
4.2. Пример факторально-динамического анализа лесных экосистем.

Объектом исследования послужили лесные экосистемы основного водосбора Волжского бассейна. Использованы материалы крупномасштабных ландшафтно-экологических съемок, проведенных на экспериментальных полигонах Среднего и Верхнего Поволжья по специально разработанной методике (Коломыц, 2008). Для данного анализа были выбраны три полигона, относящихся к особо охраняемым природным территориям (рис. 4.2): 1) смешанные, хвойные и широколиственные леса низменной эрозионно-моренно-зандровой равнины, у южной границы подтаежной зоны в Южном Верхневолжье (Приокско-Террасный биосферный заповедник – ПТЗ); 2) смешанные и широколиственные

леса возвышенного правобережного Присурья в подзоне типичной лесостепи (территория Чувашского национального природного парка «Чаваш Вармане»); 3) дубравы и остепненные сосняки Жигулевского низкогорного массива на зональном экотоне леса и степи (участок Национального природного парка «Самарская Лука»). Каждый полигон характеризует определенную *региональную экосистему (экорегимон)*, с соответствующим условным названием (Жигули, Присурье, ПТЗ).

В пределах каждого полигона на основе 42–45 пробных площадей выделялись шесть лесных биогеоценологических групп (табл. 4.1). Эти группы располагались по вектору локального ландшафтного сопряжения (микрорекатены) – от элювиальных (Э) и трансэлювиальных (ТЭ) типов местоположений (МП) через транзитные (Т) и трансаккумулятивные (ТА) типы до аккумулятивных (А) и супераккумулятивных (СА). Каждому типу МП соответствовал определенный набор типов леса. Среди биогеоценозов выделялась *платкорная группа*, по определению Г.Н. Высоцкого (1960), как локальный зональный представитель данного экорегимона.

Изучались не только структурные, но и функциональные характеристики лесных топозкосистем, представленные дискретными параметрами живых и мертвых *индекс конкурентоспособности ИКС* лесного фитоценоза есть отношение параметра *KR* к среднему возрасту (τ) основных лесообразующих пород фитомасс, продуктивности и малого биологического круговорота (см. очерк 1, раздел 1.4).



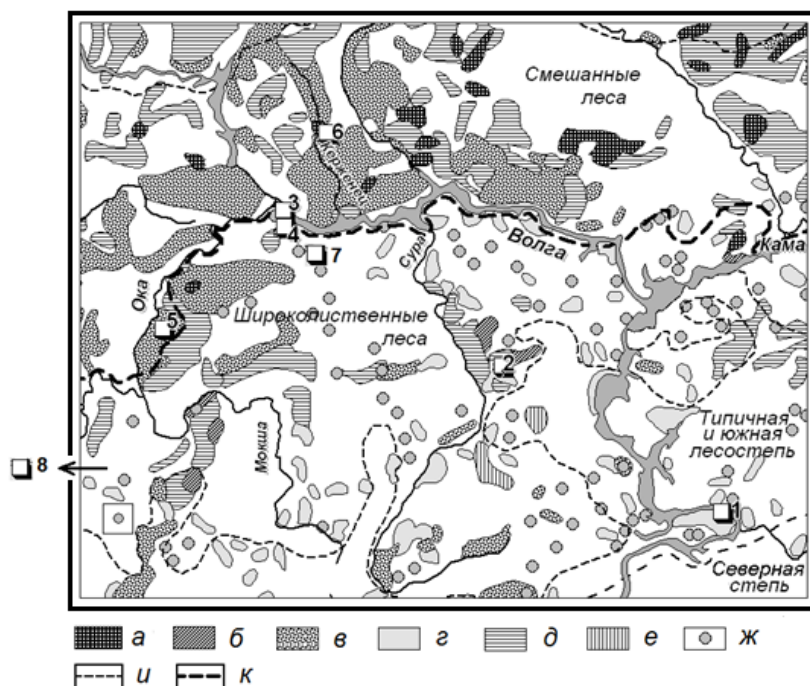


Рис. 4.2. Растительный покров Среднего Поволжья (по Исаченко, Лавренко, 1974) и схема расположения экспериментальных полигонов

Условные обозначения. Леса: *а* – еловые, пихтово-еловые и черноольховые с елью; *б* – широколиственно-сосновые, местами с елью; *в* – сосновые (боры) и елово-сосновые (субори); *г* – широколиственные; *д* – березово-осиновые и березово-липовые; *е* – березовые и сосново-березовые. Остальные обозначения: *ж* – внемасштабные ареалы широколиственных лесов; *и* – границы природных зон и подзон; *к* – Главный ландшафтный рубеж Русской равнины, по (Мильков, 1981); 1–8 – номера экспериментальных полигонов (см. в тексте; под № 8 – Приокско-Террасный заповедник)

Таблица 4.1 (начало)

**Краткая характеристика лесных топозкосистем экспериментальных полигонов
В Волжском бассейне**

Номера групп биогеоценозов	Экорегiónы (зональная принадлежность)		
	Приочье. Приокско-Террасный заповедник (южная граница подтаежной зоны)	Присурье. Национальный природный парк «Чаваш Вармане» (средняя лесостепь)	Жигули. Национальный природный парк «Самарская Лука» (южная граница южной лесостепи)
1	Ксероморфные и мезоксероморфные березо-сосновые, с осинкой и липой, плосковыпуклых междуречий и верхних частей склонов	Мезоксероморфные сосняки и елово-сосновые леса плоских водоразделов и выпуклых склонов песчаной равнины	Ксероморфные остепненные сосняки верхних и средних частей крутых (20–30°) солнцепечных склонов
2	Мезо-гидроморфные еловые, сосново-еловые и елово-сосновые леса, элювиальные и трансэлювиальные, кислотно-зеленомошные, на моренных отложениях	Мезоморфные сосново-широколиственные и осинковые леса плоских водоразделов и склонов моренной равнины	Ксеро-мезоморфные сосняки сложные липово-дубовые и сосново-широколиственные леса верхних и средних частей крутых (до 20–25°) нейтральных и теневых склонов
3	Мезоморфные и ксеро-мезоморфные сосново-липово-дубовые и сосново-липовые леса, с широким диапазоном местоположений (от Э до ТА), на элювии известняка	Мезоморфные дубово-липовые и осинковые леса полого наклонных суглинистых водоразделов (плакоров)	Мезоморфные и ксеро-мезоморфные дубняки и производные от них осинники нейтральных и теневых склонов средней и высокой крутизны

Таблица 4.1 (окончание)

4	Мезоморфные и мезоксероморфные липово-березовые леса, с осинной, а также березняки и осинники, с дубом, липой и елью, на верхних и средних частях склонов	Мезо-гидроморфные ельники и сосняки слабо дренируемых междуречных понижений и высокой поймы	Гидро-мезоморфные и мезоморфные вязово-кленово-липовые и осиново-березовые леса полого наклонных водоразделов (плакоров)
5	Мезо-гидроморфные ельники, а также со-сново-еловые и елово-сосновые леса, на средних и нижних частях склонов, на делювии известняка и суглинистой морене	Мезо-гидроморфные елово-липовые дубравы и сосново-березовые леса полого-вогнутых склонов песчано-суглинистых междуречий	Мезоморфные и мезо-гидроморфные дубово-вязово-липовые и осиново-березовые леса средних и нижних частей склонов высокой крутизны (20–30°)
6	Гидроморфные, заболоченные сосняки, ельники, березняки, черноольшаники, в речных долинах и западинах	Гидроморфные (заболоченные) сосняки, с елью и березой, междуречных западин моренной и песчаной равнин	Мезоморфные и мезо-гидроморфные липняки, кленовики и осинники днищ глубоко врезанных долин малых водотоков
Экорегiónы (зональная принадлежность)			
1.	Кудьма. Возвышенное Нижегородское Предволжье (подзона широколиственных лесов)	Зеленый Город. Возвышенное Нижегородское Предволжье (граница подтайги и широколиственных лесов)	Керженец. Низменное Заволжье. Керженский заповедник (южная полоса подтаежной зоны)
2	Ксеро-мезоморфные дубово-липовые коренные леса плоских суглинистых водоразделов и прилегающих склонов	Сосновые боры и субори песчаных бугристых водоразделов	Сосняки с елью и березой песчаных гряд
3	Мезо-ксероморфные сосновые и сосново-липово-дубовые, с елью, коренные леса полого волнистых песчаных междуречий и их склонов	Ельники и елово-липовые дубняки плоских супесчаных междуречий	Сосняки с березой и елью песчаной полого-волнистой равнины
4	Мезо-ксероморфные осиново-дубово-липовые и березовые леса супесчано-суглинистых водоразделов и склонов	Плакорные елово-липовые дубравы и березняки	Еловый и елово-березовые леса моренно-зандровой равнины
5	Ксеро-мезоморфные березово-осиновые леса, с дубом и липой, плоских песчаных водоразделов и их склонов	Елово-сосновые леса пологих песчаных склонов	Елово-дубово-липовые и мелколиственные леса высокой поймы и надпойменных террас
6	Мезо-гидроморфные и мезоморфные дубово-липовые и осиново-березовые леса песчано-суглинистых надпойменных террас и междуречных депрессий	Сосняки, ельники и елово-сосновые леса понижений песчаных междуречий и надпойменных террас	Хвойные и мелколиственные леса западин моренно-зандровой равнины
7	Гидроморфные ольшаники и ивняки с березой переувлажненных суглинистых пойм малых рек и днищ ручьев	Пойменные мелколиственные леса долин малых рек	Смешанные леса пойменных западин и долин малых рек

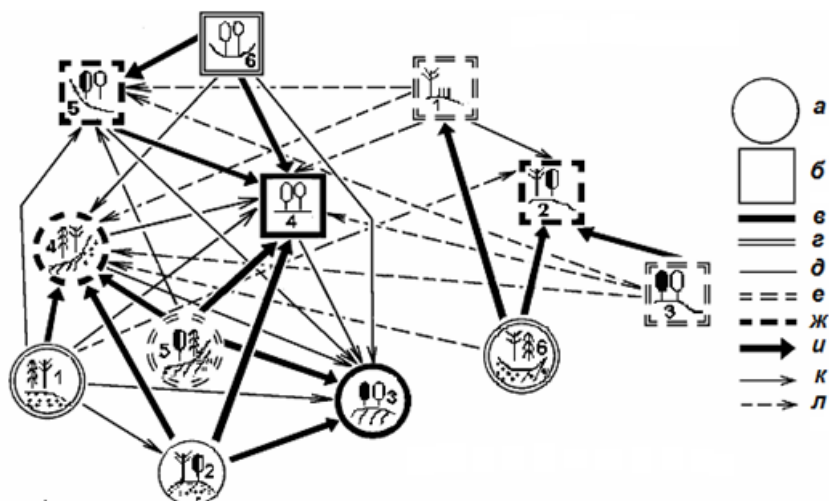


Рис. 4.3. Экотипы групп лесных биогеоценозов экорегионов Присурье (а) и Жигули (б) на орграфе их отношений включения по полному набору параметров функционального фитоценотического блока

Экотипы: *в* – эвритопы; *г* – субэвритопы; *д* – мезотопы; *е* – субстенотопы; *ж* – стенотопы. Направления и меры включения при значении критического порога неразличимости $Z_{\text{крит}}$: *и* – 0,984; *к* – 0,970; *л* – 0,950. Расшифровку групп биогеоценозов см. в табл. 4.1

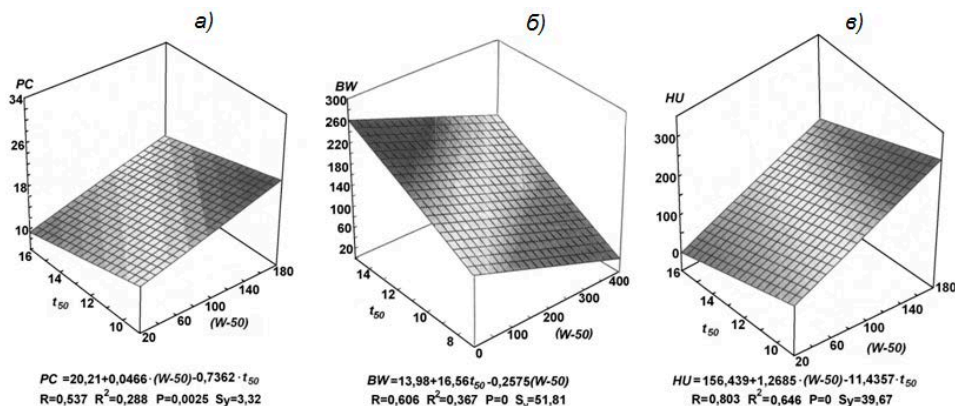


Рис. 4.4. Дубравы и сосняки Жигулевского низкогорного массива

Линейные поверхности распределения параметров продукционной (а) и детритной (б) ветвей биологического круговорота, а также лабильного гумуса (в) в пространстве почвенных гидротермических факторов. В уравнениях множественной регрессии статистические параметры те же, что и в табл. 4.2

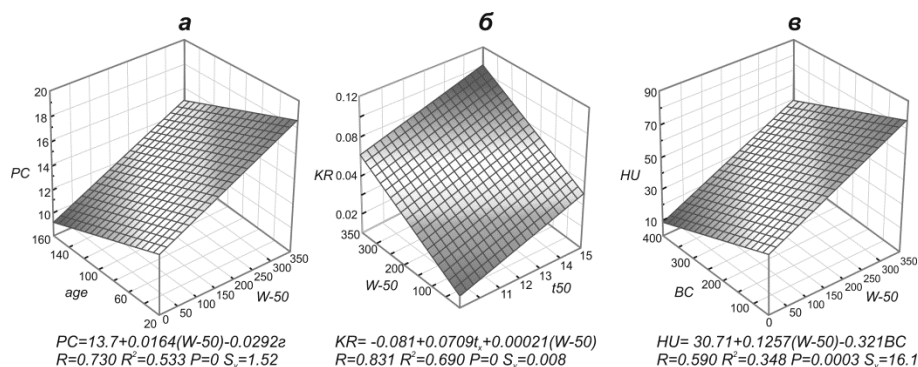


Рис. 4.5. Смешанные леса Южного Верхневолжья

Приокско-Террасный биосферный заповедник. Гидротермическая ординация метаболических параметров: общей продуктивности биогеоценозов (PC) и коэффициента оборота надземной фитомассы (KR), а также лабильного гумуса (HU). Учтено корректирующее влияние возраста леса (age) и общего запаса живой фитомассы (BC). В уравнениях множественной регрессии статистические параметры те же, что и в табл. 4.2

4.2.1. Экотипы лесных биогеоценозов. На основе расчетов мер сходства и включения дескриптивных множеств (экосистемных объектов) по набору параметров их функционирования были построены соответствующие орграфы (рис. 4.3), по которым выявились четыре *экологические группы (экотипы)* объектов: эвритопные (доминирующие) субэвритопные, субстенотопные и стенотопные (редуцированные, банальные). Они отличаются друг от друга различным уровнем метаболизма и соответствующей мерой устойчивости к климатическим сигналам. Среди эвритопов выделяются два региональных экологических оптимума функционирования лесных экосистем Чувашско-Самарского Поволжья – бореальный.

Анализ структурной схемы показал, что общий уровень функционирования топоэкосистем, а также теснота латеральных межкомплексных взаимодействий на территории Национального парка Чаваш Вармане выше, чем в парке Самарская Лука. В условиях низкогорного рельефа Жигулей при дефиците атмосферного увлажнения преобладают функционально редуцированные лесные экосистемы. Одновременно происходит более резкое дробление функционального (и соответственно структурного) экологического пространства на относительно независимые фрагменты. Следовательно, на воз-вышенных равнинах Присурья может наблюдаться пространственно более упорядоченная и потому более предсказуемая картина климатогенных перестроек лесных природных комплексов, основанная на векторной системе локальных ландшафтных сопряжений. В условиях же глубокого эрозионного расчленения Жигулевского массива должны возникать орографические барьеры на пути латерального распространения волн гидротермических сигналов, поэтому здесь следует ожидать гораздо большую пестроту ответной реакции лесных экосистем на потепление, нежели в Присурье.

В Жигулевском низкогорном массиве и по правобережью среднего Присурья доминирующими (эвритопными) экосистемами являются умеренно влажные *плакорные* неморально-лесные биогеоценозы (присурские дуболипняки и жигулевские вязово-кленово-липовые леса). Им свойствен наиболее интенсивный метаболизм, соответствующий нормам восточноевропейских широколиственных лесов: максимальные величины живых фитомасс и продуктивности и наибольшая скорость разложения мертвой органики. Пони-

женный уровень функционирования имеют субдоминанты (субэвритопы): в Присурье – мезо-гидроморфные хвойные леса нижних частей склонов водноледниковой равнины; в Жигулях – сосново-широколиственные леса и липо-дубняки теневых и нейтральных склонов низкогорья и их подножий.

Редуцированные топоэкосистемы: субстенотопы и стенотопы, – отличаются минимальными запасами живой фитомассы, наименьшей продуктивностью фитоценозов и заторможенным биологическим круговоротом. Подобные метаболические признаки характерны для зональных условий северотаежных лесов Восточной Европы и/или подтайги резко континентальной Восточной Сибири. В Поволжье это, с одной стороны, ксероморфные остепненные сосновые боры древних песчаных дюн (Присурье) и крутых солнцепечных склонов (Жигули), а с другой – елово-сосновые заболоченные редины западин присурских зандров и субгидроморфные лиственные леса днищ малых глубоко врезанных долин Жигулевских гор. Налицо *достаточно высокая контрастность функциональных состояний лесных фитоценозов* в каждом из этих экорегионов, что должно обеспечивать соответствующее многообразие их ответной реакции на одни и те же фоновые гидротермические сигналы.

Таким образом, на территории Чувашско-Самарского Правобережья высшая ступень функционирования и соответственно максимальная производительность свойственны плакорным мезофитным теневым широколиственным лесам, произрастающим на водораздельных пространствах Приволжской возвышенности. Эти лесные сообщества обладают наибольшей способностью использования вещественно-энергетических ресурсов среды (тепла, влаги и минерального питания) и отличаются максимальными значениями живых фитомасс (древесных, кустарниковых и травянистых), первичной продуктивности и скорости разложения мертвого органического вещества.

4.2.2. Гидротермическая ординация метаболических параметров. Термо- и гидроэдафическая ординация метаболических характеристик лесных топоэкосистем проведена по двум геофизическим параметрам: температуре почвы на глубине 50 см (t_{50}) и запасам летней продуктивной влаги в слое почвы 0–50 см ($W-50$). С этими параметрами функциональные характеристики лесных сообществ обнаруживают наиболее тесные связи. Рас-

четные модели ординации представлены в табл. 4.2–4.4.

Таблица 4.2

Параметры моделей, описывающих изменения показателей малого биологического круговорота в биогеоценозах региональной экосистемы Жигули под влиянием трендов температуры почвы и почвенного влагосодержания в вегетационный период

Вид модели (расчетная формула)	Метаболические парам.	Коэффициенты				Статистические характеристики			
		b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	R	R ²	P	S _y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
y = b ₀ + b ₁ x ₁ + b ₂ x ₂ + b ₃ x ₃	PW	7.288	-0.185	0.01089	-0.04292	0.663	0.44	2·10 ⁻⁴	1.34
	PS	4.496	-0.01344	0.01907	-0.0135	0.785	0.616	0	1.1
	KE	-0.0026	0.00719	0.00003	-0.0002	0.61	0.372	1.1·10 ⁻³	0.013
	KR	0.019	0	0.00008	0.00006	0.455	0.207	1.5·10 ⁻²	0.008
y = b ₀ + b ₁ x ₁ + b ₂ x ₂	PC	17.46	-0.5772	0.03508	–	0.537	0.288	2.5·10 ⁻³	3.32
y = b ₀ + b ₁ x ₂ + b ₂ x ₂ ²	ML	44.08	-0.3611	0.00091	–	0.699	0.483	0	17.75
	HU	82.54	-0.3988	0.00519	–	0.781	0.61	0	42.0
	KY	14.65	-0.1457	0.000391	–	0.795	0.632	0	1.92
y = exp(b ₀ + b ₁ /x ₁)	WD	-0.8296	38.68	–	–	0.506	0.256	0	12.56
y = exp(b ₀ + b ₁ /x ₂)	BW	3.04	19.51	–	–	0.687	0.472	0	39.0
	BS	3.706	15.42	–	–	0.611	0.374	0	39.3
	BV	0.576	14.03	–	–	0.489	0.239	0	2.56

Условные обозначения: x₁ – температура почвы на глубине 50 см (t₅₀); x₂ – запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–50 см (W-50); x₃ – средневзвешенный возраст леса (τ); R – коэффициент корреляции; R² – коэффициент детерминации; P – уровень значимости (критерий Пирсона); S_y – стандартное отклонение. Обозначения метаболических параметров см. в тексте. Полужирным шрифтом выделены коэффициенты при значимых аргументах в уравнениях множественной регрессии.

Таблица 4.3

Параметры моделей, описывающих изменения показателей малого биологического круговорота в биогеоценозах региональной экосистемы Присурье под влиянием трендов температуры почвы и почвенного влагосодержания в вегетационный период

Вид модели (расч. формула)	Метаболические парам.	Коэффициенты				Статистические характеристики			
		b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	R	R ²	P	S _y
y = b ₀ + b ₁ x ₁ + b ₂ x ₂ + b ₃ x ₃	PW	7.288	-0.185	0.01089	-0.04292	0.663	0.44	2·10 ⁻⁴	1.34
	PS	4.496	-0.01344	0.01907	-0.0135	0.785	0.616	0	1.1
	KE	–	0.00719	0.00003	-0.0002	0.61	0.372	1.1·10 ⁻³	0.013
	KR	0.0026 0.019	0	0.00008	0.00006	0.455	0.207	1.5·10 ⁻²	0.008
y = b ₀ + b ₁ x ₁ + b ₂ x ₂	PC	17.46	-0.5772	0.03508	–	0.537	0.288	2.5·10 ⁻³	3.32
y = b ₀ + b ₁ x ₂ + b ₂ x ₂ ²	ML	44.08	-0.3611	0.00091	–	0.699	0.483	0	17.75
	HU	82.54	-0.3988	0.00519	–	0.781	0.61	0	42.0
	KY	14.65	-0.1457	0.000391	–	0.795	0.632	0	1.92
y = exp(b ₀ + b ₁ /x ₁)	WD	– 0.8296	38.68	–	–	0.506	0.256	0	12.56
y = exp(b ₀ + b ₁ /x ₂)	BW	3.04	19.51	–	–	0.687	0.472	0	39.0
	BS	3.706	15.42	–	–	0.611	0.374	0	39.3
	BV	0.576	14.03	–	–	0.489	0.239	0	2.56

Примечание. Условные обозначения те же, что и в табл. 4.2.

Таблица 4.4

Параметры моделей, описывающих изменения показателей малого биологического круговорота в биогеоценозах региональной экосистемы Южное Верхневолжье (ПТЗ) под влиянием трендов температуры почвы и почвенного влагосодержания в вегетационный период

Вид модели (расчетная формула)	Метаболические параметры	Коэффициенты				Статистические характеристики			
		b_0	b_1	b_2	b_3	R	R ²	P	S _y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$	<i>BS</i>	637,2	30,67	-0,8285	0,8196	0,640	0,409	$2 \cdot 10^{-4}$	66,57
	<i>PC</i>	13,7	0	0,01636	0,02917	0,730	0,533	0	1,52
	<i>BW</i>	567,6	-30,14	-0,6817	0,8185	0,656	0,430	$1 \cdot 10^{-4}$	53,9
	<i>WD</i>	19,28	0	-0,04811	0,1265	0,592	0,351	$3 \cdot 10^{-4}$	7,58
		35,16	0	-0,08389	0,2243	0,659	0,434	0	11,2
	<i>BD</i>	195,4	0	-0,4784	1,047	0,555	0,308	$7 \cdot 10^{-4}$	76,62
	<i>BL</i> <i>PC</i>	15,07	0	0,00896	-0,03663	0,532	0,283	$1 \cdot 10^{-3}$	2,14
$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$	<i>KE</i>	0,0594	0,006561	0,00021		0,781	0,609	0	0,096
	<i>KR</i>	-	0,007092	0,000212		0,831	0,690	0	0,008
	<i>IS</i>	0,0812	0,006074	0,001989	-	0,838	0,702	0	0,077
	<i>ML</i>	4	2,449	-0,01638		0,547	0,300	$8 \cdot 10^{-4}$	5,81
	<i>KA</i>	-	0,01272	0,000554		0,680	0,463	0	0,037
	<i>IL</i>	0,5605 -10,57 0,224 63,8	-2,185	-0,07634		0,578	0,334	$4 \cdot 10^{-4}$	6,34
$y = b_0 + b_1x_2 + b_2x_2^2$	<i>BV</i>	12,6	-0,02467	0,0000177		0,517	0,267	$2 \cdot 10^{-3}$	2,49
	<i>BR</i>	73,64	0,1018	0,0007824		0,545	0,297	$1 \cdot 10^{-2}$	18,1
	<i>PR</i>	2,168	-0,01136	0,0000675	-	0,767	0,588	0	0,67
	<i>HU</i>	25,31	0,0159	0,0004196		0,577	0,333	$4 \cdot 10^{-4}$	16,32
	<i>KP</i>	0,256	-	0,0000094		0,754	0,569	0	0,094
	<i>KY</i>	5,31	0,001722 -0,02412	0,0000483		0,477	0,228	$5 \cdot 10^{-3}$	1,46

Примечание. Условные обозначения те же, что и в табл. 4.2.

На территории южной и типичной лесостепи (экорегiónы Жигули и Присурье), где атмосферное увлажнение изначально имеет критические для лесной растительности значения (коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова составляет 0,95–1,05), четко выражено снижение продукционного потенциала лесных сообществ при повышении летней температуры почвы и особенно уменьшении почвенного влагосодержания (табл. 4.2 и 4.3, рис. 4.4 а, б). Очевидно, в южных маргинальных лесах глобальное потепление должно привести к уменьшению количества CO₂, изымаемого фитоценозами из атмосферы при фотосинтезе. Восходящая ветвь биологического круговорота будет вызывать здесь дополнительное повышение парникового эффекта атмосферы и тем самым усиливать гло-

бальное потепление. Скелетная фитомасса должна сокращаться наибольшими темпами в плакорных дубравах жигулевского плато, а также в лесных сообществах речных долин. В то же время ксероморфные лесо-луго-степные комплексы солнцепечных склонов (разреженные остепненные сосняки), почти не изменят базовых темпов продуцирования.

Возрастающий при глобальном потеплении дефицит влаги на зональном экотоне леса и степи затормозит разложение лесной подстилки (*ML*) и древесного дебриса. С увеличением *ML* возрастает доля мертвой фракции в общей надземной фитомассе. Одновременно уменьшается количество надземной мортмассы, утилизируемой сапротрофами и используемой в последующих трофических цепях. Таким образом, здесь должно произойти об-

щее понижение пропускной способности детритной ветви метаболизма, что вызовет накопление мертвой фитомассы и как результат – неизбежное замедление всего биологического круговорота, при одновременном интенсивном разложении гумуса (см. рис. 4.4 в) и резком снижении продуктивности лесов (см. рис. 4.4 а).

С переходом от южных маргинальных лесов к северной границе лесостепной зоны Среднего Поволжья и далее к смешаннолесной зоне термоаридный тренд вызовет все большее усиление процессов разложения мертвой органики и соответствующее уменьшение всех фракций мортмассы, в том числе лесной подстилки и гумуса. В смешанных лесах Южного Верхневолжья (полигон ПТЗ), отличающегося от Среднего Поволжья более высокой гумидностью (коэффициент увлажнения равен 1,52), наиболее чувствительными к термаридному климатическому тренду оказываются высоко гидроморфные биогеоценозы (рис. 4.5). Связь запасов древесины с влагосодержанием почвы почти линейная (см. табл. 4.4): в интервале изменений ($W-50$) = 350–300 → 120–100 мм запас древесины возрастает в среднем с 5–15 до 35–50 т/га. Однако для ксероморфных лесных сообществ, где исходное ($W-50$) ≤ 80–100 мм, прогноз запасов фитомассы гораздо менее надежен. К изменению влагосодержания почвы достаточно чувствительны также надземная скелетная масса и массы корней. В целом же продукционная ветвь биологического круговорота здесь зависит преимущественно от возраста леса и гораздо слабее связана с изменениями гидротермического режима почв.

Даже в семигумидном Верхневолжье аридизация почвы вызовет снижение суммарной годичной продуктивности лесов, однако при этом произойдет увеличение скелетной древесно-кустарниковой массы. Наиболее эффективно на продукционном процессе сокращение запасов почвенной влаги. Само же повышение температуры почвы будут иметь гораздо меньшее значение.

В экорегионе ПТЗ коэффициент оборота надземной фитомассы (KR) резко снижается при иссушении почвы, но растет при повышении ее температуры (см. рис. 4.5 б). Первый фактор превалирует, поэтому термоаридный климатический тренд должен вызвать общее снижение коэффициента полезного действия продукционного процесса (параметра KE).

Как видим, не только в семиаридных южно-лесостепных, но и в семигумидных подта-

ежных условиях для активного разложения мертвой массы в большинстве лесных экосистем изначально ощущается недостаток почвенно-грунтовой влаги, поэтому *аридизация почвы при глобальном потеплении должна привести к увеличению массы сухостое, валяжа и лесной подстилки.*

Запасы гумуса в верхних слоях почвы определяются в первую очередь влагосодержанием почвы. Связь носит обратно пропорциональный характер: *по мере развития термоаридного тренда разложение и минерализация почвенной органики будут усиливаться и запасы гумуса снизятся* (см. рис. 4.5 в). Это увеличение будет максимальным в наиболее гидроморфных биогеоценозах. С возрастом леса это сокращение будет расти и достигнет максимума в перестойных лесах.

4.3. Полизональность локальных геосистем как способ их реакции на глобальные изменения климата

4.3.1. Вводные замечания. В познании локальных механизмов глобально-региональных изменений природной среды немаловажное значение имеет раскрытие закономерностей преломления фоновых биоклиматических условий местными геоморфологическими и почвенно-эдафическими факторами и формирования определенных категорий топогеосистем как своего рода представителей различных типов зональной географической среды. Это особенно важно для понимания роли местных ландшафтно-экологических структур в создании *региональных систем локализованной природной зональности*. Со своей стороны, такие регионально-топологические системы, будучи объектами воздействия фоновых климатических сигналов, могут имитировать основные направления и масштабы локальных экосистемных перестроек, тем самым они создают эмпирическую основу для прогнозных построений. Более того, представляется реальным оценить, насколько функционально-структурные преобразования локальных экосистем и соответствующие сдвиги природных границ способны преобразовать весь зонально-региональный фон данной территории под действием того или иного климатического тренда. Особая значимость этого аспекта ландшафтно-экологического прогнозирования обусловлена тем, что географическая зональность является, согласно В.В. Докучаеву (1949), высшей формой взаимодействия природных компонентов и ее черты непосред-

ственно отражаются в структуре и функционировании гео(эко-)систем.

Локальные системы природной зональности целесообразно рассмотреть на примере зональных экотонів юга бореального пояса и в особенности экотона леса и степи как полюсы взаимодействия и взаимопроникновения наиболее контрастных биоклиматических сред. В свете предстоящего и уже начавшегося глобального потепления, с прогрессирующим развитием в умеренных широтах континентов процессов аридизации почвенно-растительного покрова (Изменение климата ..., 2003; Коломыц, 2003), рассматриваемый вопрос приобретает особую актуальность.

4.3.2. Районы исследований и исходные материалы. Решение поставленной задачи осуществлено на примере двух локальных экспериментальных полигонов (площадью каждый около 20 кв. км), расположенных в Чувашско-Самарском Поволжье на территориях двух Национальных природных парков (см. рис. 4.2): Самарская Лука (полигон 1) и «Чаваш Вармане» (полигон 2). Длительная история хозяйственного освоения этой территории и современная ее высокая распаханность привели к резкому сокращению лесопокрытых площадей. Леса занимают сравнительно небольшие площади (в основном не более 10–5%) не только в южной и типичной лесостепи, но и в самой неморальнолесной подзоне. Даже территория Самарской Луки облесена всего на 25–30% (Ступишин, Бойко, 1981). Очевидно, что в условиях грядущего глобального потепления и общей аридизации региональной биоклиматической системы будут обостряться проблемы не только восстановления прежних лесопокрытых площадей, но и сохранения нынешних лесных ресурсов на всем возвышенном Правобережье Среднего Поволжья. Этому будет способствовать литогенно обусловленная «предрасположенность» Приволжской возвышенности к остепнению, с возникновением новых ареалов «климатически неоправданной» типичной и даже южной лесостепи (Коломыц, 2003) на тех участках неморальнолесной подзоны, которые по своим гидроэдафическим условиям перейдут через рубеж критических состояний для лесной растительности.

На двух указанных экспериментальных полигонах были проведены (соответственно 1–14 июля 1996 г. и 10–27 июня 1992 г.) крупномасштабные ландшафтно-экологические съемки по методике, изложенной в очерке 1. Первый полигон занимает

восточный участок Жигулевских гор (район древней Ширяевской долины и ее окрестностей, а второй –участок правобережья среднего течения р. Суры (в бассейне ее правого притока – р. Бездны), поэтому в дальнейшем мы будем их называть региональными экосистемами Жигули и Присурье.

Данный поиск опирается на результаты проведенных нами ранее региональных исследований по Волжскому бассейну (см. очерки 2 и 3). В частности, установлено, что замыкающими звеньями в системе региональных ландшафтно-геофизических связей является гидроэдафические признаки: летние запасы продуктивной влаги в почве и влажность почвы, – которые оказывают прямое действующее влияние на распределение фитоценологических и почвенных объектов. Влагосодержание почвы в середине вегетационного периода служит наиболее обобщенным комплексным абиотическим индикатором состояния природных экосистем Средней полосы Русской равнины. Эти признаки образуют замыкающий створ абиотических информационных потоков. Они воспринимают влияние как геолого-геоморфологических так и гидро-климатических факторов.

На локальном уровне найдены так же достаточно тесные пространственные связи лесных биогеоценозов с летними влагозапасами почвы. В экосистемах Присурье и Жигули значения параметра $K(A;B)$ составили для слоев почвы 0–20, 0–50 и 0–100 см в первом случае соответственно 0,161, 0,106 и 0,105, а во втором – 0,138, 0,148 и 0,171, что свидетельствует о вполне значимых связях. Таким образом, через гидроэдафотопы осуществляется управляющее воздействие глобальной климатической системы на состояние не только региональных, но и локальных природных экосистем. Это основной канал связи, который позволяет прогнозировать локальный ландшафтно-экологический отклик на глобально-региональные климатические сигналы.

Система бинарной топологической ординации была построена таким образом, чтобы смена состояний как факторов, так и явлений имела векторный характер и была бы адекватна общей тенденции аридизации локальных ландшафтно-экологических условий – в соответствии с принятой гипотезой предстоящих климатических изменений в Среднем Поволжье (Коломыц, 2003). Ординация рассмотрена по векторным рядам аридизации групп биогеоценозов (см. табл. 4.1), а также отдельных природных компонентов (табл. 4.5) для обеих региональных экосистем –

Присурья и Жигулей. Тем самым было проведено своего рода *эмпирическое имитационное моделирование локального отображения глобально-региональных изменений природных сред* (путем замены временных координат операционной системы на координаты пространственные). Иерархически упорядоченный ряд векторных ординаций экосистем и их отдельных компонентов имитирует последовательность передачи гидротермических сигналов по каналам межкомпонентных связей, а также соответствующие изменения состояний самих систем в том направлении, которое задано фоновым климатическим прогнозом.

4.3.3. Система каналов локальных связей. Общее представление об этой системе дают информационные схемы пространственной сопряженности основных признаков ландшафтного макро- и микросубстрата, по терминология А.А. Григорьева (1965). Нами выбраны 10 таких диагностических признаков (рис. 4.6). Среди них присутствуют как сами макросубстратные объекты (в виде геоморфологических характеристик, групп типов леса, почвенных разностей и самих биогеоценозов), так и две важнейшие для ландшафтно-экологического прогноза микросубстратные характеристики – эдафическое увлажнение, фиксируемое по видовому составу напочвенного покрова, и тип местообитания, представляющий собой сочетание влажности эдафотопы и мезостава почвообразующих пород. На схемах признаки расположены сверху вниз в четыре ряда – в порядке уменьшения их роли как эдификаторов и роста их индикационных свойств, т.е. в направлении от независимых переменных к зависимым, согласно (А.Д. Арманд, 1975). Вся конструкция векторных информационных связей замыкается на группировках биогеоценозов как определенных зональных представителей региональной биоклиматической системы. Это сделано преднамеренно, с тем чтобы установить зональные масштабы локальных контрастов.

Обе информационные модели демонстрируют достаточно стройную соподчиненную систему ландшафтных связей, причем биогеоценозы, типы леса и почвенные разности – весьма тесно сопряжены как с литогенными факторами, так и с почвенно-грунтовым увлажнением. Значения $K(A;B)$ в большинстве случаев превышают уровень 0,190.

В экосистеме Присурья весьма эффективно прямое воздействие почвенно-грунтового увлажнения на зональные группировки ландшафтных фаций. Здесь почвенно-

гидрологический фактор обладает вполне самостоятельными эдификаторными свойствами, которые не только усиливают роль геоморфологических условий, но и обладают определенной автономностью. Зональные черты топогеосистем весьма четко дифференцируются по состояниям объектов макрорландшафтного субстрата – в первую очередь по группам фаций и группам типов леса (значения $K(A;B)$ равны соответственно 0,326 и 0,314) и в меньшей степени по группам почв (0,237). Очевидно, фоновые сдвиги зонально-региональной биоклиматической системы должны адекватно отражаться в состоянии геокомплексов локального уровня.

В условиях низкогогорья, даже при относительной однородности почвообразующего субстрата, резко возрастает экологическая роль рельефа – типов местоположений (от трансэлювиального до аккумулятивного), характера самих мезо- и микроформ (рассеивающих, транзитных или собирающих), а также солярной экспозиции и крутизны склонов (см. рис. 4.6). При этом усиливается прямодействующее влияние форм рельефа на распределение биогеоценозов и почвенных разностей (в Жигулях соответствующие значения $K(A;B)$ увеличиваются в 1,5 раза по сравнению с Присурьем), минуя промежуточные каналы связи – эдафическое увлажнение и тип местообитания.

Самостоятельными и весьма эффективными экологическими факторами становятся солярная экспозиция и крутизна склона. На крутых склонах южной четверти горизонта, где в условиях повышенной аридизации и частого обнажения коренных пород преобладают процессы физического выветривания (Обидиентова, 1953), господствуют почти исключительно представители южной и типичной лесостепи – ксероморфные редкостойные сосняки и луговые степи, местами с петрофитной растительностью. При переходе к склонам нейтральным, а затем и тенивым, обычно более пологим, с более мощным покровным делювиальным суглинком, возникшем в условиях интенсивного химического выщелачивания доломитов и гипсов (Обидиентова, 1953), растительный покров резко меняется. Доминируют соответственно мезоксероморфные сосново-широколиственные леса и мезоморфные дубо-липняки и осинники – представители неморальнолесной подзоны. На этом динамическом фоне крутизна склона и связанная с нею степень дренажа вносят дополнительный вклад в аридизации топоэкосистем.

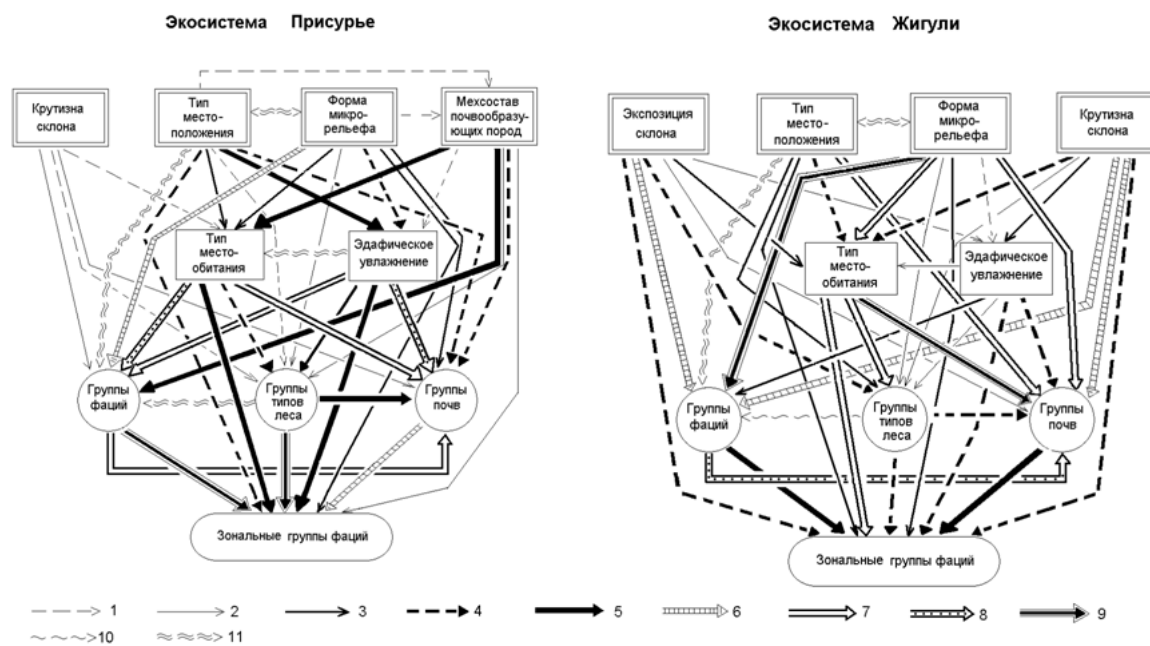


Рис. 4.6. Общие информационно-статистические модели межкомпонентных связей в региональных экосистемах Присурье и Жигули

Нормированный коэффициент сопряженности, по (Пузачекно, Скулкин, 1981): 1 – 0,071–0,100; 2 – 0,101–0,130; 3 – 0,131–0,160; 4 – 0,161–0,190; 5 – 0,191–0,220; 6 – 0,221–0,250; 7 – 0,251–0,280; 8 – 0,281–0,310; 9 – более 0,310. Коэффициенты сопряженности зависимых признаков: 10 – менее 0,310; 11 – более 0,310

4.3.4. Явление биоклиматической полизональности на локальном уровне. Известно, что ландшафтная мозаика любой территории складывается из ареалов как плакорных локальных гео(эко-)систем, отражающих в наиболее «чистом виде» зонально-региональный фон данной территории и являющихся его представителями (Высоцкий, 1909), так и геотопов, возникших в результате различного рода преломления этого фона под действием местных факторов (Крауклис, 1974) Во втором случае образуется определенное множество так называемых *экстразональных природных комплексов*, вызывающих «размывание» зональных эколого-географических границ (Мильков, 1986), т.е. местную экотонизацию данной территории. В пределах этого экотона мы можем построить гидротермический ряд экстразональных топоэко-систем (вместе с зональными представителями) в направлении их гумидности или, наоборот, аридности, представляя этот ряд (на основе указанного выше свойства самоподобия операционной системы) как некоторый аналог соответствующих фоновых климатических изменений (тренда). Таким образом, по векторному спектру *топологической полизональности* представляется возможность представить реальные сценарии реакции ло-

кальных гео(эко-)систем на те или иные сдвиги в региональной климатической системе и наметить соответствующие цепочки местных ландшафтно-экологических переходов.

Рассмотрим Присурье и Жигули как две самостоятельные региональные системы локализованной зональности. Выделение зонально-географических групп биогеоценозов проведено, согласно (Раменский, 1971; Сукачев, 1972), по спектрам видового состава лесообразующих пород, подлеска и напочвенного растительного покрова.

Полизональность в условиях равнинного рельефа. В экосистеме Присурье зональные группы ландшафтных фаций достаточно разнообразны и пространственно четко дифференцированы в зависимости от литогенных и почвенно-гидрологических факторов (рис. 4.7). Здесь встречаются топоэко-системы борельных (в том числе собственно таежных и боровых), смешанных и неморальных лесов, причем среди последних есть как чисто европейские представители, так и евроазиатские, свойственные более континентальному лесостепному климату. Подтверждается известное положение о том, что локальные фитоцено-тичские контрасты в условиях возвышенной равнины соразмерны с зональными, а по гра-

диентам – существенно превосходят их (Крауклис, 1974).

Фитоценотическое и соответственно ландшафтное разнообразие Присурья обусловлено отмеченными выше особенностями его экотонного географического положения: а) в переходной полосе от подзоны широколиственных лесов к подзоне типичной лесостепи; б) в непосредственной близости к меридиональному рубежу континентальности, отделяющему более гумидную Приволжскую возвышенность от менее гумидного Низменного Заволжья, с образованием двух контрастных геоботанических провинций (Лавренко, Исаченко, 1976); в) на стыке обширного низменного присурского зандра – проводника смещения на юг элементов таежной растительности, и суглинистых возвышенных водоразделов Волги и Суры, имеющих неморальнолесной облик.

Бинарные связи зональных групп ландшафтных фаций практически со всеми факторами имеют вид сложного регулирования (см. рис. 4.7 *a–z*), поэтому необходима содержательная интерпретация этих связей, в том числе переломов кривых аридного тренда.

Приуроченность ландшафтных представителей собственно таежной зоны (сосново-еловых сфагново-долгомошных лесов) почти исключительно к аккумулятивным, элювиально-аккумулятивным и супераккумулятивным местоположениям (МП), с дерново-подзолистыми глубокооподзоленными суглинистыми почвами, указывает на явно экстразональный характер их присутствия в данном регионе Приволжской возвышенности. Об этом свидетельствует также гигрофитность их эдафотопов (см. рис. 4.7 *e*). Более сухие елово-сосновые чернично-зеленомошные леса, с элементами травостоя евроазиатского типа, поднимаются от днищ долин на окрестные склоны. Боровые же фитоценотические комплексы, встречающиеся исключительно в низменно-зандровом районе, относятся к ксерофитам и мезоксерофитам и тяготеют к противоположному «полюсу» ландшафтных сопряжений – трансэлювиальными и элювиальным типам МП, с дерново-

Полизональность в условиях рельефа, близкого к низкогорью. Механизмы формирования зонально-географических категорий биогеоценозов Жигулевского массива существенно иные. Геоморфологическая детерминация этих механизмов здесь выражена гораздо разнообразнее, нежели на равнинах Присурья (см. рис. 4.6), несмотря на более однородный почвообразующий субстрат Жигулей.

мелкоподзолистыми супесчаными и песчаными почвами.

Полого наклонные междуречья (плакоры) заняты: а) в низменно-зандровом районе – мезогигрофитными сообществами подтаежной зональной группы, имеющими здесь свой экологический оптимум, б) в возвышенно-водораздельном районе – мезофитными дубово-липовыми лесами с разнотравьем европейского типа. Наконец, на более крутых суглинистых транзитных склонах, обращенных к речным долинам, распространены устойчиво мезофитные неморальнотравяные елово-липовые дубравы и производные от них сосново-мелколиственные ассоциации. Все они носят облик неморальных евроазиатских лесов.

Таким образом, вырисовывается достаточно сложная картина бинарного регулирования абиотическими факторами лесных биогеоценозов как зональных представителей. На траектории аридного тренда зональности существует не менее двух переключателей связи. В результате в самой системе локальных ландшафтных сопряжений единый тренд зональности отсутствует и возникает явная «черезполосица» в распределении лесных сообществ различного зонального облика по формам микрорельефа. Это уже само по себе должно предопределить достаточно разнообразную картину фитоценотических преобразований топозкосистем и смещения их границ при одном и том же фоновом гидротермическом сигнале. Климатогенная трансформация экосистем будет иметь разновекторный характер, поэтому могут возникнуть одновременные сдвиги межфациальных границ как вверх, так и вниз по цепи топологических ландшафтных сопряжений.

При этом, судя по объему экологических ниш зональных представителей, наиболее устойчивыми к термоаридному климатическому сигналу могут оказаться таежные сообщества, имеющий повышенный «запас» гидроморфности, а наименее устойчивыми – ксерофитные боровые неморальнолесные ассоциации евроазиатского типа. Подтаежная фитоценотическая группа будет занимать промежуточное положение. Многофакторность литогенной основы низкогорья приводит к дроблению каналов связи, что вызывает общее снижение самой силы связей. Соответственно в низкогорном регионе гораздо слабее проявляется зональная дифференциация типов леса, почвенных разностей и в целом биогеоценозов, что показано на общей информационной модели уменьшением параметра $K(A;B)$. Это означает, что

флористические и фитоценотические контрасты зональных подразделений топоэко-

стем в Жигулях выражены меньше, чем в Присурье.

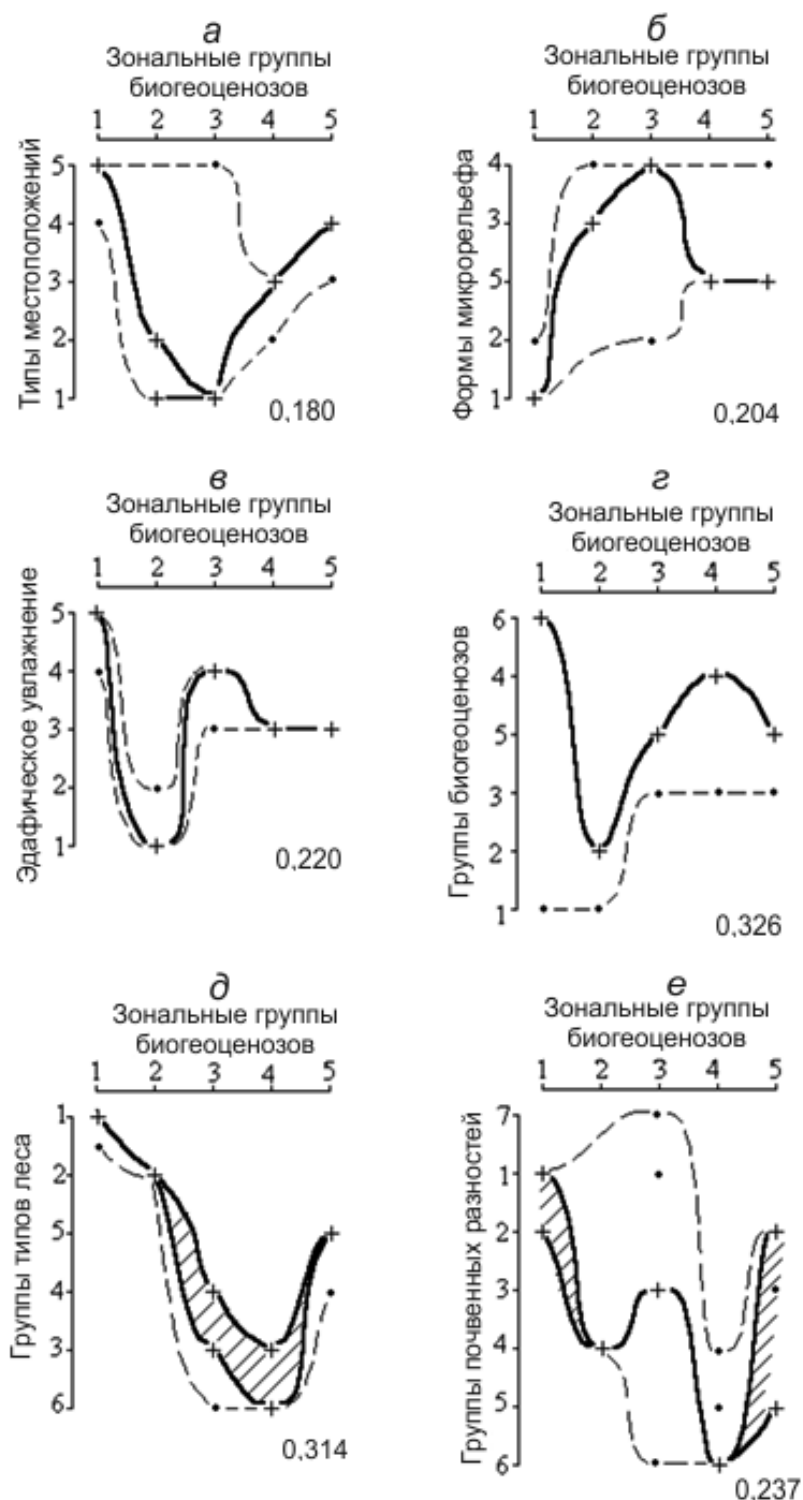


Рис. 4.7. Бинарная ординация зонально-географических групп фаций по литогенным, гидроэдафическим, фитоценотическим и почвенным факторам экосистемы Присурье: 1 – траектории экологических доминантов; 2 – траектории границ экологических ниш; 3 – «зона» толерантности явления к фактору. 0,149, 0,159, ... – нормированные коэффициенты сопряженности. Обозначения градаций признаков см. в табл. 4.5

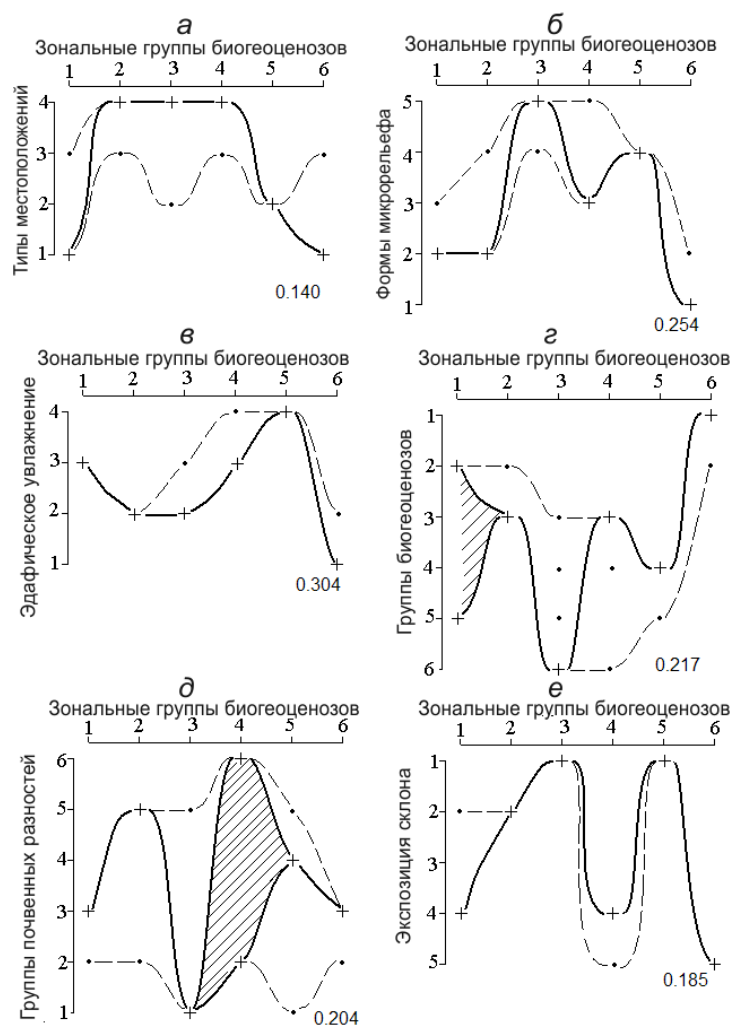


Рис. 4.8. Бинарная ординация зонально-географических групп фаций по различным экологическим факторам экосистемы Жигули

Условные обозначения те же, что и на рис. 4.7 и в табл. 4.1.

Выравнивание контрастов обусловлено двумя основными факторами. Во-первых, это само географическое положение Самарской Луки непосредственно на зональном экотоне леса и степи. Кроме того, здесь сказывается «дыхание» и более северной (подтаежной) зоны. Взаимопроникновение с севера и северо-запада не только неморальнолесных, но и бореальных (преимущественно боровых) видов, а с юга и юго-востока степных элементов привело к смешению флор и большому фитоценоотическому разнообразию жигулевских топоэкосистем. Возникла даже смешанная лесо-лугово-степная зонально-географическая группа (своеобразного горного облика) с примесью бореальных боровых элементов (см. табл. 4.5). Ее можно считать своего рода ландшафтным топоаналогом лесо-лугово-степного высотного пояса Тянь-Шаня (Гвоздецкий, Михайлов, 1987), а также горных ксерофитных редколесий Восточного Закавказья (Кавказ..., 1966) и других аридных суб-

бореальных и субтропических регионов Евразии (Агаханянц, 1981).

Вторым является палеогеографический фактор. Известные исследователи флоры и растительности Самарской Луки (Обидиентова, 1953; Спрыгин, 1986; и др.) рассматривают Жигулевские горы как один из рефугиумов доледниковой (верхнетретичной) флоры на Русской равнине, в котором сохранилось множество реликтовых и эндемичных видов, прежде всего, боровых и степных растений (вторые характерны для горно-степной флоры), а также некоторых неморальнолесных видов. Длительное (со времен верхнего плиоцена) сохранение этих реликтов привело к неизбежному расширению их климатических ниш, что вызвало взаимное перекрытие их ареалов и определенное смешение самих растительных формаций.

Материалы Г.В. Обидиентовой (1953) позволяют представить следующую цепочку экологических связей, вызывающих локальную имитацию различных зональных биоклимати-

ческих условий: экспозиция и крутизна склонов (определяют интенсивность процессов выветривания и делювиального сноса) → мощность покровных отложений → характер почвенного покрова → видовой и ценотический состав растительности. Глубокое эрозийное расчленение Жигулевского массива создает резко выраженные солярно-экспозиционные, т.е. теплоэнергетические, контрасты, которые в условиях однообразия коренных пород (известняков и доломитов), а также практической безводности территории (в условиях интенсивного развития карстовых процессов) и отсутствии подземного стока проявляются почти в «чистом» виде. Эти контрасты вызывают соответствующую пестроту почвенно-растительного покрова, причем пестроту геоморфологически предопределенную, что служит наглядной иллюстрацией подмеченного еще сто лет назад И.И. Спрыгин (1986) явления локальной экстразональности, известного как «правило ландшафтного предварения» В.В. Алехина (цит. по: Мильков, 1981). Как уже говорилось, теневые склоны заняты преимущественно представителями неморальнолесной подзоны с примесью элементов бореальных лесов, а солнцепечные – не только ассоциациями южной лесостепи, но и прищельцами из и северной степи.

Зонально-географические группы фаций Жигулевских гор формируются по следующим схемам ландшафтных связей (рис. 4.8). Бореальные (боровые) и бореально-неморальные биогеоценозы распространены в достаточно широком диапазоне типов МП, но главным образом на средних участках ровных склонов – как солнцепечных, так и теневых. Им отвечают свежие и влажные эдафотопы с ксеро-мезофитным и мезофитным напочвенным покровом.

Переход к ТА местоположениям (нижним полого вогнутым склонам и их подножьям) сопровождается сменой почвенно-грунтового увлажнения на мезо-гигрофитное (сырые эдафотопы) и появлением (исключительно в теневых условиях) доминирующей неморальнолесной группы фаций, а на самих днищах долин – биогеоценозов смешанной бореально-неморальной группы. На плакорных (элювиальных) типах МП платообразных слабо расчлененных пространств Самарской Луки господствуют леса неморальной группы (вязово-кленово-липовые). Интересно отметить отсутствие в этих лесах чисто неморального напочвенного покрова. До 30% травостоя здесь составляют бореальные виды.

Наконец, специфическая лесо-лугово-степная фациальная группа приурочена главным образом к хорошо инсолируемым и дренируемым верхним выпуклым частям крутых склонов (ТЭ типам МП) с ксерофитными и мезоксерофитными эдафотопами, однако она встречается и на плакорях («лесостепное плато» антропогенного происхождения (Прокаев, 1956). Своеобразную «черезполосицу» дает ординация зонально-географических групп фаций по солярной экспозиции склонов (см. рис. 4.8 е).

Активное взаимопроникновение бореальных и степных видов в неморальнолесной покров Жигулевских гор привело к тому, что в большинстве топозкосистем присутствуют виды – представители всех трех зональных биоклиматических систем (см. рис. 4.8 з). Так, в бореальную группу входят как ксеромезоморфные ТЭ и Т сложные сосняки и сосново-широколиственные леса, так и мезогидроморфные Т и ТА дубо-липняки. В смешанной зональной группе представлен еще больший набор фаций: от мезогидроморфных липняков и осинников днищ долин до ксероморфных ТЭ дубняков теневых и нейтральных склонов. Столь же широк фациальный диапазон бореально-неморальной группы. И только лесо-лугово-степная группа связана почти исключительно с ксероморфными и мезо-ксероморфными сосняками и реже сосново-широколиственными лесами ТЭ типов местоположений.

Значительный размах ниш бинарной ординации зональных представителей по группам биогеоценозов свидетельствует об их высокой взаимной конкуренции, согласно (Логофет, Свирежев, 1983), которая может вызвать достаточно быстрое и весьма существенное преобразование всего облика лесного сообщества при фоновых климатических воздействиях. Судя по диаграммам бинарной ординации зонально-географических групп (см. рис. 4.8 з), можно полагать, что метаморфозы такого типа наиболее вероятны в плееде широколиственных лесов, распространенных как на плакорях, так и на теневых и нейтральных склонах. Однако это не означает, что преобразования неморальных лесов будут первоочередными. С точки зрения аридного тренда необходимо учитывать современную близость экологических доминантов ниш биогеоценозов к аридному критическому состоянию. По гидротермическим условиям своих эдафотопов топозкосистемы неморальнолесной группы находятся еще в сравнительно большом удалении от этого состояния, поэтому их

функционально-структурные изменения начнутся с определенным запаздыванием по сравнению, скажем, с лесо-лугово-степными экосистемами крутых солнцепечных склонов.

Фитоценотическим перестройкам в условиях высокой конкуренции сообществ будет благоприятствовать также достаточно большое разнообразие почвенных разностей в каждой зональной группе биогеоценозов, с появлением, например, в неморальнолесной группе широкой «зоны» толерантности к почвенному субстрату (см. рис. 4.8 д).

4.3.5. О климатогенных изменениях вертикальной зональной дифференциации равнинных ландшафтов. Прямая и обратная вертикальная ландшафтная дифференциация как зачаток высотной поясности является феноменальным свойством природно-территориальной структуры Русской равнины (Мильков, 1981), и она отчетливо выражена как в Присурье, так и в Жигулях. В первом случае наблюдается обратная ландшафтная дифференциация, свойственная бореальному поясу: на низменных зандровых равнинах господствуют подтаежные и даже южнотаежные леса, а эрозионно-денудационные возвышенности заняты почти исключительно широколиственнолесной растительностью, переходящей в типичную лесостепь. На территории же Самарской Луки картина в целом противоположная, хотя и осложняется фактором солярной экспозиции склонов. Распространенные на пологоволнистых водоразделах дубово-липовые леса сменяются по солнцепечным склонам представителями подзоны типичной лесостепи – редкостойными разнотравно-злаковыми сосняками и судубравами, с участками степной растительности на крутых каменистых склонах (Мельченко, 1991; Мельченко, Саксонов, 1993). Неморальнолесной облик сохраняют лишь тенивые и в меньшей степени нейтральные склоны, а также днища узких глубоко врезанных малых долин. Наконец, широкие плоскодонные днища крупных древних долин, называемых «оврагами» (Обидиентова, 1953) (таков, например, наиболее крупный в Жигулях Ширяевский овраг), – арена господства остепненных разнотравно-злаковых лугов (представителей северной степи). Как видим, здесь имеет место, хотя и не повсеместно, прямая вертикальная ландшафтная дифференциация, характерная для лесостепи и степей суббореального пояса.

В соответствии с этими региональными особенностями ландшафтной структуры рас-

сматриваемых территорий следует ожидать и совершенно различную картину направлений трансгрессии растительных формаций и соответствующих сдвигов ландшафтных границ при развитии общего аридного климатического тренда. В Присурье произойдет расширение ареалов неморальных лесов, а вслед за ними и типичной лесостепи с останцов древних поверхностей выравнивания в сторону соседних зандровых подтаежных низменностей, с общим смещением ландшафтных границ вниз по склонам. Жигулям же будет свойственно площадное поглощение широколиственных лесов типично-лесостепной и степной растительностью, и этот процесс будет направлен от крутых солнцепечных склонов и днищ крупных долин к плоским водоразделам, т.е. в общем случае снизу вверх. В том же направлении начнут сдвигаться и сами ландшафтные границы. Второй вектор аридной фитоценотической трансгрессии будет направлен от солнцепечных склонов к тенивым, с преобразованием неморальных лесов в остепненные дубовые субдубравы.

Таким образом, каждый из двух типов вертикальной дифференциации ландшафтов равнин должен иметь свою специфическую картину динамических тенденций в природно-территориальной структуре региона при одной и той же направленности фоновых климатических изменений. В первом случае мы будем иметь, так сказать, *нисходящий* (по рельефу) *тип аридизации лесных экосистем*, во втором – *восходящий тип*. Нисходящий тип латеральных экосистемных трансформаций будет свойствен преимущественно югу бореального пояса, восходящий же тип – северу пояса суббореального.

4.3.6. Некоторые выводы. В результатах проведенного исследования автор склонен видеть первый шаг к познанию локальных механизмов глобальных изменений через методическую конструкцию с рабочим названием «*эмпирическая имитация регионального биоклиматического тренда экосистемами локального уровня*». Бинарная ординация зональных черт биогеоценозов по ведущим факторам их формирования проведена на основе таких пространственно упорядоченных рядов их плакорных и экстразональных категорий, которые могут быть адекватны вектору прогнозируемых изменений климата. Через эту *методическую конструкцию* установлены основные закономерности преломления зонально-регионального биоклиматического фона местными геоморфологическими и гидроэдафическими факторами и формирования так

называемых *региональных систем локальной природной зональности*. Подобные системы способны имитировать основные направления и масштабы почвенных и фитоценологических перестроек, создавая тем самым эмпирическую основу для прогнозных ландшафтно-экологических построений.

4.4. Локальные коэффициенты увлажнения и их значение для экологических прогнозов

4.4.1. Состояние вопроса. Соотношение радиационного тепла и атмосферной влаги является, как известно (Кеппен, 1938; Высоцкий, 1960; Григорьев, 1966; Д.Л. Арманд, 1975; Исаченко, 1985; и др.), важнейшим ландшафтообразующим фактором, который формирует физиономические черты природно-территориальных структур практически всех иерархических уровней биосферы: от глобального уровня до топологического. Одновременно данный фактор служит основным связующим звеном между этими структурами, с одной стороны, и биологическим круговоротом веществ, характеризующим функциональный аспект ландшафтной организации, – с другой.

Наиболее общее представление о гидротермическом режиме природных комплексов дает коэффициент атмосферного увлажнения как ландшафтно-геофизический параметр, отражающий в первую очередь фоновые климатические условия территории. Широко известен целый ряд таких коэффициентов – годовых и сезонных показателей соотношения тепла и влаги Кеппена, Высоцкого–Иванова, Будыко, Базилевич, Торнтвейта, Мартонна, Рябчикова–Миркина, Селянинова, Рихтера. В отечественной физической географии традиционно используется коэффициент Высоцкого–Иванова (Д.Л. Арманд, 1975; Исаченко, 1985). Во-первых, этот параметр позволяет проводить ландшафтный анализ территории на основе известной информации о связях глобальных и региональных гео(эко-)систем и их компонентов с соотношением тепла и влаги. Во-вторых, он наиболее доступен для расчетов, поскольку базируется непосредственно на данных многолетних наблюдений гидрометсети.

Коэффициент увлажнения Высоцкого–Иванова $K_{увл}(1)$ есть отношение годового количества осадков $r_{год}$ к годовой испаряемости E_0 . Последний предиктор, как показали наши расчеты для территории Русской равнины, зависит почти исключительно от средней июльской температуры $t_{июля}$, с весьма высо-

кими коэффициентами корреляции $R = 0,94$ и детерминации $R^2 = 0,88$:

$$E_0 = 1384 - 161,6 t_{июля} + 6,245 t_{июля}^2. \quad (4.1)$$

При изучении современных биоклиматических условий территории регионального масштаба, а также в палеогеографических реконструкциях и экологических прогнозах параметр $K_{увл}(1)$ сопоставляется обычно с зональными типами/подтипами растительных формаций и их долготно-секторными вариантами (Сочава, 1978; Пузаченко, Скулкин, 1981; Исаченко, 1985; и др.). Теснота этих связей достаточно высока. Так, для зонального спектра Средней полосы Русской равнины (от средней тайги до южной степи) получен четко выраженный детерминированный ряд распределения групп коренных растительных формаций по градиенту параметра $K_{увл}(1)$. Коэффициент вариации этого показателя на границах природных зон и подзон колеблется от 4–6% до 10–11% (Коломыц, 2003), что указывает на высокую степень детерминации границ.

Коэффициент атмосферного увлажнения соответствует гидротермическим условиям формирования плакорных, согласно (Высоцкий, 1960), природно-территориальных комплексов (ПТК) как представителей зонально-регионального физико-географического фона (Сочава, 1978). Однако на локальном (топологическом) уровне обычно представлен также широкий набор экстразональных, по определению (Спрыгин, 1986), гео(эко-)систем малой размерности, которые имитируют биоклиматические условия не только соседних, но и весьма удаленных природных зон или регионов. Различного рода отклонения от плакорных ПТК формируются под воздействием местных геоморфологических и эдафических факторов, преломляющих данный климатический фон. Происходят, прежде всего, локализованные изменения в расходных статьях водного баланса: суммарном испарении и стоке, – что и создает местное структурно-функциональное многообразие топогеосистем. В результате этого пространственные связи, например, ландшафтных фаций (биогеоценозов), с двумя исходными для расчетов $K_{увл}(1)$ фоновыми климатическими параметрами: средней температурой июля и годовой суммой осадков, – оказываются весьма слабыми и зачастую статистически недостоверными.

Таким образом, возникает необходимость поиска такого показателя соотношения тепла и влаги, который способен адекватно отобразить топологическую дифференциацию природной среды и может быть использован как

исходный гидротермический предиктор для разработки локальных ландшафтно-экологических прогнозов. Подобные прогнозы особенно актуальны в свете современных и грядущих глобальных изменений климата. Как известно (Тимофеев-Ресовский, Тюрюканов, 1966; Сочава, 1978), истоки глобальных изменений природной среды лежат на уровне элементарных структурных единиц биосферы.

4.4.2. Объекты исследования и исходные материалы. Как в глобальном, так и в региональном масштабах наиболее резкие изменения атмосферного увлажнения (тренд $K_{увл}(1) = 0.97-1.03 \rightarrow 1.35-1.52$) имеют место в зо-

нальном спектре от южной и типичной лесостепи до смешанных лесов (Исаченко, 1985; Коломыц, 2003). Согласно В.Р. Волобуеву (1974), в этом же диапазоне происходит наиболее быстрое увеличение полноты использования радиационной энергии на почвообразующие процессы – с 53–63% до 79–82%. Таким образом, вся переходная полоса от леса к степи является ареной достаточно высокой изменчивости функциональных характеристик природных экосистем, связанной с вариациями уровня увлажнения – как атмосферного, так и почвенно-грунтового.

Таблица 4.5 (начало)

Градации геокомпонентных и комплексных признаков, используемых в моделировании

Номера градаций	Тип место положения	Форма микро-рельефа	Экспозиция склона	Эдафическое увлажнение	Группы типов леса (Присурье)	Группы почвенных разностей		Зонально-географич. группы биогеоценозов	
						Присурье	Жигули	Присурье	Жигули
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Трансэлювиальный (ТЭ)	Верхние выпуклые части склонов	316-45 ⁰	Почва сухая (ксеро- и мезоксерофиты)	Ельники и елово-сосновые леса	Д/п глубоководзолистые, суп.	Д/к среднеемощные, с/с	Бореальная таежная	Бореальная, с примесью неморальных
2	Элювиальный (Э)	Ровные склоны	271-315 ⁰ и 46-90 ⁰	Почва свежая (ксеромезофиты)	Сосняки боровые (с елью)	Д/п глубоководзолистые, слабо дерновые	Д/к мало мощные,	Бореальная боровая	Неморально-бореальная
3	Транзитный (Т)	Субгоризонтальные поверхности	226-270 ⁰ и 91-135 ⁰	Почва влажная (мезофиты + мезоксерофиты + гигрофиты)	Осинники (чистые и с дубом и елью)	Д/п неглубоководзолистые, песчаные и супесчаные	Д/к мало мощные, на элювии известняка	Смешанная бореально-неморальная	Смешанная бореальная и неморальная
4	Трансаккумулятивный и аккумулятивный (ТА, А)	Нижние вогнутые части склонов	Горизонтальная поверхность	Почва сырая (мезогигрофиты + гигрофиты)	Сосново-широколиственные леса	Д/п мелко-Подзолистые, слабо дерновые	Темносерые лесные на глинах	Неморальная (дубравная) европейская	Бореально-неморальная

Таблица 4.5 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	Супер-аквальный и элювиально-аккумулятивный (СА, ЭА)	Днища долин, ложбины и западины	136-225 ⁰	Почва мокрая (гигрофиты + мезогигрофиты)	Елово-широколиственные и елово-березовые леса	Светлосерые лесные, л/с, наводно-ледник. песках	Д/к выщелоченные, маломощные на делювии	Неморальная евразийская	Неморальная, с примесью бо-реальных
6					Дубово-липовые леса	Серые лесные на карбонатах	Д/к намытые на делювии		Смешанная лесолуговая
7						Торфяно-болотные			

Таблица 4.6

Ожидаемые изменения гидротермических параметров состояния лесных биогеоценозов экорегиона Присурье, согласно прогнозно-климатической модели HadCM3 (см. Poreetal., 2000)

Прогнозные сроки	Группы биогеоценозов	$t_{июля}$	$r_{год}$	E_0	$K_{увл}(1)$	$W-20$	$K_{увл}(2)$	$W_{об}$	$K_{увл}(3)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Базовый период	1	19.3	635	591	1.07	19	0.88	703	1.19
	2					34	1.43	709	1.20
	3					52	2.05	732	1.25
	4					33	1.40	723	1.22
	5					43	1.75	721	1.22
	6					72	2.69	737	1.25
2075 г.	1	23.5	652	1035	0.63	10	0.51	561	0.54
	2					18	0.84	565	0.54
	3					27	1.18	574	0.55
	4					18	0.84	567	0.55
	5					23	1.03	569	0.54
	6					38	1.57	577	0.55
2150 г.	1	26.3	624	1454	0.43	6	0.34	466	0.32
	2					16	0.76	469	0.32
	3					22	1.00	474	0.32
	4					14	0.68	473	0.32
	5					16	0.76	472	0.32
	6					30	1.29	476	0.32

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения гидротермических параметров плакорных топогео-систем. Остальные обозначения см. в тексте и в табл. 4.1.

Таблица 4.7

**Ожидаемые изменения гидротермических параметров состояния
лесных биогеоценозов экорегиона Жигули, согласно прогнозно-климатической
модели HadCM3.(см. Popeetal., 2000)**

Прогнозные сроки	Группы биогеоценозов	$t_{июля}$	$r_{год}$	E_0	$K_{увл}(1)$	$W-20$	$K_{увл}(2)$	$W_{об}$	$K_{увл}(3)$
Базовый период	1	23.5	629	771	0.82	115	1.29	575	0.75
	2	12.7		679	0.93	171	1.64	677	1
	3	19.1		626	1.05	171	1.64	728	1.16
	4	20.1		659	0.95	355	1.80	738	1.12
	5	18.1		593	1.06	233	1.86	774	1.3
	6	21.1		692	0.91	325	1.88	699	1.01
2075 г.	1	28.4	622	1340	0.46	28	0.49	402	0.3
	2	25.0		1179	0.53	47	0.69	517	0.44
	3	23.1		1088	0.57	50	0.72	580	0.53
	4	24.3		1145	0.54	125	1.36	562	0.49
	5	21.9		1030	0.60	85	1.05	629	0.61
	6	25.5		1202	0.52	110	1.26	516	0.43
2150 г.	1	31.8	580	1883	0.31	21	0.41	286	0.15
	2	28.0		1657	0.35	27	0.48	411	0.25
	3	25.8		1529	0.37	45	0.67	482	0.32
	4	27.2		1609	0.36	73	0.95	453	0.28
	5	24.5		1448	0.40	51	0.73	532	0.37
	6	28.6		1689	0.34	65	0.87	406	0.24

Примечание. Условные обозначения те же, что и в табл. 4.6.

Таблица 4.8

Распределение групп биогеоценозов экорегиона Присурье в поле их уровней функционирования и локальных коэффициентов атмосферного $K_{увл}(1)$, эдафического $K_{увл}(2)$ и общего $K_{увл}(3)$ увлажнения, индицируемых по таксономической норме июльских запасов продуктивной влаги в почве

Уровни функционирования	I. Эвритопный		3		
	II. Субэвритопный	4			
	III. Мезотопный			2	
	IV. Субстенотопный			5	
	V. Стенотопный	1			6
$K_{увл}(1)$		1.07			
$K_{увл}(2)$		4 – 1.40 1 – 0.88	3 – 2.05	2 – 1.43 5 – 1.75	6 – 2.69
$K_{увл}(3)$		4 – 1.22 1 – 1.19	3 – 1.25	2 – 1.20 5 – 1.22	6 – 1.25

Примечание. 1–6 – номера групп биогеоценозов (см. табл. 4.1).

Таблица 4.9

Распределение групп биогеоценозов экорегиона Жигули в поле их уровней функционирования и локальных коэффициентов атмосферного $K_{увл}(1)$, эдафического $K_{увл}(2)$ и общего $K_{увл}(3)$ увлажнения, обусловленных солярно-экспозиционными контрастами низкогорья

Уровни функционирования	I. Эвритопный		4		
	II. Субэвритопный			2	5
	IV. Субстенотопный	1			3
	V. Стенотопный			6	
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
$K_{увл}(1)$		1–0.82	4–0.95	2–0.93 6–0.91	5–1.06 3–1.05
Зоны /подзоны–аналоги, восточный сектор Русской равнины (зональный коэффициент увлажнения)		Типичная и южная лесостепь (0.76–0.95)	Широколиственные леса (0.95–1.05)	Типичная лесостепь (0.86–0.95)	Смешанные леса (1.05–1.35)
$K_{увл}(2)$		1–1.29	4–1.80	2–1.64 6–1.88	5–1.86 3–1.64
$K_{увл}(3)$		1–0.75	4–1.12	2–1.00 6–1.01	5–1.30 3–1.16

Примечание. 1–6 – номера групп биогеоценозов (см. табл. 4.1).

Таблица 4.10

Средние и минимальные (в скобках) критические значения июльских запасов продуктивной влаги в почве, при которых происходят зональные смены плакорных растительных сообществ на территории Среднего Поволжья

Ландшафтно-зональные условия (экорегион)	Слой почвы, см	Уровни критических запасов продуктивной влаги в почве, мм		
		I – для смешанных лесов (зональный переход к широколиственным лесам)	II – для сплошного неморального лесного покрова (зональный переход к типичной и южной лесостепи)	III – для островных парковых лесов и редколесий (зональный переход к северной степи)
Подзона широколиственных лесов (Нижегородское Предволжье, Кудьма)	0 – 20	46 (37)	40 (32)	30 (24)
	0 – 50	108 (87)	92 (74)	62 (48)
	0 – 100	215 (180)	185 (147)	122 (102)
Подзона типичной лесостепи (Присурье)	0 – 20	42 (34)	38 (29)	29 (23)
	0 – 50	96 (78)	85 (70)	57 (43)
	0 – 100	190 (150)	170 (132)	110 (87)
Подзона южной лесостепи (Самарская Лука, Жигули)	0 – 20	38 (32)	36 (30)	28 (22)
	0 – 50	84 (70)	79 (65)	52 (38)
	0 – 100	170 (130)	155 (120)	100 (75)

В этой полосе на территории основного водосбора Волжского бассейна нами были выбраны три экспериментальных полигона: 1) Нижегородское возвышенное Предволжье (20 км южнее Нижнего Новгорода, правобережье малой р. Кудьмы – правого притока Волги); взят участок коренных дубово-липовых и сосновых лесов в неморальнолесной подзоне; 2) территория Чувашского Национального природного парка «Чаваш Вармане» на возвышенном правобережье р. Суры, в подзоне типичной лесостепи; представлена сосновыми, смешанными и широколиственными лесами на зандрах и останцах древних поверхностей выравнивания; 2) участок Национального природного парка «Самарская Лука» в подзоне южной лесостепи; охватывает дубравы, липняки и остепненные сосняки Жигулевского низкогогорного массива – одного из южных форпостов зональных экотон лесостепи.

Каждый такой полигон рассматривается как представитель соответствующего экорегиона, с условным названием (Кудьма, Присурье, Жигули). В пределах каждого полигона было выделено шесть групп лесных биогеоценозов (ландшафтных фаций).

4.4.3. Локальное разнообразие коэффициента атмосферного увлажнения. Местный отклик на глобальные климатические сигналы определяется механизмом передаточных функций в ландшафтных связях, которые трансформируют эти сигналы при их прохождении через сопряженные ансамбли природных комплексов и их компонентов. Эмпирически было установлено, что основной пропускной канал связей региональных и локальных ПТК с климатом проходит через *летнее влагосодержание почвы*, которое, с одной стороны, служит достаточно надежным геофизическим индикатором состояния гео(эко-)систем, а с другой – является наиболее мощным экологическим фактором, который предопределяет их территориальную организацию (Коломыц, 2008). Для основного водосбора Волжского бассейна найдены достаточно тесные связи июльских запасов продуктивной влаги в слоях почвы 0–20 см (*W-20*), 0–50 см (*W-50*) и 0–100 см (*W-100*) с параметром $K_{увл}(1)$.

В самом топологическом пространстве фоновое влагосодержание почвы трансформируется типом местоположения в системе местных ландшафтных сопряжений (катен), экспозицией и крутизной склона, механическим составом почвообразующих пород. В резуль-

тате возникает определенное множество значений запасов почвенной влаги при одном и том же $K_{увл}(1)$, с соответствующим многообразием фациальных структур. В Присурье и Жигулях неморальнолесные биогеоценозы имеют информационные коэффициенты сопряженности, по (Пузаченко, Скулкин, 1981), с параметрами (*W-20*), (*W-50*) и (*W-100*) соответственно 0.154–0.173, 0.128–0.162 и 0.139–0.200. Это существенно превышает критический порог значимости связей – 0.070 (см. Коломыц, 1995). В условиях низкогогорья связи выражены несколько сильнее, чем на слабо расчлененной возвышенной равнине.

Экорегион Присурье, с его слабо расчлененным рельефом, может быть охарактеризован одним значением параметра $K_{увл}(1) = 1.07$. Такое соотношение тепла и влаги в восточном секторе Волжского бассейна свойственно зональной границе между смешанными и широколиственными лесами (Коломыц, 2003), что и нашло отражение в ландшафтной структуре этого региона. Гораздо сложнее обстоит дело с экорегионом Жигули, где на первый план локальной дифференциации геосистем выходит соляно-экспозиционный фактор. Плакорные вязо-липняки приводораздельной полосы жигулевского плато имеют значения $K_{увл}(1) = 0,95$, что соответствует субзональному экотону между подзонами широколиственных лесов и типичной лесостепи. Для определения коэффициентов увлажнения на различно ориентированных склонах нами использовались результаты актинометрических наблюдений, проведенных в различных горных районах, по климатическим условиям близких к Жигулям (Щербаков, 1970; Выгодская, 1981). На основе экспериментальных данных (в годовом осреднении и при действительных условиях облачности) были установлены поправочные коэффициенты $k(E_0)$. Они позволили определить отклонения суммарной радиации, радиационного баланса и, следовательно, величины испаряемости на склонах разной экспозиции и крутизны от аналогичных параметров при субгоризонтальных (плакорных) условиях. Средневзвешенные нормы $k(E_0)$ для всех шести групп жигулевских биогеоценозов оказались следующими: 1 – 1,17; 2 – 1,03; 3 – 0,95; 4 – 1,00; 5 – 0,90; 6 – 1,05.

Как видим, разница в годовой испаряемости между геосистемами крутых солнцепечных и теневых склонов составляет 25–30%. В то же время на склонах западной и восточной четвертей горизонта и на пологих северных склонах (в группах фаций 2 и 3) отклонения испаряемости от ее значений на плакорных не

превышают 3–5%. Примерно на такую же величину дополнительно прогреваются днища малых долин. При расчетах $K_{увл}(1)$ годовое количество осадков для всех топогеосистем принималось одинаковым. Как известно (Гарцман, 1977), на топологическом уровне, т.е. в масштабе малых водосборов, водный баланс территории изменяется главным образом за счет его расходной части (испарения и стока), между тем как приходная часть (осадки) варьирует незначительно.

В результате расчетов были получены локальные коэффициенты атмосферного увлажнения для топогеосистем Жигулевских гор. Сопоставив эти коэффициенты с их зонально-региональными (фоновыми) аналогами, удалось установить, к каким зонально-географическим условиям следует отнести гидротермический режим той или иной экстразональной группы биогеоценозов низкогорья. Таким образом, была проведена количественная имитация ландшафтно-зональных систем гидроэдафотопами локального плакорно-экстразонального ряда. Локальный $K_{увл}(1)$ можно рассматривать как своего рода имитационную меру, позволяющую более четко определить весь спектр разнообразия локальных отклонений от фоновых зональных условий данной территории. В экорегионе Жигули этот спектр оказался весьма широким. Он аналогичен зональному диапазону атмосферного увлажнения от северной степи до смешанных лесов.

4.4.4. Коэффициент эдафического увлажнения и метод его расчета. Коэффициент атмосферного увлажнения характеризует гидротермические условия территории лишь в первом приближении и носит весьма обобщенный характер (Д.Л. Арманд, 1975, Исаченко, 1985). Высказывается даже мнение о том, что подобные соотношения в виде одного показателя вообще мало значимы для познания топологического разнообразия гидротермики гео(эко-)систем (Сочава и др., 1970). Данные по $K_{увл}(1)$ для равнинных условий Присурья – наглядное тому подтверждение. Здесь локальные вариации этого коэффициента практически отсутствуют.

Дело в том, что фоновый коэффициент атмосферного увлажнения, равно как и известный радиационный индекс сухости (Будыко, 1971), по отношению к гео(эко-)системам регионального и топологического уровней являются входными параметрами. Они не учитывают местное разнообразие процессов круговоротов тепла и влаги, которое дает це-

лый спектр состояний гидроэдафотопов при одних и тех же соотношениях поступающей солнечной энергии и выпадающих осадков. Как отмечено в (Варлыгин, Базилевич, 1992), даже на уровне растительных формаций, т.е. в зонально-региональном масштабе, общее количество осадков не отражает реальных условий увлажнения. Поэтому авторы данной работы в расчетах индекса сухости вместо годовой суммы осадков используют годовую эвапотранспирацию. Еще менее информативными оказываются фоновые значения $K_{увл}(1)$ на уровне топогеосистем. Правда, при сильно расчлененном рельефе локальный $K_{увл}(1)$ уже вносит определенные поправки через испаряемость, связанную с солярной экспозицией склонов (это уже показано на примере Жигулей). Тем не менее, топологические контрасты расходных статей водного баланса: испарения и стока, – определяющих влагосодержание почвы в рамках поступающего количества влаги, остаются не учтенными.

Необходимо обратиться непосредственно к выходной характеристике состояния гидроэдафотопов – запасам продуктивной влаги в почве. Как отметил В.С. Преображенский (1960), формирование природных комплексов локального уровня происходит через «грунтовый климат» и грунтовый сток, которые непосредственно связаны с литологией почвообразующих пород и, добавим, с самим типом местоположения. Гидроэдафотопы преломляют фоновые соотношения тепла и влаги в соответствии с местными особенностями ландшафтного сопряжения. В результате возникает определенное топологическое множество коэффициентов увлажнения, только теперь уже не атмосферного, а эдафического – $K_{увл}(2)$.

Через коэффициент эдафического увлажнения удастся провести количественную имитацию зональных гидротермических условий гео(эко-)системами локального уровня для регионов со слабо расчлененным рельефом, где отсутствует локальное разнообразие $K_{увл}(1)$. Репрезентативность такой имитации обеспечивается весьма сильными корреляционными связями летних запасов почвенной влаги с коэффициентом атмосферного увлажнения (Коломыц, 2008).

Для определения $K_{увл}(2)$ были использованы предварительно установленные по данным 120 агрометстанций и 5 воднобалансовых станций Волжского бассейна связи параметра $K_{увл}(1)$ со среднеиюльскими запасами продуктивной влаги в почве. Эти связи для лесных

площадок оказались следующими ($R = 0,89-0,90$; $R^2 = 0,79-0,81$):

$$K_{увл}(1) = 0.242 + 0.06284 (W-20) - 0.00062 (W-20)^2; \quad (4.2)$$

$$K_{увл}(1) = 0.1226 + 0.025 (W-50) - 0.00008267 (W-50)^2; \quad (4.3)$$

$$K_{увл}(1) = 0.1596 + 0.01236 (W-100) - 0.00002178 (W-100)^2. \quad (4.4)$$

Подставляя в эти формулы базовые значения запасов почвенной влаги для каждой группы лесных биогеоценозов в пределах данного экорегиона, получаем соответствующее множество локальных коэффициентов эдафического увлажнения $K_{увл}(2)$. Каждый из этих коэффициентов характеризует такое местное соотношение тепла и влаги, которому отвечает фиксируемая норма летнего влагосодержания почвы в топогеосистеме, отчего и сами коэффициенты получили название эдафических.

4.4.5. Локальный коэффициент «общего» увлажнения. В гидро-климатологии нередко используется параметр «общее увлажнение» $W_{об}$ как влагоресурсы процесса испарения (Мезенцев и др., 1974). Параметр $W_{об}$ учитывает помимо атмосферных осадков, регистрируемых осадкомерами, поступление на земную поверхность влаги за счет конденсации приземных водяных паров (росы, иней) и влагообмена с нижележащими слоями почвы. Общее увлажнение рассчитывалось по годовым значениям суммарного испарения, речного стока и испаряемости, в результате чего были получены следующие уравнения множественной регрессии ($R = 0,88$; $R^2 = 0,77$):

$$W_{об} = 1211 - 31.66 t_{июля} + 0.1329 r_{год} + 0.4108 (W-50); \quad (4.5)$$

$$W_{об} = 1200 - 31.81 t_{июля} + 0.119 r_{год} + 0.2259 (W-100). \quad (4.6)$$

По приведенным зависимостям были рассчитаны значения $W_{об}$, а затем — локальные коэффициенты общего (атмосферно-грунтового) увлажнения $K_{увл}(3)$ как отношение $W_{об}$ к E_0 . Для плакорных топоэкоцистем Присурья и Жигулей параметр $K_{увл}(3)$ оказался равным соответственно 1,25 и 1,07. Это означает, что по общему увлажнению первая региональная экосистема должна быть отнесена к зоне смешанных лесов, а вторая — к пограничной полосе между смешанными и широколиственными лесами (см. Коломыц, 2003). Согласно $K_{увл}(3)$, данные экорегионы должны быть смещены к северу на целую подзону по сравнению с тем, что дает $K_{увл}(1)$.

Судя по значениям локальных коэффициентов эдафического и общего увлажнения,

естественный потенциал базовых зональных норм увлажнения достаточно высок не только в равнинном Присурье, но и в Жигулевских горах, что и обеспечило устойчивое развитие здесь за последние столетия лесных сообществ на плакорных местообитаниях. На зональных экотонах леса и степи лесные сообщества могут существовать при явном дефиците атмосферного увлажнения.

Таким образом, удалось существенно расширить методическую базу оценок соотношения тепла и влаги, что позволило гораздо эффективнее использовать данный критерий для выявления локального разнообразия гидротермических структур геосистем как в их исходном состоянии, так и на всех этапах прогнозного периода. Для биогеоценозов Присурья и Жигулей базовые коэффициенты увлажнения: $K_{увл}(1)$, $K_{увл}(2)$ и $K_{увл}(3)$. Их значения при интенсивном глобальном потеплении, прогнозируемые по климатической модели HadCM3 (см. главу 7), для различных фациальных групп представлены в табл. 4.6 и 4.7. Прогнозные расчеты летнего влагосодержания почвы производились по методике, изложенной в работе (Коломыц, 2008).

4.4.6. Коэффициенты увлажнения и уровни функционирования геосистем. По 23 параметрам фитоценотического функционального блока лесных биогеоценозов (см. очерк 1, а также Коломыц, 2008) были рассчитаны их меры отношений включения, согласно (Андреев, 1980), и установлены *экологические группы (экотипы) фаций*, отвечающие различным уровням функционирования — как производства, так и разложения фитомассы. Доминирующим (эвритопным) топогеосистемами свойственны максимальные значения живых фитомасс и продуктивности и наибольшая скорость разложения мертвой органики. Пониженный уровень функционирования имеют субэвритопы и мезотопы. Наконец, редуцированные геосистемы: субстенотопы и стенотоппы, — отличаются минимальными запасами живых фитомасс, наименьшей продуктивностью и сильно заторможенным биологическим круговоротом. Итак, налицо *достаточно высокая контрастность функциональных состояний лесных биогеоценозов в каждом экорегионе*, что должно создавать соответствующее многообразие их ответных реакций на одни и те же фоновые гидротермические сигналы.

В условиях слабо расчлененной возвышенной равнины (экорегион Присурье) локальная дифференциация ПТК обусловлена

почти исключительно коэффициентом эдафического увлажнения (табл. 4.8). Плакорные неморальнолесные комплексы (группа фаций 3) занимают срединное положение в гидроэдафическом ряду, обладая одновременно наиболее высоким уровнем функционирования и, следовательно, максимальной продуктивностью. Они отличаются относительно высокой степенью почвенно-грунтового увлажнения ($K_{увл}(2) > 2$). Более увлажнены только элювиально-аккумулятивные и супераквальные хвойно- и смешаннолесные геосистемы (группа 6).

Таксономическая базовая норма летних запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы плакоров составляет около 250 мм в Присурье и более 350 мм в Жигулях. Это превышает максимум влагозапасов при наименьшей влагоемкости (НВ) дерново-среднеподзолистых и серых лесных суглинистых почв (180–200 мм). Как известно, летние влагозапасы в почве на уровне НВ обеспечивают оптимальное развитие растений (Роде, 1965; Вериге, Разумова, 1973), что как раз отвечает эвритопной функциональной категории плакорных дубо-липняков.

Вся экстразональная плейда топоэкосистем Присурья расположена на нисходящих ступенях функционирования по отношению к плакорам (см. табл. 4.8). В то же время почти все они, за исключением шестой фациальной группы, находятся в условиях меньшего, чем плакоры, эдафического увлажнения. Хотя таксономическая норма их ($W-100$) = 175–185 мм, т.е. близка к оптимальной, эти лесные сообщества не отличаются высокой производительностью.

Переход к сосново-широколиственным лесам моренных присурских равнин и далее к зандровым елово-сосновым лесам и борovým соснякам (группам фаций 2 и 1) сопровождается дальнейшим уменьшением почвенных влагозапасов до 120–90 мм, что уже соответствует уровню замедленного развития растений (Роде, 1965). Одновременно происходит снижение $K_{увл}(2)$ до 0,90. Очевидно, лимитирующим фактором продуктивности этих мезотопных и стенопотных лесных экосистем является дефицит почвенно-грунтовой влаги, несмотря на то, что их атмосферное увлажнение вполне достаточное ($K_{увл}(1) > 1$).

Гораздо более разнообразны и контрастны локальные гидротермические структуры в условиях глубоко расчлененного низкогорного рельефа (экорегия Жигули). Здесь территориально дифференцированы не только эдафический коэффициент увлажнения, но и

атмосферные коэффициенты $K_{увл}(1)$ и $K_{увл}(3)$, что вызвано почти исключительно соляро-экспозиционными контрастами элементов горного рельефа. По атмосферному увлажнению плакорные липняки Жигулевского массива характеризуются повышенной ксероморфностью: их $K_{увл}(1)$ отвечает соотношению тепла и влаги на самой южной окраине подзоны широколиственных лесов (табл. 4.9). В то же время эти лесные сообщества развиты на высокогидроморфных эдафотопях ($K_{увл}(2) \rightarrow 1,8$), что сближает их с плакорными дубравами Присурья.

Как уже говорилось, в Жигулях представлен достаточно широкий спектр экстразональных ПТК. В их семиаридной плейде наименьшее эдафическое увлажнение свойственно 1-й фациальной группе лесо-луго-степного зонального облика. Эти разреженные остепненные сосняки относятся к типичной лесостепи и находятся на пониженном (субстенотопном) уровне функционирования. Семигумидную же плейду кроме плакорных вязо-липняков образуют субэвритопные сосново-широколиственные леса и субстенотопные дубняки теневых и нейтральных склонов (группы фаций 2 и 3), тяготеющие к зоне смешанных лесов. Повышенная гидроморфность почв свойственна также днищам малых долин и подножьям прилегающих к ним склонов (группам 6 и 5).

Таким образом, *локальная аридизация гидроэдафотопов (за исключением супераквальных местоположений) при движении вверх по катене сопровождается снижением общего уровня функционирования лесных сообществ.* Данная закономерность примечательна тем, что она по существу имитирует картину смены функциональных состояний лесных экосистем при прогнозируемом термоаридном климатическом тренде.

4.4.7. Гидроэдафические условия критических состояний лесных геосистем. Для прогноза экологических последствий климатогенных изменений гидрологического режима почв необходимо было определить критические значения летнего содержания почвенной влаги ($W_{крит}$), при которых совершаются переходы один в другой зональных типов или подзональных подтипов растительного покрова. С этой целью использованы полученные ранее корреляционные связи зональных и подзональных границ в различных секторах Волжского бассейна с коэффициентом атмосферного увлажнения (Коломыц, 2003). Переход от пограничных (критических) значений

$K_{увл}(1)$ к соответствующим величинам $K_{увл}(2)$ осуществлялся по найденной нами эмпирической зависимости ($R = 0.90$; $R^2 = 0.81$):

$$K_{увл}(2) = 0.409 - 0.05697 \cdot K_{увл}(1) + 1.399 \cdot K_{увл}(1)^2. \quad (4.7)$$

Значения параметра $K_{увл}(2)$ оказались в целом в 15–2 раза более высокими по сравнению с $K_{увл}(1)$. Это позволяет объяснить, почему лесные сообщества могут устойчиво существовать при явном дефиците атмосферного увлажнения.

На основе корреляционных связей июльских запасов продуктивной влаги в плакорных лесных экосистемах с параметром $K_{увл}(2)$ были получены два ряда критических влагозапасов (таксономических норм и минимальных значений) для трех основных зональных рубежей на территории Среднего Поволжья: а) перехода от бореального пояса к суббореальному; б) смены широколиственных лесов типичной и южной лесостепью; в) перехода от южной лесостепи к северной степи. По определению А.Д. Арманда (1989), при критическом состоянии гео(эко-)системы происходит ее качественная перестройка, включающая структурные изменения. Представленные в табл. 4.10 июльские критические влагозапасы почвы сняты с графиков статистических связей, по которым были получены расчетные формулы (4.2–4.4 и 4.7). Значения $W_{крит}$ характеризуют конкретные состояния гидроэдафотопов, при которых должны совершаться указанные выше наиболее резкие (скачкообразные) функционально-структурные изменения в геосистемах плакорного ряда, отображающих, как уже говорилось, зонально-региональный фон данной территории.

Обращает на себя внимание сравнительно узкий диапазон значений $W_{крит}$ между первым и вторым уровнями, т.е. между северной и южной границами неморальнолесной подзоны. Это говорит о том, что при интенсивном развитии термоаридного тренда процесс остепнения и последующего распада лесного покрова может охватить в равной степени как

широколиственные, так и смешанные формации, создавая не только мелколиственнодубравную, но и хвойную типичную лесостепь.

Примечательно также, что сплошной неморальнолесной покров и островные леса с редколесьями на своих южных форпостах (в данном случае на жигулевском плато) приходят в критическое состояние при более высоком летнем влагосодержании почвы, нежели в «ядре типичности» подзоны широколиственных лесов (на останцах древних поверхностей выравнивания в Присурье). Лесные и лесостепные экосистемы плакоров в «ядре» подзоны обладают более высокими запасами гомеостатичности, чем на ее южной периферии. Следовательно, при одном и том же гидротермическом сигнале лесные сообщества должны придти в критическое состояние в первую очередь на зональных экотонах леса и степи и лишь затем – в более внутренних районах лесных зон. Этот вывод подтверждается результатами анализа прогнозных моделей самих ландшафтно-экологических переходов (см. Коломыц, 2008).

4.4.8. Итоги и перспективы. Изложенные материалы данного очерка демонстрируют несомненную научно-методическую эффективность использования в ландшафтно-экологическом анализе предложенного автором коэффициента эдафического увлажнения как комплексного параметра состояния гидроэдафотопов, определяющего пространственную организацию геосистем топологического уровня. Входящее в этот коэффициент летнее влагосодержание почвы служит основным звеном передачи гидротермических сигналов с глобального уровня на региональный и локальный. Оно вызывает соответствующую климатогенную динамику природных комплексов, что и отражено в результатах проведенных прогнозных оценок состояния лесных экосистем по одной из глобальных климатических моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агаханияц О.Е. Аридные горы СССР. Природа и географические модели флорогенеза. М.: Мысль, 1981. 270 с.

Александрова Т.Д. Статистические методы изучения природных комплексов. М.: Наука, 1975. 96 с.

Алисов Б.П. Климат СССР. М.: Изд-во МГУ, 1956. 127 с.

Андреев В.Л. Классификационные построения в экологии и систематике. М.: Наука, 1980. 142 с.

Антипов А.Н., Корытный Л.М. Географические аспекты гидрологических исследований. Новосибирск: Наука, 1981. 175 с.

- Антомонов Ю.Г.** Моделирование биологических систем. Справочник. Киев: Наукова думка, 1977. 260 с.
- Арманд А.Д.** Информационные модели природных комплексов. М.: Наука, 1975. 126 с.
- Арманд А.Д.** Устойчивость (гомеостатичность) географических систем к различным типам внешних воздействий // Устойчивость геосистем. М.: Наука, 1983. С. 14-32.
- Арманд А.Д.** Ландшафт как конструкция // Изв. ВГО. Т. 120, вып. 2. 1988 а. С. 120-125.
- Арманд А.Д.** Самоорганизация и саморегулирование географических систем. М.: Наука, 1988 б. 260 с.
- Арманд А.Д.** Общие представления // Экосистемы в критических состояниях. М.: Наука, 1989. С. 10-41.
- Арманд А.Д., Ведюшкин М.А.** Триггерные геосистемы. М.: Ин-т географии АН СССР, 1989. 51 с.
- Арманд А.Д., Кушнарева Г.В.** Переход экосистем через критические состояния в пространстве // Экосистемы в критических состояниях. М.: Наука, 1989. С. 75-148.
- Арманд А.Д., Таргульян В.О.** Некоторые принципиальные ограничения эксперимента и моделирования в географии. Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1974. № 4. С. 129-138.
- Арманд Д.Л.** Принципы физико-географического районирования // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1952. N 1. С. 68-82.
- Арманд Д.Л.** Происхождение и типы природных границ // Изв. ВГО. 1955. Т. 87. С. 266-278.
- Арманд Д.Л.** Некоторые задачи и методы физики ландшафта // Геофизика ландшафта. М.: Наука, 1967. С. 7-24.
- Арманд Д.Л.** Наука о ландшафте. М.: Мысль, 1975. 287 с.
- Базилевич Н.И.** Продуктивность, энергетика и биогеохимия наземных экосистем Тихоокеанского кольца // Вопросы географии. Сб. 117. М.: Мысль, 1981. С. 146-208.
- Базилевич Н.И., Гребенщиков О.С., Тишков А.А.** Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука, 1986. 297 с.
- Базилевич Н.И., Родин Л.Е.** Географические закономерности продуктивности и круговорота химических элементов в основных типах растительности Земли // Общие теоретические проблемы биологической продуктивности. Л.: Наука, 1969. С. 24 -33.
- Базилевич Н.И., Родин Л.Е.** Продуктивность и круговорот элементов в естественных и культурных фитоценозах (по материалам СССР) // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. М.: Наука, 1971. С. 5-32.
- Бакельман И.Я.** Аналитическая геометрия и линейная алгебра. М.: Просвещение, 1976. 288 с.
- Балкаров Б.Б.** Об исследовании связей между геоэкологическими параметрами // Труды Высокогор. геофизич. ин-та. Вып. 75. М.: Гидрометеиздат, 1989. С. 29-38.
- Барш Г.** Результаты и проблемы типизации и классификации хорических геосистем // Структура, динамика и развитие ландшафтов. М.: Ин-т географии АН СССР, 1980. С. 101-109.
- Бейли Н.** Математика в биологии и медицине. М.: Мир, 1970. 327 с.
- Берг Л.С.** Географические зоны Советского Союза. М.: Географгиз, 1947. 397 с.
- Беручашвили Н.Л.** Геофизика ландшафта. М.: Наука, 1990. 287 с.
- Беручашвили Н.Л., Арутюнов С.Р., Тедиашвили А.Г.** Ландшафтная карта Кавказа. Масштаб 1: 1 000 000. Тбилиси: Изд-во Тбилис. Ун-та, 1979. 2 л.
- Биологическая продуктивность лесов Поволжья /** Отв. ред. С.Э. Вомперский. М.: Наука, 1982. 282 с.
- Битвинкас Т.Т.** Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 172 с.
- Блауберг И.В., Садовский В.Н., Юдин Э.Г.** Системный подход в современной науке // Проблемы методологии системного мышления. М.: Мысль, 1970. С. 7-48.
- Бойчук В.В., Марченко А.С.** Фон и вариации элементов физико-географической среды. М.: Наука, 1968. 64 с.
- Боревич З.И.** Определители и матрицы. М.: Наука, 1970. 199 с.
- Будыко М.И.** Климат и жизнь. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 472 с.
- Будыко М.И.** Глобальная экология. М.: Мысль, 1977. 327 с.
- Букс И.И.** Ландшафтно-экологическая характеристика зоны БАМа и устойчивость природной среды // Вопросы географии. Сб. 105. Байкало-Амурская магистраль. М.: Мысль, 1977. С. 81-97.
- Бунге В.** Теоретическая география. М.: Прогресс, 1967. 279 с.
- Быков Б.А.** Геоботанический словарь. Алмата: Изд-во «Наука» Казахской ССР, 1973. 214 с.
- Бяллович Ю.П.** Биогеоценотические горизонты // Тр. Московск. об-ва испытат. природы. Т. III. 1960. С. 43 -60.
- Бяллович Ю.П.** Системы биогеоценозов // Проблемы биогеоценологии. М.: Наука, 1973. С. 37-47.
- Варлыгин Д.Л., Базилевич Н.И.** Связи продукции зональных растительных фомаций Мира с некоторыми параметрами климата // Изв. РАН. Сер. геогр. 1992. № 1. С. 23-32.

- Василевич В.И.** Очерки теоретической фитоценологии. Л. Наука, 1983. 247 с.
- Васильев В.Н.** Закономерности процесса смен растительности // Матер. по истории флоры и растительности СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 1946. Вып. II. С. 365 -403.
- Ведюшкин М.А.** Гистерезис в конкурентных системах // Факторы и механизмы устойчивости геосистем. М.: Институт географии АН СССР, 1989. С. 215-225.
- Ведюшкин М.А.** Моделирование пространственных переходов между фитоценозами // Математическое моделирование популяций растений и фитоценозов. М.:Наука, 1992. С. 24-30.
- Вейль Г.** Симметрия. М.: Наука, 1968. 191 с.
- Величко А.А.** Глобальные изменения климата и реакция ландшафтной оболочки // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1991. № 5. С. 5 -22.
- Вериго С.А., Разумова Л.А.** Почвенная влага (применительно к запросам сельского хозяйства). Л.: Гидрометеиздат, 1973. 328 с.
- Вернадский В.И.** Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. 374 с.
- Вигнер Е.** Этюды о симметрии. М.: Мир, 1971. 318 с.
- Викторов А.С.** Рисунок ландшафта. М.: Мысль, 1986. 179 с.
- Виноградов Б.В.**Аэрокосмический мониторинг экосистем. М.: Наука, 1984. 320 с.
- Волобуев В.Р.** Экология почв (очерки). Баку: Изд-во АН Азерб. ССР, 1963.
- Волобуев В.Р.** Введение в энергетику почвообразования. М.: Наука, 1974. 128 с.
- Выгодская Н.Н.** Радиационный режим и структура горных лесов. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 261 с.
- Высоцкий Г.Н.** Об оро-климатических основах классификации почв // Почвоведение, 1906. № 1. С. 3-18.
- Высоцкий Г.Н.** О фито-типологических картах, способах их составления и их практическом значении // Почвоведение, 1909. № 2. С. 98-119.
- Высоцкий Г.Н.** Избранные труды. М.: Сельхозгиз, 1960. 435 с.
- Галицкий В.В., Тюрюканов А.Н.** Биогеоценология: объекты и методы. Пушино: Научный центр биологич. исследований АН СССР, 1984. 29 с.
- Гарцман И.Н.** Проблемы географической зональности и дискретность гидрометеорологических полей в горных условиях муссонного климата // Тр. ДВНИГМИ. Вып 35. Л.: Гидрометеиздат, 1971. С. 3-31.
- Гарцман И.Н.** Системные аспекты моделирования в гидрологии // Труды ДВНИГМИ, вып. 63. Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 3-84.
- Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И.** Физическая география СССР. Азиатская часть. М.: Высш. шк., 1987. 448 с.
- Герасимов И.П.** Генетические, географические и исторические проблемы современного почвоведения. М.: Наука, 1976. 298 с.
- Герасимов И.П.** Экологические проблемы в прошлой, настоящей и будущей географии Мира. М.: Наука, 1985. 247 с.
- Герасимов И.П.**Учение Докучаева и современность. М.: Мысль, 1986. 124 с.
- Герасимов И.П., Грин А.М.** Экспериментальный полигон для изучения природных и антропогенных геосистем центральной части лесостепи Русской равнины (характеристика, программа, первые результаты) // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1976. № 1. С. 18-28.
- Геренчук К. И., Топчиев А. Г.** Информационный анализ структуры природных комплексов // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1970. № 6. С. 132-140.
- Геттнер А.** География. Ее история, сущность и методы. Пер. с нем. Л.; М.: Гос. изд-во, 1930. 416 с.
- Гильманов Т.Г., Базилевич Н.И.** Построение и анализ моделей экосистем // Вопросы географии. Сб. 127. М.: Мысль, 1986. С. 55-96.
- Григорьев А.А.** Восточноевропейские широколиственные леса / Отв. ред. О.В. Смирнова. М.: Наука, 1994. 364 с.
- Глазовская М.А.** Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1964. 230 с.
- Глазовская М.А.** Общее почвоведение и география почв. М.: Высш. шк., 1981. 400 с.
- Глазовская М.А.** Геохимия природных и антропогенных ландшафтов СССР. М.: Высш. шк., 1988. 328 с.
- Глазовская М.А.** Биогеохимическая организованность экологического пространства в природных и антропогенных ландшафтах как критерий их устойчивости // Изв. РАН. Сер. геогр. 1992. № 5. С. 5-12.
- Горшков В.Г.** Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: Изд-во ВИНТИ, 1995. 470 с.
- Горшков В.В., Горшков В.Г., Данилов-Данильян В.И.,** и др. Биотическая регуляция оружающей среды // Экология. 1999. № 2. С. 105-113.
- Гохман В.М., Гуревич Б.Л., Саушкин Ю.Г.** Проблемы метагеографии // Вопросы географии. 1968. № 78. С. 3-14.
- Гребенщиков О.С.**Опыт климатической характеристики основных растительных формаций Кавказа // Бот. журнал. 1974. Т. 59. № 2. С. 161-174.
- Григорьев А.А.** Развитие теоретических проблем советской теоретической географии. М.: Наука, 1965. 246 с.

- Григорьев А.А.** Закономерности строения и развития географической среды. М.: Мысль, 1966. 382 с.
- Григорьев А.А.** Типы географической среды. Избранные теоретические работы. М.: Мысль, 1970. 550 с.
- Григорьев А.А., Будыко М.И.** О периодическом законе географической зональности // Докл. АН СССР. 1956. Т. 110. № 1. С. 129-132.
- Гродзинский М.Д.** Применение оценок устойчивости геосистем к нормированию антропогенных воздействий // Ландшафты, нагрузки, нормы. М.: Ин-т географии РАН, 1990. С. 43-54.
- Дедков А.П.** О денудационных срезках и древних поверхностях выравнивания в Среднем Поволжье // Экзогенные процессы в Среднем Поволжье. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1972. С. 3-20.
- Джеррард А. Дж.** Почвы и формы рельефа. Пер. с англ. Л.: Недра, 1984. 208 с.
- Докучаев В.В.** Учение о природных зонах. М.: Географгиз, 1948. 63 с.
- Докучаев В.В.** Избранные сочинения. Т. III. Картография, генезис и классификация почв. М.: Гос. изд-во сельскохоз. лит-ры, 1949. 446 с.
- Докучаев В.В.** Наши степи прежде и теперь. М.: Сельхозгиз, 1953. 152 с.
- Дылис Н.В.** Основы биогеоценологии. М.: Изд-во МГУ, 1978. 151 с.
- Дыренков С.А.** Методика лесорастительного районирования. Л.: Ленинградский НИИ лесного хозяйства, 1978. 56 с.
- Дьяконов К.Н.** Информационный подход к анализу организации геосистем топологического уровня // Вопросы географии. Сб. 127. Моделирование геосистем. М.: Мысль, 1986. С. 111-122.
- Еличеев Э.Н., Вакакин В.В., Белов Н.В.,** и др. Закономерности развития сложных систем. М.: Наука, 1980. 343 с.
- Загреев В.В., Сухих В.И., Швиденко А.З., Гусев Н.Н., Мошкалев А.Г.** Общесоюзные нормативы для таксации лесов. М.: Колос, 1992. 495 с.
- Залетаев А.С.** Экотонные экосистемы как географическое явление и проблемы экотонизации биосферы // Современные проблемы географии экосистем (Тезисы докл. Всесоюз. совещ.). М.: Ин-т географии АН СССР, 1984. С. 53-55.
- Залетаев А.С.** Актуальные проблемы изучения экотонов // Экотоны в биосфере. М.: Ин-т водных проблем РАН, 1997. С. 5-9.
- Злотин Р.И.** Экологические проблемы биоты и устойчивость геосистем // Изв. АН СССР. Сер. географич. 1987. № 6. С. 45-51.
- Злотин Р.И., Тишков А.А.** Подходы к изучению географии межэкосистемных связей // Современные проблемы географии экосистем (Тезисы докл. Всесоюз. совещ.). М.: Ин-т географии АН СССР, 1984. С. 43-50.
- Израэль Ю.А.** Экология и контроль состояния природной среды. Л.: Гидрометеоздат, 1979. 375 с.
- Изменение климата,** 2001 г. Обобщенный доклад МГЭИК / Д.Л. Албриттон, Т. Баркер, И. Башмаков и др. / Под ред. Р.Т. Уотсона. Geneva: World Meteorological Organization, 2003. 220 p.
- Исаков Ю.А., Панфилов Д.В.** География экосистем: некоторые основные понятия и перспективы развития // Современные проблемы географии экосистем (Тезисы докл. Всесоюз. Совещ.). М.: Ин-т географии АН СССР, 1984. С. 4-10.
- Исаченко А.Г.** Основы ландшафтоведения и физико-географическое районирование. М.: Высшая школа, 1965. 327 с.
- Исаченко А.Г.** Развитие географических идей. М.: Мысль, 1971. 416 с.
- Исаченко А.Г.** Ландшафты СССР. Л.: Изд-во ЛГУ, 1985. 320 с.
- Исаченко А.Г.** Система ландшафтов и содержание ландшафтной карты Мира // Изв. Всесоюз. геогр. об-ва. 1988. Т. 120, вып. 6. С. 489-501.
- Исаченко Т.И., Лавренко Е.М.,** ред. Карта растительности Европейской части СССР. М-б 1: 2 500 000. М.: ГУГК, 1974. 6 л.
- Кавказ.** Природные условия и естественные ресурсы СССР / Отв. ред. Н.В. Думитрашко. М.: Наука, 1966. 482 с.
- Кастлер Г.** Азбука теории информации // Теория информации в биологии. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. С. 9-53.
- Кеппен В.** Основы климатологии (климаты земного шара). М.: Учпедгиз, 1938. 375 с.
- Керженцев А.С.** Механизм пространственно-временной изменчивости почв и экосистем // Экология и почвы. Избр. лекции VIII-IX Всероссийских школ (1998-1999 г.г.). Т. III. М.: Ин-т фундамент. биологии РАН, 1999. С. 31-58.
- Керженцев А.С.** Флуктуации, метаморфозы и эволюция почв // Экология и почвы. Избранные лекции X Всероссийской школы, октябрь 2001 г. Т. IV. Пущино: Пущинский научный центр РАН, 2001. С. 18-24.
- Кобелева Н.В.** Опыт математического анализа геоботанической карты // Моделирование элементарных геосистем. Иркутск: Ин-т географии Сибири и Дальн. Востока СО АН СССР, 1975. С. 129-143.
- Ковда В.А.** Основы учения о почвах. Общая теория почвообразовательного процесса. Кн. 1-я. М.: Наука, 1973. 447 с.
- Колесников Б.П.** Кедровые леса Дальнего Востока. Труды Дальневост. фил. АН СССР. Т.2 (4). М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956.

- Колесников Б.П.** Некоторые вопросы развития лесной типологии // Типы и динамика лесов Урала и Зауралья. Труды Ин-та экологии растений и животных РАН. Вып. 53. Свердловск, 1967. С. 5-10.
- Коломыц Э.Г.** Гидротермическая структура ландшафтов Хингано-Буреинского низкогорья // Локальные контрасты в геосистемах. Владивосток: Тихоокеанскому ин-т географии ДВО РАН, 1977. С. 19-76.
- Коломыц Э.Г.** Информационно-статистический анализ структуры высокогорных экосистем и ее антропогенных изменений // Тр. Высокогор. геофиз. ин-та. Вып. 58. М.: Гидрометеиздат, 1984 а. С. 26-52.
- Коломыц Э.Г.** Теоретико-множественное моделирование высокогорных экосистем // Тр. Высокогор. геофиз. ин-та. Вып. 52. М.: Гидрометеиздат, 1984 б. С. 65-83.
- Коломыц Э.Г.** Ландшафтные исследования в переходных зонах. М.: Наука, 1987. 117 с.
- Коломыц Э.Г.** Ландшафтная текстура бореального экотона Волжского бассейна и ее чувствительность к изменениям климата. Ч. I и II. Тольятти: ИЭВБ РАН и ННГУ, 1994. 127 с.
- Коломыц Э.Г.** Организация и устойчивость хвойно-лесных экосистем на бореальном экотоне Русской равнины // Изв. РАН. Сер. геогр. 1995. № 3. С. 37-51.
- Коломыц Э.Г.** Полиморфизм ландшафтно-зональных систем. Пушино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1998. 311 с.
- Коломыц Э.Г.** Региональная модель глобальных изменений природной среды. М.: Наука, 2003. 371 с.
- Коломыц Э.Г.** Бореальный экотон и географическая зональность: Атлас-монография. М.: Наука, 2005. 390 с.
- Коломыц Э.Г.** Локальные механизмы глобальных изменений природных экосистем. М.: Наука, 2008. 427 с.
- Коломыц Э.Г., Розенберг Г.С., Колкутин В.И.** и др. Экология ландшафтов Волжского бассейна в систем глобальных изменений климата (прогнозный Атлас-монография). Нижний Новгород: Интер-Волга, 1995. 165 с.
- Коломыц Э.Г., Юнина В.П., Сидоренко М.В., Воротников В.П.** Экосистемы хвойного леса на зональной границе. Организация, устойчивость, антропогенная динамика. Нижний Новгород: Ин-т экологии Волж. бассейна РАН, 1993. 346 с.
- Коронкевич Н.И.** Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 1990. 204 с.
- Котляков В.М.** Избранные сочинения. Книга 3. География в меняющемся мире. М.: Наука, 2001. 411 с.
- Крапивин В.Ф., Свирижев Ю.М., Тарко А.М.** Математическое моделирование глобальных биосферных процессов. М.: Наука, 1982. 272 с.
- Крауклис А.А.** Структурно-динамический фациальный анализ южнотаежного ландшафта Нижнего Приангарья // Южная тайга Приангарья. Л.: Наука, 1969. С. 32-119.
- Крауклис А.А.** Особенности географических градаций топического порядка // Топологические аспекты учения о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1974. С. 87-137.
- Крауклис А.А.** Проблемы экспериментального ландшафтоведения. Новосибирск: Наука, 1979. 232 с.
- Крауклис А.А.,** ред. Геосистемы контакта тайги и степи: юг Средней Сибири. Новосибирск, Наука, 1991. 215 с.
- Кренке А.Н.** Континуальные модели в гляциологии // Основные понятия, модели и методы общегеографических исследований. М.: ИТ географии АН СССР, 1984. С. 50-57.
- Крутько В.Н., Пегов С.А., Хомяков Д.М., Хомяков П.М.** Формализация оценки качества компонентов окружающей среды. М.: ВНИИ системных исследований, 1982. Препринт. 36 с.
- Лавриненко Д.Д.** Взаимодействие древесных пород в различных типах леса. М., 1965.
- Ляпунов А.А.** О математическом моделировании в проблеме «Человек и биосфера» // Моделирование биогеоценотических процессов. М.: Наука, 1981. С. 5-29.
- Макунина А.А.** Физическая география СССР. М.: Изд-во МГУ, 1985. 294 с.
- Марков К.К.** Избранные труды. Проблемы общей физической географии и геоморфологии. М.: Наука, 1986. 287 с.
- Матвеев Н.М., Новикова Е.В.** Динамика сезонного возобновления естественных и искусственных лесов в условиях степного Заволжья // Вопросы лесной биогеоценологии, экологии и охраны природы в степной зоне. Куйбышев: Куйбышев. гос. ун-т, 1988. С. 37-53.
- Мезенцев В.С., Карнацевич И.В., Белоненко Г.В. и др.** Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края. М.: Колос, 1974. 240 с.
- Мельченко В.Е.** Ландшафты Самарской Луки // Самарская Лука. Бюлл. Самара. 1991. № 1. С. 45-62.
- Мельченко В.Е., Саксонов С.В.** Ландшафтный подход к региональным флористическим исследованиям // Самарская Лука: бюлл. Самара. 1993. № 4. С. 55-71.
- Меняющийся мир.** Географический подход к изучению / Ред. Дж. Р. Матер, Г.В. Сдасюк. М.: Прогресс, 1991. 391 с.
- Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах /** Базилевич

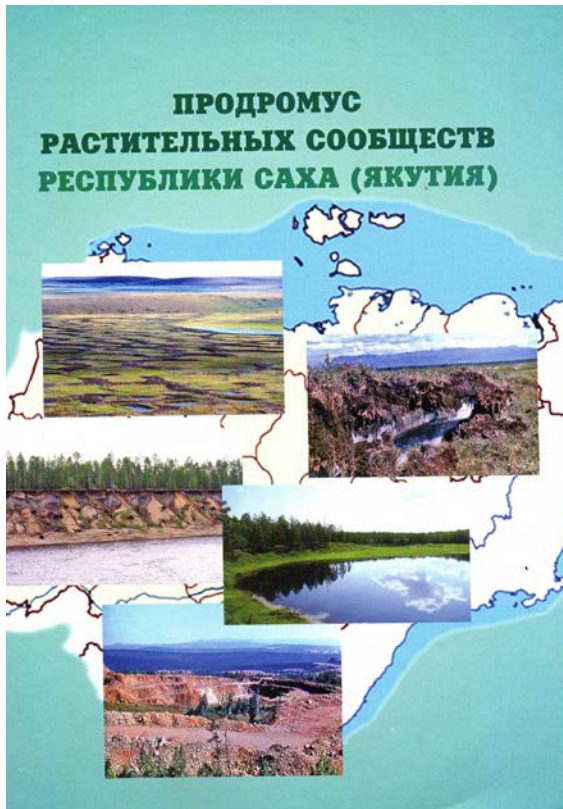
- Н.И., Титлянова А.А., Смирнов В.В. и др. М.: Наука, 1978. 183 с.
- Мильков Ф.Н.** Природные зоны СССР. М.: Мысль, 1964. 325 с.
- Мильков Ф.Н.** Физическая география: современное состояние, закономерности, проблемы. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1981. 398 с.
- Мильков Ф.Н.** Физическая география: Учение о ландшафте и географическая зональность. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1986. 327 с.
- Мильков Ф.Н., Гвоздецкий Н.А.** Физическая география СССР. Общий обзор. Европейская часть СССР. Кавказ. М.: Высшая школа, 1986. 376 с.
- Миц А.А., Преображенский В.С.** Актуальные и дискуссионные проблемы системной ориентации в географии // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1973. № 6. С. 5-13.
- Миркин Б.М.** Плюрализм в фитоценологии: истоки и тактика плюралистической науки // Журнал общей биологии. 1990. Т. 51, N 2. С. 261-272.
- Миркин Б.М.** Теоретические основы современной фитоценологии. М.: Наука, 1985. 137 с.
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г.** Современное состояние, тенденции развития науки о растительности и новое понимание природы растительного сообщества // Успехи современной биологии. 1994. Т. 114, вып. 1. С. 5-21.
- Михайлов Н.И.** Физико-географическое районирование. М.: Изд-во МГУ, 1985. 183 с.
- Михеев В.С.** Верхнечарская котловина. Опыт топологического изучения ландшафта. Новосибирск: Наука, 1974. 142 с.
- Молчанов А.А.** Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М.: Наука, 1971. 275 с.
- Николаев В.А.** Классификация и мелкомасштабное картографирование ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1978. 62 с.
- Ниценко А.А.** Растительная ассоциация и растительное сообщество как первичные объекты геоботанического исследования. М.: Наука, 1971. 184 с.
- Нэф [Нееф] Э.** О некоторых вопросах сравнительной экологии ландшафта // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. 1968. Вып. 19. С. 44-53.
- Обидиентова Г.В.** Происхождение Жигулевской возвышенности и развитие рельефа // Тр. Ин-та географии АН СССР. Вып. 13. Мат. по геоморфологии и палеогеографии СССР. Вып. 8. М.: Изд-во АН СССР, 1953. 246 с.
- Одум Ю.** Основы экологии. Пер. с англ. М.: Мир, 1975. 740 с.
- Одум Ю.** Экология. В 2-х т. Пер. с англ. М.: Мир, 1986. С. 328, 376.
- Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И.** Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 253 с.
- Охрана ландшафтов.** Толковый словарь / Отв. ред. В.С. Преображенский. М.: Прогресс, 1982. 272 с.
- Перельман А.И.** Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 341 с.
- Петрушенко Л.А.** Принцип обратной связи. М.: Мысль, 1967. 276 с.
- Полынов Б.Б.** Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 751 с.
- Преображенский В.С.** Ландшафтные исследования. М.: Наука, 1960. 128 с.
- Преображенский В.С.** О системе методов общей физической географии // Методы ландшафтных исследований. М.: Наука, 1969. С. 7-34.
- Преображенский В.С.** Организация, организованность ландшафтов (препринт). М.: Ин-т географии АН СССР, 1986. 20 с.
- Преображенский В.С.** Острые проблемы ландшафтоведения на рубеже веков // Структура, функционирование, эволюция природных и антропогенных ландшафтов (Тезисы X ландшафтной конференции). С.-Пб.: 1997. С.3-4.
- Программа и методика биогеоценологических исследований /** Отв. ред. Н.В. Дылис. М.: Наука, 1974. 403 с.
- Прокаев В.И.** Опыт крупномасштабного ландшафтного районирования восточной части Самарской Луки // Вопросы географии. Сб. 39. М.: Географгиз, 1956. С. 185-195.
- Пузаченко Ю.Г.** Инвариантность геосистем и их компонентов // Устойчивость геосистем. М.: Наука, 1983. С. 32-41.
- Пузаченко Ю.Г.** Направления географической экологии // Современные проблемы географии экосистем (Тез. докл. Всесоюз. совещ.). М.: Институт географии АН СССР, 1984. С. 15-19.
- Пузаченко Ю.Г.** Пространственно-временная иерархия геосистем с позиции теории колебаний // Вопросы географии. Сб. 127. Моделирование геосистем. М.: Мысль, 1986. С. 96-111.
- Пузаченко Ю.Г.** Генезис разнообразия структуры ландшафта // Структура, функционирование, эволюция природных и антропогенных ландшафтов (Тезисы X ландшафтной конференции). С.-Пб.: 1997. С. 9-10.
- Пузаченко Ю.Г.** Основы общей экологии. М.: Изд-во МГУ, 1996. 133 с.
- Пузаченко Ю.Г.** Глобальное биологическое разнообразие и его пространственно-временная изменчивость // Современные глобальные изменения природной среды. Т. 2. М.: Научный мир, 2006. С. 306-377.

- Пузаченко Ю.Г., Мошкин А.В.** Информационно-логический анализ в медико-географических исследованиях // Итоги науки. Медицинская география. Вып. 3. М.: ВИНТИ, 1969. С. 5-74.
- Пузаченко Ю.Г., Санковский А.Г.** Климатическая обусловленность чистой продукции биосферы // Изв. РАН. Сер. географич. 2005. № 5. С. 5-19.
- Пузаченко Ю.Г., Скулкин В.С.** Структура растительности лесной зоны СССР: Системный анализ. М.: Наука, 1981. 275 с.
- Развитие ландшафтов** и климата северной Евразии. Вып. 1. Региональная палеогеография / Отв. ред. А.А.Величко. М.: Наука, 1993. 102 с.
- Раковская Э.М., Любушкина С.В., Пашканг К.В.** Ландшафтная карта Нечерноземной зоны РСФСР и возможности ее использования для целей сельского хозяйства // Вопросы географии. Сб. 124. М.: Мысль, 1984. С. 107-120.
- Раман К.** Опыт понимания геокомплекса как пространственно-полиструктурного единства // Международная география - 76. Общая физическая география. М.: Междунар. геогр. конгресс, 1976. С. 18-22.
- Раменский Л.Г.** Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Л.: Наука, 1971. 334 с.
- Реймерс Н.Ф.** Природопользование. Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 639 с.
- Ретеюм А.Ю.** О геокомплексах с односторонними системообразующими потоками вещества и энергии // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1971. № 5. С. 122-128.
- Ретеюм А.Ю.** Физико-географическое районирование и выделение геосистем // Вопросы географии. Сб. 98. Количественные методы изучения природы. М.: Мысль, 1975. С. 5-27.
- Ретеюм А.Ю.** Положение ландшафтной теории и путь ее обновления // Структура, функционирование, эволюция природных и антропогенных ландшафтов (Тезисы X ландшафтной конференции). М.; СПб., 1997. С. 4-7.
- Ретеюм А.Ю., Серебрянный Л.Р.** География в системе наук о Земле // Итоги науки и техники. Сер. Теоретические и общие вопросы географии. Т.4. М.: ВИНТИ, 1985. 205 с.
- Риклефс Р.Э.** Основы общей экологии. Пер. с англ. М.: Мир, 1979. 424 с.
- Рихтер Г.** Культура ландшафта в социальном обществе. М.: Прогресс, 1983. 160 с.
- Рихтер Г.Д.** О значении адвекции тепла и влаги в формировании природных зон // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1960. № 2. С. 5-9.
- Рихтер Г.Д.** Природное районирование СССР // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1961. № 3. С. 3-13.
- Рихтер Г.Д.** О широтной зональности природных явлений // Развитие и преобразование географической среды. М.: Наука, 1964. С. 54-61.
- Рихтер Г.Д.** Зональность и система таксономических единиц физико-географического районирования // Изв. АН СССР. Сер. географич. 1965. № 5. С. 3-15.
- Родэ А.А.** Основы учения о почвенной влаге. Т. I. Водные свойства почв и передвижение почвенной влаги. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 663 с.
- Родин Л.Е., Базилевич Н.И.** Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности Земного Шара. М.; Л.: Наука, 1965. 253 с.
- Родман Б.Б.** Основные типы географических районов // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 1972. № 1. С. 68-74.
- Родман Б.Б.** Процессы поляризации в географическом пространстве // Основные понятия, модели и методы общегеографических исследований. М.: Ин-т географии АН СССР, 1984. С. 109-118.
- Розен Р.** Принцип оптимальности в биологии. М.: Мир, 1969. 216 с.
- Розенберг Г.С.** Модели в фитоценологии. М.: Наука, 1984. 265 с.
- Рысин Л.П.** Концепция биогеоценоза и современная лесная типология // Структурно-функциональная организация биогеоценозов. М.: Наука, 1980. С. 23-38.
- Рэнсон К.Дж., Ливайн Э.Р., Нокс Р.Дж.** и др. Использование комплекса имитационных моделей для понимания динамики экосистем северных лесов // Устойчивое развитие бореальных лесов. Тр. VII ежегодн. конф. МАИБЛ. М.: ВНИИЦлесресурс, 1997. С. 101-111.
- Рябчиков А.М.** Структура и динамика геосферы, ее естественное развитие и изменение человеком. М.: Мысль, 1972. 223 с.
- Савицкий П.Н.** Географические особенности России. Ч. I-ая. Растительность и почвы. Прага: Евразийское книгоиздательство, 1927. 160 с.
- Свиричев Ю.М.** Математические модели в экологии // Число и мысль. М.: Знание, 1982. Вып. 5. С. 16-55.
- Семенов-Тянь-Шанский В.П.** Район и страна. М.; Л., Гос. изд-во, 1928. 311 с.
- Сёмкин Б.И.** Дескриптивные множества и их приложения // Исследования систем. I. Анализ сложных систем. Владивосток: Тихоокеан. ин-т географии ДВНЦ АН СССР, 1973. С. 83-94.
- Сёмкин Б.И., Комарова Т.А.** Анализ фитоценологических описаний с использованием мер включения (на примере растительных сообществ долины р. Амгуемы на Чукотке) // Бот. журн. 1977. Т. 62, № 7. С. 54-63.

- Симонов Ю.Г.** Пути применения эргодической теоремы для палеогеографического анализа континентов // Вестник МГУ. Серия 5. География. 1966. № 5. С. 3-18.
- Симонов Ю.Г.** Основные свойства объектов географического прогнозирования и способы их формализованного описания // Проблемы регионального географического прогноза. М.: Наука, 1982. С. 112-193.
- Симонов Ю.Г.** Моделирование в географии (гносеологические подходы) // Вопросы географии. Сб. 127. Моделирование геосистем. М.: Мысль, 1986. С. 11-17.
- Симонов Ю.Г., Борсук О.А.** Системный подход в геоморфологии и эрозионно-денудационные морфосистемы // Рельеф и ландшафты. М.: Изд-во МГУ, 1977. С. 66-73.
- Смирнов В.В.** Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах Европейской части СССР. М.: Наука, 1971. 362 с.
- Солнцев В.Н.** О некоторых фундаментальных свойствах геосистемной структуры // Методы комплексных исследований геосистем. Иркутск: Ин-т географии Сибири и Дальн. Востока СО АН СССР, 1974. С. 26-36.
- Солнцев В.Н.** Системная организация ландшафтов. М.: Мысль, 1981 а. 239 с.
- Солнцев В.Н.** Хроноорганизация географических явлений // Вопросы географии. Сб. 117. Геофизика ландшафта. М.: Мысль, 1981 б. С. 40-68.
- Солнцев В.Н.** Полиструктурная концепция агроландшафта // Изменение природной среды. Глобальный и региональный аспекты. М.: Изд-во МГУ, 1997. С. 17-29.
- Солнцев Н.А.** В защиту закона Докучаева // Ландшафтный сборник. М.: Изд-во МГУ, 1973. С. 5-28.
- Соловьева В.В., Розенберг Г.С.** Современное представление об экотонах или теория экотон // Успехи современной биологии. 2006. Т. 126, № 6. С. 531-549.
- Сонин А.С.** Беседы о кристаллофизике. М.: Атомиздат, 1976. 240 с.
- Сочава В.Б.** Структурно-динамическое ландшафтоведение и географические проблемы будущего // Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока. 1967. Вып. 16. С. 18-31.
- Сочава В.Б.** География и экология // Материалы V съезда Географического общества СССР. Л.: ВГО, 1970. 24 с.
- Сочава В.Б.** Геотопология как раздел учения о геосистемах // Топологические аспекты учения о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1974. С. 3-86.
- Сочава В.Б.** Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 319 с.
- Сочава В.Б.** Растительный покров на тематических картах. Новосибирск: Наука, 1979. 189 с.
- Сочава В.Б., Бачурин Г.В., Крауклис А.А., Нечаева Е.Г.** Топологические особенности тепла и влаги в таежных геосистемах // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. Вып. 26. 1970. С. 39-53.
- Спрыгин И.И.** Материалы к познанию растительности Среднего Поволжья // Научное наследство. Т. 11. М.: Наука, 1986. 512 с.
- Средняя полоса** Европейской части СССР / Отв. ред. С.В. Зонн, А.А. Минц. М.: Наука, 1967. 440 с.
- Столл Р. Р.** Множества. Логика. Аксиоматические теории. Пер. с англ. М.: Просвещение, 1968. 230 с.
- Сукачев В.Н.** Избранные труды. Т. 1. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Л.: Наука, 1972. 418 с.
- Таргульян В.О., Арманд А.Д., Роде А.А., Дмитриев Е.А.** Почва как компонент биогеоценоза и ее изучение в биосферных заповедниках // Биосферные заповедники: Тр. I Советско-Американского симпозиума. Л.: Гидрометеоздат, 1977. С. 51-60.
- Теоретические основы** и опыт экологического мониторинга / Отв. ред. В.Е. Соколов, Н.И. Базилевич. М.: Наука, 1983. 253 с.
- Терентьев А.А., Фридман Б.И.** Влияние тектоники на изменение гидрологического режима рек Горьковской области // Водные ресурсы и их использование. Горький, 1985. С. 12-23.
- Тимофеев-Ресовский Н.В.** Структурные уровни биологических систем // Системные исследования. Ежегодник 1970. М.: Наука, 1970. С. 80-113.
- Тимофеев-Ресовский Н.В., Тюрюканов А.Н.** Об элементарных биохорологических подразделениях биосферы // Бюлл. Моск. об-ва испытат. природы. Т. LXXI. Вып. 1. М.: Изд-во МГУ, 1966. С. 123-132.
- Титлянова А.А.** Методология и методы оценки чистой первичной продукции и построение баланса химических элементов в экосистемах // Теоретические и основы и опыт экологического мониторинга. М.: Наука, 1983. С. 63-76.
- Тишков А.А.** Роль сукцессий во временной организованности геосистем // Геосистема во времени. М.: Ин-т географии АН СССР, 1991. С. 118-132.
- Тишков А.А.** Биосферные функции природных экосистем России. М.: Наука, 2005. 309 с.
- Толмачев А.И.** Основные пути формирования растительности высокогорных ландшафтов северного полушария // Бот. журн. 1948. Т. 33. № 2. С. 161-180.
- Тюрюканов А.Н.** Избранные труды. М.: Изд-во РЭФИА, 2001. 307 с.

- Тюрюканов А.Н., Федоров В.М.** Биосферные раздумья. М.: РАЕН, 1996. 368 с.
- Уиттекер Р.** Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс, 1980. 327 с.
- Урсул А.Д.** Природа информации. Философский очерк. М.: Политиздат, 1968. 228 с.
- Утехин В.Д.** Первичная биологическая продуктивность лесостепных экосистем. М.: Наука, 1977. 146 с.
- Хаазе Г.** Изучение топических и хорических структур, их динамики и развития в ландшафтных системах // Структура, динамика и развитие ландшафтов. М.: Ин-т географии АН СССР, 1980. С. 57-81.
- Хаггет П.** География: синтез современных знаний. М.: Прогресс, 1979, 684 с.
- Хильми Г. Ф.** Основы физики биосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 300 с.
- Чертов О.Г., Комаров А.С.** Имитационная модель сосновых, еловых и березовых экосистем // Устойчивое развитие бореальных лесов. Тр. VII ежегод. конф. МАИБЛ. М.: ВНИИЦлесресурс, 1997. С. 168-173.
- Шафрановский И.И.** К вопросу о симметрии Земного Шара // Геогр. сборник. XV. Астрология. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 85-98.
- Шафрановский И.И.** Принцип Кюри и динамическая симметрия. // Симметрия в природе. Л.: Ленингр. обл. правление н.-т. горного о-ва, 1971. С. 7-11.
- Шафрановский И.И., Плотников Л.М.** Симметрия в геологии. Л.: Недра, 1975 144 с.
- Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г., Нильссон С., Болуй Ю.И.** Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы). М.: Междунар. ин-т прикладного системного анализа, 2008. 885 с.
- Шнайдер С.** Наука о моделировании климата и обсуждение перспектив глобального потепления // Глобальное потепление. Доклад ГРИН-ПИС. М.: Изд-во МГУ, 1993. С. 42-66.
- Шубников А.В.** Избранные труды по кристаллографии. М.: Наука, 1975. 551 с.
- Шубников А.В., Копчик В.А.** Симметрия в науке и искусстве. М.: Наука, 1972. 339 с.
- Щербаков Ю.А.** Опыт изучения роли экспозиции в ландшафтообразовании // Влияние экспозиции на ландшафты. Уч. зап. Пермского гос. ун-та, № 240. 1970. С. 3-99.
- Эшби У.Р.** Введение в кибернетику. Пер. с англ. М.: Изд-во Иностр. лит-ры, 1959. 432 с.
- Armand A.D.** Sharp and gradual timberlines as a result of species interaction // Landscape Boundaries. Consequences for biotic diversity and Ecological Flows. New York Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1992. P. 360-378.
- Bailey R.G.** Ecoregions. The Ecosystem Geography of the Oceans and Continents. New-York: Springer-Verlag, 1998. 176 p.
- Bonan G.B., Pollard D., Thompson S.L.** Effect of boreal forest vegetation on global climate warming // Nature. 1992. № 359. P. 716-718.
- Chorley B.J., Kennedy B.A.** Physical Geography. A System Approach. London: Prentice-Hall, 1971. 370 p.
- Climate Change 1995.** The Science of Climate Change / J.T. Houghton, L.G. Meira Filho. B.A. Callander et al. (eds). Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1996. 572 p.
- Hansen A.J., di Castry Fr.,** Eds. Landscape Boundaries: Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows. New York: Springer-Verlag, 1992. 452 p.
- Hartshorne, R.** Perspective on the Nature of Geography Chicago, Rand McNally and Co., 1959.
- Impacts of climatic change on natural ecosystems** (with emphasis on boreal and arctic/alpine areas) / Editors: Holten J.I., Paulsen G., Oechel W.C. Trondheim: NINA and DN, 1993. 185 p.
- Lischke H., Guisan, A., Fischlin, A., Bugmann H.** Vegetation Response to Climate Change in the Alps: Modeling Studies // Views from the Alps: regional perspectives on climate change. Cambridge, Massachusetts, USA: MIT Press, 1998. P. 309-350.
- Odeh Inakwu O.A., McBratney A.B., Chittleborough D.J.** Fuzzy-c-Means and Kriging for Mapping Soil as a Continuous System // Soil. Sci. Soc. Am. J., 1992. V. 56. P. 1848-1854.

РЕФЕРАТЫ



Продромус растительных сообществ Республики Саха (Якутия) / Под общ. ред. Н.Н. Лашинского. – Якутск, 2017. – 42 с. – ISBN 978-5-7513-2433-9.

Prodromus of plant communities of the Republic of Sakha (Yakutia) / General. Ed. N.N. Lashchinsky. – Yakutsk, 2017. – 42 p. – ISBN 978-5-7513-2433-9.

В общий список – Продромус – включены все синтаксоны классификации уровня классваринат, выделенные по методу Браун-Бланке на территории Республики Саха (Якутия).