

## ЭМПИРИЧЕСКАЯ ИМИТАЦИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ТРЕНДА ЭКОСИСТЕМАМИ ЛОКАЛЬНОГО УРОВНЯ

© 2005 Э.Г. Коломыц

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

На примере двух экспериментальных полигонов Чувашско-Самарского Поволжья установлены закономерности преломления регионального биоклиматического фона местными геоморфологическими и гидроэдафическими факторами и способы формирования двух региональных систем локальной зональности (Присурье и Жигули), состоящих из векторных рядов плакорных и экстразональных лесных биогеоценозов. По факторной ординации этих рядов проведена локальная эмпирическая имитация прогнозируемого аридного биоклиматического тренда.

### Введение

Настоящее сообщение касается одной из актуальных региональных экологических проблем – установления причинных механизмов проявления предстоящих и уже, по-видимому, начавшихся глобальных изменений климата в структуре и функционировании лесных экосистем зонального экотона леса и степи. Здесь лесные формации находятся в современных климатических условиях, близких к критическим, и поэтому весьма неустойчивы. Экотон наиболее отчетливо выражен на Восточноевропейском субконтиненте, и одна из его ветвей проходит через территорию Самарского Поволжья. Оценки состояния лесных и лесостепных экосистем и прогнозы их грядущих изменений необходимы для разработки экологических основ сохранения и воспроизводства лесных ресурсов, а также формирования сети охраняемых и рекреационных территорий (заповедников, заказников, национальных парков), что особенно важно для районов контакта леса и степи.

В этой связи представляется перспективной разработка применительно к зоне переходов от леса к степи прогнозной ландшафтно-экологической концепции “Глобальные изменения на локальном уровне” как научно-методической базы локального экологического и геосистемного мониторинга глобальных изменений. Дело в том, что в основе глобальных и региональных изменений природной среды лежат локальные (топологические) биосферные процессы. Топозкосистемы

представляют собой “... первичный аппарат энергетического и материального обмена в геосфере” [21], и поэтому сфера геотопов служит ее функциональным ядром. В свете этих представлений наиболее “чистым” экспериментом является, очевидно, изучение экосистем, находящихся в заповедном режиме, но в условиях резко выраженных морфо-климатических градиентов, которые характерны именно для экотонных территорий.

### Объекты исследования и исходные материалы

Переходная полоса от леса к степи обусловлена, как известно, важнейшим для структуры и функционирования зональных растительных сообществ климатическим рубежом - переходом соотношения тепла и влаги через 1. Соответствующий переход лесных экосистем в критическое состояние происходит в форме цепных реакций в системе межкомпонентных связей. Цепные реакции наиболее отчетливо проявляются на локальном уровне и могут быть выявлены (при отсутствии стационарных наблюдений) лишь по результатам крупномасштабных ландшафтно-экологических съемок на специально выбранных для этого полигонах [1, 7, 8]. В данном случае научный поиск осуществлен на примере двух локальных экспериментальных полигонов (площадью каждый около 20 кв. км), расположенных в Чувашско-Самарском Поволжье на территориях Национальных природных парков “Чаваш Вармане” и “Самарская Лука”.

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 10-25%) не только в южной и типичной лесостепи, но и в самой неморальнолесной подзоне. Даже территория Самарской Луки облесена всего на 25-30% [23].

На экспериментальных полигонах были проведены (соответственно 10-27 июня 1992 г. и 1-14 июля 1996 г.) крупномасштабные ландшафтно-экологические съемки по методике, изложенной нами ранее [8, 10]. Первый полигон занимает участок правобережья среднего течения р. Суры (в бассейне ее правого притока – р. Бездны), второй – восточный участок Жигулевских гор (район древней Ширяевской долины и ее окрестностей), поэтому в дальнейшем мы будем их называть региональными экосистемами Присурье и Жигули.

По схеме физико-географического районирования Среднего Поволжья [23], макросистема Присурье расположена на стыке трех ландшафтных районов: 1) Засурского полесского смешаннолесного, с преобладающими сосняками и ельниками (от мезо-гидроморфных до ксероморфных) на дерново-подзолистых супесчано-песчаных почвах; 2) Корсунско-Сенгилеевского возвышенного лесостепного, с господством на платообразных останцах древних поверхностей выравнивания мезоморфных дубово-липовых лесов на серых и светлосерых лесных суглинистых почвах; 3) Средне-Свияжского возвышенно-равнинного (тоже платообразного) остепненно-го района, с уцелевшими массивами широколиственных лесов, переходящими южнее в луговые степи, в настоящее время сплошь распаханые.

Экосистема Жигули расположена в узкой полосе, идущей по северному краю Самарской Луки, и представляет собой глубоко расчлененную (низкогорную), примыкающую к долине Волги часть Приволжской возвышенности шириной 5-6 км, за которой начинается “залесенное и лесостепное плато” [17]. По схеме районирования [23], это самостоятельный Жигулевский возвышенно-равнинный

район с двухъярусным рельефом (среднеплиоценового возраста), развитым на пермских и карбоновых известняках и доломитах. Находясь непосредственно у южных границ южной лесостепи, экосистема Жигули имеет весьма широкий спектр растительных сообществ, с большим числом редких видов растений [12], – от неморальных лесов до остепненных борových сосняков и настоящих северных каменистых (горных) степей, с различного вида дерново-карбонатными и темносерыми лесными почвами.

В экосистеме Присурье было отработано 42 географические точки (пробные площади), в Жигулях – 40 точек. Информация, которая фиксировалась на каждой пробной площади размером 20 x 20 м, состояла из 85 геокомпонентных и комплексных признаков, объединенных в шесть блоков: 1) гидро-геоморфологический; 2) почвенный морфологический;

3-4) фитоценологический структурный и функциональный; 5) ландшафтно-геофизический; 6) ландшафтно-геохимический. Сбор фактического материала на каждой пробной площади, его обработка и последующие расчеты проводились в соответствии с известными методическими руководствами [2, 16, 19, 24 и др.].

### **Идеологические предпосылки научного поиска**

Локальный натурный эксперимент опирается на результаты проведенных нами ранее региональных прогнозно-экологических исследований на территории основного водосбора Волжского бассейна [9]). Среди этих результатов в данном случае наиболее важны следующие.

1. Прогнозное моделирование исходит из принципов актуализма и самоподобия (эргодичности) прогнозно-климатической системы и основано на пространственных взаимосвязях гидротермических параметров Волжского бассейна. В основу прогнозных построений положены современные ландшафтно-геофизические связи в регионе, замыкающиеся на растительном покрове и почвах, а также на первичной биопродуктивности. Установлено, что замыкающими звеньями в сис-

теме региональных связей гидротермических параметров является гидроэдафические признаки: июльские запасы продуктивной влаги в почве и влажность почвы, – которые оказывают прямодействующее влияние на распределение фитоценологических, почвенных и в целом ландшафтных объектов. Летнее влагосодержание почвы служит наиболее обобщенным комплексным абиотическим индикатором состояния природных экосистем Волжского бассейна, да и, по-видимому, всей Русской равнины. Эти признаки образуют своего рода замыкающий створ абиотических информационных потоков. Они воспринимают влияние как геолого-геоморфологических так и гидро-климатических факторов.

2. Наиболее эффективное воздействие на состояние региональных гидроэдафических объектов оказывают гидротермические факторы вегетационного периода: средняя температура июля, осадки теплого периода года, суммарное испарение, речной сток. При этом обнаружены высокие корреляции летних запасов почвенной влаги с двумя климатическими параметрами, фигурирующими в глобальных и региональных климатических прогнозах: со средней температурой июля и годовым количеством осадков (соответственно обратная и прямая экспоненциальные зависимости). Влияние температуры на влагосодержание почвы осуществляется через испаряемость и эвапотранспирацию.

На локальном уровне нами найдены также достаточно тесные пространственные связи лесных природных комплексов с летними запасами продуктивной влаги в почвах. На экспериментальных полигонах “Чаваш Вармане” и “Самарская Лука” нормированные коэффициенты сопряженности 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, согласно [18], 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 экологический отклик на глобаль-

но-региональные климатические сигналы.

3. Согласно использованной нами прогнозно-климатической модели GISS, равно как и другим глобальным моделям общей циркуляции атмосферы AOGCMs [5, 25-27], к середине XXI века произойдут значительные сдвиги в теплоэнергетическом уровне природных экосистем во всех природных зонах Волжского бассейна, причем чем южнее, тем кардинальнее окажется экологический эффект таких сдвигов. Таежные и неморальные леса останутся в биоклиматических условиях умеренного пояса. Формации же южной лесостепи и в особенности северной степи перейдут из суббореальной радиационно-термической категории в субтропическую, т.е. окажутся по существу в другом климатическом поясе.

Одновременно увеличится количество атмосферных осадков, особенно в теплый период года. Однако прибавка осадков не в состоянии будет компенсировать повышение температуры, поэтому годовой и летний коэффициенты увлажнения начнут почти повсеместно и весьма существенно снижаться. Таким образом, на протяжении XXI столетия на территории Волжского бассейна и его окружения будет развиваться термоаридный климатический тренд. Ожидаемое по модели GISS глобальное антропогенное потепление вызовет общую аридизацию региональной биоклиматической системы, и чем дальше по времени, тем эта аридизация будет все более глубокой и тотальной.

### Методы исследования

Анализ материала проведен с помощью методов теории информации, которые, как известно [1, 18], наиболее адекватны принципам организации гео(эко-)систем и доказали свою эффективность, особенно при изучении межкомпонентных ландшафтных связей [10]. Нами были использованы два основных параметра этих связей: нормированный коэффициент сопряженности  $K(A;B)$  явления  $A$  с фактором  $B$  (в каждой паре признаков) и частный коэффициент связи  $C_{ij}$  как средство “раскрытия кода информации”, позволяющее определить степень пространственной связности отдельных градаций (состояний) явле-

ния ( $a_i$ ) и фактора ( $b_j$ ). По первому параметру строились общие информационные модели эко-систем на множестве выбранных признаков (рис. 1). По второму же параметру устанавливалась система экологических ниш каждого значения (градации) явления  $A$  в пространстве значений фактора  $B$ . Экологическая ниша есть область распространения топозко-систем (фитоценологических, почвенных, ландшафтных), а также их зональных группировок в одном из парциальных пространств ведущих экологических факторов: положения в рельефе и в системе локальных сопряжений, свойств почвообразующих пород и соответствующих состояний гидроэафотопов.

В графически преобразованных матрицах значимых ( $>1$ ) частных коэффициентов связи по горизонтали идут градации явления, а по вертикали – градации фактора. Каждый вектор-столбец описывает экологическую нишу определенной градации явления в пространстве значений данного фактора. Градации фактора с наибольшими значениями коэффициента связи образуют некоторую область доминирования явления – экологический доминант (обозначен символом “+”), остальные же градации относятся к “размытой”

части ниши (со знаком “•”, рис. 2-4).

Основную картину бинарной ординации явления по фактору дает кривая, проведенная через экологические доминанты явления. 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.

Метод бинарной ординации использовался нами не только для раскрытия механизмов межкомпонентных связей, но и для факторного анализа состояния целостных экосистемных объектов – групп биогеоценозов (фаций), групп типов леса и групп почвенных разностей. При рассмотрении экологических

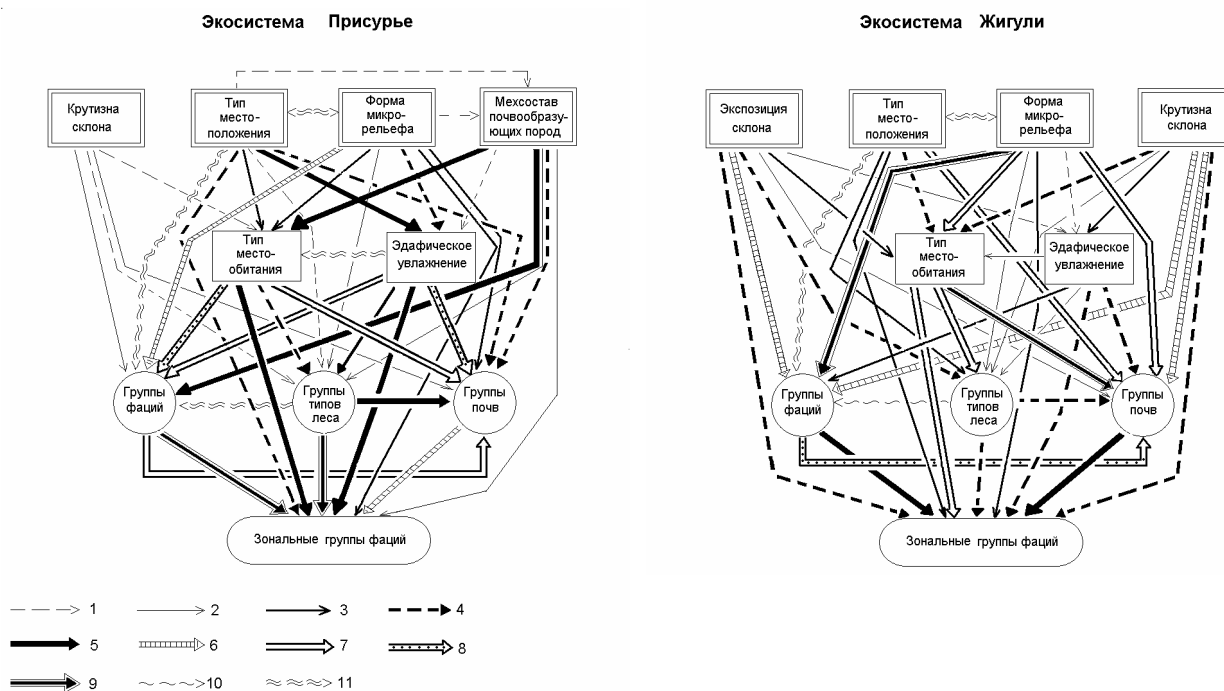
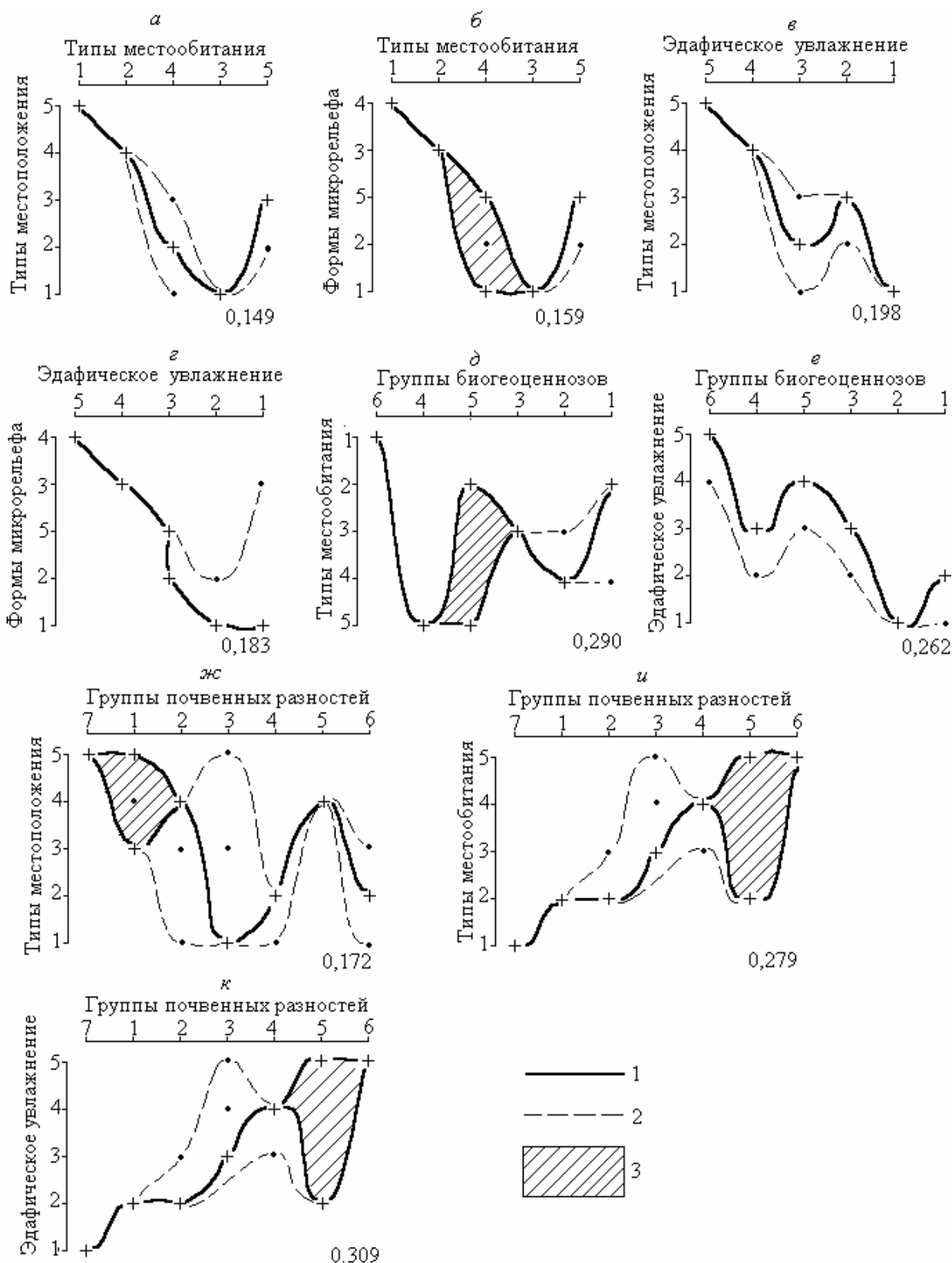


Рис. 1. Общие информационно-статистические модели ландшафтных связей в региональных экосистемах Присурье и Жигули:

нормированный коэффициент сопряженности, по [18]: 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



**Рис. 2.** Бинарная ординация типов местообитания и эдафического увлажнения, а также групп биогеоценозов и почвенных разностей по различным экологическим факторам экосистемы Присурье:  
 1 – траектории экологических доминантов; 2 – траектории границ экологических ниш; 3 – “зоны” толерантности явления к фактору. 0,149, 0,159, ... - нормированные коэффициенты сопряженности; обозначения градаций признаков см. в табл. 1-3.

факторов основной упор делался на гидро-эдафотопы как важнейшее промежуточное

звено передачи внешних климатических сигналов к функциональному состоянию топоз-

косистем.

На основе схем бинарной ординации было проведено своего рода эмпирическое имитационное моделирование локального отображения глобально-региональных изменений природных сред, в результате чего сделан первый шаг в раскрытии локальных механизмов этих изменений. Сущность моделирования состояла в следующем.

Как известно, 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 как бы его представителями [2], так и геотопов, возникших в результате различного рода преломления этого фона под действием местных факторов [6, 11]. Во вто-

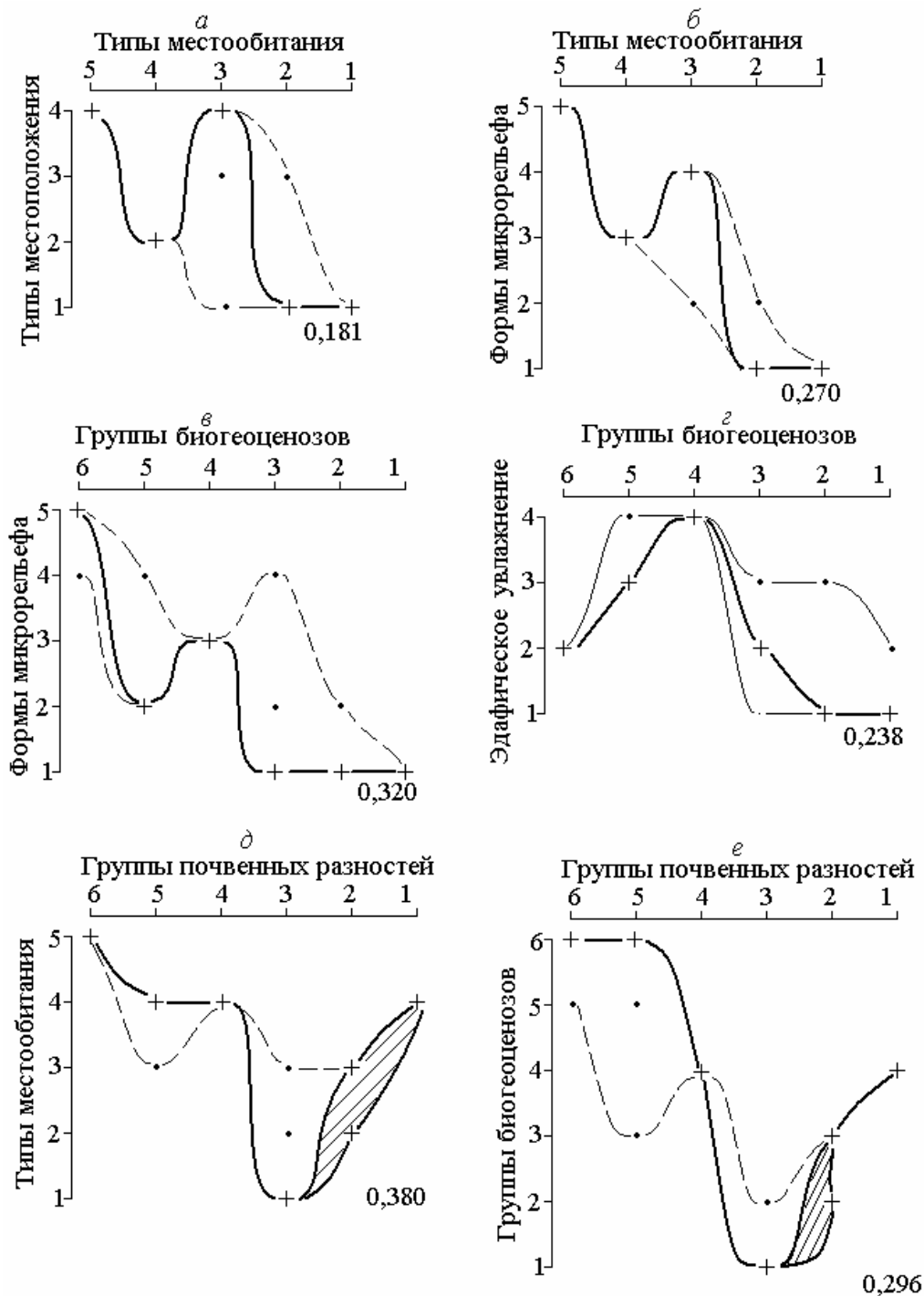
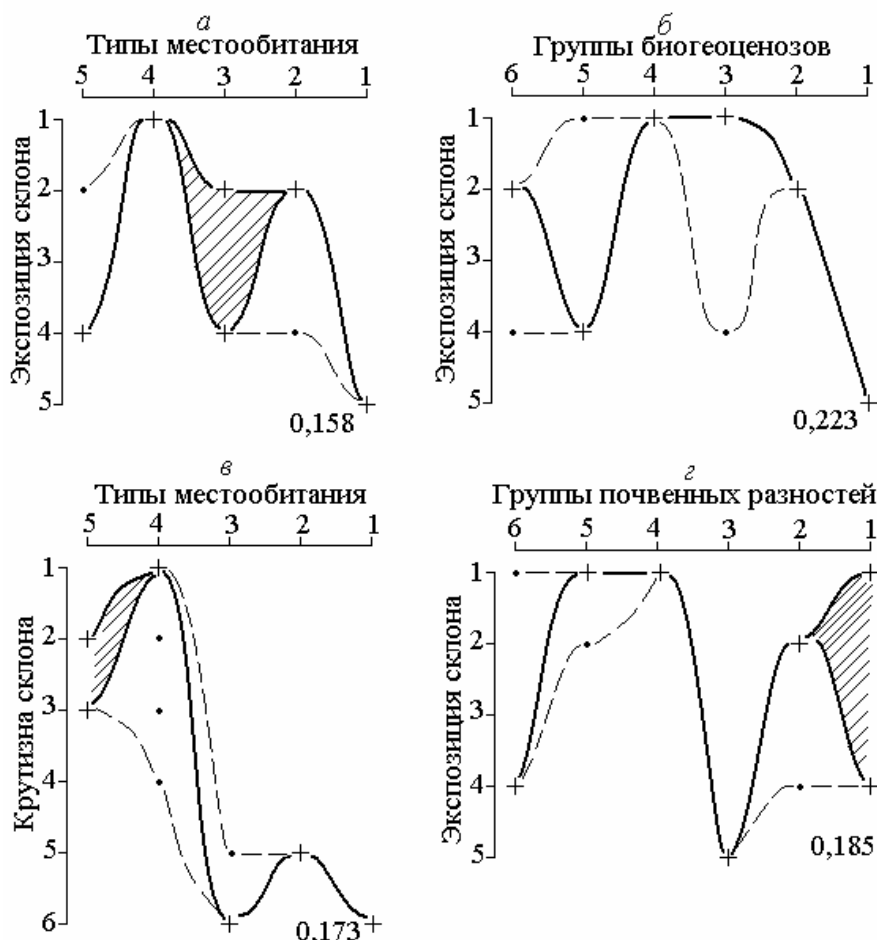


Рис. 3. Бинарная ординация типов местообитания, групп биогеоценозов и почвенных разностей по геоморфологическим условиям и эдафическому увлажнению в экосистеме Жигули. Условные обозначения те же, что и на рис. 2 и в табл. 1-3.



**Рис. 4.** Бинарная ординация типов местообитания, групп биогеоценозов и почвенных разностей по экспозиции и крутизне склонов в экосистеме Жигули. Градации признаков см. табл. 2 и 3. Остальные обозначения см. на рис. 2.

ром случае образуется определенное множество так называемых экстразональных природных комплексов [22], вызывающих “размывание” зональных эколого-географических границ [13], т.е. местную экотонизацию данной территории. В пределах этого экотона мы можем построить гидротермический ряд экстразональных топоэкосистем (вместе с зональными представителями) в направлении их гумидности или, наоборот, аридности, представляя этот ряд как некоторый аналог соответствующих фоновых климатических изменений (тренда). Исходя из принципа самоподобия нашей операционной системы, мы заменяем пространственные последовательности на временные [20] и, анализируя векторный ряд плакорно-экстразональных топоэкосистем, проводим своего рода имитацию локального отображения фонового климатического тренда, с определением соответствующего спектра направлений сначала функциональных, а затем и структурных переходов

между экосистемами.

В данном случае, в соответствии с изложенной выше картиной предполагаемых глобальных и региональных климатических изменений, были построены векторные ряды аридизации плакорно-экстразональных топоэкосистем, а также их отдельных компонентов для обеих региональных экосистем – Присурья и Жигулей (табл. 1-3). На графиках бинарной ординации (рис. 2-4) все состояния (градации) рассматриваемых объектов располагались слева направо по оси *X* (для явления *A*) и сверху вниз по оси *Y* (для фактора *B*) таким образом, чтобы смена самих состояний имела векторный характер и была бы адекватна общей тенденции аридизации локальных ландшафтно-экологических условий. Таковыми могут быть, скажем, переходы от переувлажненных днищ малых речных долин к крутым хорошо дренируемым склонам водоразделов, от гидроморфного состояния эдафотопы к ксероморфному, от осоково-сфагновых

**Таблица 1.** Группы биогеноценозов (ландшафтных фаций) региональной части экосистемы Присурье

Номер группы	Краткая характеристика
1	Мезо-ксероморфные и мезоморфные елово-сосновые леса, а также чистые (боровые) сосняки, зеленомошные, волосяноосоково- и злаково-разнотравные и лишайниковые, плоских водоразделов и верхних частей склонов водноледниковой равнины (элювиальные и трансэлювиальные), с дерново-подзолистыми песчаными и супесчаными почвами
2	Мезоморфные сосново-широколиственные леса и производные от них осинники с липой и дубом, неморальноотравянные (волосистоосоково-снытьевые), плоских водоразделов, а также верхних и средних частей склонов вторичной моренной равнины (от трансэлювиальных до транзитных), с дерново-подзолистыми супесчано-суглинистыми почвами
3	Мезоморфные дубово-липовые и липово-дубовые леса, с ясенем и вязом, а также производные от них осинники лещиновые, неморальноотравянные (прелесниково- и волосистоосоково-снытьевые), возвышенных междуречий и верхних частей склонов (элювиальные и трансэлювиальные), с серыми и светлосерыми лесными суглинистыми почвами на элювии верхнемеловых глин
4	Мезо-гидроморфные и гидро-мезоморфные ельники, сосняки, а также елово-сосновые леса, чернично-зеленомошные, средних и нижних частей склонов и слабо дренируемых понижений водноледниковой равнины, а также высокой поймы (транзитные, трансаккумулятивные и аккумулятивные), с дерново-подзолистыми почвами на слоистых (песчано-суглинистых) отложениях
5	Мезо-гидроморфные и мезоморфные елово-липовые дубравы и производные от них сосново-березово-осиновые леса с дубом и липой, снытьево-разнотравные, полого-вогнутых склонов возвышенных междуречий (трансаккумулятивные и аккумулятивные), с дерново-подзолистыми глееватыми и светлосерыми лесными супесчано-суглинистыми почвами
6	Гидроморфные сосняки с елью и березой, долгомошно-осоково-сфагновые, междуречных западин моренной и водноледниковой равнин (элювиально-аккумулятивные), с торфяно-подзолисто-глеевыми и торфяно-болотными песчано-суглинистыми почвами

**Таблица 2.** Группы биогеноценозов (ландшафтных фаций) региональной части экосистемы Жигули

Номер группы	Краткая характеристика
1	Ксероморфные и мезоморфные сосняки, остепненные, карагановые и разнотравно-злаковые, верхних и средних частей крутых (20-30°) солнцепечных склонов (трансэлювиальные и транзитные), с дерново-карбонатными типичными маломощными легкосуглинистыми почвами на элювии известняка
2	Мезоморфные, ксеро-мезоморфные и ксероморфные сосняки сложные (липово-дубовые) и сосново-широколиственные леса, лещинные, неморальноотравянные, верхних и средних частей сравнительно крутых (до 20-25°) нейтральных и теневых склонов (трансэлювиальные и транзитные), с дерново-карбонатными типичными средне- и маломощными легко- и среднесуглинистыми почвами на элювии известняка
3	Мезоморфные и ксеро-мезоморфные дубяки кленово-липовые и производные от них осинники, лещинные, разнотравно-ландышевые, верхних, средних и нижних частей нейтральных и теневых склонов средней и высокой крутизны (от трансэлювиальных до трансаккумулятивных), с дерново-карбонатными типичными маломощными среднесуглинистыми почвами на элювии известняка
4	Мезо-гидроморфные и реже мезоморфные теневые широколиственные леса (вязово-кленово-липовые), разнотравно-снытьевые, липовые и производные от них осинники кленово-липовые, разнотравно-снытьевые, пологонаклонных водоразделов (крутизной до 3-5°) всех экспозиций (элювиальные), с дерново-карбонатными типичными, дерновыми и темносерыми лесными среднесуглинистыми почвами на элювии глин и известняков
5	Мезоморфные и мезогидроморфные теневые широколиственные леса (дубово-вязово-липовые) и производные от них осинники и березняки (дубово-кленово-липовые) лещинные, разнотравно-снытьевые и волосистоосоковые, средних и нижних частей склонов высокой крутизны (транзитные и трансаккумулятивные) с дерново-карбонатными типичными и выщелоченными, а также с дерновыми средне- и маломощными среднесуглинистыми почвами на суглинистом делювии
6	Мезоморфные и мезо-гидроморфные липняки, кленовники и осинники (иногда с лещиной), разнотравно-снытьевые, пологонаклонных днищ глубоко врезанных долин малых водотоков, с дерновыми намытыми и дерново-карбонатными выщелоченными среднесуглинистыми почвами на овражно-балочном делювии

хвойных или смешанных лесов к мезофитным разнотравным дубравам и далее к сухим сосновым борам-беломошникам и т.п. Таким образом, иерархически упорядоченный ряд векторных ординаций топоэкоцистем 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.

Векторные плакорно-экстразональных схемы бинарной ординации топоэкоцистем

весьма удобны для прогнозного анализа и как инструмент экологического прогнозирования достаточно универсальны. По ним можно “проигрывать” (на основе принципа актуализма) реальные направления функционально-структурных преобразований фитоценологических, почвенных и ландшафтных комплексов под действием естественных или антропогенных изменений климата, а также крупномасштабной гидромелиорации (осушения или, наоборот, обводнения). Принятую в данном исследовании векторную смену состояний явления в векторном же пространстве



Таблица 3. Градации геокомпонентных и комплексных признаков, используемых в моделировании

Номера градаций	Тип местоположения (МП)	Форма микро-рельефа	Экспозиция склона	Крутизна склона	Эдафическое увлажнение (экологические группы)	Типы местообитания		Группы типов леса		Группы почвенных разностей *)	
						Присурье	Жигули	Присурье	Жигули	Присурье	Жигули
1	Трансэлювиальный (ТЭ)	Верхние выпуклые части склонов	316-45°	0°	Почва сухая (ксеро- и мезоксерофиты)	C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> , D <sub>2</sub> , D <sub>3</sub> свежие и влажные л/с - т/с	C <sub>1</sub> сухие л/с	Ельники и елово-сосновые леса	Сосняки остепненные	Д/п глубоко-подзолистые глубоко-дерновые, суп.	Д/к среднемошные, с/с
2	Элювиальный (Э)	Ровные склоны	271-315° и 46-90°	1-2°	Почва свежая (ксеро-мезофиты)	A <sub>3</sub> , B <sub>3</sub> влажные л/с, суп.	C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> свежие, влаж. л/с	Сосняки боровые (с елью)	Сосняки сложные, неморальн	Д/п глубоко-подзолистые сл.-дерновые	Д/к мало-мощные, с/с
3	Транзитный (Т)	Субгоризонтальные поверхности	226-270° и 91-135°	3-5°	Почва влажная (мезофиты + мезоксерофиты + гигрофиты)	A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> , B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , C <sub>1</sub> , D <sub>1</sub> сухие и свежие пески - т/с	D <sub>2</sub> свежие т/с	Осинники (чистые, а также с дубом и елью)	Сосново-широколиственные леса	Д/п неглубокоподзолистые слабо-дерновые, песч. и суп.	Д/к мало-мощные, л/с, на элювии известн.
4	Трансаккумулятивный и аккумулятивный (ТА, А)	Нижние вогнутые части склонов	Горизонтальная поверхность	6-10°	Почва сырая (мезогрофиты + гигрофиты)	A <sub>4</sub> , B <sub>4</sub> , C <sub>4</sub> , D <sub>4</sub> сырые пески - т/с	D <sub>3</sub> влажные т/с	Сосново-широколиственные леса	Дубовые леса	Д/п мелкоподзолистые слабо-дерновые, песч.	Темносерые лесные на глинах
5	Супераккумулятивный, элювиально-аккумулятивный (Са <sub>q</sub> , ЭА)	Днища долин, ложбины и западины	136-225°	11-18°	Почва мокрая (гигрофиты + мезогигрофиты)	A <sub>5</sub> , B <sub>5</sub> , C <sub>5</sub> , D <sub>5</sub> мокрые пески - т/с	D <sub>4</sub> сырые т/с	Елово-широколиствен. и елово-березовые леса	Вязово-кленово-липовые леса	Светлосерые лесные, л/с, на флювиогляциальных песках	Д/к выщелочен. мало-мощные на делювии
6				>18°				Дубово-липовые леса	Осиново-березовые леса	Серые лесные на карбонат. породах	Д/к на-мытые на делювии
7										Торфяно-подзолистые и болотные	

\*) Почвы: Д/п – дерново-подзолистые; Д/к – дерново-карбонатные; песч. – песчаные; суп. – супесчаные; л/с, – легкосуглинистые; с/с – среднесуглинистые; т/с – тяжелосуглинистые и глинистые.

состояний фактора будем в дальнейшем называть аридным трендом, или градиентом.

### Система каналов ландшафтных связей

Общее представление об этой системе дают информационные схемы пространственной сопряженности основных признаков ландшафтного макро- и микросубстрата, по терминология А.А. Григорьева [4]. Нами выбраны 10 таких диагностических признаков (рис. 1). 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 [19], и тип местообитания, представляющий собой сочетание влажности эдафотопы и мехсостава почвообразующих пород [15] (табл. 3). 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 за-

висимым, согласно [1]. 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, что соответствует, согласно [26], коэффициенту корреляции более 0,7.

В экосистеме Присурье весьма эффективно прямое воздействие почвенно-грунтового увлажнения на растительность, почвы и биогеоценозы, а также на их зональные группировки (рис. 1). Здесь почвенно-гидрологический фактор обладает вполне самостоятельными эдификаторными свойствами, которые не только усиливают роль геоморфологических условий, но и обладают определенной автономностью. Зональные черты топогеоси-

стем весьма четко дифференцируются по состояниям объектов макроландшафтного 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 (Жигулей) 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 (рис. 1). При этом усиливается прямое 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 в Жигулях 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 [14], 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 [14], растительный покров резко меняется. Доминируют соответственно мезо-ксероморфные сосново-широколиственными леса и мезоморфные дуболипняки и осинники – представителя неморальнолесной подзоны. На этом динамическом фоне крутизна склона и связанная с нею степень дренажа вносят дополнительный вклад

в аридизации топоэкосистем.

### Эмпирические сценарии аридного тренда

Раскрытие кода информации [18] по векторной системе бинарной ординации дает следующую картину. Региональная экосистема Присурье служит наглядным примером четкого распределения типов местообитания и эдафического увлажнения по топологическому ряду ландшафтных сопряжений: от супераквального и элювиально-аккумулятивного местоположений (МП) до трансэлювиального. При этом здесь хорошо проявляется интересующий нас аридный тренд, имеющий к тому же почти линейный характер, что указывает на отсутствие существенного информационного “шума” (рис. 2 а, в). Лишь при переходе от полого наклонных водоразделов к относительно крутым склонам имеют место приостановка тренда и даже переключение связи на обратную – происходит смена свежих и сухих песков суглинками аналогичной влажности. То же самое можно сказать относительно гидроэдафической роли форм рельефа (рис. 2 б). Наличие в бинарной системе типа МП и эдафического увлажнения отрицательной связи на третьем этапе аридного тренда фиксирует рост влагосодержания почвы при переходе от склонов к плоским водоразделам.

Бинарные связи гидроэдафотопов с геоморфологическими условиями характеризуются явным расширением их экологических ниш в направлении аридного тренда. Можно думать, что по мере общего роста аридизации экосистем территориальная привязка степени увлажнения эдафотопов к формам микрорельефа и типам МП должна ослабевать, т.е. следует ожидать определенное пространственное выравнивание полей влажности почвы. Что же касается самих групп биогеоценозов, то их экологические ниши по эдафическому увлажнению могут сохранить на аридном тренде первоначальные объемы (рис. 2 е), и это позволяет предполагать в целом линейные, а потому более предсказуемый, характер их ответной реакции на возможные изменения влажности почво-грунтов в сторону иссушения.

Связи групп биогеоценозов с типами местообитания и эдафическим увлажнением имеют характер сложного регулирования (рис. 2 *д, е*). Линия аридного тренда, показывающая положительную связь явления с фактором, нарушается дважды: при смене елово-сосновых лесов смешанными в нижних частях склонов и у их подножий, а также при переходе от сосново-широколиственных лесов к елово-сосновым на полого-выпуклых водоразделах. В первом случае происходит замещение песков суглинками при той же (умеренной) влажности почв, а во втором – свежего песчано-суглинистого субстрата сырым. Обоим случаям переключения связи соответствует определенное ослабление ксерофитизации напочвенного растительного покрова на аридном тренде эдафического увлажнения<sup>1</sup>.

Кроме того, на втором этапе бинарной ординации ландшафтных фаций по типам МП возникает “зона” толерантности (рис. 2 *д*). Она свойственна трансаккумулятивному и аккумулятивному елово-широколиственному лесам, которые могут существовать в достаточно широком диапазоне гидроэдафотопов: от свежих и влажных суглинков до сырых песчано-суглинистых разностей.

В условиях возвышенной равнины среди морфометрических характеристик, имеющих несомненное экологическое значение, имеет смысл рассматривать только крутизну склона, которая обуславливает степень дренированности территории и, следовательно, имеет прямое отношение к ее эдафическому увлажнению. Распределение групп биогеоценозов в направлении усиления их аридности в целом хорошо согласуется с ростом крутизны склона. Бинарная же ординация групп почвенных разностей выражена хуже. В обоих случаях существенное корректирующее влияние оказывает тип местоположения. На субгоризонтальных поверхностях распространены две контрастные группы фаций: а) в понижениях рельефа - гидроморфные и мезогидроморфные хвойные и смешанные леса с торфяно-подзолистыми и болотными почвами; б) на плоских водоразделах – гидро-ме-

зоморфные хвойные леса с песчано-суглинистыми дерново-подзолистыми почвами. Небольшая крутизна склона (1-4°) способствует произрастанию мезоморфных широколиственных лесов и елово-липовых дубрав с дерново-подзолистыми (на песках и супесях) и светлосерыми лесными (на легких суглинках) почвами. Наконец, наиболее крутые склоны (с уклоном 5-7° и более) заняты мезо-ксероморфными и мезоморфными хвойными и сосново-широколиственными лесами, при широком диапазоне почвенных разностей.

В условиях низкогорного рельефа Жигулей система векторной бинарной ординации существенно усложняется. На кривых локального аридного тренда геоморфологической ординации типов местообитания и соответствующих групп фаций (с почвенными разностями) прослеживается два переключения связей (рис. 3 *а-в*). Это обусловлено неоднозначными сменами эдафического увлажнения при движении по цепи типов местоположения:  $A-TA > T > TЭ > Э$ , т.е. от днищ долин к платообразным водоразделам. Дополнительное усложнение вносят также соляная экспозиция и крутизна склона. Наиболее гумидными являются днища глубоко врезаемых долин и подножья склонов с делю-виально-суглинистым сырым местообитаниями ( $D_4$ ). Здесь произрастают мезо-гигроморфные и мезоморфные липняки и осинники с дерновыми намытыми слабо развитыми почвами.

Несколько меньшая гумидность свойственна противоположному “полюсу” ландшафтных сопряжений – субгоризонтальным водораздельным плато (элювиальному типу МП), на которых представлены влажные тяжело- и среднесуглинистые местообитания ( $D_3$ ). На этих плакорных территориях господствуют мезоморфные теневые широколиственные леса, с дерново-карбонатными среднemosными и темносерыми лесными почвами (данные группы почв имеют здесь свои экологические оптимумы).

Оба “полюса” образуют единую линию ординации экологических доминантов по эдафическому увлажнению (см. рис. 3 *з*). Им обоим присущи также весьма узкие экологические ниши типов местообитания, что указывает на довольно жесткую привязку этих эдафото-

<sup>1</sup> Более подробно о типовых схемах бинарной ординации, с различными переключателями прямой и обратной связи, см. в работе [10].

пов к данным геоморфологическим условиям.

Процесс аридизации топоэкосистем резко возрастает при переходе как снизу, так и сверху к склонам, имеющим в Жигулевских горах значительную крутизну (до 15-20° и более). На кривых бинарной ординации это отчетливо выражено двумя переключениями связи. Наиболее аридизированными являются трансэлювиальные (приводораздельные выпуклые) склоны различной крутизны, с максимальным проявлением делювиальных процессов. Это арена развития сухих и свежих местообитаний ( $C_1$  и  $C_2$ ), соответствующих преимущественно ксерофитной категории эдафического увлажнения. Тем не менее здесь имеется определенное разнообразие биогеоценозов – представителей первых трех групп (табл. 2): от остепненных разнотравно-злаковых сосняков до кленово-липовых дубняков и осинников, с дерново-карбонатными типичными легко- и среднесуглинистыми почвами (рис. 3 д, е). При этом если первые приурочены к солцепечным склонам, то вторые тяготеют к тенистым и нейтральным.

Средние участки склонов (транзитный тип МП) имеют повышенную степень аридизации, однако здесь нет доминирующих типов местообитания. Экологические ниши последних существенно расширяются (рис. 3 а, в), включая типы как влажных суборей ( $C_2$ ), так и свежих дубрав ( $D_2$ ). В соответствии с этим на склонах Жигулевских гор представлен достаточно широкий спектр лесных биогеоценозов: от трансаккумулятивных мезо-гидроморфных дубово-липовых лесов (группа фаций 5) до ксеро-мезоморфных транзитных и трансэлювиальных сложных сосняков. Транзитный тип МП наиболее благоприятен для дубо-липняков.

Соляная экспозиция и крутизна склона существенно нарушают катенарную систему ландшафтных сопряжений в Жигулях. На склонах южной четверти горизонта преобладают процессы физического выветривания известняков в условиях повышенной аридизации на фоне резко выраженных сезонных и суточных температурных колебаний, более короткого малоснежного сезона и активного проявления дефляции. В соответствии с этим здесь

господствуют почти исключительно ксероморфные остепненные редкостойные сосняки (рис. 4 б), луговые степи, а в местах скалистых выходов и щебнистых россыпей – петрофитная лишайниково-травяная растительность. Безлесию этих склонов способствуют также господствующие в районе Самарской Луки юго-западные ветры, угнетающе действующие на древесную растительность.

При переходе от солцепечных склонов к нейтральным, а затем к тенистым типам местообитания меняются в направлении  $C_1 > C_2 > D_2 > D_3$ , с соответствующей сменой остепненных сосняков сначала мезо-ксероморфными сосново-широколиственными лесами, а затем мезоморфными дубо-липняками и осинниками (см. рис. 4 а, б). Теневые склоны благоприятны также для широколиственных лесов тем, что они обычно более пологие, с более мощным покровным делювиальным суглинком, возникшем в условиях интенсивного химического выщелачивания доломитов и гипсов [14].

Соответствующие изменения в почвенном покрове менее однозначны. Характерна лишь отчетливая приуроченность темносерых лесных и дерново-карбонатных выщелоченных почв к тенистым склонам, а типичных дерново-карбонатных почв на элювии известняков – наоборот, к склонам солцепечными (рис. 4 з).

На этом динамическом фоне крутизна склона и связанная с нею степень дренажа вносят дополнительный вклад в аридизацию топоэкосистем. Аридизация наиболее сильно развита на крутых хорошо дренируемых склонах, где формируются сухие местообитания с сообществами повышенной ксерофитности, между тем как к пологим менее дренируемым склонам и их подножьям приурочены влажные и даже сырые эдафотопы с мезофильными и мезогигрофильными лесами.

### Заключение

Проведенный опыт эмпирического моделирования структурных характеристик лесных экосистем Правобережного Чувашско-Самарского Поволжья не только подтвердил уже хорошо известные в отечественной литературе закономерности организации биоге-

оценотического покрова данного региона, но и вскрыл новые аспекты этой организации, чему способствовал перекрестный анализ межкомпонентных связей в экосистемах локального уровня с помощью эмпирико-статистических моделей. Можно надеяться, что разработанные методические подходы, а также полученные выводы будут полезны в дальнейшем развитии теории и методов топологии гео(эко-)систем – раздела комплексной физической географии и геоэкологии, приоритет в становлении которого принадлежит плеяде отечественных естествоиспытателей – Б.Б. Польшину, Л.Г. Раменскому, А.И. Перельману, М.А. Глазовской, Н.А. Солнцева, В.Б. Сочаве, Ф.Н. Милькову и др.

Изложенные материалы имеют определенную прогнозную направленность. На основе рассмотренных схем бинарной топологической ординации установлена система локальных экологических связей в возвышенно-равнинном Присурье и Жигулевском низкогорном массиве: от геоморфологических условий к гидроэдафотопам и далее к растительности, почвам и самим биогеоценозам, а также к зонально-географическим группам фаций. Эти связи служат механизмами передачи глобально-региональных климатических сигналов на локальный уровень и оказывают на них преломляющее воздействие, создавая определенную и вполне закономерную пространственную мозаику ответной реакции топозко систем на данные сигналы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 04-05-96506.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арманд А.Д. Информационные модели природных комплексов. М.: Наука, 1975.
2. Высоцкий Г.Н. О фито-типологических картах, способах их составления и их практическом значении // Почвоведение, 1909. № 2.
3. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1964.
4. Григорьев А.А. Развитие теоретических проблем советской теоретической географии. М.: Наука, 1965.
5. Изменение климата, 2001 г. Обобщенный доклад МГЭИК / Под ред. Роберта Т. Уотсона. Geneva: World meteorological Organization, 2003.
6. Коломыц Э.Г. Гидротермическая структура ландшафтов Хингано-Буреинского низкогорья // Локальные контрасты в геосистемах. Владивосток: Тихоокеан. ин-т географии ДВНЦ АЕ СССР, 1977.
7. Коломыц Э.Г. Организация и устойчивость хвойнолесных экосистем на бореальном экотоне Русской равнины // Изв. РАН. Сер. географич. 1995. № 3.
8. Коломыц Э.Г. Поиск локальных механизмов глобальных изменений природной среды // Изв. АН. Сер. географич. 2001. № 1.
9. Коломыц Э.Г. Региональная модель глобальных изменений природной среды. М.: Наука, 2003.
10. 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.
11. Крауклис А.А. Особенности географических градаций топического порядка // Топологич. основы учения о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1974.
12. Мельченко В.Е., Саксонов С.В. Ландшафтный подход к региональным флористическим исследованиям // Самарская Лука: Самара: СНЦ РАН, 1993. № 4.
13. Мильков Ф.Н. Физическая география. Учение о ландшафте и географическая зональность. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1986.
14. 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.
15. Погребняк П.С. Общее лесоводство. М.: Колос, 1968.
16. Программа и методика биогеоэкологических исследований / отв. ред. Н.В. Дылис. М.: Наука, 1974.

17. Прокаев В.И. Опты крупномасштабного ландшафтного районирования восточной части Самарской Луки // Вопросы географии. Сборн. тридцать девятый. М.: Географгиз, 1956.
18. Пузаченко Ю.Г., Скулкин В.С. Структура растительности лесной зоны СССР: Системный анализ. М.: Наука, 1981.
19. Раменский Л.Г. Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Л.: Наука, 1971.
20. Раунер Ю.Л. Климат и урожайность зерновых культур. М.: Наука, 1981.
21. Сочава В.Б. Геотопология как раздел учения о геосистемах // Топологические аспекты учения о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1974.
22. Спрыгин И.И. Материалы к познанию растительности Среднего Поволжья // Научное наследство. Том одиннадцатый. М.: Наука, 1986.
23. Ступишин А.В. (ред.) Физико-географическое районирование Среднего Поволжья. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1964.
24. Сукачев В.Н., Зонн С.В., Мотовилов Г.П. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1957.
25. Climate Change 1995. The Science of Climatic Change / J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander et. al. (eds). The Cambridge Univ. Press: Cambridge, UK, 1996.
26. Emanuel W.R., Shugart H.H., Stevenson M.R. Climatic changes and the boreal-scale distribution of terrestrial ecosystem complexes // Climatic Change, 1985. No 7.
27. Santer B. The use general circulation models in climate impact analysis – a preliminary stay of the impacts of a CO<sub>2</sub> – indicated climatic change on west european agriculture // Climatic Ganges. 1985. Vol. 7. No 1.

## EMPIRICAL SIMULATION OF REGIONAL BIOCLIMATIC TREND BY THE ECOSYSTEMS OF THE LOCAL LEVEL

© 2005 E.G. Kolomyts

Institute of Ecology of the Volga River Basin of Russian Academy of Sciences, Togliatti

By the example of the two experimental grounds of Chuvashsko-Samarskoye Povolzhye the principles have been established for refraction of the zonal-regional bioclimatic background by local geomorphological and hydro-edaphic factors and the ways of formation of the two regional systems of local zonality (Prisurye and Zhiguli) consisting of the vector series of flat interfluvium and extrazonal forest biogeocoenoses. Local empirical simulation of the arid bioclimatic trend predicted for both regions was made by factor ordination of the above series. Forest topoecosystems are distinctly differentiated by their diverse zonal affiliations. It suggests that the function-structure transitions of local exosystems must adequately reflect the shifts of the zonal-regional bioclimatic system.