

# ИТОГИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии.  
2010. – Т. 19, № 3. – С. 25-74.

УДК 574.42 (470.43)

## ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ САМАРСКОЙ ЛУКИ В УСЛОВИЯХ ПРЕДСТОЯЩЕГО ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ. САМАРСКАЯ ЛУКА КАК МОДЕЛЬНАЯ ТЕРРИТОРИЯ

© 2010 Э.Г. Коломыц, Н.А. Сурова\*

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

Поступила 25 декабря 2008 г.

После переработки 05 апреля 2009 г.

Получены материалы по состоянию лесных экосистем Самарской Луки и прогнозным оценкам их грядущих изменений.

Ключевые слова: лесные экосистемы, глобальное потепление климата, прогноз, Самарская Лука

### ЗОНАЛЬНОГО ЭКОТОНА ЛЕСА И СТЕПИ

В числе наиболее актуальных экологических проблем современности все большее значение приобретает фундаментальная проблема сохранения в условиях предстоящих глобальных антропогенных изменений климата (глобального потепления) лесных экосистем и воспроизводства лесных ресурсов у южных границ бореального пояса, где лесные сообщества находятся в состояниях, близких к критическим. Лесные экосистемы являются наиболее мощным регулятором и стабилизатором природных биогеохимических круговоротов (Сукачев, 1972), в том числе углеродного цикла и тесно связанного с ним температурного режима атмосферы (Моисеев и др., 1985; Тарко, 2005), поэтому лесной покров входит в число ведущих факторов устойчивости всей континентальной биосферы. В этой глобальной биосферной функции все большее признание получают лесные сообщества умеренного пояса, в том числе леса России (Заварзин, 2000; Исаев, Коровин, 2006 и др.).

В многочисленных зарубежных и отечественных публикациях последних десятилетий, посвященных возможным экологическим последствиям глобального потепления, преобладают мелкомасштабные глобальные прогнозы, нацеленные на оценку будущего состояния биосферы как планетарной системы. Гораздо слабее разработаны экологические прогнозы регионального уровня. В большинстве случаев они даются как некоторые фрагменты глобальных прогнозов на территорию того или иного субконтинента или отдельной страны, поэтому страдают, как пра-

---

\* *Коломыц Эрланд Георгиевич*, доктор географических наук, профессор, заведующий лабораторией ландшафтной экологии; *Сурова Наталья Анатольевна*, научный сотрудник той же лаборатории.

вило, весьма низким пространственным разрешением, не соответствующим территориальному масштабу конкретных регионов.

Еще хуже дело обстоит с прогнозами локального (топологического) ранга, поскольку не установлены причинные механизмы местного отклика на глобальные и региональные сигналы и не выявлены передаточные функции в ландшафтных связях, которые трансформируют сигналы при их прохождении через сопряженные ансамбли разномасштабных природных комплексов и их компонентов. Глобальные изменения на топологическом уровне имеют вид определенного множества локальных реакций на одно и то же фоновое гидротермическое воздействие. Для того чтобы выявить множество таких реакций, необходимо располагать массовым эмпирическим материалом, который может быть получен лишь в результате крупномасштабных ландшафтно-экологических съемок на специально подобранных для этого модельных полигонах.

Бореальный экотон Волжского бассейна как система зональных границ первого порядка, отделяющая бореальный пояс (преимущественно таежной) и суббореального (лесостепного и степного) пояса (Коломыц, 1995, 2003), представляет собой весьма благоприятную модельную территорию для прогнозных оценок изменений состояния региональных и локальных природных экосистем в условиях меняющегося климата. В этой сравнительно узкой переходной полосе наблюдаются существенные сдвиги в структуре и функционирование гео(эко-)систем зонального типа (Базилевич и др., 1986), обусловленные важнейшим климатическим рубежом – переходом соотношения тепла и влаги через 1, что создает повышенную чувствительность бореального экотона к колебаниям климата.

В изучении климатогенной динамики лесного растительного покрова на бореальном экотоне приоритетное значение имеет его южный форпост – *зональный экотон леса и степи*. Складывающиеся здесь вековые пространственно-временные соотношения двух растительных формаций: лесной и травянисто-степной, обладающих, как известно (Вальтер, 1974, Работнов, 1978), обостренной взаимной конкуренцией, – определяют экологическую безопасность крупных территорий и в конечном итоге стабилизацию всей континентальной биосферы. Именно на этом зональном экотоне, в полосе южных маргинальных лесов, начинается перестройка фитоценологических, почвенных и ландшафтных ареалов при тех или иных изменениях климата, здесь возникают новые эволюционные тенденции в природной среде (Коломыц, 2003). Самарская Лука, входящая в зону контактов широколиственных лесов с луговыми степями на Русской равнине (Лавренко, Исаченко, 1976), с полным основанием может рассматриваться в качестве модельной территории зонального экотона леса и степи.

На территории Самарского Поволжья мозаично переплетаются ареалы всех трех подзон лесостепной зоны: широколиственных лесов, типичной и южной лесостепи. Благодаря возвышенному рельефу, по правилу прямой вертикальной дифференциации равнинных ландшафтов (Мильков, 1981), район находится в биоклиматических условиях северного предела типичной лесостепи, переходящей в неморальнолесную подзону (см. табл. 5, ст. Сосновый Солонец (Кудинов, 2001)), что допускает здесь устойчивое существование массивов широколиственного леса. Однако с юго-востока сюда внедряются богаторазнотравно-типчаково-ковыльные степи (южная лесостепь), так что образуется целый «узел» геоботанических контрастов. Особенно это характерно для Жигулевского низкогорного массива. Находясь непосредственно на зональном экотоне широколиственного леса и луговой

степи, он имеет весьма широкий спектр растительных сообществ, с большим числом редких видов растений (Мельченко, Саксонов, 1993), – от неморальных лесов до остепненных боровых сосняков и настоящих северных каменистых (горных) степей, с различного вида дерново-карбонатными и темносерыми лесными почвами.

Длительная история хозяйственного освоения возвышенного правобережья Среднего Поволжья и современная ее высокая распаханность привели к резкому сокращению лесопокрытых площадей. Лесные массивы занимают сравнительно небольшие площади не только в двух южных подзонах, но и в самой неморально-лесной подзоне. По данным (Физико-географическое ..., 1964), только в Засурском полесском районе лесистость составляет около 65%. На территории правобережного Ульяновского Поволжья она уже остается менее 50%, а на севере сурско-свияжского междуречья (в Чувашии) снижается до 10-11%. Сама же территория Самарской Луки облесена всего на 25-30%. Совершенно очевидно, что в условиях грядущего глобального потепления и общей аридизации региональной биоклиматической системы (Коломыц, 2003) будут обостряться проблемы не только восстановления прежних лесопокрытых площадей, но и сохранения нынешних лесных массивов на всей территории правобережного Нижегородско-Самарского Поволжья. Этому будет способствовать литогенно обусловленная «предрасположенность» Приволжской возвышенности к остепнению, с возникновением новых ареалов «климатически неоправданной» типичной и даже южной лесостепи (Коломыц, 2005) на тех участках неморально-лесной подзоны, которые по своим гидроэдафическим условиям перейдут через рубеж критических состояний для лесной растительности.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**Общее направление научного поиска.** Стратегическая цель настоящего исследования состояла в разработке применительно к зоне перехода от бореального пояса к поясу суббореального прогнозной топо-экологической концепции «Глобальные изменения на локальном уровне» как научно-методической основы локального биоэкологического и геосистемного мониторинга глобальных изменений. По общему замыслу концепция должна содержать в себе обоснование путей и методов установления тех параметров структурно-функциональной организации лесных экосистем юга бореального пояса и северных форпостов пояса суббореального, которые наиболее чувствительны к глобальным климатическим изменениям и которые, следовательно, могут быть использованы для получения региональных и локальных биогеографических и ландшафтных прогнозов в свете предстоящих антропогенных изменений климата.

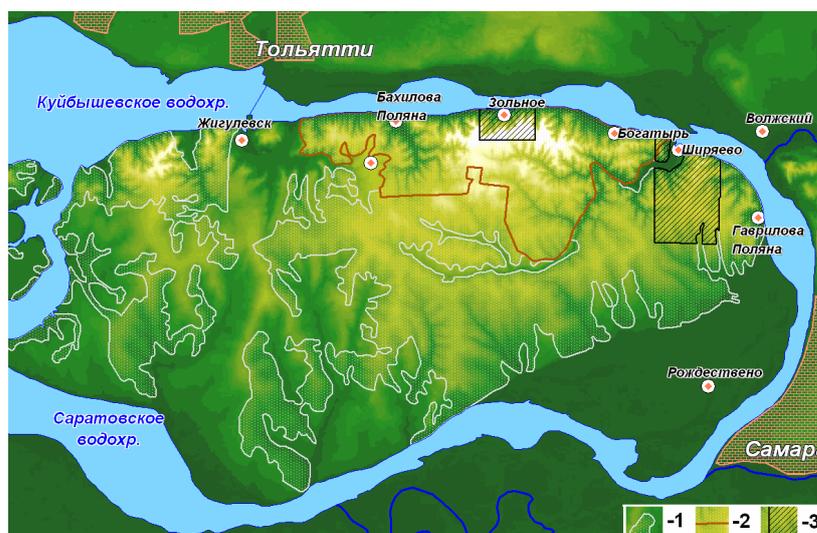
При создании рабочего варианта указанной концепции решались три взаимосвязанные задачи. Во-первых, необходимо было установить причинные механизмы территориальной организации и функционирования лесных экосистем на бореальном экотоне. Эти механизмы могут рассматриваться как передаточные звенья локального распространения и трансформации глобально-региональных климатических сигналов. Во-вторых, следовало выявить пути прохождения и способы преобразования этих сигналов по системе межкомпонентных и межкомплексных ландшафтных связей, с построением соответствующих эмпирических моделей. В-третьих, предстояло выявить мозаику локальных реакций на глобальные воздейст-

вия с помощью прогнозных экспериментов с моделями ландшафтных связей при заданных параметрах ожидаемых изменений глобального климата.

Разработка локального ландшафтно-экологического прогноза велась в два этапа – в соответствии с двумя важнейшими концепциями экологии: 1) дискретно-организменной (концепция Костычева-Клементса-Тэнсли) и 2) континуально-функциональной (гипотеза Докучаева-Глизна-Раменского) (Пузаченко, 1984; Миркин и др., 1989; Розенберг и др., 1999; Розенберг, 2004 и др.). Дискретный подход является первоочередным и составляет первый этап прогнозного анализа. Он позволяет охарактеризовать климатогенную динамику гео(эко-)систем как целостных природно-территориальных единств, их общее поведение в системе изменений гидротермических полей. Устанавливается определенный каркас прогнозируемой картины смены функциональных состояний локальных экосистем, что позволяет в пределах каждого экспериментального полигона сразу охватить различные зонально-региональные варианты этих смен и в дальнейшем выйти на более широкие территориальные обобщения.

На втором этапе реализуется континуальный подход, который направлен на раскрытие самих механизмов функционирования гео(эко-)систем и на прогноз изменений различных параметров биологического круговорота при ожидаемых изменениях гидротермических полей. Он позволяет более детально рассмотреть причинно-следственные связи с помощью метода бинарной ординации и определить приоритетные факторы климатогенной динамики параметров продукционной и детритной ветвей метаболизма. Тем самым выявляются движущие силы тех функциональных, а затем и структурных преобразований экосистем, которые уже установлены на первом (дискретном) этапе исследований.

**Региональная экосистема Жигули: общая характеристика.** Природным феноменом Самарской Луки является, как известно, Жигулевский низкогорный массив, где локальные фитоценоотические и ландшафтно-географические контрасты, благодаря глубоко расчлененному рельефу, сконцентрированы на относительно небольших расстояниях и выражены наиболее ярко. Жигули и были выбраны в качестве полигона для проведения экспериментальных ландшафтно-экологических исследований (рис. 1).



**Рис. 1. Схема расположения экспериментального полигона в Жигулевских горах**

Территория Жигулей – глубоко расчлененная, примыкающая к долине Волги и идущая по северному краю Самарской Луки часть Приволжской возвышенности шириной 5-6 км, за которой начинаются плоские и пологоволнистые водораздельные пространства «залесенного и лесостепного плато» (Прокаев, 1956). По схеме районирования (Физико-географическое ..., 1964), это самостоятельный Жигулевский возвышенно-равнинный район с двухъярусным рельефом. Жигулевский ландшафт является уникальным для всей территории Среднего Поволжья и представляет собой эрозионно-денудационные горы наиболее древнего происхождения (средний плиоцен), выработанные в пермских и карбоновых известняках и доломитах осевой зоны Жигулевского вала. Литогенная основа ландшафтов здесь сформировалась в условиях неотектонического и современного поднятия и развития активного денудационного сноса (Обедиентова, 1953).

Большая часть Жигулевского массива сложена известняками и доломитами каменноугольной системы, которые южнее сменяются карбонатными породами и глинами с прослоями гипсов ниже-пермского и казанского возрастов. Гипсы подверглись сильному выщелачиванию, в связи с чем широкое распространение получили карстовые процессы и карстовые формы рельефа. С этим связано безводье территории, а также отсутствие постоянных ручьев и речек. По абсолютным высотам (200-370 м.) Жигулевский массив следует относить скорее к возвышенностям, однако он отличается глубоким эрозионным расчленением, необычным для равнин (до 150-200 м. и более), что придает ему в целом низкорослый облик (Мильков, 1964).

Возвышенный и расчлененный рельеф обусловил в Жигулях преобладание лесных геосистем. Только щебнистые осыпи крутых горных склонов и местами каменистые гребни гор занимают участки каменистой степи. В условиях однообразия литологического и механического состава почвообразующих пород весьма ярко проявляются ландшафтообразующие эффекты высоты местности, крутизны склонов и особенно солярной экспозиции. На более прохладных и влажных склонах северной и северо-западной ориентации сформировались суглинистые делювиальные отложения, которые сглаживают здесь локальные почвенно-фитоценоотические контрасты. На более теплых и сухих южных и юго-восточных склонах гораздо четче проявляется ландшафтная вертикальная дифференциация, которую можно считать началом проявления высотной поясности. Подножья склонов занимают остепненные луга и луговые степи. Выше по склону их сменяют широколиственные, а затем сосново-широколиственные леса. Еще выше идут сосняки со вторым ярусом из дуба, липы, клена и с густым подлеском (преимущественно из лещины), затем – разреженные сосняки со степными кустарниками (караганой, степной вишней, кизильником и др.). Платообразные наклонные вершины и привершинные участки склонов занимает каменистая степь с большим числом эндемичных и реликтовых видов растений.

Для склонов разных экспозиций характерны следующие спектры «высотной поясности»: а) южные и юго-восточные склоны → дубравы кленово-липовые → дубравы сосново-липовые → сосняки дубовые → сосняки остепненные; б) восточные и северо-восточные склоны: дубравы кленово-липовые → дубравы сосново-липовые → сосняки кленово-дубово-липовые; в) западные, северо-западные и юго-западные склоны: дубравы кленово-липовые → дубравы сосново-липовые; г) северные склоны: дубравы кленово-липовые. Как видим, наиболее полный спектр характерен для южных и юго-восточных склонов, по которым следует ожидать

максимально выраженные вертикальные сдвиги фитоценологических границ при изменениях климата.

При достаточной мощности рыхлых суглинистых почвообразующих пород в Жигулях должны были бы сформироваться зональные темно-серые лесные почвы, но благодаря маломощному щебнисто-каменистому карбонатному субстрату здесь наиболее распространен тип дерново-карбонатных почв. Он представлен двумя подтипами – доминирующими дерново-карбонатными типичными и дерново-карбонатными выщелоченными, приуроченными к нижним частям и подножьям склонов.

**Эмпирический материал.** Крупномасштабная ландшафтно-экологическая съемка проведена на территории Природного национального парка «Самарская Лука». Съемка выполнялась лабораторией ландшафтной экологии ИЭВБ РАН в течение 1-14 июля 1996 г. по специально разработанной методике (Коломыц и др., 1993) на экспериментальном полигоне в восточной части Жигулевских гор – в районе Ширяевской долины и ее окрестностей, с захватом дубравного плато на территории соседнего Жигулевского заповедника (см. рис. 1). Координаты полигона – 53°23' с.ш. и 50°00' в.д.. Полигон охватывает достаточно широкий спектр лесных биогеоценозов (ландшафтных фаций) Самарской Луки: от ксероморфных остепненных редкостойных сосняков крутых солнцепечных склонов и мезоксероморфных сосново-широколиственных лесов теневых и нейтральных склонов до мезоморфных кленово-липовых дубрав средних и нижних частей склонов и гидро-мезоморфных плакорных теневых широколиственных (вязово-кленово-липовых) лесов, а также кленовников и осинников днищ малых глубоко врезанных долин (табл. 1). В дальнейшем территорию полигона мы будем условно называть *региональной экосистемой Жигули*.

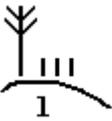
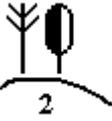
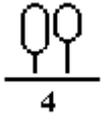
На экспериментальном полигоне было отработано 40 географических точек (пробных площадей), каждая из которых характеризовала одну конкретную ландшафтную фацию (биогеоценоз). Это позволило в дальнейшем проводить статистическую обработку материала на основе представлений о принципиально вероятностной природе ландшафтных закономерностей (Арманд и др., 1969). Топоэкосистемы выбирались таким образом, чтобы охватить все звенья локальных ландшафтных сопряжений (катен) на данной модельной территории, основные типы леса, а также их доминирующие сукцессионные ряды.

Признаки, по которым выбирались фации, общеизвестны. Фация, адекватная элементарному типу местоположения (МП), или геотопу, ограничена одним элементом микрорельефа. Типы местоположений оценивались с точки зрения их места в системе локальных ландшафтных сопряжений, характерных для данной территории. Согласно ландшафтно-геохимической модели (Полынов, 1956; Глазовская, 1964) полный парагенетический ряд ландшафтного сопряжения включает следующие звенья – элементарные ландшафты (рис. 2): элювиальное, или автономное (Э), трансэлювиальное (ТЭ), трансаккумулятивное (ТА), аккумулятивное или делювиальное (А), супеаквальное, или надводное (Са<sub>q</sub>). Вершины холмов, водораздельные гребни и плоско-выпуклые междуречья нами отнесены к элювиальному типу местоположения, бровки террас и уступов, а также верхние выпуклые участки склонов - к трансэлювиальному, нижние полого-вогнутые и ровные участки склонов - к трансаккумулятивному, а подножья склонов и днища незамкнутых ложбин - к аккумулятивному типу. Замкнутые и полузамкнутые понижения на местных водораз-

делах образуют отдельный эллювиально-аккумулятивный тип местоположения (ЭА).

Таблица 1

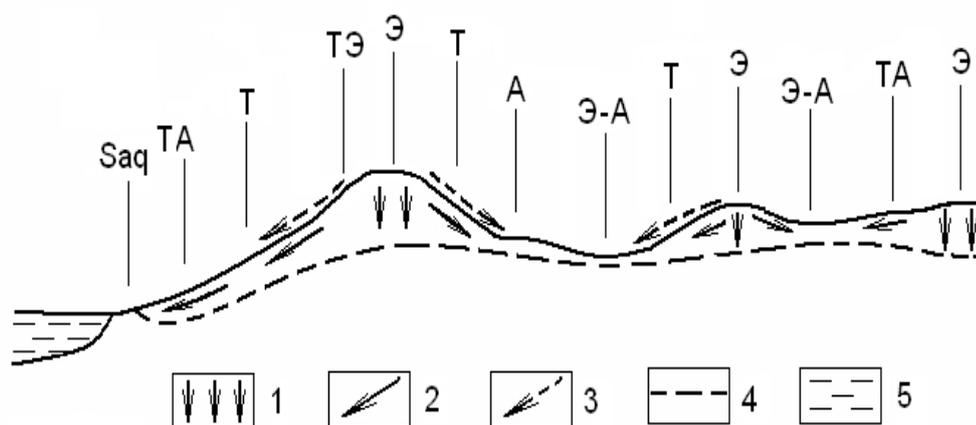
Группы биогеоценозов (ландшафтных фаций)  
региональной экосистемы Жигули и их условные обозначения

<i>Краткая характеристика</i>	<i>Символ</i>
1. Ксероморфные и мезоморфные сосняки, остепненные, карагано-вые и разнотравно-злаковые, верхних и средних частей крутых (20-30°) солнцепечных склонов (трансэллювиальные и транзитные), с дер-ново-карбонатными типичными маломощными легкосуглинистыми почвами на элювии известняка	
2. Мезоморфные, ксеро-мезоморфные и ксероморфные сосняки сложные (липово-дубовые) и сосново-широколиственные леса, лещин-ные, неморально-травяные, верхних и средних частей сравните-льно крутых (до 20-25°) нейтральных и теневых склонов (трансэлю-виальные и транзитные), с дерново-карбонатными типичными сред-не- и маломощными легко- и среднесуглинистыми почвами на элювии известняка	
3. Мезоморфные и ксеромезоморфные дубняки кленово-липовые и производные от них осинники, лещинные, разнотравно-ландышевые, верхних, средних и нижних частей нейтральных и теневых склонов средней и высокой крутизны (от трансэллювиальных до трансаккумулятивных), с дерново-карбонатными типичными маломощными сред-несуглинистыми почвами на элювии известняка	
4. Мезо-гидроморфные и реже мезоморфные теневые широколиствен-ные леса (вязово-кленово-липовые), разнотравно-снытьевые, лип-овые и производные от них осинники кленово-липовые, разнотрав-но-снытьевые, пологонаклонных водоразделов (крутизной до 3-5°) всех экспозиций (эллювиальные), с дерново-карбонатными типичными, дерновыми и темносерыми лесными среднemosными средне-суглинистыми почвами на элювии глин и известняков	
5. Мезоморфные и мезо-гидроморфные теневые широколиствен-ные леса (дубово-вязово-липовые) и производные от них осинники и бер-езняки (дубово-кленово-липовые) лещинные, разнотравно-сныть-евые и волосистоосоковые, средних и нижних частей склонов высо-кой кру-тизны (транзитные и трансаккумулятивные) с дерново-карбо-натными типичными и выщелоченными, а также с дерновыми сред-не- и мало-мощными среднесуглинистыми почвами на суглинистом делювии	
6. Мезоморфные и мезо-гидроморфные липняки, кленовники и осинники (иногда с лещиной), разнотравно-снытьевые, пологонак-лонных днищ глубоко врезанных долин малых водотоков, с дерно-выми намытыми и дерново-карбонатными выщелоченными средне-суглинистыми почвами на овражно-балочном делювии	

Информация, которая фиксировалась на каждой пробной площади размером 20 × 20 м, состояла из 85 геокомпонентных и комплексных признаков, объединенных в пять блоков: А – гидро-геоморфологический; В – почвенный морфологический; С – фитоценотический структурный; D – фитоценотический функциональный; Е – ландшафтно-геофизический. Сбор фактического материала на каждой пробной площади, его обработка и последующие расчеты проводились в соответствии с известными методическими руководствами (Базилевич, Родин, 1969; Бору-

чашвили, 1990; Биологическая ..., 1982; Мельченко, Саксонов, 1993; Методы ..., 1978; Молчанов, 1971; Общесоюзные ..., 1992; Орлов и др., 1996; Программа ..., 1974; Смирнов, 1971; Раменский, 1971 и др.).

Осуществлялся полный комплекс таксационных описаний и измерений, в том числе подроста, подлеска и древесного возобновления. На десяти геоботанических площадках размером 1×1 м, образующих микротрансект, пересекающий всю пробную площадь, производились описания напочвенного растительного покрова. На трех выборочных площадках размером 0,25 × 0,25 м велся сбор различных фитомасс – зеленой массы трав, кустарничков, мхов и лишайников, массы лесной подстилки (свежего, прошлогоднего опада хвои и листвы, мелкого опада веток, коры и шишек, полуразложившейся мортмассы опада и опада прошлых лет), массы корней трав и кустарничков. При расчетах годичного скелетной (одревесневелой) массы подроста и подлеска принято, что соотношения годичных приростов зеленой и скелетной фитомасс у взрослых древостоев и у подроста с подлеском в первом приближении равны. Для расчета мертвой скелетной массы на каждой пробной площади производился также полный пересчет сухостоя и валежника, в том числе крупных веток и пней. В опорном почвенном шурфе описывались морфология почвы, измерялись температура почвы на разных глубинах, брались образцы на определение весовой влажности почвенных горизонтов.



**Рис. 2. Схема пространственных сопряжений ландшафтных фаций и их групп, по: (Полынов, 1956; Глазовская, 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.  $S_{aq}$ , A, TA, – обозначения типов местоположения (см. в тексте)

В целях последующего моделирования ландшафтных связей все геокомпонентные признаки выражались численными показателями, либо упорядоченными качественными характеристиками, которые в дальнейшем оценивались в баллах. Разбиение качественных признаков на градации (баллы) показано в табл. 2 и 3.

При однократной ландшафтно-экологической съемке исследуемые признаки должны характеризовать «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 измерений производился в мак-

симально сжатые сроки (с 1 по 14 июля), в течение которых даже такие динамичные 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 приводились к некоторому единому сроку.

Таблица 2

Градации качественных признаков, используемых в моделировании

<u>Экспозиция склона:</u>	2 – С <sub>2</sub> , С <sub>3</sub> , сложенные субори свежие и влажные;
1 – 316–45°;	3 – D <sub>2</sub> , дубравы свежие;
2 – 270–315° и 46–90°;	4 – D <sub>3</sub> , дубравы влажные;
3 – 226–270° и 91–135°;	5 – D <sub>4</sub> , дубравы сырые.
4 – субгоризонтальная поверхность;	<u>Зонально-географические группы биогеоценозов:</u>
5 – 136–225°.	1 – бореальная боровая (неморальных видов < 10%);
<u>Крутизна склонов:</u>	2 – неморально-бореальная (неморальных видов < 30%);
1 – 0°	3 – смешанная бореальная + неморальная (по 40–50% видов);
2 – 1–2°	4 – бореально-неморальная (бореальных видов > 10%);
3 – 3–5°	5 – неморальная, с примесью бореальных видов (< 10%);
4 – 6–10°	6 – смешанная лесо-лугово-степная.
5 – 11–18°	<u>Поверхностное увлажнение эдафотона</u>
6 – > 18°	<u>(экологические группы почвенного покрова):</u>
<u>Типы местоположения:</u>	1 – почва сухая (ксерофиты и мезоксерофиты > 25%);
1 – трансэлювиальный (ТЭ);	2 – свежая (ксеромезофиты > 40%);
2 – элювиальный (Э);	3 – влажная (мезофиты > 40%, (м + мк) > 50%, + гигрофиты);
3 – транзитный (Т);	4 – сырая (мезогигрофиты, (мг + г) > 50%);
4 – трансаккумулятивный и аккумулятивный (ТА, А);	5 – мокрая (гигрофиты > 30%, (мг + г) > 50%).
5 – супераккумулятивный (Са);	
6 – элювиально-аккумулятивный (ЭА).	
<u>Формы микрорельефа:</u>	
1 – гребни, вершины и верхние выпуклые части склонов;	
2 – ровные склоны;	
3 – горизонтальные поверхности;	
4 – нижние вогнутые части склонов;	
5 – ложбины и западины.	
<u>Типы местообитания:</u>	
1 – С <sub>1</sub> , сложные субори сухие;	

Сущность функционирования каждого биогеоценоза составляют вертикальные вещественно-энергетические потоки (Сукачев, 1972; Сочава, 1974). Последние в данном случае фиксировались дискретными параметрами состояния различных геокомпонентов: почвенно-грунтового субстрата, грунтовых и почвенных вод, приземной атмосферы, фитоценотической среды. Интегральным показателем функционирования экосистем служит, как известно, малый биологический круговорот, основными звеньями которого являются синтез и разложение растительного вещества. По данным таксации леса и дополнительного сбора различных фитомасс (как живых, так и мертвых) были рассчитаны основные дискретные параметры биологического круговорота (см. ниже)

Градации типов леса и почвенных разностей на экспериментальном полигоне Жигулевского массива. Группы типов леса

Номер градации	Краткое название	Условное обозначение
1	Сосняки остепненные	
2	Сосняки сложные (неморальные)	
3	Сосново-широколиственные леса	
4	Дубовые леса	
5	Вязово-кленово-липовые леса	
6	Осиново-березовые леса	

Группы почвенных разностей

Номер градации	Краткая характеристика	Условное обозначение
1	Дерново-карбонатные типичные среднemocные средне-суглинистые на элювии известняка	Дк <sub>2</sub>
2	Дерново-карбонатные типичные маломощные средне-суглинистые на элювии известняка	Дк <sub>1</sub> <sup>cc</sup>
3	Дерново-карбонатные типичные маломощные легко-суглинистые на элювии известняка	Дк <sub>1</sub> <sup>лс</sup>
4	Темно-серые лесные на элювии пермских глин	СЛ <sup>Г</sup>
5	Дерново-карбонатные выщелоченные маломощные на делювии, подстилаемом известняком	Дк <sup>В</sup>
6	Дерново-карбонатные намытые и слаборазвитые на делювиальном суглинке (овражно-балочных систем)	Дк <sup>Н</sup>

**Методическая база исследования.** Ландшафтно-экологический анализ и прогноз базируются на построении *дискретных эмпирико-статистических моделей* двух типов:

1) теоретико-информационных моделей, вскрывающих тесноту межкомпонентной сопряженности, каналы цепных реакций на внешние возмущения и систему экологических ниш фитоценозов, почв и самих биогеоценозов в пространстве абиотических факторов среды (Пузаченко, Мошкин, 1969; Арманд, 1975; Пузаченко, 1976; Коломыц, 1984);

2) теоретико-множественных моделей (класс моделей дескриптивных, т.е. «размытых», множеств), описывающих с помощью мер сходства-контрастности и мер включения (Семкин, 1973; Андреев, 1980; Коломыц, 1983, 1998) структуру вещественно-энергетических полей.

Эти модели позволяют получать экспресс-информацию по всей системе ландшафтных связей – как вертикальных, так и горизонтальных, что является непреходящей научно-методической задачей как в ландшафтоведении, так и в ландшафтной экологии. Основными параметрами межкомпонентных связей, которые были нами использованы, являются два: нормированный коэффициент сопряженности  $K(A;B)$  явления  $A$  с фактором  $B$  (в каждой паре признаков) и частный коэффициент

связи  $C_{ij}$ . Первый параметр показывает, что от чего зависит и насколько, а второй – используется как средство «раскрытия кода информации», позволяющее определить степень пространственной связности отдельных градаций (состояний) явления ( $a_i$ ) и фактора ( $b_j$ ). По первому параметру строилась общая информационная модель региональной экосистемы Жигули на множестве выбранных признаков. По второму же параметру устанавливалась система *экологических ниш* каждого значения (градации) явления  $A$  в пространстве значений фактора  $B$ .

Таблица 4

Матрицы частных коэффициентов связи между группами Биогеоценозов и их зональными группировками

Зональные группы фаций	Группы биогеоценозов					
	 1	 2	 3	 4	 5	 6
1. Бореальная боровая	1,11 •	0,74	0,83	0,49	1,59 +	1,48 +
2. Неморально бореальная	1,67 +	0,56	0,83	1,48 •	0,48	1,11 •
3. Бореальная + неморальная			2,00 •	1,78 •	1,14 •	
4. Бореально-неморальная		3,33 •		2,22 +		
5. Неморальная, с прим. бореал.	0,52	3,33 •	2,50 +			
6. Смешанная лесо-лугово-степная		6,67 +				

Прим. 1,11, 0,74 и т.д. – частные коэффициенты связи ( $C_{ij}$ ). При  $C_{ij} \leq 1$  парциальные связи считаются незначимыми. Символами «+» и «•» отмечены соответственно экологические доминанты и «размытые части экологических ниш. Обозначения групп биогеоценозов см. в табл. 1.

Система экологических ниш рассматриваемого объекта описывается матрицей парциальных связей (табл. 4). В этой матрице вектор-столбец характеризует экологическую нишу определенной градации явления в пространстве значений данного фактора. Градации фактора с наибольшими коэффициентами связи  $C_{ij}$  образуют некоторую область экологического доминанта (обозначен символом "+"), остальные же градации относятся к "размытой" части ниши (со знаком "•", см. табл. 4). По матрицам частных коэффициентов связи строились графические модели бинарной ординации «фактор-явление» (см. рис. 4–6) и проводился соответствующий ординационный анализ.

Второй аспект природно-территориальной организации описываются полисистемными моделями (теоретико-множественными). Характеризуя природный комплекс как сложную систему, исследователь получает набор признаков, которые образуют, как правило, нечеткие, «размытые» множества. В них различия между элементами данного класса явлений не всегда существенно меньше различий меж-

ду элементами разных классов. Сходство и различие могут быть выявлены статистическим путем при использовании «веса» каждого признака. Нами использованы две меры попарного упорядочения объектов: мера сходства (или различия) и мера включения одного объекта в другой. Оценивались бинарные отношения биогеоценозов (*A, B, C* и т.д.) по множеству параметров их функционирования (см. выше), которые выступали в качестве их элементов.

Ландшафтно-экологический прогноз основан на сочетании обоих типов моделирования. Путем теоретико-множественных операций с экологическими нишами рассматриваемых объектов (Коломыц, 1983, 2003) проведены прогнозные расчеты климатогенных изменений этих объектов на заданные сроки.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В СВЕТЕ АРИДНОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО ТРЕНДА**

**Вводные замечания.** Согласно большинству известных прогнозно-климатических моделей семейства общей циркуляции атмосферы AOGCMs (GISS, HadCM3, GFDL, CSIRO, NCAR и др.), в умеренных широтах северного полушария, в том числе на территории Волжского бассейна в течение ближайшего столетия будет интенсивно развиваться *термоаридный климатический тренд* (Climate ..., 1996; Изменение ..., 2003), с повсеместным уменьшением годового коэффициента увлажнения и соответствующими сдвигами зональных границ в общем направлении с юга на север (Коломыц, 2003). На зональных экотонах леса и степи ожидается трансгрессия лугово- и сухостепной растительности и поглощение ею маргинальных лесных массивов, которые окажутся в неблагоприятных климатических условиях. Такова общая прогнозная ситуация.

**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, 1960), 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 топозкосистем (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 локальных гео(эко-)систем на те или иные сдвиги в региональной климатической системе и наметить соответствующие цепочки местных ландшафтно-экологических переходов.

Исходя из вышеизложенного, первый шаг к познанию локальных механизмов глобальных изменений был осуществлен через методическую конструкцию с рабочим названием «*эмпирическая имитация регионального биоклиматического тренда экосистемами локального уровня*». Сущность имитации состоит в следующем.

В пределах территории с определенными граничными условиями зонально-регионального биоклиматического фона строится серия факторально-

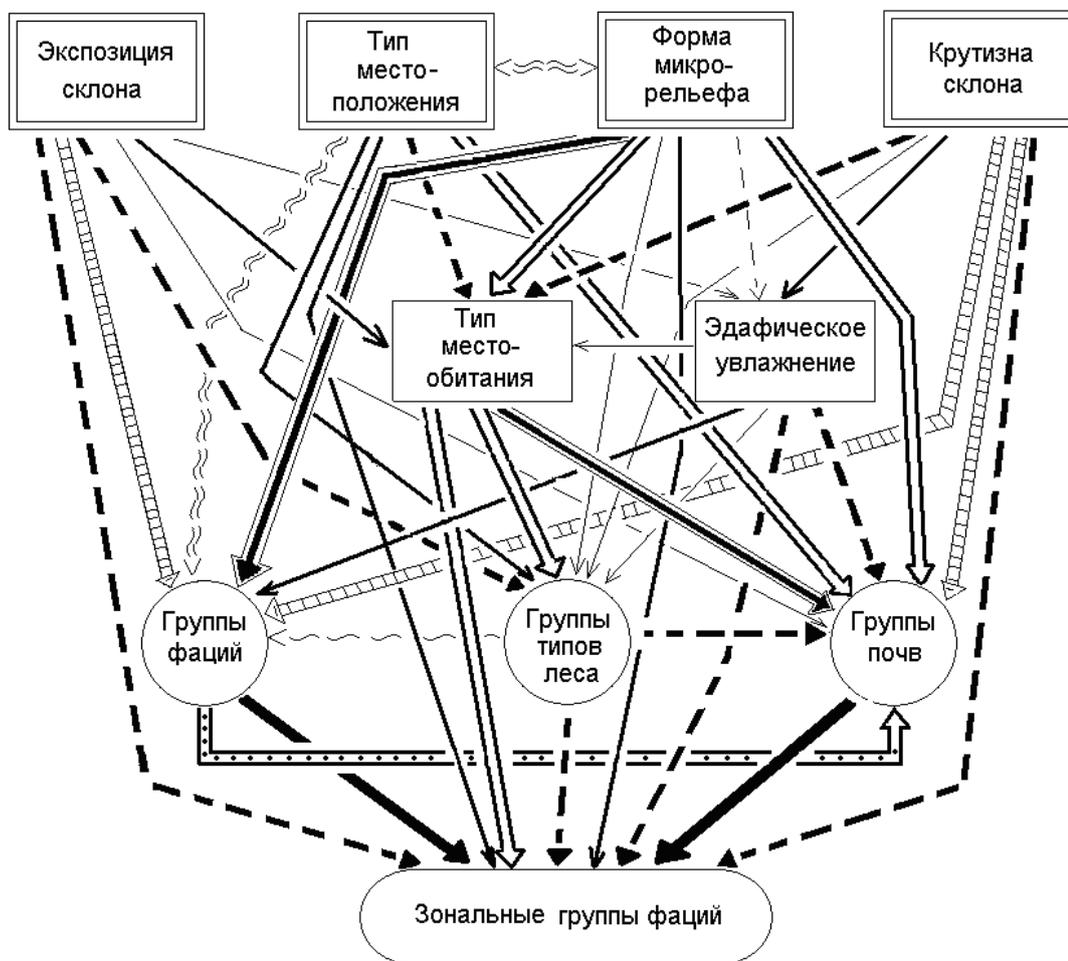
динамических рядов элементарных природных комплексов (ландшафтных фаций и их групп) таким образом, чтобы расположить члены каждого ряда в порядке усиления (или ослабления) гипертрофированного воздействия рассматриваемого экологического фактора. С точки зрения прогнозируемых изменений природных комплексов и их компонентов под воздействием глобального потепления нас интересуют гидротермические ряды экстразональных топоэкосистем, вместе с зональными представителями, а также их отдельных структурно-функциональных признаков в направлении их возрастающей аридности. При этом каждый такой ряд может быть представлен как некоторый аналог временного ряда топоэкосистем, соответствующего вектору фоновых климатических изменений (тренду).

Таким образом, получается некоторая *эргодическая операционная система* (Симонов, 1966; Раунер, 1981), которая является ничем иным как современной модификацией традиционного сравнительно-географического метода, заложенного еще в начале XIX в. Александром Гумбольдтом. Исходя из свойств самоподобия этой системы, мы заменяем пространственные последовательности на временные и, анализируя векторный ряд плакорно-экстразональных топоэкосистем, проводим своего рода имитацию локального отображения фонового климатического тренда, с определением соответствующего спектра направлений функционально-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* (см. ниже), а также их отдельных компонентов.

Исследование пространственных связей локальных гео(эко-)систем с факторами среды проведено с помощью известных методов ординационного анализа, разработанных в свое время в геоботанике и нашедших широкое применение в ландшафтной экологии (Раменский, 1971; Сочава, 1978; Розенберг, 1984 и др.). «Ординация – упорядочение объектов (видов или сообществ) вдоль некоторых осей, определяющих варьирование растительности» (Розенберг, 1984, с. 47). Методы ординации широко используются при экологическом и синтаксономическом изучении растительного (и биогеоценотического) покрова, представленного в виде определенного континуума. Нами использован прямой градиентный анализ, в котором выявление ведущих экологических факторов основано на статистическом анализе варьирования тех или иных объектов (биогеоценозов или их отдельных компонентов) в пространстве значений этих факторов.

**Общая схема информационных связей.** Наиболее общие представления о межкомпонентных ландшафтных связях, т.е. о моносистемной организации региональной экосистемы Жигули, дают структурные информационно-статистические схемы пространственной сопряженности по основному набору признаков ландшафтного макро- и микросубстрата (терминология А.А. Григорьева (1965)). Нами выбраны 10 таких диагностических признаков (рис. 3). 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, в соответствии с известными шкалами Л.Г. Раменского (1971), и тип местообитания, представляющий собой, согласно эдафической сетке П.С. Погребняка (1968), сочетание влажности эдафотопы и механического состава почвообразующих пород, определяющего трофность (богатство) почвы.

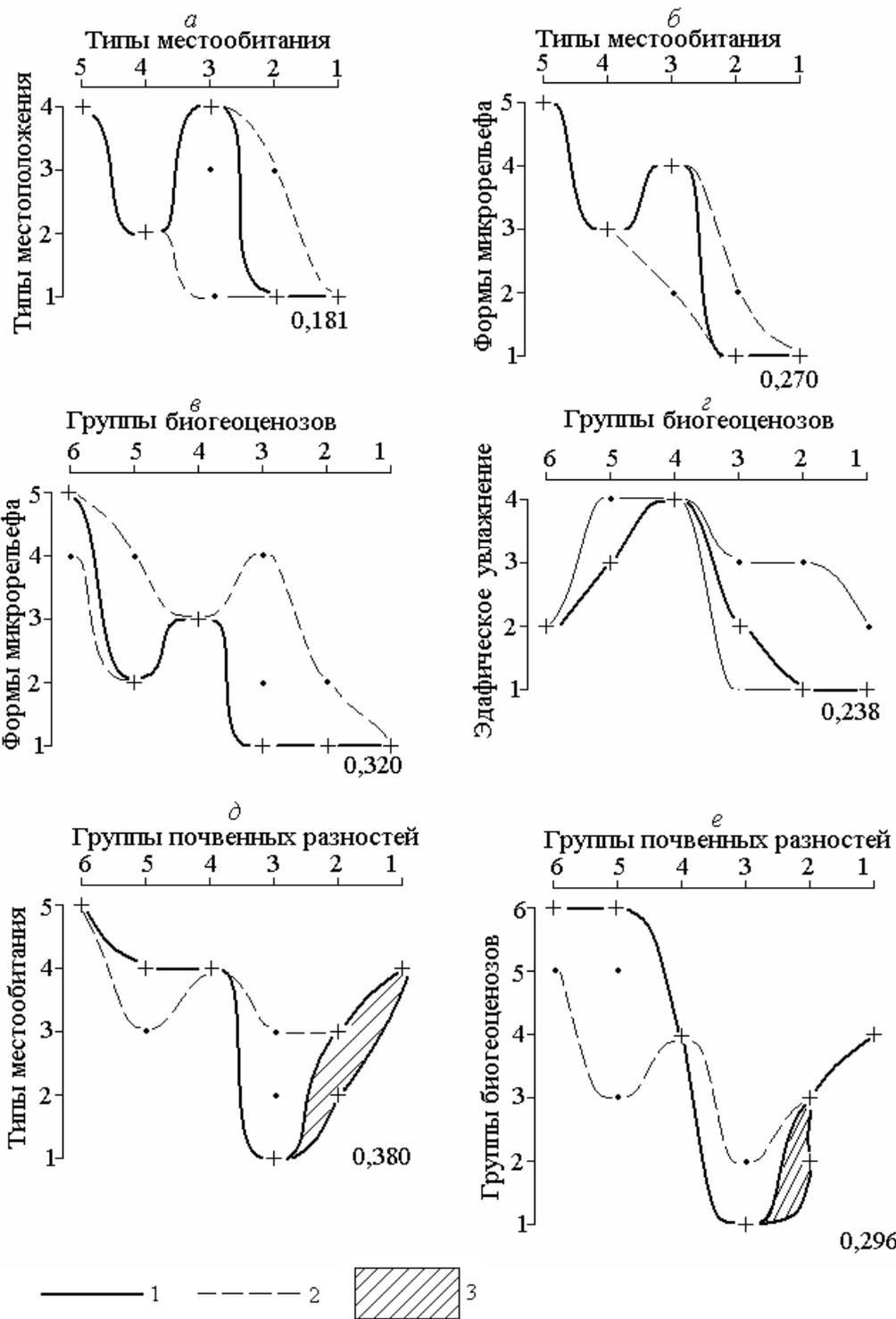
На схеме-модели признаки расположены сверху вниз в четыре ряда – в порядке уменьшения их роли как ландшафтообразующих эдификаторов и роста их индикационных свойств, т.е. в направлении от независимых переменных к зависимым, согласно (Арманд, 1975). Таким образом, эти схемы отражают упорядоченную иерархию взаимовлияния природных компонентов. Вся конструкция векторных информационных связей замыкается на группировках биогеоценозов как определенных зональных представителей региональной биоклиматической системы.



**Рис. 3. Общая информационно-статистическая модель межкомпонентных связей в региональной экосистеме Жигули**

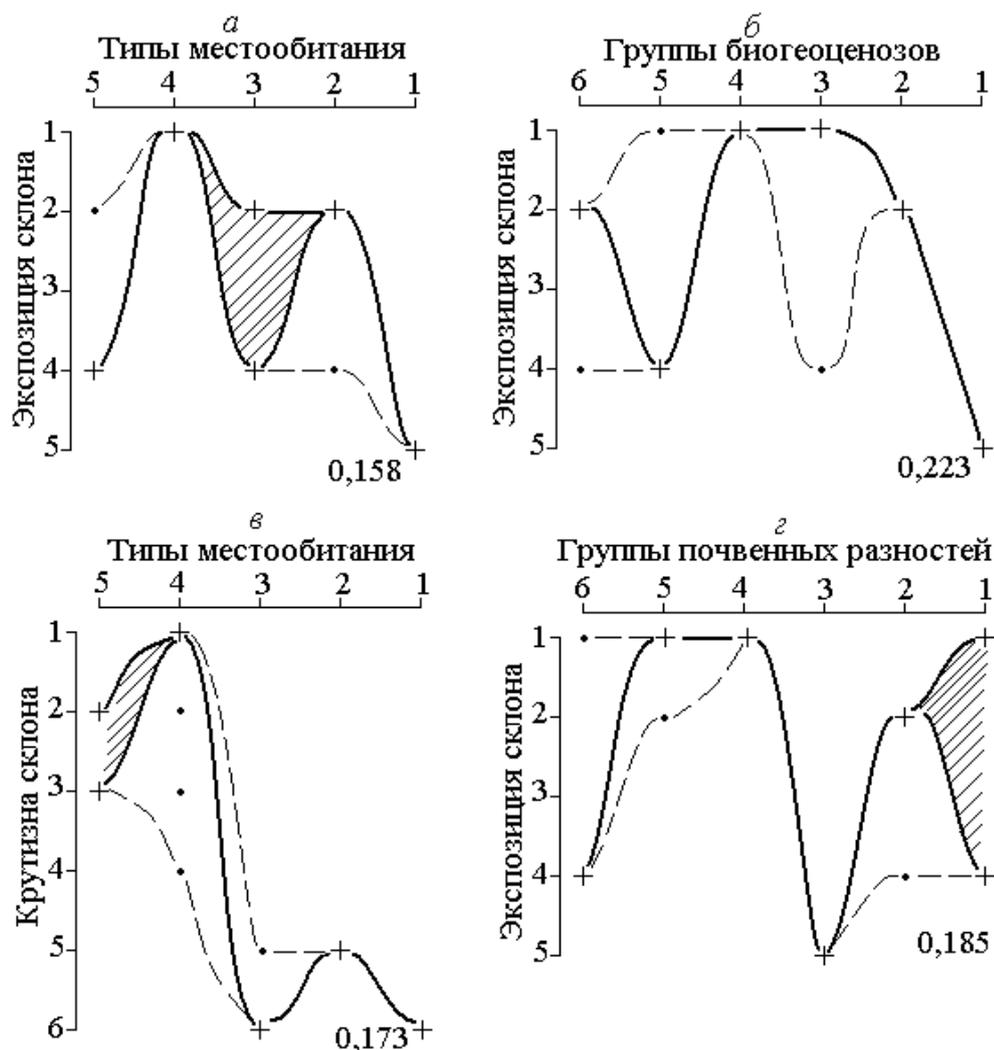
Нормированный коэффициент сопряженности, по: (Пузаченко, Скулкин, 1981): 1 – 0,071–0,100; 2 – 0,101–0,130; 3 – 0,131–0,160; 4 – 0,161–0,190; 5 – 0,191–0,220; 6 – 0,221–0,250; 7 – 0,251–0,280; 8 – 0,281–0,310; 9 – более 0,310. Коэффициенты сопряженности зависимых признаков: 10 – менее 0,310; 11 – более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

Модель демонстрирует достаточно стройную соподчиненную систему ландшафтных связей, причем интересующие нас объекты: биогеоценозы, типы леса и почвенные различия, - 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 (Пузаченко, Скулкин, 1981), коэффициенту корреляции более 0,7.



**Рис. 4. Бинарная ординация типов местообитания, групп биогеоценозов и почвенных разностей по геоморфологическим условиям и эдафическому Увлажнению в экосистеме Жигули**

1 – траектории экологических доминантов; 2 – траектории границ экологических ниш; 3 – «зоны» толерантности явления к фактору. 0,181, 0,270, ... – нормированные коэффициенты сопряженности. Обозначения градаций признаков см. в табл. 2 и 3.



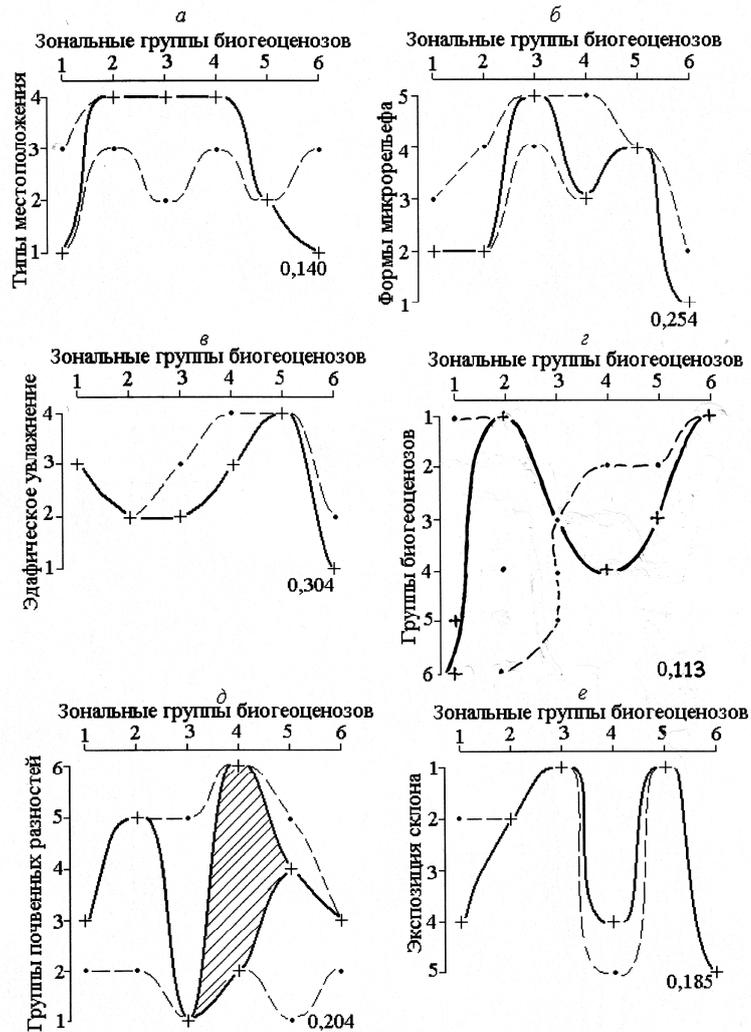
**Рис. 5. Бинарная ординация типов местообитания, групп биогеоценозов и почвенных разностей по экспозиции и крутизне склонов в экосистеме Жигули.**

Условные обозначение те же, что и на рис. 4.

В условиях Жигулевского массива, при относительной однородности почвообразующего субстрата, весьма отчетливо и многогранно проявляется экологическая роль рельефа – типов местоположений (от трансэлювиального до аккумулятивного), характера самих мезо- и микроформ (рассеивающих, транзитных или собирающих), а также соллярной экспозиции и крутизны склонов (см. рис. 3–6). При этом усиливается прямое влияние форм рельефа на распределение биогеоценозов и почвенных разностей, минуя промежуточные каналы связи – эдафическое увлажнение и тип местообитания, о чем можно судить по значениям параметра  $K(A;B)$ . В связи с общим низким уровнем почвенно-грунтового увлажнения пространственно дифференцирующая роль гидроэдафического фактора заметно ослабевает, однако, благодаря появлению высокотрофного (карбонатного) почвообразующего субстрата, сохраняется и даже усиливается значение типа местообитания как для почвенных разностей, так и для самих биогеоценозов.

На кривых локального аридного тренда геоморфологической ординации типов местообитания и соответствующих групп фаций (с почвенными разностями)

прослеживается два переключения связей (см. рис. 4 а-в). Это обусловлено неоднородными сменами эдафического увлажнения при движении по цепи типов местоположения: А-ТА → Т → ТЭ → Э, - т.е. от днищ долин к платообразным водоразделам. Дополнительное усложнение вносят также соллярная экспозиция и крутизна склона. Наиболее гумидными являются днища глубоко врезаемых долин и подножья склонов с делювиально-суглинистым сырыми местообитаниями (D<sub>4</sub>) Здесь произрастают мезогигроморфные и мезоморфные липняки и осинники с дерновыми намытыми слабо развитыми почвами (см. рис. 4 д). К ним примыкают также мезогигроморфные теневые широколиственные леса нижних частей и подножий склонов (группа 5).



**Рис. 6. Бинарная ординация зонально-географических групп биогеоценозов по различным экологическим факторам экосистемы Жигули.**

Условные обозначения те же, что и на рис. 4.

Несколько меньшая гумидность свойственна противоположному «полюсу» ландшафтных сопряжений – субгоризонтальным водораздельным плато (элювиальному типу МП), на которых представлены влажные тяжело- и среднесуглинистые местообитания (D<sub>3</sub>). На этих плакорных территориях господствуют мезоморфные теневые широколиственные леса, с дерново-карбонатными среднесильными и темносерыми лесными почвами (данные группы почв имеют здесь свои экологические оптимумы).

Три указанных звена ландшафтных сопряжений составляют первую, *семигумидную* плеяду топоэкосистем. Соответствующие им группы лесных биогеоценозов образуют единую линию ординации экологических доминантов по эдафическому увлажнению (см. рис. 4 *з*). Семи гумидной плеяде присущи также весьма узкие экологические ниши типов МО, что указывает на довольно жесткую привязку этих эдафотопов 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  $C_2$ ), отвечающих преимущественно ксерофитной категории эдафического увлажнения. Соответственно, данную плеяду топоэкосистем можно считать *семиаридной*. Тем не менее здесь имеется определенное разнообразие биогеоценозов – представителей первых трех групп (см. табл. 2): от остепненных разнотравно-злаковых сосняков до кленово-липовых дубняков и осинников, с дерново-карбонатными типичными легко- и среднесуглинистыми почвами (см. рис. 4 *д, е*). При этом если первые приурочены к солнцепечным склонам, то вторые тяготеют к тенивым и нейтральным.

Средние участки склонов (транзитный тип МП) имеют повышенную степень аридизации, однако здесь нет доминирующих типов МО. Экологические ниши последних существенно расширяются (см. рис. 4 *а, в*) включая типы как влажных субборей ( $C_2$ ), 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  $СЛ_5$ ) до ксеро-мезоморфных транзитных и трансэлювиальных сложных сосняков. Транзитный тип МП наиболее благоприятен для дубо-липняков.

Самостоятельными и весьма эффективными экологическими факторами в Жигулях служат, как уже говорилось, солярная экспозиция и крутизна склона (см. рис. 3 и 5). На склонах южной четверти горизонта преобладают процессы физического выветривания верхнекарбонатных 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 (см. рис. 6 *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 солнцепечных склонов к нейтральным, а затем к тенивым типам МО меняются в направлении  $C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow D_2 \rightarrow D_3$ , с соответствующей сменой остепненных сосняков сначала мезо-ксероморфными сосново-широколиственными лесами, а затем мезоморфными дубо-липняками и осинниками (см. рис. 6 *а, б*). Тенивые 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 нижней перми (Обедиентова, 1953).

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

На этом динамическом фоне крутизна склона и связанная с нею степень дренажа вносят дополнительный вклад в аридизации 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.

**Локальное отображение зональных биоклиматических условий.** Как уже говорилось, 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 топоэкосистем 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* (см. выше). 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 непосредственно отражаются в структуре и функционировании гео(эко-)систем.

Располагаясь, как уже говорилось, непосредственно в полосе зональных экотон лесов и степей на Русской равнине, природные экосистемы Самарской Луки сформировались в условиях соотношения тепла и влаги, близкого к 1, с неизбежным дефицитом почвенно-грунтовой влаги для лесных сообществ (Димо, 1972). В таких гидротермических условиях совершается определенный экологический перелом – резкий переход от холодных гумидных областей к менее холодным и более аридным областям (Базилевич и др., 1986), что приводит лесные экосистемы в критическое состояние. В климатогенной динамике этих экосистем выражаются взаимоотношения двух конкурирующих растительных формаций: лесной и травянисто-степной, – в условиях как возвышенно-равнинного, так и глубоко расчлененного (низкогорного) рельефа. Благодаря такой конкуренции весьма отчетливо проявились свойства полизональности жигулевских топоэкосистем как *способ их реакции на глобальные климатические изменения* (Коломыц, 2006). Обусловленные локализацией зонально-региональных черт природно-территориальной организации под преломляющим воздействием низкогорного рельефа, эти свойства позволяют имитировать будущую ландшафтно-зональную структуру экотона, которая может сформироваться под воздействием ожидаемого термоаридного климатического тренда.

Рассмотрим Жигулевский массив как определенную региональную систему локализованной зональности. Выделение зонально-географических групп биогеоценозов проведено, согласно В.Н. Сукачеву (1972) и И.И. Спрыгину (1986), по спектрам видового состава лесообразующих пород и почвенного растительного покрова.

Прежде всего, следует отметить ведущую геоморфологическую детерминация механизмов формирования зонально-географических групп биогеоценозов низкогорья (см. рис. 3 и 6). Однако многоплановость этого фактора приводит к дроблению каналов связи, что вызывает общее уменьшение самой силы связей и соответствующее ослабление зональной дифференциации типов леса, почвенных разновидностей и в целом биогеоценозов. Благодаря низким флористическим и фитоценотическим контрастам между зональными подразделениями топоэкосистем существенно расширяются экологические ниши жигулевских групп биогеоценозов в пространстве их зональной принадлежности, а в некоторых случаях происходят разрывы ниш (см. табл. 4). Последнее характерно, в частности, для сосново-широколиственных лесов теневых приводораздельных частей крутых склонов, а также дубо-липняков у их подножий. С другой стороны, три промежуточных зональных представителя, имеющих различные сочетания бореальных и неморальных видов, встречаются в широком диапазоне групп лесных биогеоценозов – от водораздельных сосново-широколиственных лесов до липняков и осинников днищ глубоко врезанных малых долин.

Выравнивание контрастов обусловлено двумя основными факторами. Во-первых, это само географическое положение Самарской Луки непосредственно на зональном экотоне леса и степи. Более того, здесь сказывается «дыхание» и более северной (подтаежной) зоны. Взаимопроникновение с севера и северо-запада не только неморальнолесных, но и бореальных (преимущественно борových) видов, а с юга и юго-востока – степных элементов привело к смешению флор и большому фитоценотическому разнообразию жигулевских топоэкосистем. Возникла даже смешанная лесо-лугово-степная зонально-географическая группа (своеобразного горного облика) с примесью бореальных борových элементов (см. табл. 1). Ее можно считать своего рода ландшафтным топоаналогом лесо-лугостепного высотного пояса Тянь-Шаня (Гвоздецкий, Михайлов, 1987), а также горных ксерофитных редколесий Восточного Закавказья (Кавказ, 1966) и других аридных суббореальных и субтропических регионов Евразии (Агаханянц, 1981).

Вторым является палеогеографический фактор. Известные исследователи флоры и растительности Самарской Луки (Нейштадт, 1957; Спрыгин, 1941; Гроссет, 1971 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, борových и степных растений (вторые характерны для горно-степной флоры), а также некоторых неморальнолесных видов. Длительное (со времен верхнего плейстоцена) сохранение этих реликтов было неизбежно связано с расширением их климатических ниш, что привело к взаимному перекрытию их ареалов и к определенному смешению самих растительных формаций.

Материалы Г.В. Обедиентовой (1953) позволяют представить следующую цепочку экологических связей, вызывающих локальную имитацию различных зональных биоклиматических условий: экспозиция и крутизна склонов (определяют интенсивность процессов выветривания и делювиального сноса) → мощность по-

кровных отложений → характер почвенного покрова → видовой и ценотический состав растительности. Глубокое эрозионное расчленение Жигулевского массива, оставшееся еще со времен среднего плейстоцена, создает резко выраженные соляро-экспозиционные, т.е. теплоэнергетические, контрасты, которые в условиях однообразия коренных пород (преимущественно карбонатных известняков), а также практической безводности территории (в условиях интенсивного развития карстовых процессов) и отсутствии подземного стока проявляются почти в «чистом» виде.

Эти теплоэнергетические контрасты вызывают соответствующую пестроту почвенно-растительного покрова, причем пестроту геоморфологически predeterminedенную, что служит наглядной иллюстрацией подмеченного еще сто лет назад И.И. Спрыгина (1986) явления *локальной экстразональности*. Он писал, что вблизи своих климатических границ «... южные формы растений на севере занимают склоны южной экспозиции, как более теплые и сухие местообитания, северные же наоборот – у своей южной границы захватывают холодные склоны северной экспозиции или места с более благоприятными условиями водоснабжения» (1986, с. 161).

Экстразональные природные комплексы – это локальные гео(эко)-системы склонов, речных долин и специфического почвообразующего субстрата, имитирующие ландшафтно-экологические условия соседней или даже отдаленной природной зоны (подзоны) под действием сильного преломляющего воздействия местных геоморфологических и эдафических факторов на зонально-климатические условия данной территории. Экстразональные комплексы являются «следствием ... размытости эколого-географических границ» (Мильков, 1986, с. 288) под действием этих факторов, т.е. они свойственны как раз зональным экотонам.

Экстразональность известна также как «правило ландшафтного предварения» В.В. Алехина (цит. по: Мильков, 1981). Применительно к Жигулевским горам его можно сформулировать так: 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 (см. рис. 6). 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 ( $D_2, D_3$ ) с ксеромезофитным и мезофитным напочвенным покровом.

Переход к ТА местоположениям (нижним полого вогнутым склонам и их подножьям) сопровождается сменой почвенно-грунтового увлажнения на мезогигрофитное (сырые эдафотопы,  $D_4$ ) 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 максимально дренируемым верхним выпуклым частям крутых склонов (ТЭ типам МП) с ксерофитными и мезоксеро-

фитными эдафотопами ( $C_1$ , реже  $C_2$ ), однако она встречается и на плакорах («лесостепное плато» антропогенного происхождения (Прокаев, 1956)). Своеобразную «черезполосицу» дает ординация зонально-географических групп фаций по соляриной экспозиции склонов (см. рис. 6 е).

Активное взаимопроникновение бореальных и степных видов в неморально-лесной покров Жигулевских гор привело к тому, что в большинстве топоэкосистем присутствуют виды, относящиеся к различным зональным биоклиматическим системам (см. табл. 4 и рис. 6 з). Так, бореальная боровая категория как наиболее северный зональный представитель включает главным образом ТА-А и Са<sub>q</sub> мезогидроморфные дубово-вязово-липовые и кленово-осиновые леса (группы фаций 5 и 6), однако в нее входят также ТЭ ксероморфные остепненные сосняки крутых солнцепечных склонов (группа 1). Не менее значителен разброс фациальных групп и в неморально-бореальной зональной категории: от уже упомянутых ТЭ ксероморфных солнцепечно-склоновых сосняков до мезо-гидроморфных липняков и осинников днищ малых долин. И только представители собственно южной лесостепи: неморальная и лесо-лугово-степная категории, – ограничены одной-двумя фациальными группами (ксеро-мезоморфными ТЭ и Т сосново-широколиственными лесами и кленово-липовыми дубняками).

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 – в данном случае при ожидаемом глобальном потеплении. Судя по диаграммам бинарной ординации зонально-географических групп (см. рис. 6 з), можно полагать, что метаморфозы такого типа будут развиваться в плееде широколиственных лесов, распространенных как на плакорах, так и на теневых и нейтральных склонах. Однако с точки зрения прогнозируемой аридизации лесов региона необходимо учитывать современную близость экологических доминантов ниш биогеоценозов к аридному критическому состоянию. По гидротермическим условиям своих эдафотопов топоэкосистемы неморально-лесной 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.

## **ПРОГНОЗНЫЕ СЦЕНАРИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

**Предпосылки локального экологического прогноза.** В разработке прогнозной топо-экологической концепции «Глобальные изменения на локальном уровне» имеются существенные методические трудности. Главная из них – оценка трансформации глобально-региональных климатических сигналов в локальные, соразмерные с масштабами природных ландшафтов и их частей, вплоть до биогеоценозов. В настоящее время практически отсутствуют опыты по определению наиболее вероятных направлений и скоростей распространения внешних сигналов с глобально-регионального уровня на топологический. Причина в том, что остается неясной реакция экологических ниш элементарных природных комплексов на поведение фоновой Климатической системы, поскольку сам гидротермический тренд описывается двумя исходными параметрами: температурами и осадками, – связь

которых с биогеоценозами выражена слабо и зачастую статистически недостоверна.

Пути преодоления этих трудностей наметились в процессе выполнения наших региональных прогнозно-экологических исследований (Коломыц, 2003). Эмпирически было установлено, что основной пропускной канал связей региональных и локальных экосистем с фоновой климатической системой проходит через *летнее влагосодержание почвы*, которое, с одной стороны, служит достаточно надежным геофизическим индикатором состояния гео(эко-)систем, а с другой, – является наиболее мощным прямодействующим экологическим фактором, который предопределяет их территориальное распределение. Для основного водосбора Волжского бассейна найдены 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 коэффициентом увлажнения Высоцкого-Иванова ( $K_{увл}$ ) – важнейшим ландшафтно-геофизическим показателем, отражающим зональные условия территории. Для лесных экосистем эти связи имеют следующий вид, с соответствующими коэффициентами корреляции ( $R$ ) и детерминации ( $R^2$ ):

$$\begin{aligned}(W-20) &= \exp(2,281 + 0,8068 K_{увл}); & R &= 0,83; R^2 = 0,69; \\(W-50) &= \exp(2,622 + 1,071 K_{увл}); & R &= 0,89; R^2 = 0,79; \\(W-100) &= \exp(3,225 + 1,134 K_{увл}); & R &= 0,88; R^2 = 0,77.\end{aligned}$$

В свою очередь, параметр  $K_{увл}$  определяется почти исключительно средне-июльской температурой ( $t_{июля}$ ), в то время как влияние температуры января незначимо:

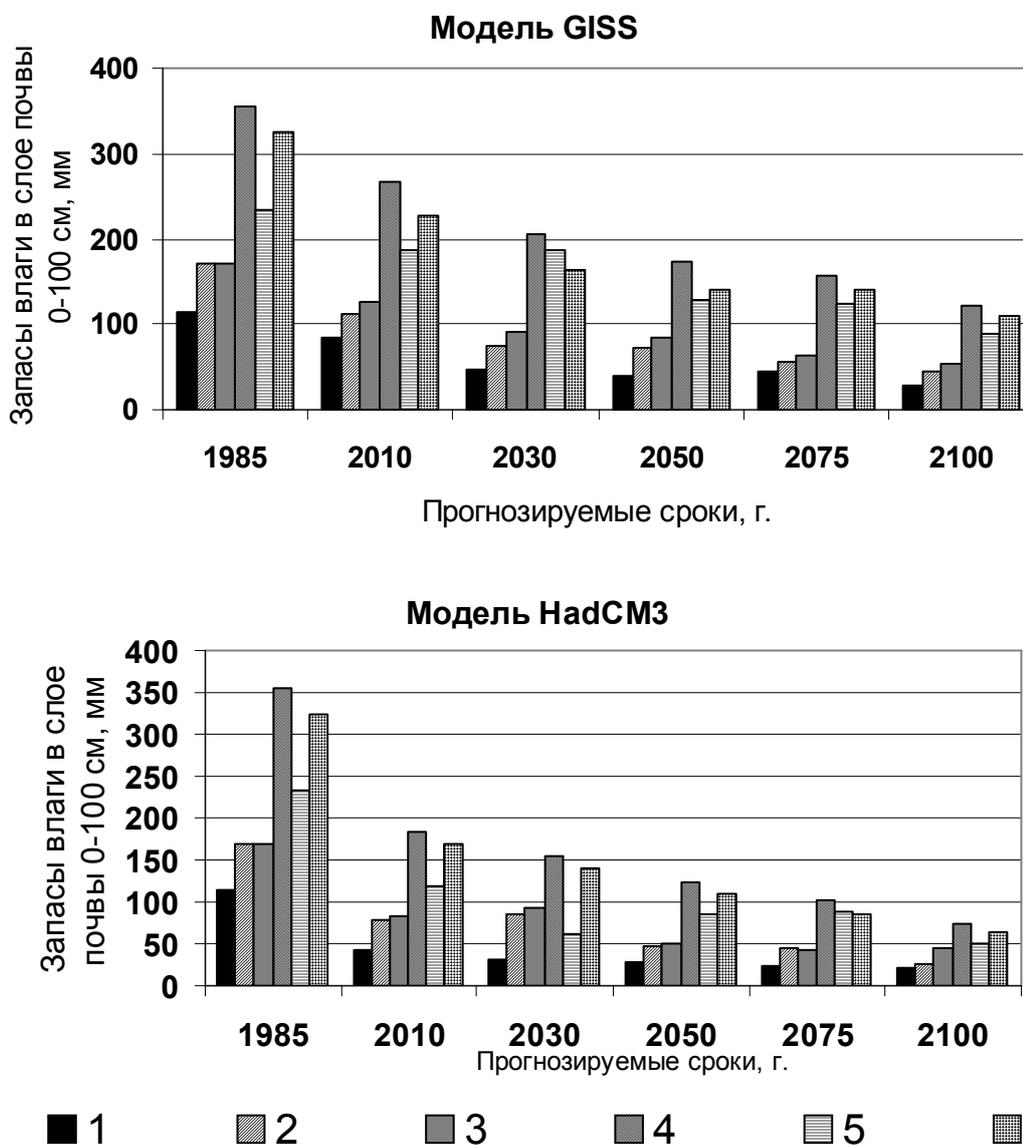
$$K_{увл} = 12,09 - 0,9095 t_{июля} + 0,01744 t_{июля}^2; \quad R = 0,94; R^2 = 0,88.$$

С другой стороны, существует достаточно тесная зависимость распределения лесных топоэкосистем от летнего влагосодержания почвы. Так, по нашим измерениям и расчетам, для Жигулевского массива информационные коэффициенты сопряженности  $K(A;B)$  биогеоценозов с параметрами (*W-20*), (*W-50*) и (*W-100*) равны соответственно 0,154, 0,162 и 0,200. Это существенно превышает критический порог значимости связей (0,070). Итак, главный фактор климатогенной трансформации природных экосистем в регионе – изменение термических условий вегетационного периода.

Постулируется также, что приоритетным объектом ландшафтно-экологического прогнозирования в пределах столетия должна служить не структурная эволюция экосистем, а *направленная смена их функционирования*, т.е. сдвиги в малом биологическом круговороте (продуцировании и разложении фитомассы), которые занимают в таежной зоне первые несколько лет, а в подзоне широколиственных лесов совершаются в течение года (Коломыц, 2003). Эти характерные времена функциональной релаксации примерно соответствуют продолжительности углеродного цикла в лесных фитомассах (живых и мертвых) и мобильном гумусе почвы (Экосистемы ..., 2004).

На основе отношений мер включения (см. (Коломыц, 2003)) 23 параметров фитоценотического функционального блока топоэкосистем установлены их экологические группы (экотипы), отвечающие различным *уровням функционирования* – как производства, так и разложения фитомассы (см. рис. 8 и 9). Повышенная раздробленность функционального пространства в региональной экосистеме Жигули предопределяет достаточно пеструю мозаику локальных экосистемных реакций на одно и то же фоновое климатическое воздействие. Доминирующими (эвритопными) экосистемами являются умеренно влажные плакорные неморальнолесные биогео-

ценозы (мезофильные липняки). Им свойствен наиболее интенсивный метаболизм, соответствующий нормам восточноевропейских широколиственных лесов: максимальные величины фитомасс и продуктивности и наибольшая скорость разложения мертвой органики. Пониженный уровень функционирования имеют субдоминанты (субэвритопы) – сосново-широколиственные леса и липо-дубняки верхних теневых и нейтральных склонов и их подножий.



**Рис. 7. Прогнозируемые изменения продуктивной влаги в почве**  
1– 6 – номера групп биогеоценозов (см. табл. 1).

Мезотопы почти отсутствуют, и наблюдается переход сразу к редуцированным топозэкосистемам – субстенотопам и стенотопам. Они, отличаются минимальными запасами живой фитомассы, наименьшей продуктивностью фитоценозов и сильно заторможенным биологическим круговоротом, который характерен для зональных условий северотаежных лесов Восточной Европы и/или подтайги резко континентальной Сибири. Это, с одной стороны, ксероморфные остепненные сосновые боры крутых солнцепечных склонов и привершинные дубовые леса ней-

трально-теневых экспозиций, а с другой, – гидроморфные лиственные леса днищ глубоко врезанных долин.

Таким образом, налицо достаточно высокая контрастность функциональных состояний топоэкосистем, что должно обеспечивать соответствующее многообразие их ответной реакции на одни и те же фоновые гидротермические сигналы. Жигулевские низкогорные экосистемы весьма жестко «привязаны» к контрастным типам местоположений, и это создает орографические барьеры на пути латерального распространения волн гидротермических сигналов.

**Основные черты регионального гидротермического прогноза.** Региональные климатические сценарии на период до 2100 г. были взяты из двух прогнозно-климатических моделей общей циркуляции атмосферы AOGCMs: 1) GISS (Hansen, 1988) и 2) HadCM3, версия A2 (Pope et al., 2000). Весь прогнозный период состоит из пяти этапов (шагов): 1985–2010–2030–2050–2075–2100 г.г. Базовым является период инструментальных метеонаблюдений 1881–1985 г.г.

Первая модель дает повышение к концу XXI в. среднеиюльской температуры в регионе на 4,2°, вторая – на 7,2°. Годовое количество осадков при этом почти не изменится (по модели HadCM3), либо увеличится незначительно (на 200–240 мм по гиссовской модели), поэтому коэффициенты увлажнения Высоцкого-Иванова будут повсеместно снижаться. В южной лесостепи района Жигулей экстремальное вековое падение коэффициента составит с 0,95 до 0,36. Таким образом, вплоть до конца XXI столетия в районе, как и по всему бореальному экотону Волжского бассейна, *будет развиваться термоаридный климатический тренд*, который и был положен нами в основу гидротермической ординации функциональных параметров лесных экосистем (см. выше).

Таблица 5

Значения основных климатических параметров и соответствующие ландшафтно-зональные условия, прогнозируемые по расчетным моделям GISS и HadCM3 для территории Самарского Поволжья

**А. Согласно модели GISS**

Самарское Заволжье (район метеостанции Самара)

Климатические параметры *)	Прогнозируемые сроки					
	Базовый период **)	2010 г.	2030 г.	2050 г.	2075 г.	2100 г.
$t_{яне}$	-13,7 (-11,3)	-13,0	-11,4	-9,0	-6,4	-3,4
$t_{июля}$	20,8 (20,2)	22,0	23,0	23,7	24,2	25,1
$r_{хп}$	225 (229)	266	277	310	350	390
$r_{мп}$	346 (318)	343	337	388	415	440
$r_{год}$	571 (547)	599	603	685	753	817
$E_o$	746	851	970	1062	1131	1262
$K_{увл}$	0,77	0,70	0,62	0,64	0,67	0,65
Зональная принадлежность	Граница южн. ЛС и сев. степи	Северная степь	Сев. степь, у ее южн. г-цы	Северная степь		
Жигулевский массив (метеостанция Сосновый Солонец)						
Климатические параметры	Прогнозируемые сроки					
	Базовый период	2010 г.	2030 г.	2050 г.	2075 г.	2100 г.
$t_{яне}$	-13,9	-13,2	-11,6	-9,2	-6,2	-3,2

$t_{июля}$	20,1	21,3	22,3	23,0	23,5	24,4
$r_{хл}$	261	296	307	340	350	360
$r_{тп}$	368	362	356	407	435	460
$r_{год}$	629	658	663	747	785	820
$E_o$	659	775	886	970	1035	1159
$K_{увл}$	0,95	0,85	0,75	0,77	0,76	0,71
Зональная принадлежность	Типич. ЛС, у ее сев. г-цы	Южная ЛС	Граница южной лесостепи и северной степи			Северная степь

### Б. Согласно модели HadCM3

Самарское Заволжье (район метеостанции Самара)

Климатические параметры	Прогнозируемые сроки					
	Базовый период	2010 г.	2030 г.	2050 г.	2075 г.	2100 г.
$t_{январь}$	-13,7 (-16,7)	-12,4	-11,0	- 7,9	-6,3	-7,8
$t_{июль}$	20,8 (22,3)	23,2	24,0	25,0	26,3	27,9
$r_{хл}$	225 (200)	248	242	271	329	254
$r_{тп}$	346 (205)	339	291	293	295	267
$r_{год}$	571 (405)	587	533	564	624	521
$E_o$	746	996	1103	1247	1454	1737
$K_{увл}$	0,77	0,59	0,48	0,45	0,43	0,30
Зональная принадлежность	Граница южн. ЛС и сев. степи	Сред. степь у ее сев. г-цы	Южная степь у ее сев. г-цы	Южная степь		Полупустыня у ее сев. г-цы

Жигулевский массив (метеостанция Сосновый Солонец)

Климатические параметры	Прогнозируемые сроки					
	Базовый период	2010 г.	2030 г.	2050 г.	2075 г.	2100 г.
$t_{январь}$	-13,9	-12,6	-11,2	-8,1	-6,5	-8,0
$t_{июль}$	20,1	22,5	23,3	24,3	25,6	27,2
$r_{хл}$	261	284	278	307	365	290
$r_{тп}$	368	361	313	315	317	289
$r_{год}$	629	645	591	622	682	579
$E_o$	659	910	1009	1115	1340	1609
$K_{увл}$	0,95	0,71	0,59	0,56	0,51	0,36
Зональная принадлежность	Типич. ЛС, у ее сев. границы	Северная степь	Сред. степь у ее сев. г-цы	Средняя степь	Г-ца между сред. и южн. степью	Южная степь

\*<sup>1</sup>) Средние температуры:  $t_{январь}$  - января,  $t_{июль}$  - июля. Количество осадков:  $r_{хл}$  - холодно-го периода,  $r_{тп}$  - теплого периода,  $r_{год}$  - годовое.  $E_o$  - годовая испаряемость.  $K_{увл}$  - годовой коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова. \*\*<sup>1</sup>) Базовым считается период инструментальных наблюдений 1881-1965 г.г. В скобках приведены данные, полученные для этого же периода по расчетным климатическим моделям.

Прим. Базовые значения температур и осадков для ст. Сосновый Солонец приведены по материалам [Кудинов, 2001].

Выбранные для Самарского Поволжья значения климатических прогнозов приведены в табл. 5. Как видно, модель HadCM3 дает более экстремальные значения антропогенного потепления, нежели модель GISS. Уже на первом шаге про-

гнозного периода (1985–2010 гг.) разница в приращении температур составляет 1,2–1,3°. Затем тренды несколько выравниваются, однако во второй половине XXI в. хэдловская модель предполагает гораздо большее летнее потепление по сравнению с гиссовской (к 2100 г. на 2,8°). Соответственно по модели HadCM3 более кардинальными должны быть и экологические изменения, несмотря на то, что модель GISS предусматривает повышенный прогрессирующий рост среднеянварской температуры (на 2,8–3,0°).

Ожидаются весьма высокие темпы аридизации почвы, особенно по экстремальной модели HadCM3. Наибольшему иссушению подвергнутся почво-грунты остепненных редкостойных сосняков солнцепечных склонов Жигулевских гор. Последние к середине XXI в. сохранят свои почвенные влагозапасы лишь на 23%, а к 2100 г. сокращение влаги в почве здесь будет 5,5-кратным. Для слоя почвы 0–100 см (*W-100*) запасы почвенной влаги упадут в среднем со 115 мм (исходная базовая норма) до 21 мм (рис. 7), т.е. они окажутся гораздо ниже пределов критических значений летнего влагосодержания, установленных нами для разреженных лесов и редколесий (табл. 6). По состоянию гидроэдафотопов эти лесо-лугово-степные топоэкосистемы в конечном итоге должны перейти в режим южной (сухой и даже опустыненной) степи (см. (Коломыц, 2003)).

Мезофильные кленово-вязово-липовые леса жигулевского плато, обладающие наиболее высоким влагосодержанием почвы (базовая норма параметра (*W-100*) = 355 мм), снизят его, согласно модели HadCM3, в 2050 г. до 125 мм. К концу XXI в. модель дает потерю влагозапасов в 4,7 раза (в среднем до 73 мм, см. рис. 7). Очевидно, плакорные дубравы Жигулей должны подвергнуться существенному и достаточно быстрому остепнению. При этом, судя по критическим значениям летних влагозапасов (см. табл. 6), их гидроэдафотопы перейдут через средневзвешенный рубеж (*W-100*) = 80 мм и приблизятся к состоянию с (*W-100*) = 55 мм, за которым уже исключается существование сплошных массивов широколиственного леса. На их месте должны формироваться островные леса и редколесья, чередующиеся с остепненными лугами. Очевидно, прогнозируемая динамика летнего влагосодержания почвы указывает на неизбежность резкого ухудшения лесорастительных условий в зоне перехода от леса к степи в процессе глобального потепления.

Таблица 6

Критические показатели июльских запасов продуктивной влаги (мм) для слоев почвы 0-20, 0-50 и 0-100 см, при которых происходят резкие функционально-структурные изменения в лесном покрове на зональном экотоне леса и степи в Среднем Поволжье

Характеристики июльских запасов продуктивной влаги в почве	Критические влагозапасы для сплошного полноценного лесного покрова			Критические влагозапасы для разреженных лесов и редколесий		
	( <i>W-20</i> )	( <i>W-50</i> )	( <i>W-100</i> )	( <i>W-20</i> )	( <i>W-50</i> )	( <i>W-100</i> )
Средневзвешенная норма	23	43	80	17	32	61
Минимальное значение	16	28	55	14	21	40

Год проведения съемок в Жигулях был аномально теплым и сухим. Лесные экосистемы Жигулевского массива оказались в гидротермических условиях южной лесостепи, т.е. произошло их режимное смещение к югу на целую подзону. Сред-

няя температура июля была на  $1,5^{\circ}$  выше базовой нормы. Она не только превысила термический уровень 2010 года, прогнозируемый по модели GISS (см. табл. 5), но и приблизилась к тому уровню данного срока ( $22,0^{\circ}$  для Жигулевских гор, по ст. Сосновый Солонец), который дает более экстремальная модель HadCM3. В результате этого июльские запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы снизились почти в два раза (с многолетней нормы 72 мм до 46 мм) и оказались ниже того критического уровня, который еще обеспечивает нормальное функционирование сплошного лесного покрова (см. табл. 6). Таким образом, полученные в результате съемки функциональные характеристики лесных биогеоценозов Жигулевских гор уже отобразили начавшееся глобальное потепление.

**Методы прогнозных расчетов.** Стратегия прогнозного исследования состоит в первоначальной идентификации выбранных единиц растительности, почв или в целом природных комплексов определенным значениям современных климатических условий и в последующей количественной оценке наиболее вероятных преобразований указанных объектов в соответствии с ожидаемыми изменениями климата на заданные прогностические сроки. При этом предполагается неоднозначный характер трансформации гео(эко-) системы при фиксированном значении геофизического тренда, когда ее новое состояние может иметь черты не одного, а нескольких состояний, существующих на данный момент времени.

В дискретно-организменном аспекте (см. выше) локальный ландшафтно-экологический прогноз проводится путем оценок вероятностей и скоростей функциональных сдвигов в системе биогеоценозов, согласно установленному тренду климатогенных изменений июльских запасов почвенной влаги. Для этого строятся графо-аналитические модели вероятностей ландшафтно-экологических переходов между объектами (Коломыц, 2003). Под переходом здесь понимается такая смена функционального, а затем и структурного состояния данного объекта, при которой объект принимает (с той или иной долей вероятности) черты других объектов-прообразов благодаря тому, что его экологическая (в данном случае гидроэдафическая) ниша при своем изменении все более пересекается с нишами этих объектов, т.е. сближаются частные коэффициенты связей по всему спектру градаций фактора.

Сама методика прогноза уже излагалась нами ранее достаточно подробно и неоднократно (Коломыц и др., 1995; Коломыц, 1999, 2003). Отметим лишь две главные особенности локального прогноза. Во-первых, предикторами прогнозных расчетов служат ожидаемые на каждый предполагаемый срок значения влагозапасов в слоях почвы 0–20 см, 0–50 см и 0–100 см, с соответствующими «весовыми» коэффициентами, в качестве которых приняты нормированные значения параметра  $K(A,B)$ . При операциях же с экологическими нишами (расчетах мер включения) использовались «весовые коэффициенты», полученные из частных коэффициентов связей биогеоценозов с гидроэдафотопами (см. выше).

Во-вторых, учитывается вероятность «остаточных» переходов того или иного объекта в другие прообразы-объекты, отсутствующие в данной операционной системе (выборке), т.е. во вневыборочные объекты. Для маргинальных лесных экосистем, например, ксерофильных сосняков и мезоксерофильных сосново-широколиственных лесов (групп биогеоценозов 1 и 2), эти переходы оказываются доминирующими и даже единственно возможными (см. рис. 8 и 9).

По каждому прогнозному шагу рассчитываются квадратные матрицы вероятностей переходов групп биогеоценозов друг в друга ( $P_{ij}$ ), а также вероятностей стабилизации каждой из них ( $P_{ii}$ , диагональные элементы матриц). Параметр  $P_{ii}$  рас-

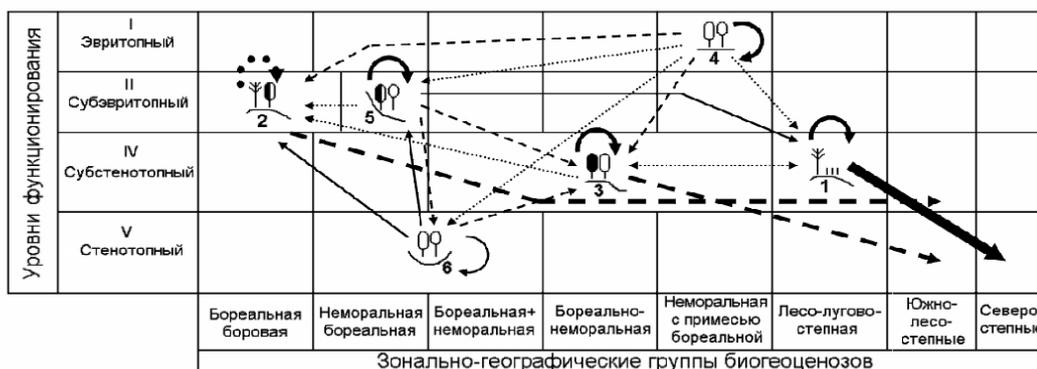
смачивается как мера устойчивости биогеоценозов к данному гидротермическому сигналу. По этим матрицам построены орграфы вероятностей переходов (см. рис. 8 и 9), описывающие общую картину реакции топоэкосистем на глобальные изменения климата.

**Общие черты экосистемных преобразований.** На временной траектории функциональной трансформации биогеоценозов рост интенсивности ландшафтно-экологических переходов сопровождается усилением избирательности этого процесса. С каждым новым прогнозным шагом функциональный сдвиг каждой лесной экосистемы становится не только более сильным (по отношению к базовому состоянию), но и более однозначным. Это хорошо видно по изменению самой густоты сети переходов. Так, по модели GISS в Жигулевском массиве на первом шаге трансформации топоэкосистем (1985–2010 г.г.) насчитывается 17 случаев еще преимущественно слабых межгрупповых переходов, с вероятностью не более 30-40%, то к финишу прогнозного периода (2100 году) их число сокращается в 1,5 раза, а сама вероятность преобразований повышается до 70-90%. Еще более отчетливо эту закономерность демонстрирует модель HadCM3 (см. рис. 9).

При более «мягком» климатическом прогнозе, который дает модель GISS, начальные этапы функциональных перестроек топоэкосистем отличаются своего рода высоким «перемешиванием» сети переходов. Во-первых, одна и та же фитоценотическая группа лесов начинает приобретать облик сразу нескольких других групп, что отмечается на орграфах переходов определенным множеством выходных стрелок. Во-вторых, нередки случаи парных сочетаний фациальных групп с почти одинаковой взаимной функциональной трансформацией (это показано двухсторонне направленными стрелками). Однако со временем избирательность переходов заметно возрастает и почти каждая группа лесных экосистем приобретает одно предпочтительное направление своих перестроек, что делает смену функциональных состояний топоэкосистем более детерминированной, а сам экологический прогноз гораздо более определенным.

По модели HadCM3, которая отличается, как уже говорилось, от гиссовской модели повышенной экстремальностью, предполагается уже с первых шагов более резкая и, вместе с тем, более однозначная (с разреженной сетью переходов) трансформация лесных биогеоценозов. Имеющееся множество фациальных групп все более отчетливо «поляризуется» на две альтернативные категории: 1) доминанты как прообразы будущих состояний большинства топоэкосистем и 2) редуценты, с их деградирующими и исчезающими состояниями. Соответственно изреживаются и сами орграфы переходов.

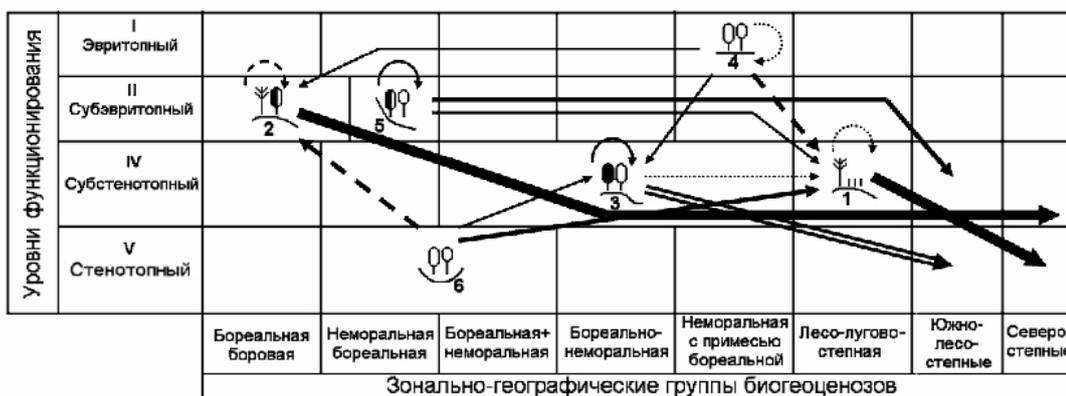
2010 г.



2050 г.



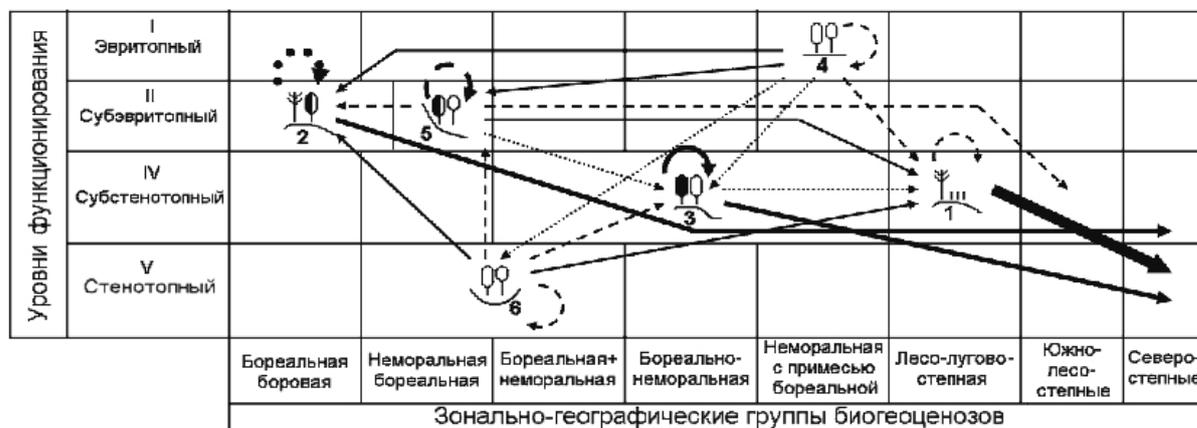
2100 г.



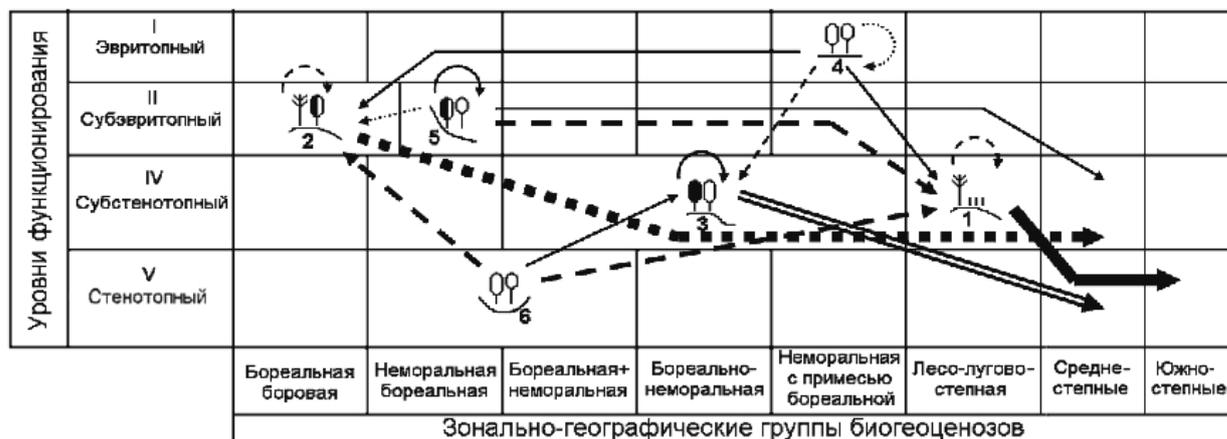
**Рис. 8. Орграфы функциональных ландшафтно-экологических переходов, согласно прогнозно-климатической модели GISS, между группами фаций Жигулевских гор (см. табл. 1), имеющих различную зональную принадлежность и находящихся на соответствующих уровнях базового функционирования**  
 Вероятности функциональных переходов: 1 – 0,10 и менее; 2 – 0,11–0,20; 3 – 0,21–0,30; 4 – 0,31–0,40; 5 – 0,41–0,50; 6 – 0,51–0,60; 7 – 0,61–0,70; 8 – 0,71–0,80; 9 – 0,81–0,90; 10 – 0,91–1,00.

.....→ 1 -----→ 2 ———→ 3 - - -→ 4 ———→ 5 .....→ 6 ⇒⇒⇒→ 7 ■■■→ 8 ———→ 9 ⇒⇒⇒→ 10

2010 г.



2050 г.



2100 г.



**Рис. 9. Орграфы функциональных ландшафтно-экологических переходов, Согласно прогнозно-климатической модели HadCM3, между группами фаций Жигулевских гор, имеющих различную зональную принадлежность и находящихся на соответствующих уровнях базового функционирования**  
Условные обозначения те же, что и на рис. 8.

**Динамика функциональной устойчивости лесных экосистем.** Она прослеживается в пошаговых изменениях параметра  $P_{ii}$  (см. выше). В первый прогнозный интервал (1985-2010 гг.) должны происходить (и, по-видимому, уже происходят) наиболее резкие сдвиги в процессах малого биологического круговорота большинства лесных экосистем Жигулей (табл. 7). Такой сценарий складывается по обеим прогнозно-климатическим моделям – GISS и HadCM3. Таким образом, функциональная устойчивость лесных сообществ региона может быть существенно нарушена уже в первые десятилетия воздействия термоаридного климатического сигнала.

На последующих прогнозируемых шагах относительное снижение меры стабилизации биogeocoenozов будет в целом несколько меньшим. При этом можно ожидать определенную метакронность в скоростях функциональных изменений различных фациальных групп на отдельных прогнозных интервалах. Например, согласно модели HadCM3, остепненные сосняки солнцепечных склонов должны снизить свое устойчивое функционирование на первом, втором и четвертом шагах (на третьем шаге возможно существенное усиление функциональной устойчивости).

Аналогичная картина свойственна и лиственным лесам днищ малых глубоко вре-  
занных долин. В то же время у плакорных липняков после первого шага резкого  
падения параметра  $P_{ii}$  ожидается последующее сравнительно равномерное его  
снижение. В кленово-липовых дубняках и осинниках теневых и нейтральных скло-  
нов 40-процентное снижение параметра  $P_{ii}$  возможно на первом и четвертом этапах  
(2030–2050 г.г.). К этим же интервалам будут приурочены скачкообразное (на 78–  
80%) падение меры функциональной стабилизации теневых широколиственных ле-  
сов средних и нижних частей склонов.

Таблица 7

Пошаговая динамика меры функциональной стабилизации ( $P_{ii}$ ) групп  
биогеоценозов региональной экосистемы Жигули, согласно  
прогнозно-климатическим моделям GISS (верхняя строка) и HadCM3  
(нижняя строка)

Группы биогео- ценозов *)	Последовательные шаги переходов				
	1 шаг 1985-2010 г.г.	2 шаг 2010-2030 г.г.	3 шаг 2030-2050 г.г.	4 шаг 2050-2075 г.г.	5 шаг 2075-2100 г.г.
1 	0,457 0,187	0,330 0,390	0,847 1,602	0,992 0,453	0,638 0,811
2 	0,559 0,548	0,857 0,752	0,678 0,468	0,683 0,653	0,572 0,460
3 	0,431 0,458	1,132 1,063	0,907 0,579	0,717 0,872	0,786 0,492
4 	0,431 0,145	0,605 0,597	0,552 0,678	0,832 0,448	0,570 0,518
5 	0,322 0,375	0,718 0,522	0,399 0,909	0,664 0,259	0,748 0,751
6 	0,285 0,220	0,535 0,372	0,667 0,948	0,979 0,301	0,539 0,755

\*) Условные обозначения см. в табл. 1.

Ожидаются существенные различия и в самих величинах экстремальных по-  
шаговых снижений меры функциональной стабилизации. Максимальное снижение  
параметра  $P_{ii}$  следует ожидать в плакорных липняках, а также на двух крайних  
«полюсах» локальных ландшафтных сопряжений – в остепненных сосняках солн-  
цепечных склонов и в лесных сообществах днищ малых долин. Гораздо устойчивее  
окажется функционирование сосново-широколиственных лесов, дубняков и осин-  
ников теневых и нейтральных склонов и их подножий (группы фаций 2, 3 и 5).

Итак, следует подчеркнуть весьма значительный стартовый «рывок» функ-  
циональных преобразований лесных топозкосистем на зональном экотоне леса и  
степи. В целом более гумидные лесные сообщества должны претерпеть столь же  
резкие стартовые функциональные изменения, как и аридные растительные ком-  
плексы. Наиболее сильным этот скачок прогнозируется согласно модели HadCM3.  
Снижение функциональной стабилизации будет вызвано значительным падением  
фонового годового коэффициента увлажнения: по моделям GISS и HadCM3 для

района Самарской Луки с 0,95 до 0,85 и 0,77 соответственно (см. табл. 5). В экстремальном модельном выражении это будет означать сдвиг всей региональной экосистемы Жигули к условиям северной лесостепи, свойственным в настоящее время соседнему низменному Заволжью.

## ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЙ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

**Семигумидная плеяда.** Уже в первом прогнозном периоде лесные биогеоценозы Жигулей отчетливо дифференцируются по степени их функциональной трансформации. При этом обе прогнозные модели: GISS и HadCM3, – дают сходную картину, более резко выраженную во втором случае. Наиболее разнообразные изменения должны претерпеть топоэкосистемы семигумидной плеяды, охватывающей два относительно увлажненных «полюса» ландшафтных сопряжений: с одной стороны, мезоморфные липняки жигулевского плато (плакоры), а с другой, – мезо-гидроморфные лиственные леса днищ малых глубоко врезанных долин, а также примыкающие к ним дубо-липняки и осинники нижних частей склонов. К 2010 г. мера их функциональной стабилизации составит от 28-43% по первой прогнозной модели до 15–38% – по второй (см. табл. 7 и рис. 8 и 9).

Максимально широкий спектр трансформации будет свойствен теневым широколиственным лесам жигулевского плато (4–5 выходных стрелок на орграфах), и это произойдет уже на первых двух шагах прогнозного периода (к 2010 и 2030 г.г.). При этом если по модели GISS предполагается несколько одновременных вариантов переходов их в ксеромезофитные лесные сообщества горных склонов (группы фаций 2, 3 и 5) с вероятностью каждого варианта до 20–30%, то более экстремальная модель HadCM3 дает прямо-таки катастрофическое олуговение и остепнение плакорных липняков – 40–50-процентную трансформацию их в ксерофитные лесо-лугово-лесные комплексы (группу 1), распространенные ныне только на крутых солнцепечных склонах низкогорья.

На более влажных местообитаниях плато вязо-липняки будут поглощаться также (с вероятностью более 25%) трансэлювиальными мезо-ксерофитными сосняками сложными и сосново-широколиственными лесами (группой 2). Уже на первом прогнозном этапе плакорные лесные сообщества на 85% потеряют свою функциональную устойчивость, а в дальнейшем мера их стабилизации сведется к нулю. После 2050 г. процесс их аридизации, по-видимому, несколько замедлится. Наряду с продолжающимся остепнением начнется их столь же значительная трансформация (более чем на 40%) в ксеромезофитные дубняки и осинники, занимающих ныне теневые и нейтральные склоны.

Долинные осиново-липовые фитоценозы на протяжении всего прогнозного периода будут переходить в состояние более сухих широколиственных лесов соседних крутых склонов (с вероятностью 30-40% на каждом шаге), а также приводораздельных местообитаний (на 20-30%).

Интересно отметить определенную избирательность преобладающих направлений функциональной трансформации различных звеньев семигумидной плеяды топоэкосистем. Если долинные лесные сообщества будут преобразовываться главным образом (начиная с третьего шага на 45-50%) в трансэлювиальные и транзитные сосново-широколиственные леса, то для плакорных мезофитных липняков жигулевского плато такими преобразом-доминантом станут наиболее ксерофитные лесо-лугово-степные комплексы солнцепечных склонов.

В конечном итоге уже к 2075 г. лесные фитоценозы семигумидной плеяды Жигулевских гор практически перестанут существовать как самостоятельные функциональные единства (мера их  $P_{ii} \rightarrow 0$ ). Начнется весьма интенсивный распад этих лесных сообществ. Особенно крупные территориальные масштабы этот процесс примет в вязо-липняках жигулевского плато, занимающих в настоящее время довольно обширные пространства. С наиболее высокого, эвритопного, уровня функционирования, с оптимальными показателями продуктивности, эти леса перейдут сразу на гораздо более низкий субстенотопный уровень, что будет сопровождаться резким падением их продуктивности. На своих южных окраинах массивы плакорных лесов будут поглощаться луговой степью, а на северных форпостах, где начинается глубокое эрозионное расчленение рельефа, – даже сухостепной растительностью.

Таким образом, прообразами будущих функциональных состояний плакорных широколиственных лесов Жигулевского массива станут три фациальные группы: 1) лесо-лугово-степные комплексы солнцепечных склонов; 2) водораздельные сосново-широколиственные леса; 3) дубняки и осинники крутых нейтрально-теневых склонов. При этом, судя по «весу» входных стрелок на орграфах переходов (см. рис. 8 и 9), можно полагать, что постоянными доминантом будет служить первая группа, а в субдоминантах окажутся вторая и третья группа экосистем.

На первых двух шагах (1985–2010 г.г. и 2010–2030 г.г.) в лесо-лугово-степные комплексы достаточно весьма заметно будут трансформироваться также примыкающие к семигумидной плеяде дубо-липняки и осинники нижних частей и подножий теневых и нейтральных склонов (к 2050 г. по моделям GISS и HadCM3 соответственно на 25% и 52%). Одновременно до некоторой степени (на 10–20%) они приобретут облик трансэлювиальных сосново-широколиственных лесов. Однако в дальнейшем устойчивость трансаккумулятивных дубняков возрастет и они сохранят изменившийся вначале характер функционирования вплоть до конца XXI столетия. В целом трансаккумулятивная мезоморфная группа лесных биогеоценозов окажется наиболее устойчивой во всем лесном покрове Жигулевского массива (их  $P_{ii} = 0,69–0,91$ ).

Гораздо более резкой трансформации подвергнутся лежащие выше по теневым и нейтральным склонам трансэлювиальные неморальнолесные фитоценозы (группа фаций 3). Уже к 2010 г. почти на 50% они перейдут в функциональное состояние лесо-лугово-степных или даже северостепных формаций (соответственно по моделям GISS и HadCM3), а к концу прогнозного периода степень их преобразований в эти топоэкосистемы достигнет 70–80%. Тем не менее, после 2010 г. трансэлювиальные дубняки и осинники окажутся достаточно устойчивыми (мера их  $P_{ii} = 0,60–0,90$ , а на втором шаге даже превысит 1). Более того, эти лесные сообщества начнут распространять свои функциональные состояния в двух противоположных направлениях: с одной стороны, на плоские водоразделы жигулевского плато, а с другой, – к днищам малых долин. Ожидается также периодическая взаимная трансформация этой группы лесных фаций с остепненными сосняками крутых солнцепечных склонов.

**Семиаридная плеяда.** Термоаридный климатический сигнал наиболее сильно скажется на состоянии топоэкосистем семиаридной плеяды – лесо-лугово-степных комплексов солнцепечных склонов и водораздельных сосново-широколиственных лесов (групп фаций 1 и 2). Влияние этого сигнала проявилось в структуре экологических ниш указанных биогеоценозов уже в конце базового периода, когда прово-

дилась съемка (см. выше). Экологические доминанты термоэдафических ниш оказались сдвинутыми к максимальной температуре, а ниш гидроэдафических – к минимальному влагосодержанию почвы. Очевидно, эти топоэкосистемы уже подверглись процессам климатической аридизации.

Дальнейшее их климатическое остепнение пойдет по нарастающей, причем по модели HadCM3 с заметно большей скоростью, нежели согласно модели GISS (см. рис. 8 и 9). Уже к 2010 г. редкостойные карагановые сосняки крутых солнцепечных склонов сохраняют уровень своего базового функционирования на 19% в первом случае и на 46% – во втором. В конце второго шага (2010–2030 гг.) на 80–90% они перейдут в состояние зональных групп северных или средних степей. К концу XXI столетия мера их  $P_{ii}$  снизится до 0,081 и 0,043 соответственно. Согласно хэдловской модели, они на 96% функционально превратятся в опустыненные степи. Столь же интенсивному остепнению, а в дальнейшем и опустыниванию подвергнутся водораздельные сосново-широколиственные леса, несколько слабее – транслювиальные дубняки.

### **СУДЬБА ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ И СМЕШАННЫХ ЛЕСОВ В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ**

Приведем некоторые обобщающие итоги описания прогнозируемых ландшафтно-экологических сценариев. Как в Жигулевском низкогорном массиве, так, по-видимому, и на всех возвышенных равнинах средневожского Правобережья зональные представители широколиственных лесов: плакорные мезофильные кленово-вязово-липовые леса и дубо-липняки, распространенные ныне на останцах древних поверхностей выравнивания (там, где они еще не уничтожены человеком), – уже в течение ближайших 70–100 лет практически полностью потеряют свой функциональный облик как полноценные неморальнолесные сообщества, резко снизив продукционный потенциал. При этом липо-дубняки суглинистых возвышенных равнин могут напрямую переходить в луговую, а с середины XXI в. – в среднюю и южную степь. В условиях же глубоко эрозионного расчленения Жигулевских гор крутые солнцепечные склоны станут ареной развития пустынно-степных сообществ, которые будут внедряться сюда с востока – со стороны соседнего Оренбургского Заволжья.

При этом следует отметить следующий феномен. Остепнение теневых широколиственных лесов пойдет через ряд промежуточных бореальных состояний – стадию хвойно-широколиственных лесов, затем сосново-боровую и, наконец, лесолугово-степную. Только после этого приоритет перейдет к собственному процессу остепнения, с окончательным исчезновением древостоев и развитием на их месте травянистых сообществ. Наряду с этим по долинам малых и средних рек возможно прямое остепнение дубрав, минуя указанные промежуточные состояния, что ускорит общий процесс аридизации и распада лесного покрова.

В конечном итоге в условиях повышенной континентальности восточного сектора Волжского бассейна и прогнозируемого дальнейшего роста летней континентальности (Коломыц, 2003) *на месте подзоны широколиственных лесов будет развиваться хвойная (сосновая) лесостепь как новый зональный экотон прямого контакта бореальных и степных растительных формаций*, с мозаичным комплексом светлохвойных и мелколиственных парковых лесов, лугов и степей. Фрагменты этого экотона в настоящее время встречаются в приуральском секторе Русской равнины, в частности по правобережьям низовий Камы и Белой. Таковым, по-

видимому, будет восточный вариант отмеченного уже нами (Коломыц, 2003) общего процесса «саваннизации» подзоны широколиственных лесов в Среднем Поволжье в ходе развития термоаридного климатического тренда.

Следует, по-видимому, ожидать: а) довольно быстрое исчезновение в этом обширном регионе неморальнолесного покрова и б) сближения бореально-боровых сообществ с лугово- и сухостепными. Аналогом хвойно-мелколиственной лесостепи, которая будет развиваться на месте современной подзоны широколиственных лесов, может служить до некоторой степени лесостепь резко континентальных регионов Восточной Сибири (см. (Геосистемы ..., 1991)).

## **ЭМПИРИЧЕСКАЯ ИМИТАЦИЯ КЛИМАТОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА**

**Сущность функциональной гидротермической ординации.** Функционально-континуальный подход (см. выше) позволяет провести более углубленный анализ климатогенной динамики экосистем, установленной по дискретно-организменным моделям. С позиций геофизики ландшафта и общей экологии и (Арманд, 1967; Одум, 1986; Беручашвили, 1990 и др.) основными объектами прогнозного функционального анализа являются параметры внутреннего оборота и баланса органического вещества в гео(эко-)системах. Понимание сущности и движущих сил биологического круговорота должно лечь в основу установления причинных механизмов поведения природных экосистем при внешних воздействиях (Герасимов, 1985).

Охарактеризованный выше метод эмпирического имитационного моделирования термоаридного климатического тренда был применен для проведения *гидротермической ординации дискретных метаболических параметров лесных экосистем* Жигулевского низкогорного массива. Функциональная ординация этих параметров по градиентам температуры и влагосодержания почвы позволила провести эмпирическую имитацию ожидаемых при глобальном потеплении изменений биологического круговорота в лиственных и светлохвойных маргинальных лесах региона и выявить движущие силы климатогенных сукцессий «лес → степь».

В основе эмпирико-имитационного моделирования функциональных параметров топозкосистем лежит выдвинутый в свое время Н.В. Тимофеевым-Ресовским биохорологический подход, а именно принцип пространственной организации живым веществом круговорота вещества и энергии в биогеоценозах как дискретных элементарных структурных единицах биосферы (Тимофеев-Ресовский, Тюрюканов, 1966). Пространственное разнообразие вещественно-энергетических круговоротов в биосфере создается самой структурной неоднородностью биогеоценозов.

Имитационный функциональный анализ был направлен также на оценку потенциала биотической регуляции углеродного цикла на уровне локальных экосистем в соответствии с известным принципом Ле Шателье. Малый биологический круговорот в лесных экосистемах служит, как известно (Горшков, 1985; Кондратьев и др., 2001; Тарко, 2005), одним из механизмов, обеспечивающих устойчивость природной среды в соответствии с данным принципом. По отношению к круговороту углерода в биосфере принцип Ле Шателье выражается следующим постулатом: скорость поглощения углерода биотой пропорциональна концентрации углекислого газа в окружающей среде по отношению к невозмущенному периоду. При-

Таблица 8

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 параметры **)	Коэффициенты				Статистические характеристики ***)			
		$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	R	R <sup>2</sup>	P	S <sub>y</sub>
$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$	<i>PW</i>	7,288	-0,185	<b>0,01089</b>	<b>-0,04292</b>	0,663	0,44	$2 \cdot 10^{-4}$	1,34
	<i>PS</i>	4,496	-0,01344	<b>0,01907</b>	<b>-0,0135</b>	0,785	0,616	0	1.1
	<i>KE</i>	-0,0026	<b>0,00719</b>	0,00003	-0,0002	0,61	0,372	$1,1 \cdot 10^{-3}$	0,013
	<i>KR</i>	0,019	0	<b>0,00008</b>	0,00006	0,455	0,207	$1,5 \cdot 10^{-2}$	0,008
$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$	<i>PC</i>	17,46	-0,5772	<b>0,03508</b>		0,537	0,288	$2,5 \cdot 10^{-3}$	3,32
	<i>KA</i>	0,441	0	0,000433		0,623	0,389	0	0.028
$y = b_0 + b_1x_2 + b_2x_2^2$	<i>BD</i>	94,49	-0,6606	0,001509		0,645	0,416	$1 \cdot 10^{-4}$	12,82
	<i>ML</i>	44,08	-0,3611	0,00091		0,699	0,483	0	17,75
	<i>HU</i>	82,54	-0,3988	0,00519		0,781	0,61	0	42,0
	<i>PR</i>	2,585	-0,02665	0,000268		0,827	0,684	0	0,66
	<i>KY</i>	14,65	-0,1457	0,000391		0,795	0,632	0	1,92
	<i>KP</i>	0,797	-0,00762	0,000021		0,758	0,574	0	0,104
	<i>KU</i>	0,493	0,00315	0,000006		0,666	0,444	0	0,09
	<i>ID</i>	8,828	-0,06754	0,00016		0,804	0,647	0	1,04
$y = \exp(b_0 + b_1/x_1)$	<i>WD</i>	-0,8296	38,68			0,506	0,256	0	12,56
$y = \exp(b_0 + b_1/x_2)$	<i>BW</i>	3,04	19,51			0,687	0,472	0	39,0
	<i>BS</i>	3,706	15,42			0,611	0,374	0	39,3
	<i>BL</i>	3,433	18,55			0,693	0,481	0	49,74
	<i>BV</i>	0,576	14,03			0,489	0,239	0	2,56
	<i>BR</i>	1,768	26,26			0,614	0,377	0	12,25

Примечание к табл. 8

\*)  $x_1$  – температура почвы на глубине 50 см ( $t_{50}$ );  $x_2$  – запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-50 см ( $W-50$ );  $x_3$  – средневзвешенный (по массе древесины различных пород) возраст леса. \*\*) Расшифровку параметров см. в тексте. \*\*\*) R – коэффициент корреляции; R<sup>2</sup> – коэффициент детерминации; P – уровень значимости (критерий Пирсона); S<sub>y</sub> – стандартное отклонение. Полу жирным шрифтом выделены коэффициенты при значимых аргументах в уравнениях множественной регрессии.

выполнении принципа Ле Шателье коэффициент пропорциональности должен быть положительным (Тарко, 2005). Состояние природной среды будет устойчивым, если любое спонтанное увеличение содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере сопровождается таким же ростом поглощения углерода биотой суши и океана. Явным признаком нарушения принципа Ле Шателье является случай, когда биота из стока углерода превращается в его источник, т.е. при внешнем воздействии сама выбрасывает углекислый газ в атмосферу (Горшков, 1985).

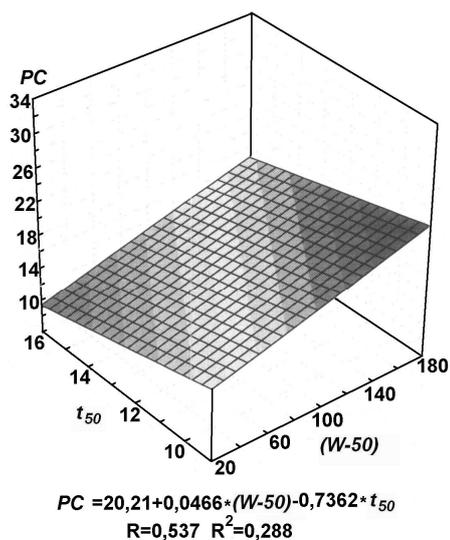
**Особенности функционального ординационного анализа.** Термо- и гидроэдафическая ординация метаболических характеристик топогеосистем в пределах экспериментального полигона проведена по двум геофизическим параметрам: температуре почвы на глубине 50 см ( $t_{50}$ ) и запасам летней продуктивной влаги в слое почвы 0–50 см ( $W-50$ ). С данными параметрами функциональные характеристики лесных сообществ обнаруживают наиболее высоко корреляцию. Расчетные модели ординации для лесных экосистем Жигулевского массива представлены в табл. 8. Как видим, корреляционные связи не всегда достаточно высоки, хотя и вполне значимы (критерий значимости Пирсона  $P \ll 0,05$ ). При слабой связи последнюю можно интерпретировать лишь как некоторую общую тенденцию изменений данного метаболического параметра под влиянием геофизического тренда на фоне значительного «шумового» воздействия других факторов локального порядка (прежде всего, факторов литогенной основы ландшафтов). Тем не менее, выявление даже таких общих тенденций немаловажно, поскольку оно позволяет полнее представить разностороннюю картину климатогенных функциональных сдвигов в состоянии топогеосистем.

Прогнозная интерпретация гидротермической ординации различных параметров малого биологического круговорота страдает неопределенностью в своих экстремальных показателях. В рамках полигона экологические градиенты термо- и гидроэдафотопов недостаточно велики, чтобы описать все возможные будущие состояния эдафотопов на примере исходных состояний. Особенно недостаточно представлены ксероморфная и аридная ветви термо- и гидроэдафических рядов. Отсюда неизбежность экстраполяции – гипотетического выхода за пределы имеющейся выборки в сторону более аридных зональных экосистем, что делает данную часть прогноза весьма «размытой».

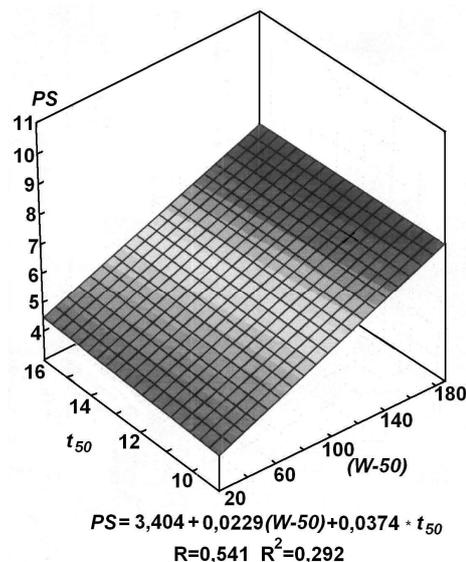
Диапазон наибольшего разброса средних летних температур почвы (и воздуха) между крайними группами фаций в их топологическом ряду составляет около  $4^\circ$ . Такой интервал почти полностью соответствует максимальным отклонениям температуры июля по модели GISS на конец XXI в., однако для модели HadCM3 он адекватен отклонениям только на период до 2050 г. Экологический прогноз по этой модели на вторую половину столетия целиком носит экстраполяционный характер.

Перечислим основные измеренные и рассчитанные дискретные параметры малого биологического круговорота, с указанием их обозначений.

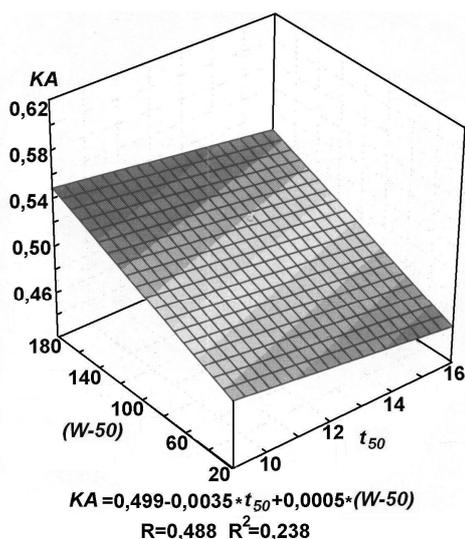
А. Фитомассы (т/га): 1) запас древесины –  $BW$ ; 2) скелетная древесно-кустарниковая фитомасса –  $BS$ ; 3) общая живая надземная фитомасса –  $BL$  4) масса корней –  $BR$ ; 5) общая зеленая фитомасса –  $BV$ ; 6) общая живая фитомасса (надземная и подземная) –  $BC$ ; 7) масса лесной подстилки –  $ML$ ; 8) мертвая скелетная масса (валеж и сухостой) –  $WD$ ; 9) общая мертвая надземная фитомасса –  $BD$ ; 10) масса гумуса –  $HU$ .



**А**



**Б**



**В**

**Рис.10. Линейные поверхности распределения параметров продуктивности в пространстве почвенных гидротермических факторов широколиственных и светлохвойных лесов Жигулевского массива.**

Обозначения параметров см. в тексте.

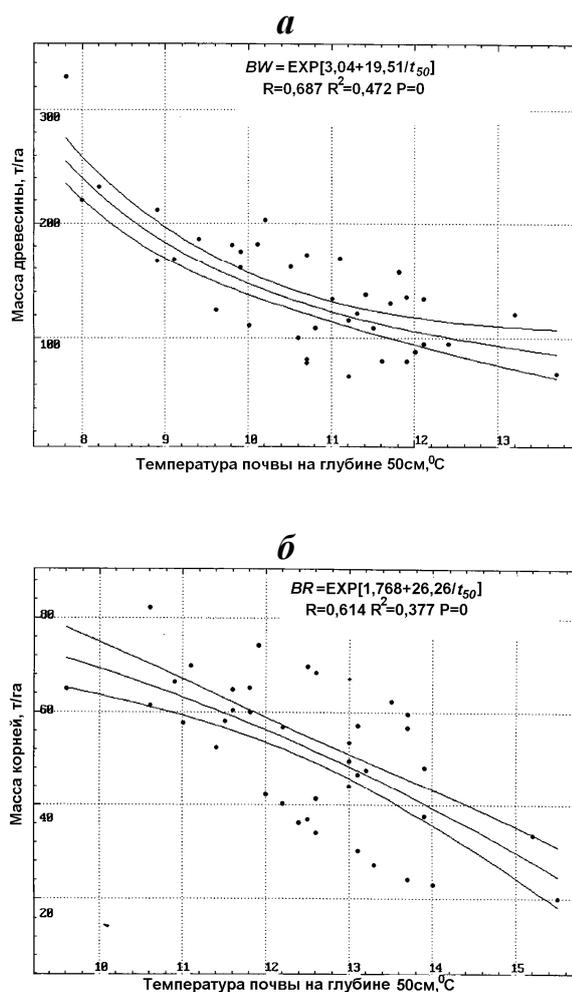
Б. Продуктивность (т/га в год): 11) общая годовая продукция лесного фитоценоза –  $PC$ ; 12) годичный прирост скелетной фитомассы –  $PS$ ; 13) годовая продукция зеленой массы –  $PV$ .

В. Комплексные показатели биологического круговорота: 14) отношение продуктивности к фитомассе –  $KE = PC/BC$ ; 15) аллометрический коэффициент –  $KA = \log(PC)/\log(BC)$ ; 16) коэффициент годового оборота фитомассы –  $KR = PV/BL$ ; 17) подстильно-опадный индекс –  $KY = PV/ML$ , лет; 18) коэффициент многолетней деструкции фитомассы –  $(KP = BD/BL)$ ; 19) коэффициент утилизации мертвой надземной фитомассы –  $KU = (BL-BD)/BL$ ; 20) показатель скорости

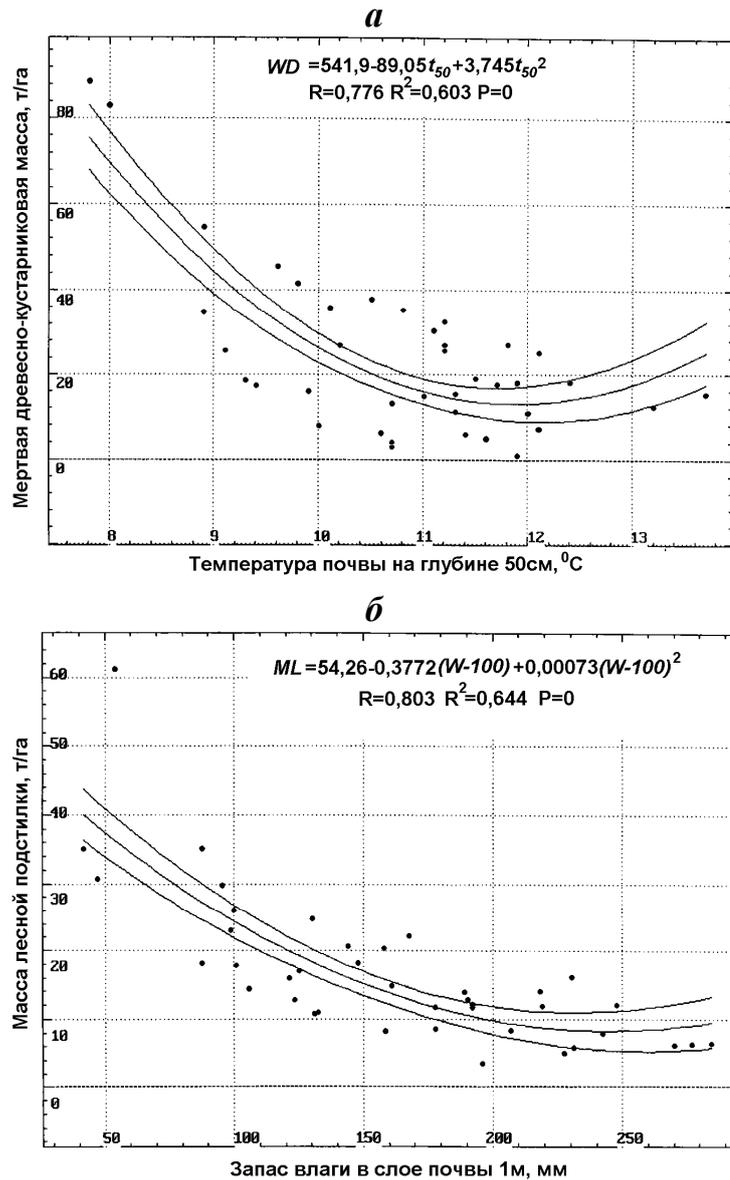
многолетней деструкции фитомассы –  $ID = BD/(PV+PS)$ , лет. Первые четыре комплексных показателей уже известны, остальные – предложены нами.

Наиболее эффективный путь оценки и прогноза функциональных состояний экосистемы – анализ отдельных звеньев биологического круговорота и их соотношений. Рассмотрение логично начать с созидательной ветви метаболизма.

**Автотрофный биогенез.** В Жигулевском низкогорном массиве, расположенном на южном форпосте переходов от леса к степи, подавляющее большинство метаболических параметров находится в линейной, параболической или экспоненциальной зависимости от летнего влагосодержания почвы (см. табл. 2), которое служит здесь главным передаточным звеном воздействия климатических сигналов на биогеоценозы. В южной и типичной лесостепи, где коэффициент увлажнения близок к единице или несколько меньше ее, прослеживается однозначное и достаточно четко выраженное снижение продукционного потенциала лесных и лесостепных сообществ как при повышении летней температуры почвы, так и еще в большей степени при уменьшении почвенного влагосодержания (рис. 10 а, б). Очевидно, в южных маргинальных лесах глобальное потепление должно привести к уменьшению количества  $CO_2$ , изымаемого фитоценозами из атмосферы при фотосинтезе. Следовательно, *восходящая ветвь биологического круговорота будет вызывать здесь дополнительное повышение парникового эффекта атмосферы и тем самым усиливать глобальное потепление.*



**Рис. 11. Парциальные зависимости живых фитомасс жигулевских лесных экосистем от летней температуры почвы**



**Рис. 12. Парциальные зависимости мертвых надземных фитомасс в дубравах и сосняках Жигулевского массива от температуры и влагосодержания почвы**

Вместе с тем, реакция различных фациальных групп Жигулевского массива на термоаридный сигнал будет существенно дифференцированной. Так, наибольшее падение общей годичной продукции: в среднем с 18–23 до 13–17 т/га, – имеет место при уменьшении ( $W-50$ ) с 200–220 до 130–140 мм, что лежит в диапазоне базовых значений влагосодержания для наиболее гидроморфных биогеоценозов Жигулей – плакорных вязо-липняков, липовых дубрав тенивых и нейтральных склонов и кленово-березовых сообществ днищ малых долин. Роль этих лесных сообществ как стока углерода из атмосферы при глобальном потеплении будет существенно уменьшаться.

На всем же остальном интервале иссушения почвы, со снижением ( $W-50$ ) до 60–40 мм, продуктивность лесов не имеет сколько-нибудь определенных тенденций своих изменений, оставаясь на общем пониженном уровне, с флуктуациями от 8–10 до 16–18 т/га в год. Это означает, что вызванный глобальным потеплением термоаридный тренд практически не скажется на продукционном процессе биогео-

ценозов семиаридной плеяды – прежде всего, разреженных остепненных сосняков и сосново-широколиственных лесов крутых привершинных склонов.

Термозадафический фактор действует на продукционный процесс гораздо менее определенно, чем фактор гидрозадафический. В целом намечается тенденция снижения общей продуктивности лесных экосистем Жигулевского массива в среднем с 18–21 до 12–15 т/га при росте  $t_{50}$  от 8–9° до 13–14°. Соответственно падают и запасы древесины, а также корневой массы (рис. 11). Как видим, оба фактора интерферируют с одинаковым знаком, что придает термоаридному тренду достаточно высокую эффективность.

**Принцип оптимальности в функционировании экосистем.** Большое внимание было уделено интегральной оценке автотрофного биогенеза с помощью безразмерных параметров  $KE$ ,  $KA$  и  $KR$  (см. выше), которые служат характеристиками внутреннего оборота фитомассы в лесном сообществе (Одум, 1975; Перельман, 1975). Наиболее обобщающим является параметр  $KE = PC/BC$ . Показателем также коэффициент  $KR$ , который используется как мера «оборачиваемости» фитомассы в расчетных динамических моделях для установления серии переходных состояний между лесом и степью (12).

Оценка отношения  $PC/BC$  проведена на основе известного принципа оптимальности, который выражается *аллометрическим законом* (Розен, 1969; Харвей, 1974). Согласно последнему, для каждого зонального типа ландшафтов существует некоторое постоянное значение параметра  $KA = \log P/\log B$ , несмотря на существенные в пределах этого типа колебания продуктивности и биомассы (Перельман, 1975). Этот параметр является своего рода показателем скорости роста продуктивности, причем в его расчетах фитомасса  $B$  играет роль «физиологического времени» (Розен, 1969). Аллометрический параметр  $KA$  характеризует степень однородности региональных ландшафтов и служит наиболее объективным критерием выделения их зональных типов (Перельман, 1975). В зонально-региональном масштабе (для плакорных типов местоположений) данный коэффициент монотонно возрастает от 0,53–0,54 в лесотундре и северной тайге до 0,60–0,62 в равнинных и горных широколиственных лесах и затем более резко повышается до 0,84–0,88 при переходе к луговым и далее сухим степям суббореального пояса. Наряду с этим в каждом зональном подразделении географической среды имеются и более высокие, чем у плакоров, значения  $KA$ , соответствующие растительным сообществам на более увлажненных местообитаниях.

Последняя закономерность, проявляющаяся сравнительно слабо на уровне зональных типов (или подтипов) ландшафтов, получает свое развитие и становится феноменальным явлением на локальном уровне (см. рис. 10 в). Еще более четко вырисовываются отклонения от плакоров в сторону меньших значений  $KA$  у верхнего, ксероморфного звена ландшафтных сопряжений. Значения  $KA$  для плакорных лесных фитоценозов Среднего Поволжья в целом отвечают указанным выше зональным нормам. Местные отклонения аллометрического коэффициента могут быть вызваны либо влиянием локальных факторов (прежде всего, гидроморфности-литоморфности), либо антропогенной дигрессией лесных сообществ (Коломыц и др., 1993).

В каждом экорегионе ксероморфные звенья местного гидрозадафического ряда биогеноценозов, выступающие в качестве представителей более южных биоклиматических условий, характеризуются и более низким  $KA$  (в целом по Среднему Поволжью  $\leq 0,40$ –0,35). В то же время группы фаций, имитирующие

более северные зональные условия, имеют значения коэффициента до 0,75–0,80. Это указывает на то, что экологическая эффективность (КПД) продукционного процесса в целом возрастает в направлении от сухих местообитаний к влажным и далее сырým, достигая максимума в заболоченных лесах. Следовательно, *термоаридный тренд должен вызывать определенное падение степени оптимальности биологического круговорота*, что будет означать общее снижение уровня функционирования лесных топоэкосистем.

Таким образом, фактор эдафического увлажнения создает на локальном уровне принципиально иную картину пространственного распределения параметров *КЕ* и *КА* по сравнению с фактором увлажнения атмосферного на уровне зонально-региональном. Проследим подробнее динамику аллометрического коэффициента в пространстве вариаций гидроэдафического фактора и связанной с ними территориальной дифференциацией топоэкосистем в пределах рассматриваемого нами зонального экотона леса и степи.

Плакорные биогеоценозы Жигулевского массива (элювиальные мезогигроморфные вязо-липняки) имеют значения *КА*  $\approx 0,51–0,60$  (таксономическая норма равна 0,54), которые приближаются к зональной норме равнинных и горных широколиственных лесов, по А.И. Перельману (1975), – 0,58–0,59. Такому локальному соотношению продуктивности и биомассы отвечает наиболее высокий уровень летнего почвенно-грунтового увлажнения – (*W-50*)  $\approx 140–160$  мм. При переходе к хорошо дренируемым и соответственно гораздо более сухим трансэлювиальным местоположениям, где запасы влаги в слое почвы 0–50 см падают до 70–90 мм на теневых склонах и до 30–50 мм на склонах солнцепечных, параметр *КА* снижается соответственно до 0,49–0,51 и 0,45–0,48.

Как видим, зонально-региональная норма экологической эффективности продукционного процесса на зональном экотоне леса и степи обеспечивается аномально высоким уровнем почвенно-грунтового увлажнения, который компенсирует низкий уровень увлажнения атмосферного и обусловлен, в свою очередь, слабым дренажом в условиях плоского платообразного рельефа, суглинистого субстрата и близкого залегания грунтовых вод (Обедиентова, 1953). В этом состоит механизм локальной имитации неморальнолесных зонально-географических условий в подзоне южной лесостепи на ее границе с северной степью. С переходом же к крутым склонам влагосодержание почвы падает и это вызывает снижение аллометрического коэффициента. Более того, на солнцепечных склонах с лесо-лугово-степным растительным комплексом, имитирующим южную лесостепь и даже соседнюю степную зону, параметр *КА* опускается до наиболее низкого в данном регионе уровня (в таксономической норме около 0,43–0,45), который совершенно не соответствует зональной норме равнинных и горных ксерофитных лесов, редколесий, горных лугов и степей – 0,68–0,84, согласно (Перельман, 1975).

Аридизация почв в средней и южной лесостепи Приволжской возвышенности при глобальном потеплении должна вызвать общее снижение параметра *КА* с базового таксономического уровня 0,54–0,56 (максимального для данных зонально-региональных условий) до 0,43–0,45. При этом наиболее сильное падение эффективности продукционного процесса произойдет в лесных сообществах элювиальных (плакорных), трансаккумулятивных и аккумулятивных местоположений, где исходные значения (*W-50*)  $\geq 100$  мм. Здесь при уменьшении (*W-50*) до 60–80 мм параметр *КА* снизится с 0,56–0,60 до 0,48–0,50. Согласно прогнозно-климатической модели GISS это может случиться в середине XXI столетия, а по модели HadCM3 –

наступит уже к 2030 г. К указанным срокам общий продукционный потенциал наиболее ценных в экологическом и хозяйственном отношении широколиственных лесов Жигулевских гор может снизиться в 2-2,5 раза.

**Детритогенез.** Возрастающий при глобальном потеплении дефицит влаги будет тормозить разложение и минерализацию лесной подстилки. По мере иссушения всего метрового слоя почвы  $ML$  увеличивается, причем с достаточно высокими коэффициентами корреляции (рис. 12 б). Накопление массы подстилки будет означать дополнительную консервацию углерода, поглощаемого из атмосферы при фотосинтезе. Таким образом, для данных зонально-региональных условий подтверждаются результаты машинных экспериментов с имитационными моделями: в процессе глобального потепления должен идти рост поглощения подстилкой углерода из атмосферы (Тарко, 2005). Однако, как установлено нами эмпирически, адекватность этой расчетной модели не выходит за пределы лесостепной зоны. В бо-реальном же поясе картина совершенно иная.

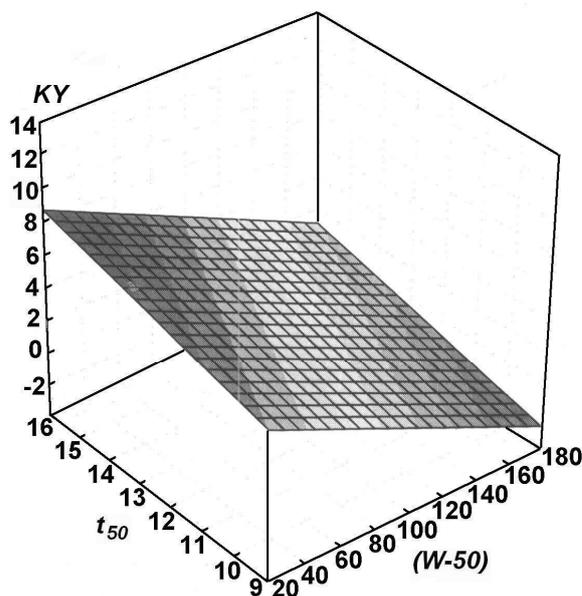
С увеличением массы подстилки возрастают подстилочно-опадный индекс  $KY$  (рис. 13 а), а также доля всей мертвой фракции  $BD$  в общей надземной фитомассе. Одновременно уменьшается количество детрита, утилизируемого сапротрофами и используемого в последующих трофических цепях (рис. 13 б), поэтому существенно увеличивается время  $ID$ , требуемое для полного разложения данного количества мортмассы.

В отличие от лесной подстилки, масса древесно-кустарникового опада  $WD$  (сухостоя и валежа) зависит почти исключительно от температуры почвы (см. табл. 8). По-видимому, термоаридный тренд должен вызвать общее усиление процессов разложения мертвой древесины, с дополнительными выбросами  $CO_2$  в атмосферу, о чем свидетельствует общее сокращение мертвой скелетной фитомассы при повышении летней температуры почвы (рис. 12 а). Особенно заметно это проявится на гигро- и мезоморфных эдафотопах элювиальных и трансаккумулятивных местоположений, с их пониженной температурой. Однако активизирующая роль термического фактора проявится только при наличии достаточной влаги в верхних слоях почвы. В ксероморфных трансэлювиальных биогеоценозах, где базовые значения  $(W-50) \geq 11-11,5^\circ$ , рост температуры почти не скажется на величине  $WD$ . Более того, при высоких температурах возможно даже ее некоторое увеличение.

Таким образом, при глобальном потеплении в маргинальных лесных сообществах лесостепной зоны должно произойти общее понижение пропускной способности детритной ветви метаболизма, что вызовет остаточное накопление мортмассы и как результат – неизбежное замедление всего биологического круговорота. Будет увеличиваться консервация в лесах мертвой органики, соответственно ослабнут потоки  $CO_2$  из нее в атмосферу. Однако возникающий от этого дефицит атмосферного углекислого газа с лихвой будет перекрываться тем его гораздо большим количеством, которое останется в атмосфере по причине резкого снижения годичной продуктивности лесных экосистем.

Аридизация лесного почвенно-растительного покрова сопровождается ростом интенсивности физико-химических и микробиологических процессов разложения и минерализации органического вещества почвы (Кононова, 1963; Базилевич, Родин, 1969), что ведет к существенному сокращению запасов гумуса  $HU$ . На зональном экотоне леса и степи оба гидротермических фактора: температура и влагосодержание почвы, – достаточно значимы и при термоаридном тренде интерферируют с одинаковым знаком, что усиливает их совместное влияние (см. рис. 13 в). С ростом

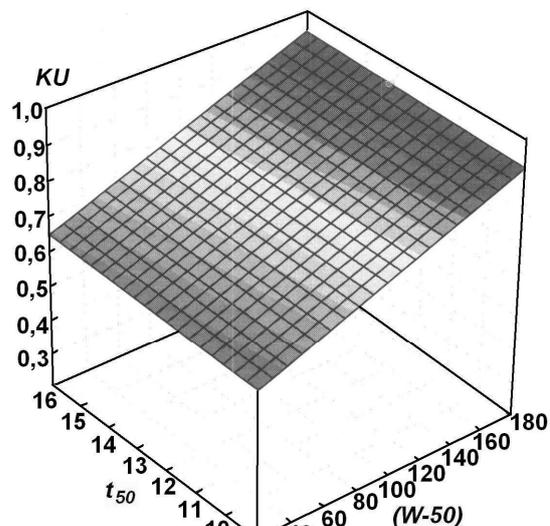
летних температур и снижением запасов влаги содержание органического вещества в почве резко падает и выделяющийся при его разложении  $\text{CO}_2$  уходит в атмосферу. При этом ведущую роль играет изменение запасов почвенной влаги.



$$KY = 1,1905 - 0,0473 (W-50) + 0,5262 * t_{50}$$

$$R = 0,715 \quad R^2 = 0,511 \quad P = 0$$

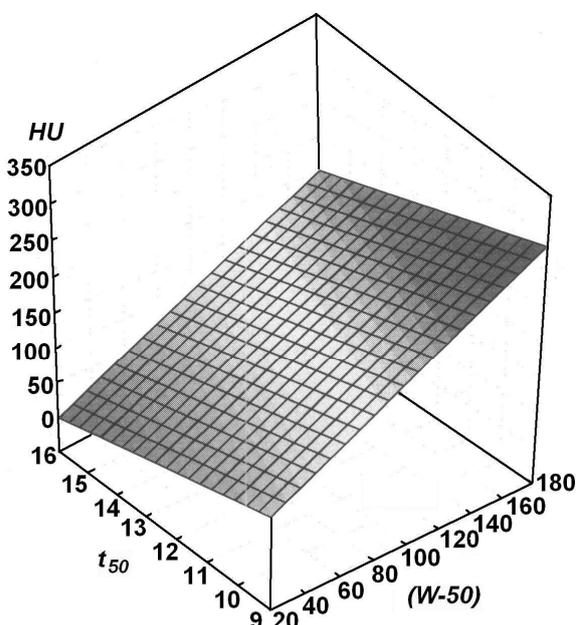
**А**



$$KU = 0,554 + 0,00186 * (W-50) + 0,0035 * t_{50}$$

$$R = 0,405 \quad R^2 = 0,164 \quad P = 0,039$$

**Б**



$$HU = 156,439 + 1,2685 * (W-50) - 11,4357 * t_{50}$$

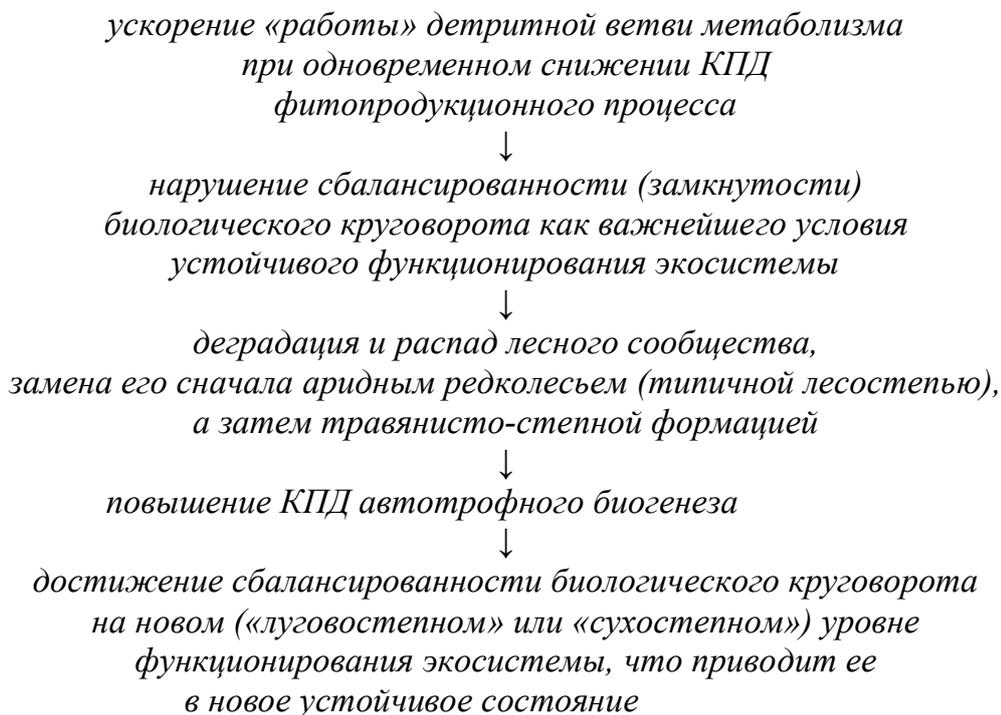
$$R = 0,784 \quad R^2 = 0,614 \quad P = 0$$

**В**

**Рис. 13.** Линейные поверхности распределения дискретных показателей детритогенеза (см. в тексте) в пространстве почвенных гидротермических параметров лесных экосистем Жигулевского массива

**Движущие силы климатогенных сукцессий.** На основе результатов проведенного градиентного анализа сформулирована общая схема-модель, описывающая принципиальный механизм перехода от функциональных изменений экосистем к их структурным преобразованиям под воздействием глобального потепле-

ния. Этот механизм должен проявиться наиболее ярко на зональных экотонах леса и степи. При устойчивом развитии термоаридного климатического сигнала схема преобразований лесной экосистемы в степную имеет следующий вид:



По-видимому, такой же механизм цепных реакций должен срабатывать при ландшафтно-экологических переходах между самими лесными формациями – от более гидроморфных к менее гидроморфным.

В представленной системе цепных реакций ведущая роль принадлежит детритогенезу как функциональному блоку, в первую очередь реагирующему на гидротермические сигналы (об этом можно судить в частности по параметрам  $R$  и  $R^2$  в табл. 2). Будучи наиболее узким пропускным каналом связей в биологическом круговороте и определяя в конечном итоге его интенсивность и сбалансированность (Базилевич и др., 1985), детритная ветвь является основным лимитирующим фактором, влияющим на устойчивость лесных экосистем, и в то же время главным «дирижером» их структурных сдвигов при соответствующих внешних воздействиях.

Описанный механизм климатогенных сукцессий, по-видимому, можно отнести, согласно Н.В. Тимофееву-Ресовскому (Тюрюканов, Федоров, 1996), к классу управленческих функций живого вещества, которые сосредоточены именно в биогеоценозах как элементарных хронологических единицах биосферы. Данный механизм вписывается также в рамки известной рефлекторной системы «условия (воздействие) – процесс – структура», которая лежит в основе фундаментальной неодокучаевской парадигмы в почвоведении (Герасимов, 1986). Наконец, представленная схема-модель подтверждает положение функциональной экологии о том (Керженцев, 1999), что структурные преобразования экосистем происходят в результате смены режима их функционирования под влиянием устойчивых изменений внешних условий.

Разработанные методические подходы, а также теоретические выводы и обобщения, полученные при крупномасштабных экспериментальных исследова-

ниях, проведенных нами не только в Жигулевских горах, но и в других регионах Среднего Поволжья, по-видимому, могут дать определенный толчок развитию *прогнозного направления в топологии гео(эко-)систем* – разделе комплексной физической географии и геоэкологии, приоритет в становлении которого принадлежит плеяде выдающихся отечественных естествоиспытателей – Б.Б. Полюнову, Г.Н. Высоцкому, Л.Г. Раменскому, А.И. Перельману, М.А. Глазовской, Н.А. Солнцеву, Д.Л. Арманду, В.Б. Сочаве, Ф.Н. Милькову и др.

Результаты эмпирико-статистического моделирования топоэкоцистем и прогнозная интерпретация этих результатов позволяют выходить на достаточно широкие теоретические обобщения, способствующие более глубокому пониманию закономерностей проявления глобальных изменений природной среды на локальном уровне.

Полученные материалы по состоянию лесных экосистем и прогнозным оценкам их грядущих изменений могут иметь также определенное научно-практическое значение для самой территории Волжского бассейна как демографического и индустриального «ядра» Европейской России. Они будут полезны при разработке экологических основ сохранения, воспроизводства и рационального использования лесных (а с ними и водных) ресурсов, что особенно важно для районов с критическими условиями существования лесной растительности, к которым относится обширная зона переходов от леса к степи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

**Агаханиянц О.Е.** Аридные горы СССР. Природа и географические модели флорогенеза. М.: Мысль, 1981. 270 с. - **Андреев В.Л.** Классификационные построения в экологии и систематике. М.: Наука, 1980. 142 с. - **Арманд А.Д.** Информационные модели природных комплексов. М.: Наука, 1975. 126 с. - **Арманд Д.Л.** Некоторые задачи и методы физики ландшафта // Геофизика ландшафта. М.: Наука, 1967. С. 7-24. - **Арманд Д.Л., Преображенский В.С., Арманд А.Д.** Природные комплексы и современные методы их изучения // Изв. АН СССР. Сер. географич. 1969. № 5. С. 5–16.

**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. - **Беручашвили Н.Л.** Геофизика ландшафта. М.: Наука, 1990. 287 с. - **Биологическая продуктивность лесов Поволжья** / Отв. ред. С.Э. Вомперский. М.: Наука, 1982. 282 с.

**Вальтер Г.** Растительность Земного Шара. Эколого-физиологическая характеристика. Т. II. Леса умеренной зоны. М.: Прогресс, 1974. 423 с. - **Высоцкий Г.Н.** Избранные труды. М.: Сельхозгиз, 1960. 435 с. - **Высоцкий Г.Н.** О дубравах в европейской России и их областях // Лесной журн. 1913. Вып.1-2. С. 158-171. - **Высоцкий Г.Н.** О лесорастительных условиях района Самарского Удельного округа. Почвенно-ботанико-лесоводственный очерк. СПб, 1908. Ч. 1. 235 с. - **Высоцкий Г.Н.** О фито-типологических картах, способах их составления и их практическом значении // Почвоведение, 1909. № 2. С. 98–119.

**Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И.** Физическая география СССР. Азиатская часть. М.: Высшая школа, 1987. 448 с. - **Геоботаническое районирование СССР** / Под ред. Е.М. Лавренко. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1947. – 152 с. - **Глазовская М.А.** Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1964. 230 с. - **Горшков В.Г.** Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ, 1995. 470 с. - **Гроссет Г.Э.** Некоторые соображения относительно генезиса растительности и почв лесостепи Восточной Европы // Землеведение. 1933. Т. 35. Вып. 4.

С. 308-312. - **Гроссет Г.Э.** Перигляциальный климат верхнего плейстоцена, вызвавший исчезновение зоны широколиственных лесов на территории Европы и возраст реликтов этой формации // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1971 Т. 76, вып. 1. С. 18-36. – **Григорьев А.А.** Развитие теоретических проблем советской теоретической географии. М.: Наука, 1965. 246 с.

**Димо В.Н.** Тепловой режим почв СССР. М.: Колос, 1972. 360 с. - **Докучаев В.В.** Избранные сочинения. Т. III. Картография, генезис и классификация почв. М.: Гос. изд-во сельскохоз. лит-ры, 1949. 446 с.

**Заварзин Г.А.** Круговорот углерода на территории России / Эмиссия и сток парниковых газов на территории Евразии (Тезисы докл. Нац. конференции с междунар. участием, 20-24 ноября 2000 г.). Пушино, 2000. С. 17-20.

**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 с. - **Исаев А.С., Коровин Г.Н.** Леса России и Киотский протокол / Возможные предотвращения изменения климата и его негативных последствий. Проблема Киотского протокола. (Мат. Совета-семинара при президенте Рос. академии наук). М.: Наука, 2006. С. 287-305.

**Кавказ.** Природные условия и естественные ресурсы СССР / Отв. ред. Н.В. Думитрашко. М.: Наука, 1966. 482 с. - **Коломыц Э.Г.** Бореальный экотон и географическая зональность. Атлас-монография. М.: Наука, 2005. 390 с. - **Коломыц Э.Г.** Информационно-статистический анализ структуры высокогорных экосистем и их антропогенных изменений // Тр. Высокогор. геофиз. ин-та. Вып.58. М.: Гидрометеиздат, 1984. С. 26-53. - **Коломыц Э.Г.** Организация и устойчивость хвойнолесных экосистем на бореальном экотоне Русской равнины // Изв. РАН. Сер. географич. 1995. № 3. С. 37–51. - **Коломыц Э.Г.** Полиморфизм ландшафтно-зональных систем. Пушино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1998. 311 с. - **Коломыц Э.Г.** Прогнозные оценки зональных ландшафтно-экологических условий в свете предстоящих глобальных изменений климата // География и природные ресурсы. 1999. № 3. С. 5–12. - **Коломыц Э.Г.** Региональная модель глобальных изменений природной среды. М.: Наука, 2003. 371 с. - **Коломыц Э.Г.** Теоретико-множественное моделирование высокогорных экосистем // Тр. Высокогор. геофиз. ин-та. Вып. 52. М.: Гидрометеиздат, 1983. С. 65-83. - **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., Розенберг Г.С., Колкутин В.И., Юнина В.П., Сидоренко М.В., Орлова М.В., Сурова Н.А.** Экология ландшафтов Волжского бассейна в системе глобальных изменений климата (прогнозный Атлас-монография). Н. Новгород: Изд-во «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: ИЭВБ РАН, 1993. 346 с. - **Кондратьев К.Я., Лосев К.С., Ананичева М.Д., Чеснокова И.В.** Некоторые проблемы ландшафтоведения и экологии в контексте концепции биотической регуляции // Там же. 2001. Вып. 5. С.22–29. - **Крауклис А.А.** Особенности географических градаций топического порядка // Топологич. основы учения о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1974. С. 87-137. - **Кудинов К. А.** Локальные особенности климата в районе Жигулевского заповедника по данным метеорологических наблюдений за 25 лет (1974-1988 г.г.) // Самарская Лука. Бюлл. № 11/01. Самара: Жигул. гос. заповедник им. И.И. Спрыгина, 2001. С. 67–99.

**Лавренко Е.М., Исаченко Т.И.** Зональное и провинциальное ботанико-географическое разделение Европейской части СССР // Изв. Всесоюз. геогр. об-ва. 1976. Т. 108. Вып. 6. С. 469-483.

**Мельченко В.Е., Саксонов С.В.** Ландшафтный подход к региональным флористическим исследованиям // Самарская Лука: бюллетень. Самара. 1993. № 4. - **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.** Лесостепь и степь Русской равнины. М.: Изд-во АН СССР, 1956. - **Мильков Ф.Н.** Среднее Поволжье. Физико-географическое описание. М.: Изд-во АН СССР, 1953. 262 с. - **Мильков Ф.Н.** Физическая география. Учение о ландшафте и географическая зональность. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1986. 327 с. - **Моисеев Н.Н., Александров В.В., Тарко А.Н.** Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями. М.: Наука, 1985. 271 с. - **Молчанов А.А.** Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М.: Наука, 1971. 275 с.

**Обедиентова Г.В.** Происхождение Жигулевской возвышенности и развитие ее рельефа. (Материалы по геоморфологии и палеогеографии СССР / Труды Ин-та географии. Т.53. Вып.8). М.: Изд-во АН СССР, 1953. 248 с. - **Обедиентова Г.В.** Происхождение природы Жигулей // Известия Всесоюзного географического общества. М., 1986. Т. 118, вып. 1. С. 49-58. - **Обедиентова Г.В.** Эрозионные циклы и формирование долины Волги. М.: Наука, 1977. 240 с. - **Общесоюзные нормативы** для таксации лесов. Справочник / В.В. Загреев, В.И. Сухих, А.З. Швиденко, А.Г. Мошкалев. М.: Колос, 1992. 495 с. - **Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И.** Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 253 с.

**Перельман А.И.** Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 341 с. - **Погребняк П.С.** Основы лесной типологии. Киев: Изд-во АН УССР, 1955. 452 с. - **Полынов Б.Б.** Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 751 с. 1978. 319 с. - **Полынов Б.Б.** Кора выветривания. Часть I. Процессы выветривания. Основные фазы и формы коры выветривания и их распределение. Л.: Изд-во АН СССР, 1934, 243 с. - **Программа и методика биогеоценологических исследований** / Отв. ред. Н.В. Дылис. М.: Наука, 1974. 403 с. - **Прокаев В.И.** Жигули // География в школе. 1955. № 3. С. 35-38. - **Прокаев В.И.** Опыт крупномасштабного ландшафтного районирования восточной части Самарской Луки // Вопросы географии. Сб. 39. М.: Географгиз, 1956. С. 185-195. - **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.** Принципы информационного анализа // Статистические методы исследования геосистем. Владивосток: Тихоокеан. ин-т географии ДВНЦ АН СССР. 1976. С. 5-37. - **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., Скулкин В.С.** Структура растительности лесной зоны СССР: Системный анализ. М.: Наука, 1981. 275 с.

**Работнов Т.А.** Фитоценология. М.: Изд-во МГУ, 1978. 384 с. - **Раменский Л.Г.** Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Л.: Наука, 1971. 334 с. - **Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипин Н.А.** Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз, 1956. 472 с.

**Растительность европейской части СССР** / Под ред. С.А. Грибовой, Т.И. Исаченко, Е.М. Лавренко. Л.: Наука, 1980. 429 с. - **Раунер Ю.Л.** Климат и урожайность зерновых культур. М.: Наука, 1981. 163 с. - **Розенберг Г.С.** Модели в фитоценологии. М.: Наука, 1984. 265 с. - **Розенберг Г.С., Мозговой Д.П., Гелашвили Д.Б.** Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии: учебное пособие. Самара: Ин-т экологии Волж. бас-на РАН, 1999. 396 с. - **Работнов Т.А.** Фитоценология. М.: Изд-во МГУ, 1978. 384 с.

**Семкин Б.И.** Дескриптивные множества и их приложения // Исследования систем. 1. Анализ сложных систем. Владивосток: Тихоокеан. ин-т географии ДВНЦ АН СССР, 1973. С. 83-94. - **Симонов Ю.Г.** Пути применения эргодической теоремы для палеогеографического анализа континентов // Вестник МГУ. География. 1966. № 5. С. 3-18. - **Смирнов В.В.** Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах Европейской части СССР. М.: Наука, 1971. 362 с. - **Сочава В.Б.** Геотопология как раздел учения о геосисте-

мах // Топологические аспекты учения о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1974. - **Сочава В.Б.** Растительный покров на тематических картах. Новосибирск: Наука, 1979. 189 с. - **Спрыгин И.И.** Материалы к познанию растительности Среднего Поволжья // Научное наследство. Т. 11. М.: Наука, 1986. 512 с. - **Спрыгин И.И.** Реликтовые растения Поволжья // Материалы по истории флоры и растительности СССР. Т. 1. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1941. - **Сукачев В.Н.** Избранные труды. Том первый. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Л.: Наука, 1972. 418 с.

**Тарко А.М.** Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. Математическое моделирование. М.: Физматлит, 2005. 231 с. - **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.

**Физико-географическое** районирование Среднего Поволжья / Отв. ред. А.В. Ступишин. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1964. 197 с.