

Э.Г. КОЛОМЫЦ

Институт экологии Волжского бассейна РАН,  
445003, Тольятти, ул. Комзина, 10, Россия, egk2000@mail.ru**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ СОВРЕМЕННОГО ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ  
В ЛЕСНЫХ ГЕОСИСТЕМАХ ВОЛЖСКОГО БАСЕЙНА**

*По литературным данным и материалам крупномасштабных ландшафтно-экологических исследований автора проведен анализ влияния произошедшего за последнее столетие глобального антропогенного потепления на состояние лесных геосистем Волжского бассейна. В смешанных лесах выявлена неморализация травостоя, при сокращении числа бореальных видов, а в дубравах — массовое усыхание дуба. Установлено, что на южной границе лесной зоны произошло частичное замещение лесостепной растительности на северостепную, а последней — на сухостепную. В результате серые лесные почвы и обыкновенные черноземы остались в положении северных реликтов. В горизонте А1 почвы изменился фракционный состав гумуса, что свидетельствует о смене подзолистого почвообразовательного процесса дерновым. На Главном ландшафтном рубеже Русской равнины, проходящем по долинам Оки и Волги, сформировался своеобразный трехмерный биогеографический экотон как результат трансгрессии по различным биогоризонтам леса представителей трех зональных типов растительности: таежного, неморальнолесного и степного. На зональных экотонах леса и степи произошли существенные изменения в структуре гидротермических ниш лесных биогеоценозов: смещение доминантов к аридному критическому состоянию лесов, а также появление отрицательного эксцесса и даже «разрывов» в структуре ниши. Все эти признаки указывают на начавшиеся массовые структурные и функциональные перестройки лесных геосистем в Волжском бассейне. В ближайшие 100 лет можно предполагать определенную «саваннизацию» мезофильных широколиственных лесов и смыкание их с общим мозаичным комплексом редколесий, лугов и степей типичной лесостепи. Это будет происходить на фоне неустойчивости зональных границ.*

Ключевые слова: современный термоаридный климатический тренд, зональные фитоценологические сдвиги, северные почвенные реликты, трехмерный биогеографический экотон, гидротермические ниши.

E.G. KOLOMYTS

Institute of Ecology of the Volga River Basin, Russian Academy of Sciences,  
445003, Togliatti, ul. Komzina, 10, Russia, egk2000@mail.ru**ECOLOGICAL EFFECTS OF CONTEMPORARY GLOBAL WARMING  
IN FOREST GEOSYSTEMS OF THE VOLGA RIVER BASIN**

*Using literature data and material from this author's large-scale landscape-ecological research, an analysis is made of the impact of global anthropogenic warming over the last 100 years on the state of the forest geosystems of the Volga basin. In mixed forests, a nemoralization of the grass stand was revealed, with a decrease in the number of boreal species, and in oak forests — a massive desiccation of oak. It is found that on the southern border of the forest zone there occurs a partial replacement of forest-steppe vegetation with northern-steppe vegetation, this latter being substituted by dry-steppe vegetation. As a result, gray forest soils and common chernozems have persisted as northern relics. In the A1 soil horizon, the fractional composition of humus has changed, which indicates a change of the podzolic soil-forming process by the sodding process. At the main landscape line of the Russian Plain along the Oka and Volga valleys, a peculiar three-dimensional biogeographic ecotone was formed as a result of the transgression of different vegetation types: the taiga, nemoral forest and steppe types, along different biological horizons. Significant changes in the structure of hydrothermal niches of forest biogeocoenoses occurred on zonal ecotones of forests and steppes: the shift of dominants to an arid critical state of forests as well as the emergence of negative excesses and even "gaps" in the structure of niches. All these signs point to the beginning of massive structural and functional restructuring of forest geosystems in the Volga basin. Within the next 100 years, we can assume a certain "savanization" of mesophilic deciduous forests and their closure with a common mosaic complex of light forests, meadows and steppes of typical forest-steppe. This will occur against the background of instability of zonal boundaries.*

Keywords: modern thermo-arid climatic trend, zonal phytocenotic shifts, northern soil relics, three-dimensional biogeographic ecotone, hydrothermal niches.

## ВВЕДЕНИЕ

Современное глобальное потепление как начало беспрецедентных в истории биосферы глобальных антропогенных изменений климата можно считать уже свершившимся фактом. Результаты анализа климатических временных рядов показали, что среднегодовая величина роста температуры на континентах в XX в. находилась пределах  $0,7\text{--}1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  [1, 2]. За последние 100 лет на территории европейской части России, в том числе Волжского бассейна, средняя годовая температура воздуха выросла по сравнению с 20-летней нормой «доиндустриального периода» (1886–1905 гг.) от  $0,7\text{--}0,8$  до  $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в среднем на  $0,9\text{--}1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  [3, 4]. Особенно стремительным был рост температуры, начиная с 1990-х гг. В средней полосе европейской части России разница среднеянварской температуры между периодами 1958–1977 гг. и 1978–1997 гг. составила  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  и более.

В таежных и лесостепных районах соседней Западно-Сибирской равнины скорость общегодового потепления в последнюю треть XX в. равнялась  $0,04\text{--}0,08\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ , а в Алтае-Саянской области, в Центральной Европе, Северной Америке и в других регионах мира рост средней температуры после 1900 г. составил не менее  $0,6\text{--}0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  [5]. По всей цепочке лесостепных и степных районов юга Сибири за 60-летний период метеонаблюдений (1938–1998 гг.) средняя годовая температура повышалась со скоростью  $0,02\text{--}0,08\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ , что в условиях нестабильности колебаний атмосферных осадков вызвало усиление общей аридизации экзогенных процессов [6]. При этом процесс потепления шел с ускорением, имея колебательный характер. Он совпал с началом «консервативно-устойчивой», по [7], теплой и сухой фазы последнего 1800–1900-летнего климатического ритма и поэтому может быть результатом положительной интерференции антропогенного и естественного факторов изменений климата.

В то же время годовое количество осадков на европейской территории России за последние 100 лет почти не изменилось; была выражена лишь весьма слабая и статистически недостоверная тенденция к увеличению [3, 4]. Тем не менее само повышение температуры должно было вызвать неизбежную аридизацию природных экосистем. Ориентировочный расчет по региональным эмпирическим связям [8] показал, что повышение на юге лесной зоны Волжского бассейна средней июльской температуры воздуха на  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (в диапазоне  $17\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), т. е. на половину общегодового потепления в XX в., должно вызвать уменьшение летних запасов продуктивной влаги в слоях почвы  $0\text{--}20$ ,  $0\text{--}50$  и  $0\text{--}100$  см как лесных, так и травянистых геосистем, соответственно, на  $3\text{--}4$ ,  $7\text{--}8$  и  $17\text{--}18$  мм. Этот аридный тренд усиливался в годы сокращения количества осадков.

## ОБЩИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ

Происходящее в течение последнего века потепление на территории Волжского бассейна не могло не вызвать, в первую очередь, расширения на север ареалов травяно-степных экосистем как наиболее динамичных. Эксперименты с математическими моделями биосферных процессов показали [9], что в условиях повышения температуры или роста концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, вызывающих одновременно увеличение как первичной биопродуктивности, так и скорости разложения мертвого органического вещества, лесная экосистема способна гораздо сильнее противостоять термическому сигналу, нежели травяная. Это различие проявляется уже в первые десятки лет и сохраняется на протяжении нескольких столетий, что позволяет говорить о приоритетной реакции именно травяно-степных, а не лесных экосистем на устойчивые изменения климата.

Таксономическая (средневзвешенная) норма годовых осадков для южной лесостепи (как восточноевропейской, так и приуральской) составляет  $507\text{--}509$  мм, а для северной заволжской степи — около  $440$  мм [8]. Повышение же среднеиюльской температуры на  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  вызывает приращение годовой испаряемости в  $30$  мм, которое снижает летние запасы продуктивной влаги в почве на такую же величину, как и сокращение годовых осадков на  $50$  мм. Следовательно, уменьшение эдафического увлажнения должно было неминуемо вызвать замещение лесостепной растительности на северостепную, а последней — на сухостепную. При этом светло- и темно-серые лесные почвы и обыкновенные черноземы за этот короткий срок не успевают существенно измениться и остаются в положении северных реликтов (табл. 1). Эти почвенные реликты могли возникнуть за сравнительно короткий срок (в пределах одного столетия или даже нескольких десятилетий), поскольку их появление было обусловлено активной трансгрессией травяно-степных экосистем (особенно злаковников) на север.

В бореальных лесах также отмечены определенные фитоценотические изменения. В подтаежной зоне Московской области [10] установлены следующие закономерности сукцессионного тренда за

Таблица 1

Распределение экологических ниш групп растительных формаций лесостепной и степной зон Волжского бассейна по группам почв. Результаты информационно-статистического анализа [8]

Группы почв	Растительность				
	типичная лесостепь		южная лесостепь		северная степь
	А	Б	В	Г	Д
	Широколиственные леса				
СЛ <sup>с</sup>	—	—	•↑	—	—
СЛ	•	—	—	—	—
СЛ <sup>г</sup>	•	•	—	•↑	—
	Типичная и южная лесостепи				
Ч <sup>оп</sup>	×	•	•	—	•↑
Ч <sup>в</sup>	•	×	•	•	—
Ч <sup>л</sup>	•	×	—	•	—
	Северная степь				
Ч <sup>т</sup> Ч <sup>бк</sup>	—	•	—	•	—
Ч <sup>о</sup>	—	—	—	×↓	×
	Южная (сухая) степь				
Ч <sup>ю</sup> , К <sup>т</sup>	—	—	×↓	×↓	×↓
Ч <sup>к</sup>	—	•↓	×↓	•↓	—

Примечание. Прочерк — в экологической нише таких значений нет. Группы почв: Ч<sup>в</sup> — черноземы выщелоченные, Ч<sup>к</sup> — черноземы карбонатные. Остальные обозначения — см. табл. 2. Группы формаций: А — сосняки разнотравно-злаковые со степными кустарниками, Б — луговые степи и остепненные луга в сочетании с лесами из дуба, В — богаторазнотравно-типчаково-ковыльные степи причерноморского типа, Г — то же, заволжско-казахстанские, Д — заволжские типчаково-ковыльные степи в комплексе с полынными. «×» — экологический оптимум, «•» — «размытая» часть ниши. Знак «↓» указывает на то, что данная группа почв является южным реликтом по отношению к растительной формации, «↑» — северным реликтом.

последние 20–25 лет: для древостоев — смена сосны и/или дуба елью, с выпадением осины и общим уменьшением полноты леса; для напочвенного покрова — неморализация травостоя, при сокращении числа бореальных видов. Если причиной первого процесса можно считать рост атмосферного увлажнения в предшествующие столетия, т. е. это наследие сверхвековых колебаний климата [8], то второй демонстрирует один из начальных фитоценологических откликов на глобальное потепление.

В низко- и среднегорьях Южного Урала еще в середине 1930-х гг. под пологом широколиственных и даже пихтово-еловых лесов находились не свойственные им ксерофильные травянистые виды из листовеннично-сосново-березовой лесостепи южноуральских предгорий [11]. Сама же лесостепь оказалась ареной трансгрессии сухостепных элементов, входящих в состав североказахстанских степей. Для Западной Сибири также отмечалось современное наступление луговой степи на лес, а полупустыни — на луговую степь [12].

Возрастающее потепление, произошедшее в XX в., отразилось также на некоторых свойствах почвы. В качестве одного из них нами рассмотрен фракционный (групповой) состав гумуса в горизонте А<sub>1</sub> (С<sub>тк</sub>:С<sub>фк</sub>), т. е. отношение содержания гуминовых кислот к содержанию фульвокислот. Это отношение тесно связано с зональными типами почв [13]. Чем больше С<sub>тк</sub>:С<sub>фк</sub>, тем нейтральнее среда и тем менее подвижны органоминеральные комплексы почвы. Соответственно, слабее развит подзолообразовательный процесс, свойственный бореальным лесам, и сильнее — дерновый, характерный для луговой лесостепи. Значения параметра С<sub>тк</sub>:С<sub>фк</sub> для статистического анализа были «сняты» с карты типов гумуса, приведенной в работе [14].

Оказалось, что, в отличие от растительности, почва претерпела указанные изменения не в южной, а в северной полосе бореального пояса — в смешанных лесах и, в меньшей степени, в южной и средней тайге. Доминирующие значения соотношения (С<sub>тк</sub>:С<sub>фк</sub>) = 1,00–1,50 здесь оказались несколько выше их зональной нормы (0,75–1,25). Этот сдвиг был особенно существенен в дерново-подзолистых и переходных подзолисто-бурых лесных почвах сосняков и сложных среднекамских ельников, где произошла смена преобладающего типа гумуса с гуматно-фульватного на фульватно-гуматный (табл. 2).

Области доминирования типов гумуса по соотношению  $C_{тк}:C_{фк}$  в различных группах почв Волжского бассейна и его окружения

Тип гумуса	Соотношение $C_{тк}:C_{фк}$	Группы почв													
		северной и средней тайги		южной тайги и смешанных лесов			переходные	широколиственных лесов			типичной и южной лесостепи		северной степи		южной степи
		$P_{г, П_0^{ИГ}}$	$P_{1-3}$	$P_2^д$	$P_1^д$	$P^{дж}$	$P^{дв. до}$	$СЛ^с$	$СЛ$	$СЛ^т$	$Ч^{оп}$	$Ч^{л. вл}$	$Ч^{т. бк}$	$Ч^0$	$Ч^{ю}, К^т$
Гуматно-фульватный	0,50–0,75	⊗	⊗	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,75–1,00	•		⊗	○	●	●	○							
Фульватно-гуматный	1,00–1,25	–	•	–	×	–	○	⊗	●	–	•	•	–	–	–
	1,25–1,50	–	–	•	–	×	–	×	⊗	⊗	–	–	–	–	–
	1,50–1,75	–	–	–	•	•	×	–	–	○	⊗	○	–	–	⊗
Гуматный	1,75–2,00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	⊗	●	•	•	●
	2,00–2,25	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	×	⊗	●	–
	2,25–2,50	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	●	⊗	–

Примечание. Группы почв:  $P_{г, П_0^{ИГ}}$  — иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые подзолы и торфяно-подзолисто-глеевые,  $P_{1-3}$  — собственно подзолистые почвы (мелко-, неглубоко и глубокоподзоленные);  $P_2^д$  — дерново-подзолистые глеевые, неглубокоподзоленные,  $P_1^д$  — те же, мелкоподзоленные,  $P^{дж}$  — дерново-подзолистые иллювиально-железистые,  $P^{дв. до}$  — дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом, осветленные и остаточные карбонатные,  $СЛ^с$  — светло-серые лесные,  $СЛ$  — серые лесные,  $СЛ^т$  — темно-серые лесные,  $Ч^{оп}$  — черноземы оподзоленные и выщелоченные,  $Ч^{л. вл}$  — черноземы луговые и лугово-черноземные выщелоченные,  $Ч^{т. бк}$  — черноземы типичные и бескарбонатные;  $Ч^0$  — черноземы обыкновенные,  $Ч^{ю}, К^т$  — черноземы южные и карбонатные и темнокаштановые почвы. Знаки ⊗, ● и ○ указывают на зональную норму соотношения  $C_{тк}:C_{фк}$  в горизонте  $A_1$  для данной группы почв, согласно [13, 14]. Знаки «×» и «•» — см. табл. 1. Прочерк — в экологической нише таких значений нет.

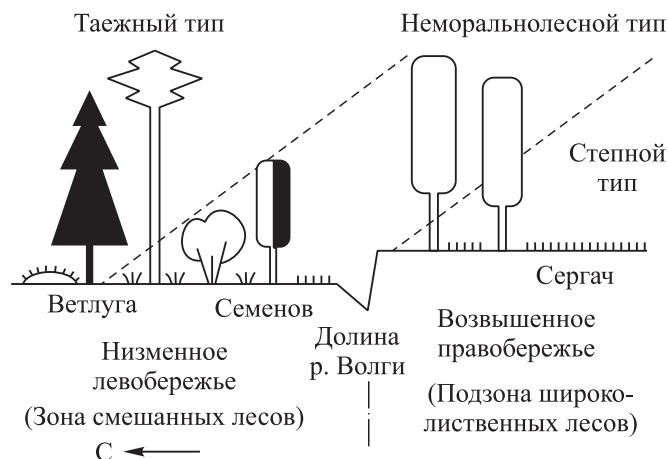
Растущее преобладание гуминовых кислот над фульвокислотами наблюдается также в светло-серых лесных почвах дубово-липовых лесов и в выщелоченных черноземах типичной лесостепи (как хвойной, так и широколиственной). Столь заметное усиление глубины гумификации органического вещества в указанных почвах было вызвано не только повышением температуры, но и, в еще большей степени, увеличением периода биологической активности почв. Как известно [14], тесная зависимость отношения  $C_{тк}:C_{фк}$  от последнего фактора входит в число основных биогеохимических «правил» гумусообразования.

### ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НА ГЛАВНОМ ЛАНДШАФТНОМ РУБЕЖЕ РУССКОЙ РАВНИНЫ

Обратимся к материалам геоботанических исследований по Нижегородскому Поволжью [15, 16]. Эта территория отличается наиболее ярко выраженным для всей Русской равнины разнообразием природных зон бореального и суббореального поясов и существенным сближением между собой зональных и подзональных границ. На рис. 1 представлен меридиональный профиль вертикальной структуры фитоценотической среды, охватывающий северную часть Приволжской возвышенности и южную полосу низменного Ветлужского Заволжья, т. е. участки территорий, находящихся по обе стороны от Главного ландшафтного рубежа Русской равнины, по терминологии [17]. Профиль описывает распределение трех зональных типов растительности — таежного, неморальнолесного и степного. Как видим, указанные типы закономерно сменяют друг друга не только в горизонтальном направлении (с севера на юг), но и по вертикали — от верхних биогеоценологических горизонтов к нижним.

В водораздельных пихтово-еловых лесах (рамянях) Поветлужья верхний древесный ярус относится к таежному типу. Во втором же ярусе и в подлеске распространены дубравные элементы (липа сердцевидная (*Tiliacordata*), клен остролистный (*Acer platanoides*), жимолость настоящая (*Lonicera xylosteum*), крушина ольховидная (*Frangula alnus*) и др.). Неморальный облик в значительной мере приоб-

Рис. 1. Трехмерный фитогеографический экотон на Главном ландшафтном рубеже Русской равнины (в пределах Нижегородского Поволжья).



ретают и напочвенный покров, где наряду с бореальными видами кустарничков и травянистых (брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum*), телиптерис болотный (*Thelypteris palustris*), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*), майник двулистный (*Majanthemum bifolium*) и т. п.) широко представлено разнотравье (осока волосистая (*Carex pilosa*), подмаренник душистый (*Asperula odorata*), сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*), копытень европейский (*Asarum europaeum*), борец северный (*Aconitum excelsum*) и др.). Подобная вертикальная структура раменей — вероятное следствие борьбы контрастных в зональном отношении растительных группировок, их взаимного надвигания друг на друга.

В свою очередь, в подзону широколиственных лесов с юга внедряются представители типичной лесостепи, которые уже «форсировали» долину Волги и распространились по низовьям Керженца и Ветлуги. В результате дубравы и сосновые боры Приволжской возвышенности приобрели многоярусность и видовое богатство, причем в южной полосе подзоны произошло явное остепнение нижних биогоризонтов [16]. В подлеске часто встречаются степные кустарники (раkitничек Цингера (*Cytisus zingeri*), дрок красильный (*Genista tinctoria*), можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis*)), а в напочвенном покрове — лесостепные и степные травы (горошек (*Vicia*), хохлатка Маршалла (*Coridalis marschalliana*), медуница неясная (*Pulmonaria obscura*), пижма щитковая (*Pyrethrum corymbosum*), лапчатка прямостоячая (*Potentilla erecta*), осока волосистая, герань луговая (*Geranium pratense*) и др.).

Описываемый фитоценологический профиль, имеющий вид «слоеного пирога», представляет собой трехмерный биогеографический экотон, возникший под влиянием современного климатического тренда как результат внедрения по нижним биогоризонтам степных элементов растительности в широколиственные леса, а, в свою очередь, представителей неморальной флоры — в смешанные леса и даже в южную тайгу. Такой процесс однонаправленного вклинивания биогоризонтов вызывает подвижность их латеральных границ [18], приводя к перестройке вертикальных фитоценологических структур.

Определенные свидетельства фитоценологического эффекта современного термоаридного тренда мы находим в приграничной подтаежной полосе у Главного ландшафтного рубежа, примером чего может служить подтаежный низменно- и возвышенно-равнинный биом Приокско-террасного заповедника (рис. 2). Биом представлен хвойными и сосново-широколиственными лесами и их мелколиственными дериватами. Зафиксированное нами при ландшафтно-экологической съемке [19] состояние лесных сообществ заповедника представляет собой результат примерно 100-летнего процесса лесовосстановительных смен после длительного периода антропогенного облесения, поэтому все леса заповедника считаются в той или иной степени производными. Псевдокоренными можно считать эвритопные сосново-дубово-липово-еловые леса (табл. 3, группа биогеоценозов (бгц) 3), занимающие широкий диапазон типов местоположений — от элювиального до трансаккумулятивного.

Прежде всего, рассмотрим зональную принадлежность различных групп биогеоценозов в региональной системе локализованной природной зональности [19]. Известно, что зонально-географический облик лесного фитоценоза отображается в напочвенном покрове как показателе биологически равноценных местообитаний [20]. Общий термоаридный сдвиг биоклиматических условий подтаежного Приокско-террасного заповедника отчетливо проявился в эколого-ценотическом составе доминантов напочвенного покрова. По данным таксации 1981 г., выделы с преобладанием неморальных видов занимают здесь 42 % площади, а с доминированием бореальных — только 20 % [21].

Принимая положение о том, что все современные лесные сообщества Приокско-Террасного заповедника вторичны и находятся в состояниях различных восстановительных стадий [22], очевиден и следующий факт. Растительные ассоциации практически всех групп биогеоценозов уже приобрели вполне отчетливые зональные черты (см. табл. 3, рис. 2). Последние, в свою очередь, достаточно

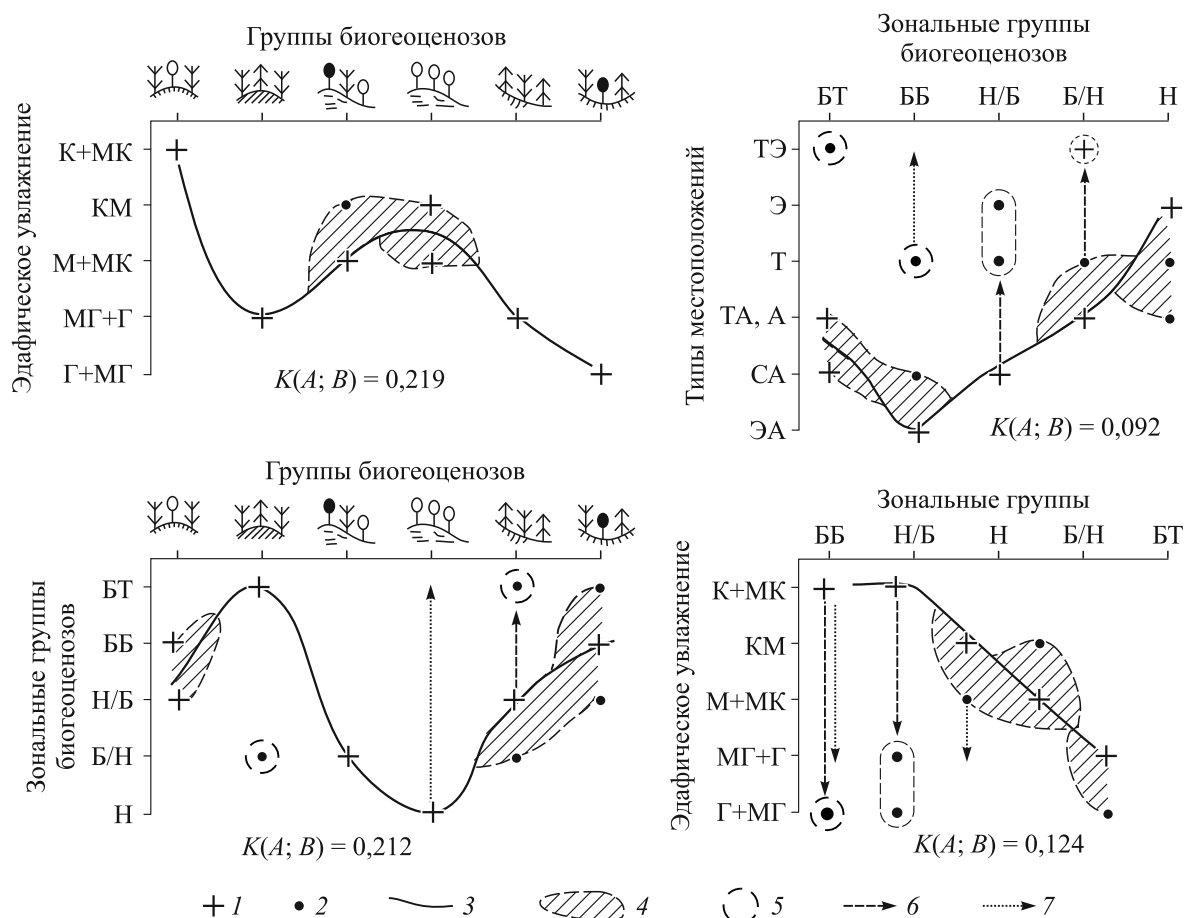


Рис. 2. Приокско-Террасный заповедник. Экологические ниши групп биогеоценозов и их зональных групп в пространствах типов местоположения и эдафического увлажнения.

1 — экологический доминант; 2 — «размытая» часть экологической ниши; 3 — траектория, соединяющая экологические доминанты; 4 — пространство экологической ниши; 5 — анклав; 6 — направление возможной трансгрессии данного явления от его экологического доминанта; 7 — область спорадического распространения явления в пределах данных градаций фактора.  $K(A; B)$  — нормированный коэффициент межкомпонентных связей, по [28]. Экологические группы биогеоценозов (по эдафическому увлажнению): К — ксерофитная, МК — мезоксерофитная, М — мезофитная, МГ — мезогигрофитная, Г — гигрофитная. Обозначения групп биогеоценозов см. в табл. 3. Типы локальных местоположений, по [17]: ТЭ — трансэлювиальный, Э — элювиальный, Т — транзитный, ТА — трансаккумулятивный, А — аккумулятивный, СА — супераккумулятивный, ЭА — элювиально-аккумулятивный. Зональные группы биогеоценозов: БТ — бореальная таежная, ББ — бореальная боровая, Н/Б — неморально-бореальная, Б/Н — бореально-неморальная, Н — неморальная.

тесно связаны с тремя абиотическими факторами — эдификаторами: типом местоположения (см. рис. 2), глубинами залегания известняков и грунтовых вод и поверхностным увлажнением эдафотопы (см. рис. 2). Мезоморфные и ксеромезоморфные сосново-липово-дубовые леса (группа бгц 3) как представители подтаежной зоны Среднеокского бассейна по экологическому доминанту относятся к зонально-климаксовой бореально-неморальной группе. Мезогидроморфные сосново-еловые леса плоских междуречий (группа бгц 2), а также их крайне гидроморфные варианты в речных долинах и плоских западинах (группа бгц 6), с близким залеганием моренных суглинков, образуют экстразональную группу бореально-таежного литоэдафического климакса, по классификации [23].

Наконец, липово-березовые леса с дубом и осиной (группа бгц 4) как производные от коренных дубо-липняков образуют противоположный — неморальный — «полюс» экстразонального литоэдафического климакса. Данная зональная группа биогеоценозов сформировалась в условиях наиболее близкого залегания известняка и умеренных глубин грунтовых вод, создающих в целом ксеромезоморфное эдафическое увлажнение (см. рис. 2). В начале XX в. здесь произрастали бореально-боровые

Краткая характеристика лесных топокосистем экспериментальных полигонов в Волжском бассейне

Номер групп фаций	Экорегион (зональная принадлежность)	
	Жигули. Национальный природный парк «Самарская Лука» (южная граница южной лесостепи)	Присурье. Национальный природный парк «Чаваш Вармане» (средняя лесостепь)
1	Ксероморфные остепненные сосняки верхних и средних частей крутых (20–30°) солнцепечных склонов	Мезоксероморфные сосняки и елово-сосновые леса плоских водоразделов и выпуклых склонов песчаной равнины
2	Ксеромезоморфные сосняки сложные липово-дубовые и сосново-широколиственные леса верхних и средних частей крутых (до 20–25°) нейтральных и теневых склонов	Мезоморфные сосново-широколиственные и осиновые леса плоских водоразделов и склонов моренной равнины
3	Мезоморфные и ксеромезоморфные дубняки и производные от них осинники нейтральных и теневых склонов средней и высокой крутизны	Мезоморфные дубово-липовые и осиновые леса пологонаклонных суглинистых водоразделов (плакоров)
4	Гидромезоморфные и мезоморфные вязово-кленово-липовые и осиновые леса пологонаклонных водоразделов (плакоров)	Мезогидроморфные ельники и сосняки слабо дренируемых междуречных понижений и высокой поймы
5	Мезоморфные и мезогидроморфные дубово-вязово-липовые и осиново-березовые леса средних и нижних частей склонов высокой крутизны (20–30°)	Мезогидроморфные елово-липовые дубравы и сосново-березовые леса пологовогнутых склонов песчано-суглинистых междуречий
6	Мезоморфные и мезогидроморфные липняки, кленовики и осинники днищ глубоко врезанных долин малых водотоков	Гидроморфные (заболоченные) сосняки, с елью и березой, междуречных западин моренной и песчаной равнин

сообщества — сосновые и елово-сосновые леса, березняки и осинники [22]. Произшедшее после вырубок и пожаров лесовосстановление по неморальнолесной траектории было обусловлено, как мы полагаем, термоаридным трендом на этих локальных участках, с наиболее благоприятными для этого лито- и гидроэдафическими условиями.

В целом региональная система локальной зональности в Приокско-Террасном заповеднике отличается высоким разнообразием и контрастностью биогеоценозов, что отразилось на весьма низком значении коэффициента сопряженности их зональных групп с типами местоположений ( $K(A; B) = 0,92$ ). Это отчетливо проявляется даже на плакорах (см. рис. 2). Бореальная таежная группа биогеоценозов (группа 2) соседствует с зональными представителями неморальнолесной подзоны (группой 4), а также с промежуточными фациями подтаежного типа (группой 3) при почти одинаковом механическом составе почвообразующих пород (карбонатно-суглинистых отложениях с тонким песчаным плащом). Это указывает на значительное перекрытие их экологических ниш — фитоценотический эффект, свойственный, как установлено [19], первоочередной реакции растительных сообществ на климатические сигналы. Такое перекрытие вызывает обостренную взаимную конкуренцию биогеоценозов [24] и как следствие — их высокую потенциальную способность к взаимным функционально-структурным переходам при устойчивом развитии климатического тренда, в данном случае термоаридного.

### ФИТОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПОВЫШЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ КЛИМАТА

Следует отметить также существенное возрастание за последние 100 лет межсезонных климатических контрастов и рост повторяемости экстремальных гидрометеорологических условий. Установлено, что за период 1891–1961 гг. на территории европейской части России, Западной Сибири и Казахстана обозначилась общая тенденция усиления аномальности температурного поля, особенно заметная начиная с 1920-х гг. Увеличился размах межгодовых колебаний летних температур и осадков (квазидвухлетней цикличности с периодом 15–20 лет). Для территорий степной, лесостепной и смешаннолесной зон Русской равнины выявлены весьма устойчивые 10–13-летние циклы резко выраженных климатических колебаний, с аномалиями среднегодовой температуры воздуха до 2 °С и более [25]. Такая «климатическая неуравновешенность» территории способствовала развитию степных экосистем и крайне неблагоприятно сказалась на состоянии дубрав не только у южных границ их распространения, но и, по-видимому, по всему их ареалу, на что указывал еще Г.Ф. Морозов [26]. Последнее подтверждается широко известными фактами нараставших в течение XX в. волн массово-

го усыхания дуба на Русской равнине [27], что связывается с увеличением повторяемости сильных засух в весенне-летний период. Экстремальные термические условия в мае в 90 % случаев вызывают аномалии в ходе роста дуба даже у северных границ его ареала [28].

Массовое усыхание дуба носит в целом неинфекционный характер [29]. Грибные болезни дуба, приводящие в конечном итоге к усыханию и отмиранию древостоев, — явление вторичное. Главными же причинами служат изменения в состоянии экотопов, вызванные внешними климатическими флуктуациями, поэтому продолжающееся и поныне массовое усыхание дуба, отмечаемое, например, в Среднем Поволжье [27], может служить вполне вероятным фитоценотическим следствием современных глобальных изменений климата.

### РЕАКЦИЯ ЗОНАЛЬНОГО ЭКОТОНА ЛЕСА И СТЕПИ НА СОВРЕМЕННОЕ ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ







Наиболее глубокие экологические последствия начавшихся изменений климата логично искать в функциональных и структурных сдвигах экотонных биогеосистем, в частности на зональном экотоне леса и степи. Здесь лесные формации находятся в современных климатических условиях, близких к критическим [19], и поэтому весьма неустойчивы. Лесостепной экотон наиболее отчетливо выражен на восточноевропейском субконтиненте, и одна из его ветвей проходит через территорию Самарского Поволжья. В нашем анализе использованы материалы крупномасштабных ландшафтно-экологических съемок на двух экспериментальных полигонах этого экотона [19]: в национальных природных парках «Чаваш Вармане» (в региональной экосистеме Присурье) и «Самарская Лука» (см. табл. 3, экосистема Жигули).

Информационно-статистический анализ полученного материала [19] позволил установить систему гидро- и термоэдафических ниш локальных геосистем по двум характеристикам — запасам продуктивной влаги в почве и температуре почвы. Каждая ниша описывается вектором-столбцом частных коэффициентов связи различных групп лесных биогеоценозов (ландшафтных фаций) с одним из этих параметров. Границы ниши характеризуют области критических состояний топогеосистем, за пределами которых нахождение этих объектов статистически недостоверно. В отношении запасов почвенной влаги можно говорить об аридном и гумидном критических состояниях биогеоценозов, а по температуре почвы — о минитермальном и макситермальном состояниях. Экологический оптимум должен отвечать позиции (интервалу) ниши с максимумом встречаемости данного объекта при условии равновесности самой локальной ландшафтно-геофизической системы. Это условие отражается нормальной кривой распределения объекта по пространству ниши.

Однако распределение топогеосистем по позициям гидротермических ниш редко бывает статистически нормальным, а чаще всего приближается к пуассоновскому типу распределения (табл. 4, 5, рис. 3). Экологические доминанты у большинства лесных геосистем сдвинуты вплотную: по гидроэдафотопам — к аридным критическим состояниям; по термоэдафотопам — к макситермальной

Таблица 4

**Аридные и гумидные критические гидротермические состояния биогеоценозов, а также области их доминирования по летним запасам продуктивной влаги в почве в региональной экосистеме Присурье**

Слой почвы, см	Группа биогеоценозов					
	 1	 2	 3	 4	 5	 6
0–20	12	<6	25	<6	<6	25
	25	>96	55	>96	55	>96
	12–25	25–32	25–32	6–12	45–55	55–96
0–100	<30	90	60	<30	<30	<30
	>312	230	>312	>312	230	>312
	30–90	90–145	90–145	30–60	180–230	145–180; 230–312

Примечание. Здесь и в табл. 5: номера групп биогеоценозов (фаций) и их характеристики — см. табл. 3. Критические гидротермические состояния биогеоценозов: первая строка — аридные, вторая строка — гумидные. Третья строка — области их доминирования.



Таблица 5

Аридные и гумидные критические гидротермические состояния биогеоценозов, а также области их доминирования по температуре почвы в региональной экосистеме Присурье

Глубина горизонта, см	Группа биогеоценозов					
	1	2	3	4	5	6
30	8,9 12,2 8,9–9,4	<7,9 >13,5 12,2–13,5	8,9 >13,5 9,9–10,5	<7,9 >13,5 8,9–9,4	10,5 12,2 11,0–12,2	8,9 12,2 11,0–12,2
100	<5,5 9,8 5,5–7,5	<5,5 >11,0 8,0–8,4, 9,8–11,0	8,0 >11,0 9,1–9,8	7,5 8,4 8,0–8,4	7,5 >11,0 9,8–11,0	<5,5 8,4 5,5–7,5

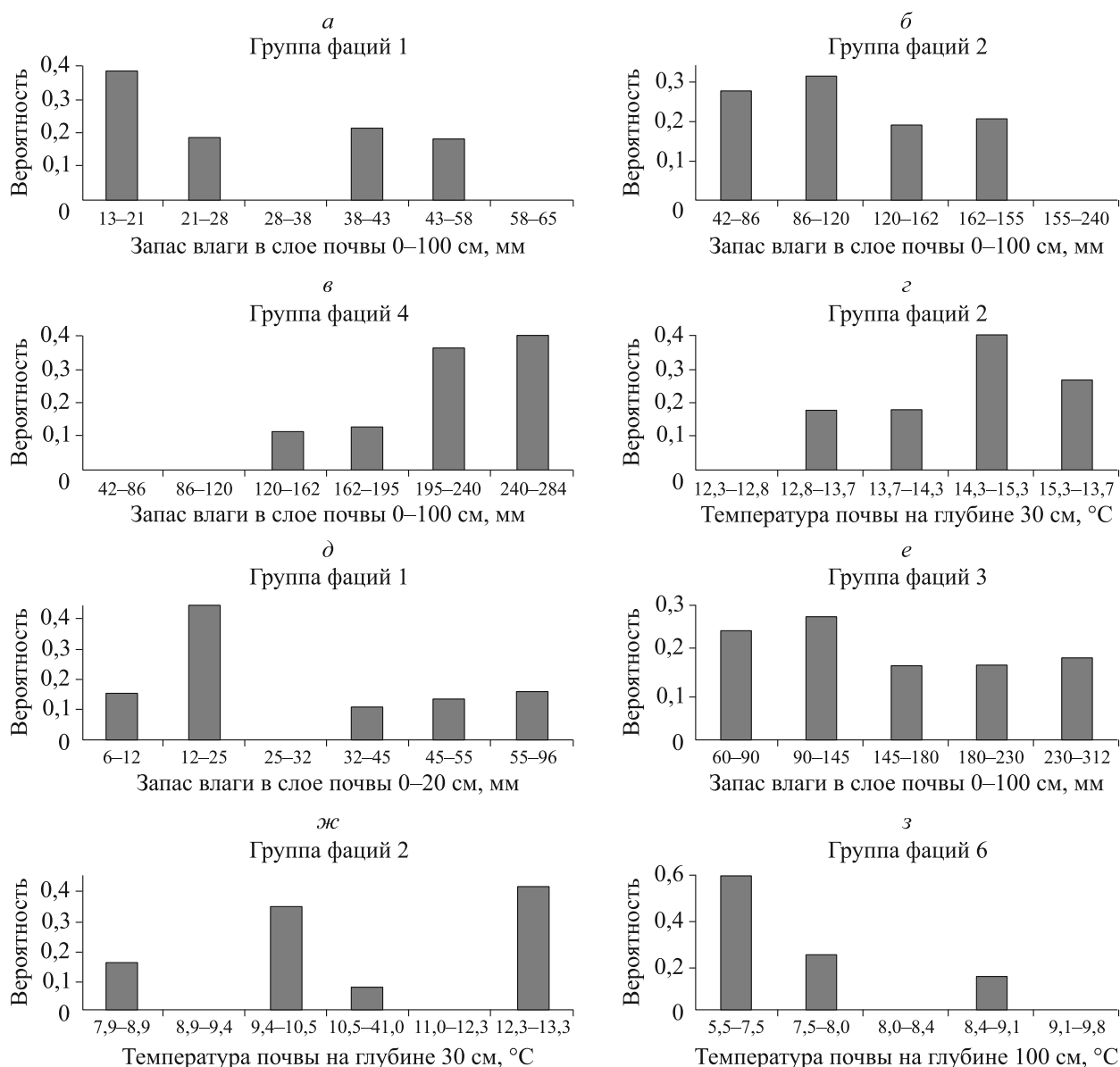


Рис. 3. Гистограммы распределения запасов продуктивной влаги в почве и температуры почвы в различных группах лесных биогеоценозов региональных экосистем Присурье (а–г) и Жигули (д–и).

Обозначения групп фаций см. в табл. 3.

границе. Кривые распределения имеют резко выраженную асимметрию в сторону минимальных запасов почвенной влаги и максимальных температур почвы. Соответственно, ландшафтно-геофизические связи оказываются далеко не равновесными. Все это говорит о том, что лесные экосистемы региона уже подверглись процессам климатической термоаридизации и существенно утратили способность устойчиво функционировать при дальнейшем развитии повышения летних температур и/или сокращения годовых осадков.

Такие особенности наиболее свойственны большинству топогеосистем Жигулевского низкогорного массива, находящихся в условиях общего дефицита атмосферного увлажнения. Прежде всего это ксеро- и мезоморфные хвойные, смешанные и широколиственные леса узких водоразделов и крутых склонов (группы бгц 1–3). Области доминирования влагозапасов в слоях почвы 0–20 и 0–100 см здесь приходится, соответственно, на интервалы 13–21 и 42–86 мм, причем минимальные значения каждой градации являются критическими для биогеоценозов. Иссущение почв сопровождается смещением их температурного доминанта к макситермальной границе.

Ксеромезоморфные широколиственные леса средних и нижних частей крутых склонов в Жигулях (группа фаций 5) доминируют в диапазоне более высокого влагосодержания почвы, однако и здесь аридные критические состояния начинаются сразу после доминирующего диапазона влажности. Аналогично этому в верхнем слое почвы макситермальное критическое состояние биогеоценозов идет вслед за температурным доминантом. И только теневые широколиственные леса плоских и пологонаклонных междуречий (плакорная группа фаций 4) сохраняют свои гидроэдафические доминанты на определенном удалении от аридных пределов (43 и 195 мм).

В экосистеме Присурье термоаридный сдвиг в структуре гидротермических ниш эдафотопов выражен не столь резко, тем не менее он и здесь проявляется в большинстве лесных биогеоценозов (см. табл. 4, 5). Близость гидроэдафических доминантов к их аридным критическим состояниям обнаруживают трансэлювиальные сосновые лишайниковые боры, елово-сосновые и сосново-широколиственные леса (группы бгц 1 и 2). Столь же аридизированными оказались эдафотопы гидромезоморфных ельников и сосняков водораздельных понижений и высоких пойм (группа бгц 4). Здесь критические состояния эдафотопов начинаются сразу за их экологическими доминантами. Даже у плакорных мезоморфных дубово-липовых лесов гидроэдафические доминанты смещены к аридному критическому состоянию.

Необходимо отметить также появление «разрывов» в векторе-строке некоторых гидроэдафических ниш. Согласно [30], распределение относительно однородных совокупностей гео(эко)систем по градиенту эдафического увлажнения, с соответствующим распределением типов местообитания, должно быть непрерывным и нормальным, т. е. их экологические ниши не могут быть многовершинными и тем более иметь «разрывы». Появление же отрицательного эксцесса нагибающих кривых, а затем и «разрывов» в векторе экологической ниши указывает на то, что данная совокупность объектов неоднородна; она разделена на две или более подсовкупностей индивидов. Многовершинность и «разрывы» свойственны гидроэдафическим нишам многих лесных биогеоценозов Жигулевских гор, а также аридного крыла в факторальном ряду присурских ландшафтных фаций (см. рис. 3, а, д, ж, и). Это несомненное свидетельство территориального дробления выделенных нами исходных фациальных единств по состояниям их эдафотопов.

Распределение температуры на глубине 30 см ( $t_{30}$ ) в целом в лесостепной зоне близко к нормальному (рис. 4, а, з), о чем свидетельствует критерий Колмогорова–Смирнова значимости данного параметра  $P_1 = 0,9085$ . Можно полагать, что начавшееся глобальное потепление сказалось сравнительно равномерно на изменении термоэдафического режима всей плеяды биогеоценозов данной региональной экосистемы. В то же время распределение влагосодержания почвы в слое 0–20 см ( $W-20$ ), а также тесно связанной с ним массы лесной подстилки ( $ML$ ) достаточно далеки от нормального (см. рис. 4, б, д). В них уже выражена левосторонняя асимметрия — сдвиг экологических доминантов в сторону наименьших значений каждого из этих параметров. А в векторе-строке запасов почвенной влаги имеется даже характерный «разрыв», свидетельствующий о нарушении гидроэдафической однородности выборочной совокупности биогеоценозов. Подавляющее большинство лесных топоэкоцистем сдвинулось к границе аридного критического состояния, в то время как наиболее гидроморфное звено гидроэдафического ряда, обладающее избыточными запасами влаги, осталось на прежнем месте.

Преобладающий пуассоновский характер распределения фаций по гидро- и термоэдафическим нишам с их «разрывами» вряд ли можно объяснить малой выборкой статистических данных. Кривые распределения температур почвы и почвенных влагозапасов по всем пробным площадям обоих полигонов лишь незначительно отличаются от нормального распределения [19]. Полученные статистические выборки соответствуют генеральным совокупностям и, следовательно, достаточно репрезентативны.

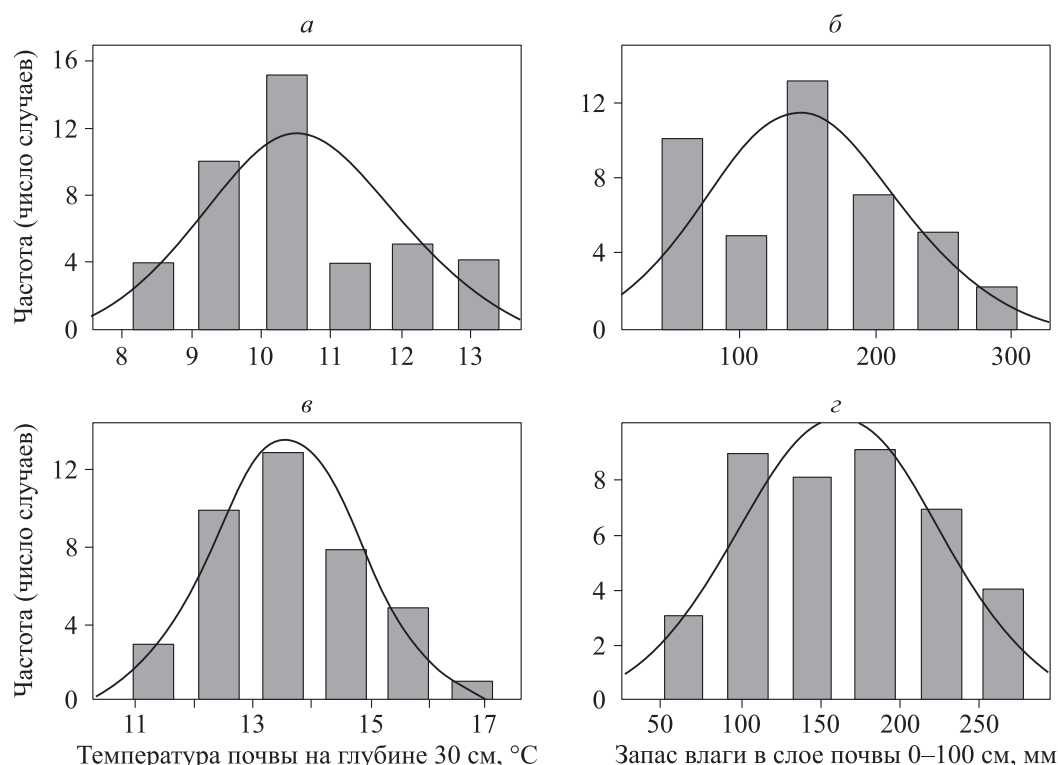


Рис. 4. Гистограммы распределения температур и влагосодержания в различных слоях почвы в целом для региональных экосистем Присурье (а, б) и Жигули (в, г).

Таким образом, доминирующие гидротермические характеристики эдафотопов, смещенные преимущественно к аридному и к макситермальному критическим состояниям биогеоценозов, а также появление отрицательного эксцесса и «разрывов» в нишах указывают, по-видимому, на уже начавшийся общий процесс массовых термоаридных функциональных преобразований лесных геосистем на зональном экотоне леса и степи в Волжском бассейне.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ показывает, что современное глобальное потепление находит определенное отражение в происходящих структурно-функциональных изменениях природных экосистем на юге бореального пояса и в его переходной полосе к поясу суббореальному. Эти изменения обусловлены достаточно устойчивым термоаридным биоклиматическим трендом, который начал развиваться еще в прошлом веке и прогнозируется, по крайней мере, на весь XXI в. В таких условиях на территории Волжского бассейна следует ожидать трансгрессивное развитие смешанно-лесных фитоценозов не только на юге бореального пояса, но и в его «ядре типичности» — в средней тайге. Также достаточно четко представляется дальнейшее преобразование сомкнутого покрова смешанных и даже хвойных лесов в редколесные массивы паркового типа, разобщенные участками лугово-степных сообществ.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (18-05-00024-а).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клиге Р.К. Глобальные гидроклиматические изменения // Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально-экономические последствия. — М.: ГЕОС, 2000. — С. 6–23.
2. Кондратьев К.Я., Демирчян К.С. Глобальные изменения климата и круговорот углерода // Изв. РГО. — 2000. — Вып. 4. — С. 1–20.

3. **Состояние** и комплексный мониторинг природной среды и климата. Пределы изменений / Под ред. Ю.А. Израэля. — М.: Наука, 2001. — 242 с.
4. **Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М.** Многолетние колебания основных показателей гидрометеорологического режима волжского бассейна // Метеорология и гидрология. — 2001. — № 10. — С. 16–22.
5. **Дучков А.Д., Балобаев В.Т.** Эволюция теплового и фазового состояния криолитозоны Сибири // Глобальные изменения природной среды — 2001. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2001. — С. 79–104.
6. **Баженова О.И., Мартыанова Г.Н.** Реакция степных и лесостепных морфодинамических систем на современные изменения климата // География и природ. ресурсы. — 2000. — № 4. — С. 23–32.
7. **Шнитников А.В.** Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1957. — 337 с.
8. **Коломыц Э.Г.** Региональная модель глобальных изменений природной среды. — М.: Наука, 2003. — 371 с.
9. **Моисеев Н.Н., Александров В.В., Тарко А.Н.** Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями. — М.: Наука, 1985. — 271 с.
10. **Маслов А.А., Петерсон Ю.В.** Сукцессионный тренд в лесных сообществах заповедных территорий: 10 лет наблюдений в Московском регионе // Леса Русской равнины. — М.: Науч. совет по проблемам леса, 1993. — С. 122–125.
11. **Крашенинников И.М.** Географические работы. — М.: Географгиз, 1951. — 600 с.
12. **Цыганов М.С.** Почвообразовательный процесс и смещение ландшафтных зон Западной Сибири // Почвоведение. — 1950. — № 5. — С. 262–272.
13. **Глазовская М.А.** Общее почвоведение и география почв. — М.: Высш. шк., 1981. — 400 с.
14. **Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И.** Органическое вещество почв Российской Федерации. — М.: Наука, 1996. — 253 с.
15. **Станков С.С.** Очерки физической географии Горьковской области. — Горький: Горьк. обл. гос. изд-во, 1951. — 296 с.
16. **Лукина Е.В.** Леса. Степи // Природа Горьковской области. — Горький: Волго-Вят. кн. изд-во, 1974. — С. 193–226.
17. **Мильков Ф.Н.** Физическая география: современное состояние, закономерности, проблемы. — Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1981. — 398 с.
18. **Бяллович Ю.П.** Биогеоэкологические горизонты // Труды Моск. об-ва испытат. природы. — 1960. — Т. 3. — С. 43–60.
19. **Коломыц Э.Г.** Локальные механизмы глобальных изменений природных экосистем. — М.: Наука, 2008. — 427 с.
20. **Сукачëв В.Н.** Избранные труды. Т. 1: Основы лесной типологии и биогеоэкологии. — Л.: Наука, 1972. — 418 с.
21. **Атлас Приокско-Террасного заповедника** / Под ред. М.В. Бобровского, М.Н. Брынских. — Пушкино: Биопресс, 2005. — 64 с.
22. **Оценка** и сохранение биоразнообразия лесного покрова в заповедниках Европейской России / Под ред. Л.Б. Заугольной. — М.: Изд-во Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, 2000. — 196 с.
23. **Одум Ю.** Основы экологии. Пер. с англ. — М.: Мир, 1975. — 740 с.
24. **Свирижев Ю.М., Логофет Д.О.** Устойчивость биологических сообществ. — М.: Наука, 1978. — 352 с.
25. **Верещагин М.А., Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М.** О вероятных изменениях температуры воздуха и циркуляции атмосферы на востоке Русской равнины в конце текущего и в начале XXI столетия // Изв. РАН. Сер. геогр. — 1997. — № 1. — С. 103–109.
26. **Морозов Г.Ф.** Учение о лесе. 3-е изд. — Л.: Гос. изд-во, 1926. — 368 с.
27. **Николаевский В.С., Николаевская Т.В.** Причины усыхания дубрав в Поволжье // Совещание «Леса Русской равнины»: Тезисы докладов. — М.: Науч. совет по проблемам леса, 1993. — С. 143–146.
28. **Пушин А.В.** Исследование связи изменчивости прироста дуба и климатических условий на северной границе его ареала на Русской равнине // Материалы метеорол. исслед. — М.: Изд-во Ин-та географии РАН, 1997. — № 16. — С. 165–170.
29. **Осипов В.В.** Динамика показателя увлажнения и состояние дубрав лесостепи // Леса Русской равнины. — М.: Науч. совет по проблемам леса, 1993. — С. 149–153.
30. **Барш Х., Шандер Ф.** Пространственно-временные структуры ландшафтов, обусловленные влажностью почвы // Научные подходы к определению норм нагрузок на ландшафты. — М.: Изд-во Ин-та географии АН СССР, 1988. — С. 168–179.

*Поступила в редакцию 17.04.2019*

*После доработки 09.06.2019*

*Принята к публикации 24.03.2020*