

ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ГЕОСИСТЕМНОГО МОНИТОРИНГА В ПРИОКСКО-ТЕРРАСНОМ БИОСФЕРНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ

©2019 г. Э. Г. Коломыц*

Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти, Россия

**e-mail: egk2000@mail.ru*

Поступила в редакцию 26.11.2015 г.; после доработки 26.12.2018 г.; принята в печать 25.01.2019 г.

Разработаны эмпирико-статистические модели пространственной организации и функционирования лесных биогеоценозов Приокско-Террасного заповедника. Выявлены эдафические климаксы лесных сообществ, которые отображают разнообразие зональных структур данного подтаежного региона. Описаны причинные механизмы формирования климаксов. Показана роль катенарной организации биогеоценозов, а также литогенного фактора и гидрологического режима в структуре лесного покрова. Установлено, что заповедник может служить благоприятным полигоном по региональному геосистемному мониторингу. Однако для решения задач глобального биосферного мониторинга круг объектов здесь весьма ограничен, ввиду повсеместных лесовосстановительных сукцессий. По структурному развитию и параметрам биологического круговорота в качестве приоритетных объектов мониторинга предложены две группы лесных биогеоценозов заповедника – (1) мезоморфные и мезо-ксероморфные сосново-липово-дубовые и сосново-липовые разнотравные и широколиственные леса в широком диапазоне ландшафтных сопряжений (от элювиальных геотопов до трансаккумулятивных); 2) мезо-гидроморфные еловые и елово-сосновые кислично-зеленомошные леса плоских слабо дренируемых водоразделов (элювиальные). Это существенно разнообразит объекты геосистемного мониторинга.

Ключевые слова: биосферный заповедник, лесные биогеоценозы, пространственная организация, функционирование, моделирование, геосистемный мониторинг.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019341-56>

ВВЕДЕНИЕ

Приокско-Террасный биосферный заповедник находится в подтаежной зоне Русской равнины, в осевой части переходной полосы от леса к степи – на трансконтинентальном борельном экотоне [3, 14]. Он служит важнейшим для структуры и функционирования зональных растительных сообществ климатическим рубежом – переходом соотношения тепла и влаги через 1. Соответственно, коренным образом меняется энергетический потенциал основных природных процессов: выветривания и почвообразования, превращения и миграции веществ, становления и развития биоценозов. Тем самым закладываются переходные (буферные) биоклиматические условия подтаежной зоны, которые в полной мере отображаются в почвенно-фитоценотической структуре территории заповедника. Таким образом, будучи фрагментом региональной природно-территориальной мозаики подтаежной зоны Русской равнины, наиболее чувствительным к глобальным изменениям кли-

мата, территория заповедника должна представлять собой весьма благоприятный объект геосистемного мониторинга, по определению [6, 7].

Приокско-Террасный заповедник уникален в отношении литогенной основы формирования природных комплексов. Он расположен в пограничной полосе между двумя достаточно контрастными видами ландшафтов Окского бассейна: 1) водноледниковых и древнеэлювиальных аккумулятивных песчаных равнин с елово-сосновыми и еловыми лесами и 2) эрозионных волнистых слабокарбонатно-суглинистых увалов с дубово-липовыми лесами [14]. Северная часть территории заповедника принадлежит к первому виду ландшафтов, а южная – ко второму. Такой резко выраженный контраст литогенной основы уже изначально предопределяет устойчивое фитоценотическое и почвенное разнообразие природных комплексов, которое должно создавать соответствующее разнообразие их реакции на естественные и/или антропогенные сигналы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Крупномасштабная ландшафтно-экологическая съемка была проведена нами в заповеднике по разработанной методике [15] в период 6–18 июля 1998 г. Были отработаны 45 пробных площадей (географических точек), каждая из которых занимала один *тип местоположения* (МП), или *геотоп*, и характеризовала определенный выдел ландшафтной фации [25], или биогеоценоз [27]. Типы МП оценивались с точки зрения их места в системе локальных ландшафтных сопряжений (катен). Катенарный подход, дающий, как известно [28], наиболее реальные представления о пространственной организации биогеосистем, уже продуктивно использовался в экологическом анализе лесов Приокско-террасного заповедника [10]. Согласно ландшафтно-геохимической модели [8], полный парагенетический ряд ландшафтных сопряжений включал следующие геотопы: элювиальный, т.е. автономный (Э), трансэлювиальный (ТЭ), транзитный (Т), трансаккумулятивный (ТА), аккумулятивный (А) и супераккумулятивный, т.е. надводный (Са_q). Выделялся также элювиально-аккумулятивный (Эа) тип МП – слабо дренируемые западины плоских междуречий.

Банк данных о состоянии топогеосистем включал более чем 75 параметров, объединенных в шесть структурно-функциональных, блоков: гидро-геоморфологический, почвенный морфологический, фитоценотический структурный и функциональный и ландшафтно-геофизический [15]. В дальнейшем все фациальные выделы объединялись в *группы фаций (биогеоценозов)*. Группировка точек проводилась

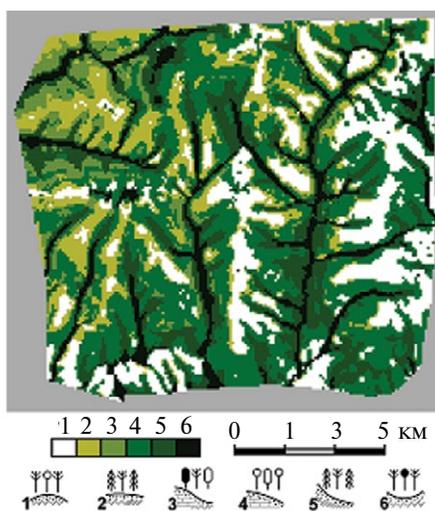


Рис. 1. Растровая карта распределения групп лесных биогеоценозов (см. табл. 1) по территории Приокско-Террасного биосферного заповедника.

Составлена Л.С. Шарой.

по двум признакам – типу местоположения и типу леса. Каждой группе ландшафтных фаций, представляющей собой некоторое типологическое обобщение, отвечает не только коренной тип фитоценоза, но и определенный набор производных от него типов, характеризующих этапы его спонтанных или антропогенных изменений [27].

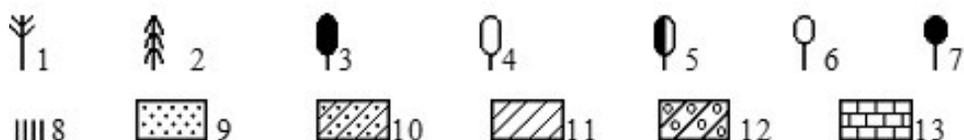
По материалам ландшафтно-экологической съемки Л.С. Шарой была рассчитана и построена растровая карта лесных биогеоценозов Приокско-Террасного заповедника (рис. 1). При этом был применен новый математико-картографический метод [30, 32]. В отличие от известных методов типологического картографирования, на карте групп биогеоценозов заповедника отражены вероятностные закономерности пространственного распределения лесных экосистем. Карта сформирована с помощью 5 моделей для разных биогеоценологических групп по преобладанию вероятности обнаружения той или иной группы. Модели показывают, какие факторы окружающей среды являются ведущими в пространственной организации лесного покрова заповедника. Среди ведущих факторов – типы МП, морфометрические характеристики микро-рельефа (18 параметров), запасы влаги в почве и температура почвы. Выделенные ареалы групп биогеоценозов характеризуют наибольшие вероятности нахождения данной группы в пределах того или иного ареала. Все модели успешно проверены по методике кросс-валидации Аллена [31] и разработанному ранее эмпирическому критерию.

Межкомпонентные (моносистемные) связи, а также связи межкомплексные (полисистемные) анализировались с помощью теоретико-информационных и теоретико-множественных моделей, методика построения которых подробно изложена в работе [15]. В качестве основных параметров межкомпонентных связей (по [20]), были использованы: нормированный коэффициент сопряженности $K(A; B)$ явления A с фактором B (в каждой паре признаков) и частный коэффициент связи, позволяющий определить степень пространственной связности отдельных градаций (состояний) явления (a_i) и фактора (b_j). По второму параметру устанавливали систему *экологических ниш* каждого значения (градации) явления A в пространстве значений фактора B .

Полисистемная структура продуктивности и биологического круговорота представлена теоретико-множественными моделями отношений сходства и структурными схемами отношений включения (по [1]). Сочетание информационных и теоретико-множественных методов анализа позволило получить комплексные дискретные параметры функционального состояния биогеоцено-

Таблица 1. Группы биогеоценозов (ландшафтных фаций) территории Приокско-Террасного заповедника и их условные обозначения (Экспликация к растровой карте биогеоценологических групп, рис. 1)

Краткая характеристика	Символ
1. Ксероморфные и мезо-ксероморфные сосновые и сосново-березовые леса, с осиной и липой, элювиальные и трансэлювиальные (плосковыпуклых междуречий и верхних частей склонов речных долин), кустарничково-зеленомошные и вейниково-разнотравные, с дерново-подзолами и борowymi песками на суглинистой морене и без нее	
2. Мезо-гидроморфные еловые, сосново-еловые и елово-сосновые леса, элювиальные и трансэлювиальные, кислотно-зеленомошные и кустарничково-разнотравные, с дерново-подзолами и дерново-подбурами оподзолненными, иногда торфяно-глееватыми, на песчано-суглинистых и моренных отложениях	
3. Мезоморфные и ксеро-мезоморфные сосново-липово-дубовые и сосново-липовые леса, с широким диапазоном местоположений (от элювиального до трансаккумулятивного), разнотравные и широколиственные (снытьево-волосистоосоковые), с дерново-подбурами типичными и глееватыми, супесчаными на элювии известняках и моренных суглинках	
4. Мезоморфные и мезо-ксероморфные липово-березовые леса, с осиной, а также березняки и осинники, с дубом, липой и елью, трансэлювиальные и транзитные (верхних и средних частей склонов речных долин), вейниково-разнотравные и широколиственные, с дерново-подбурами оглеенными, супесчаными, а также с дерново-карбонатными почвами на элювии известняка	
5. Мезо-гидроморфные ельники, а также сосново-еловые и елово-сосновые леса, транзитные и трансаккумулятивные (средних и нижних частей склонов речных долин), черничные зеленомошно- и кислотно-разнотравные, с дерново-подбурами оподзолненными и слабо оглеенными, на песчано-суглинистой морене и делювии известняка	
6. Гидроморфные хвойные и мелколиственные заболоченные леса (сосняки, ельники, березняки, черноольшаники) элювиально-аккумулятивных и супераккумулятивных местоположений (замкнутых междуречных понижений и днищ речных долин), кустарничково-сфагновые и высокотравные, с торфяно-болотными глееватыми супесчано-суглинистыми почвами на моренных и аллювиальных отложениях	



Условные обозначения к символам групп биогеоценозов. ДревоСТОИ-доминанты: 1 – сосна; 2 – ель; 3 – дуб; 4 – липа, вяз; 5 – широколиственные без разделения; 6 – береза, осина; 7 – ольха черная. Напочвенный покров: 8 – лугово-степное разнотравье. Почвообразующие породы: 9 – пески; 10 – супеси и легкие суглинки; 11 – средние и тяжелые суглинки; 12 – супесчано-суглинистая морена с валунами; 13 – карбонатные породы (известняки, доломиты).

тического пространства [16]. Рассчитывались два таких параметра: 1) метаболический индекс объекта S^m_k , или индекс доминирования, характеризующий общий уровень его функционального развития; 2) показатель значимости объекта G_k в данном геопространстве, отображающий запас его гомеостатичности (резистентной устойчивости). По значениям S^m_k группы лесных фитоценозов подразделялись на определенные метаболические экотипы, согласно [18]. Помимо параметра G_k рассчитывался также индекс упругой функциональной устойчивости лесного сообщества IS , для чего была использована мера

евклидова расстояния в пространстве характеристик биологического круговорота [15].

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЕСНОГО ПОКРОВА ЗАПОВЕДНИКА

По археологическим свидетельствам и текстовым документам [10] до середины XVIII в. территория Приокско-Террасного заповедника прошла через этапы полного облесения. Лишь в 1888 г. эта территория была отнесена к категории защитных. На ней были прекращены рубки и начались посадки сосны. Зафиксированное

нами состояние лесных сообществ является результатом не более чем 100-летнего процесса лесовосстановительных смен, поэтому все леса заповедника считаются производными. Эндозоогенетические сукцессии, по-видимому, лишь в редких случаях смогли достичь состояния климакса или даже субклимакса. К тому же лесовосстановительный процесс осложнялся периодическими выборочными (и даже сплошными) рубками и пожарами, поэтому фитоценозы находятся на разных этапах сукцессионных смен. Это и стало одной из причин чрезвычайной мозаичности современного растительного покрова заповедника – результата интенсивного и продолжительного антропогенного воздействия, предшествующего созданию в 1945 г. заповедника [10].

Коренной растительной формацией территории заповедника считается елово-широколиственная [13], однако к настоящему времени ель в данных сообществах почти полностью вытеснена сосной и псевдокоренными можно считать эвритопные сосново-дубово-липово-еловые леса (группа биогеоценозов 3, см. табл. 1), занимающие широкий диапазон типов местоположений – от Э до ТА (табл. 2). Подчеркнем эту важную особенность их катенарной организации. Она обусловлена способностью большей части флоры заповедника существовать во всех вариантах экотопа [23] и лежит в основе фитоценологического разнообразия квазиклимаксных лесных сообществ в подтаежной зоне Среднеокского бассейна.

За период 1946–1981 гг. в условиях полного заповедного режима развивался процесс замены

пионерных видов (сосны, березы, осины) на зональные эдификаторы хвойно-широколиственных лесов – ель и липу. Исследованиями сукцессионных процессов, проведенными в заповедниках подтаежной зоны Русской равнины и Среднего Урала [22], установлено, что после сплошных вырубок и пожаров на месте прежних полидоминантных разновозрастных неморально-бореальных лесов формируются сообщества с сильно измененной эколого-фитоценологической структурой, с преобладанием производных сообществ, состоящих из пионерных видов. Последующая направленная лесохозяйственная деятельность (выборочные рубки лиственных пород и рубки ухода) приводят к формированию чисто хвойных (еловых) насаждений. Прогрессивное развитие данного антропогенного процесса на территории заповедника подтверждается широким распространением в настоящее время подроста ели в липняковых сосняках, березняках и осинниках [5].

СИСТЕМА ЦЕПНЫХ РЕАКЦИЙ В МЕЖКОМПОНЕНТНЫХ СВЯЗЯХ

Общий механизм формирования биогеоценологического покрова Приокско-Террасного заповедника обрисован цепными реакциями в информационных моносистемных связях (рис. 2). Эта *межкомпонентная связность*, согласно [9, 25], представляет собой структурную схему *инварианта подтаежного экорегиона* Среднеокского бассейна. В основе системы

Таблица 2. Распределение групп биогеоценозов в пространствах типов МП и метаболических параметров (нормированных коэффициентов связи), $K(A;B) = 0.191$

Характеристики		Группы биогеоценозов (см. табл. 1)					
							
Типы местоположений	ТЭ	48	55	21	7	11	–
	Э	39	30	12	32	12	–
	Т	13	15	35	16	46	–
	ТА, А	–	–	32	45	32	–
	Saq	–	–	–	–	–	50
	Эа	–	–	–	–	–	50
Метаболизм	S^m_k	0.88	1.00	1.38	<u>0.50</u>	1.37	<u>0.87</u>
	G_k	0.221	0.250	0.383	<u>0.125</u>	0.383	<u>0.162</u>

Примечание. Жирным шрифтом выделены экологические доминанты. По параметрам S^m_k и G_k выделены экотипы лесных сообществ: 1) макроболиты – жирным шрифтом с подчеркиванием (субмакроболиты отсутствуют); 2) микроболиты и субмикроболиты – курсивом соответственно с подчеркиванием и без него; 3) мезоботины – рядовые экотипы (без выделения).

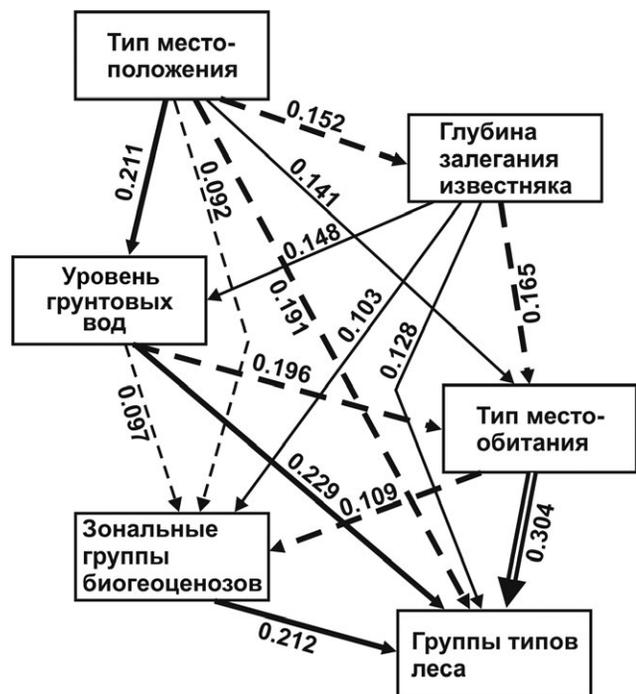


Рис. 2. Фрагмент общей информационной модели межкомпонентных связей в подтаежных ландшафтах моренно-зандровых и эрозионных равнин Приокско-Террасного заповедника.

Условные обозначения: 0.211, 0.092, 0.141, ... – нормированные коэффициенты сопряженности $K(A;B)$, по [18]. Значение $K(A;B) = 0.19$ соответствует коэффициенту корреляции, равному 0.7 [18], а при $K(A;B) \geq 0.07$ связь считается значимой [13].

цепных реакций лежит тип МП, выступающий в роли первичного комплексного эдификатора. Очевидно его прямое влияние на конечный индикатор ландшафтных связей: биогееценоз и его фитоценотическое ядро (см. табл. 2). Оно оказывается не менее значимым, чем опосредованное воздействие через промежуточные ретрансляторы – глубину залегания известняков и доломитов (ГЗИз), уровень грунтовых вод (УГВ) и тип местообитания (МО). Выделяются два противоположных “полюса” геотопов на верхнем и нижнем звеньях катены (ТЭ и Saq–Эа-

геотопы) с бореальными таежными, боровыми и лесо-болотными сообществами. Эти “полюса” наиболее контрастны по УГВ и эдафическому увлажнению, но достаточно близки по общему наиболее глубокому залеганию известняков и доломитов (рис. 3а и 4в). Средние звенья катены (Т, ТА, А типы МП) заняты целым спектром лесных биогееценозов, как бореальных таежных и смешаннолесных, так и суббореальных неморальных. Находясь примерно в одинаковых гидрологических условиях, эти биогееценотические группы отчетливо дифференцируются по глубине залегания известняка (см. рис. 4в).

Тип МП определяет не только литогенные условия лесообразования, но и еще в большей степени гидрологический режим этого процесса. Вниз по катене прослеживается общее снижение УГВ. Наиболее сухие геотопы приурочены к выпуклым ТЭ водоразделам и бровкам нижних Saq-террас. Максимальное же грунтовое увлажнение свойственно днищам речных долин и междуречным западинам. Характерно сходство гидрологических условий элювиального и транзитного типов МП, что и определяет идентичность их по типу местообитания.

Топологический ряд групп лесных биогееценозов и их зональных групп достаточно тесно коррелирует с градиентом изменения УГВ, а также с летними запасами продуктивной влаги в почве и с экологическими группами напочвенного покрова, о чем свидетельствуют высокие коэффициенты сопряженности (см. рис. 3а–в, табл. 3). Вероятности экологических доминантов составляют от 45–60 до 75–90% и более, а сами гидроэкологические ниши резко сужены, хотя нередко имеют анклавы. Все это указывает на прямую лесообразующую роль гидрологических условий, в том числе поверхностного увлажнения эдафотопы. Полученные эмпирические связи имеют основополагающее значение для ландшафтно-экологических прогнозов. Они доказывают объективную реальность взаимных функционально-структурных переходов между лесными сообществами Приокско-Террасного заповедника при глобальных изменениях климата.

Таблица 3. Таксономические (средневзвешенные) нормы запасов влаги в почве для различных групп лесных биогееценозов, $K(A;B) = 0.186–0.256$

Запасы влаги (мм) в слое	Группы биогееценозов					
0–20 см	21	49	37	41	47	125
0–50 см	42	93	68	111	74	250
0–100 см	91	196	131	189	147	440

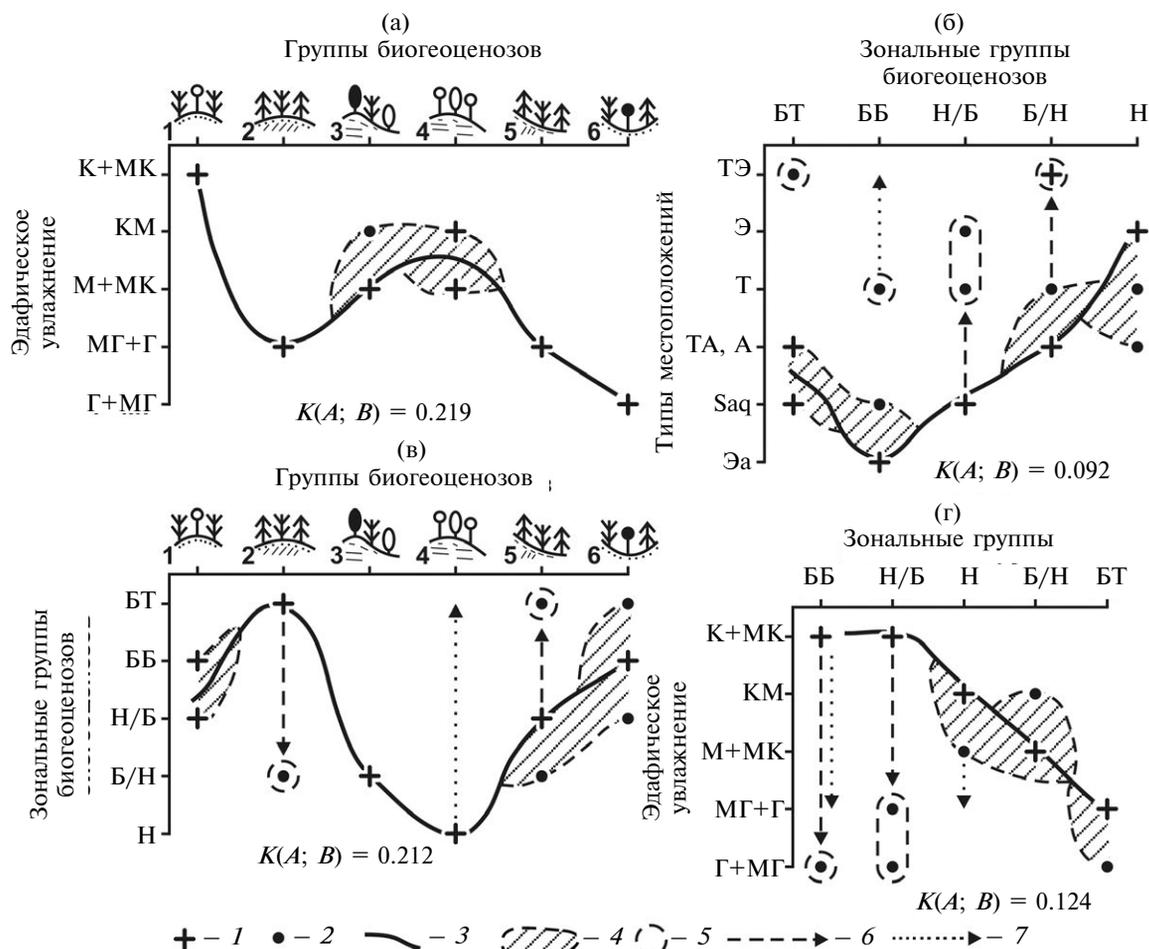


Рис. 3. Бинарная ординация групп биогеоценозов и их зональных групп по типам местоположения и эдафическому увлажнению.

Условные обозначения: 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 градиаций фактора.

Зональные группы биогеоценозов: БТ – бореальная таежная; ББ – бореальная боровая; Н/Б – неморально-бореальная; Б/Н – бореально-неморальная; Н – неморальная. Экологические группы биогеоценозов: К – ксерофитная; МК – мезо-ксерофитная; М – мезофитная; МГ – мезо-гигрофитная; Г – гигрофитная.

Обозначения групп биогеоценозов см. в табл. 1.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ЛИТОГЕННОЙ ОСНОВЫ ЛАНДШАФТОВ

Возникшая в результате происшедших в верхнем плейстоцене и голоцене интенсивных склоновых процессов [2] эрозионно-аккумулятивная морфоскульптура территории заповедника предопределила достаточно контрастную картину глубин залегания карбонатных пород. Общий процесс современного лесовосстановления проходил под эффективным влиянием данного литогенного фактора. Он, во-первых, усложнил зональный биоклиматический подтаежный фон территории появлением *экстразональных фитоценологических структур суббореального литоэдафического*

климакса (дубо-липняков и их мелколиственных дериватов), а во-вторых – предопределил пространственную дифференциацию лесных биогеоценозов, близких к зональному климаксу (группа биогеоценозов 3, см. табл. 1). Неморальная структура фитоценоза наиболее устойчива в экотопах на известняках [10], между тем как на моренных суглинках и глинах идет преобразование неморальной фитоценотической структуры под влиянием ели. Это не что иное как литогенная предопределенность фитоценотической структуры, свойство *литоэдафического климакса*, согласно [18], которое отчетливо проявляется и в зональных группах биогеоценозов.

Оптимальное сочетание литологических условий и гидрологического режима, создающее наиболее благоприятный для лесной растительности тип местообитания $C_2C_3D_3$ (суглинки свежие и влажные), складывается на ТЭ–Т типах местоположений – в верхних и средних частях склонов и в прирвовочной полосе террас (табл. 4, рис. 4б). Здесь известняковые породы с суглинистой корой внутрипочвенного выветривания

подходят наиболее близко к дневной поверхности (глубина ≤ 1 м), обеспечивая тем самым высокую трофность почв, что подтверждается балльными оценками плодородия по экологическим шкалам Д.Н. Цыганова [23]. Грунтовые воды залегают на средних глубинах (0.5–1.0 м) и создают умеренное эдафическое увлажнение. В нижних слоях почвы наблюдается даже переувлажнение, обусловленное поступлением через

Таблица 4. Распределение глубин залегания грунтовых вод в зависимости от литологии коренных пород, $K(A;B) = 0.148$

Глубина залегания известняка, м	Уровень грунтовых вод, м				
	0	0–0.5	0.5–1.0	1.0–2.0	более 2.0
менее 1	–	0.45	0.34	0.25	0.19
1–2	–	0.55	0.34	0.21	–
2–4	–	–	0.14	0.24	–
4–7	0.46	–	–	0.22	0.24
до 20 и более	0.54	–	0.17	0.08	0.57

Примечание. Выделены доминирующие области экологических ниш.

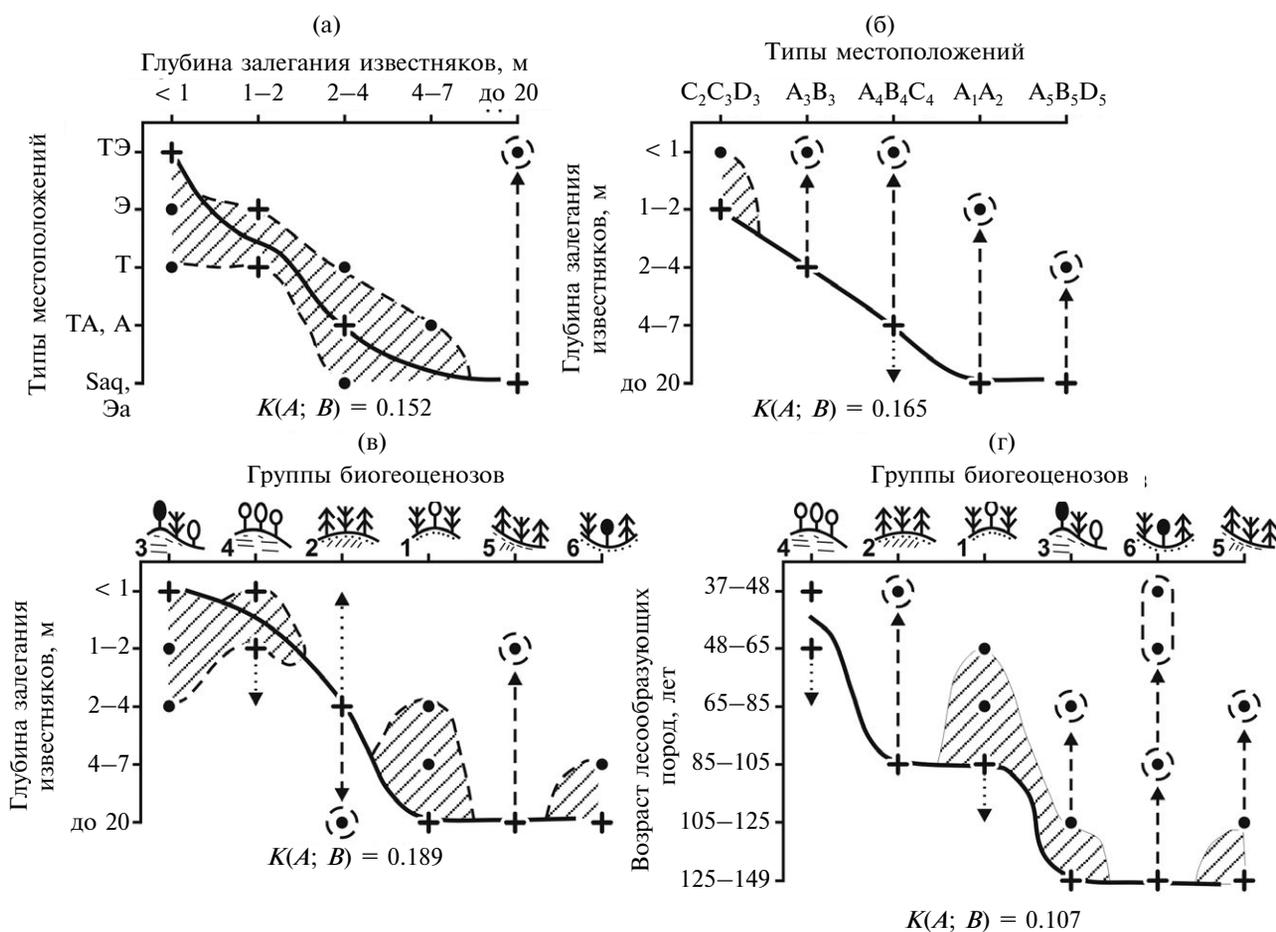


Рис. 4. Парциальные связи типов местоположений, глубин залегания известняков, типов местообитания и групп биogeocoenозов, а также возраста лесообразующих пород.

Типы местообитания, по [17]: $C_2C_3D_3$ – суглинки свежие и влажные; A_3B_3 – пески и супеси влажные; $A_4B_4C_4$ – пески-суглинки сырые; $A_5B_5D_5$ – пески-суглинки мокрые. Остальные обозначения те же, что и на рис. 3 и в табл. 1.

известняково-доломитовые трещины глубинных вод, создающих капиллярную кайму над горизонтом водонасыщения [29]. Рыхлый же элювий карбонатных пород, обладающий высокой порозностью и водопроницаемостью, обеспечивает устойчивое поступление грунтовых вод в почву. В результате формируются наиболее трофные альфегумусовые почвы – дерново-подбуры типичные [12]. К таким экологическим условиям приурочены, как правило, *экстразональные суббореальные типы биогеоценозов* с дубово-липовыми березняками, а также с сосново-липово-дубовыми и сосново-березовыми лесами (рис. 4в) – наследием коренной сосново-широколиственной формации, господствовавшей в прошлом, согласно Г.Ф. Морозову [17], в северной лесостепи Русской равнины.

РЕГИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЛОКАЛИЗОВАННОЙ ПРИРОДНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ

Немаловажный интерес представляют зональная принадлежность различных групп биогеоценозов и зависимость зональных свойств лесных сообществ от абиотических факторов среды, которые создают региональные системы локализованной природной зональности [15]. Зонально-географический облик фитоценоза отображается в напочвенном растительном покрове как показатель *биологически равноценных местобитаний*, по определению Л.Г. Раменского и А. Каяндера [26].

Несмотря на то, что все современные лесные сообщества заповедника находятся еще в состояниях различных восстановительных стадий [5, 22], практически все они уже приобрели отчетливые зональные черты (см. рис. 3в), которые тесно связаны с тремя абиотическими факторами-эдификаторами: типом МП (см. рис. 3б), глубинами залегания известняков и грунтовых вод (табл. 5), а также с поверхностным увлажнением эдафотопы (рис. 3г). Мезоморфные и ксеро-мезоморфные сосново-липово-дубовые леса (группа 3) как представители подтаежной зоны Среднеокского бассейна относятся по экологическому доминанту к *зонально-климатической бореально-неморальной группе* и сформировались

в условиях достаточно близкого залегания известняково-доломитовых пород (в основном до 1.5–2 м), а также умеренных глубин зеркала грунтовых вод (не более 1 м). Мезо-гидроморфные сосново-еловые леса плоских междуречий (группа 2), а также их крайне гидроморфные варианты в речных долинах и плоских западинах (группа б), развитые на мощных песках, но с близким залеганием моренных суглинков, однозначно образуют *экстразональную группу бореально-таежного литоздафического климатса*. Наконец, липово-березовые леса с дубом и осиной (группа 4) как производные от коренных дубо-липняков, образуют противоположный – *неморальный “полюс” экстразонального литоздафического климатса*. Эта зонально-географическая группа биогеоценозов сформировалась в условиях наиболее близкого залегания известняка и умеренных глубин грунтовых вод, создающих доминирующее ксеро-мезоморфное эдафическое увлажнение.

Региональная система локальной зональности в заповеднике отличается *высокой контрастностью даже на плакорных типах местоположений* (см. табл. 2, рис. 3б). Бореальная таежная группа биогеоценозов (Э и ТЭ еловые и елово-сосновые зеленомошно-разнотравные леса) соседствуют с зональными представителями неморальнолесной подзоны (ТЭ и Т дубово-липово-березовыми лесами), а также с промежуточными экосистемами подтаежного типа (сосново-липово-дубовыми разнотравными лесами), при почти одинаковом механическом составе почвообразующих пород (карбонатно-суглинистых отложениях, перекрытых тонким песчаным плащом). Это указывает на *значительное перекрытие их экологических ниш*, которое должно вызывать их обостренную взаимную конкуренцию и как следствие – *высокую потенциальную способность к взаимным функционально-структурным переходам* при том или ином климатическом тренде.

ГЕОСИСТЕМНЫЙ МОНИТОРИНГ

Главные требования к биосферному заповеднику как объекту геосистемного мониторинга, согласно И.П. Герасимову [7], состоят

Таблица 5. Таксономические (средневзвешенные) нормы глубин залегания (м) грунтовых вод ($K(A;B) = 0.097$) и известняка ($K(A;B) = 0.104$) для различных зональных групп лесных биогеоценозов

Глубина залегания	Зональные группы биогеоценозов				
	бореальная таежная	бореальная боровая	неморально-бореальная	бореально-неморальная	неморальная
грунтовых вод	0.67	1.82	1.19	0.92	1.14
известняка	7.02	6.82	8.04	3.21	2.89

в том, что почвенно-растительный покров данной территории по уровню своего структурного и функционального развития должен быть: 1) репрезентативным представителем данной региональной биоклиматической системы; 2) достаточно надежным средством слежения за естественными и антропогенными изменениями природных условий; 3) вполне представительным объектом для проведения прогнозных экологических экспериментов при различных сценариях внешних воздействий. Если говорить об оценке и прогнозе состояний природных экосистемах в связи с глобальными изменениями климата, т.е. о разделе *биосферного мониторинга*, то наибольшей репрезентативностью по всем трем требованиям здесь обладают *климаксные (или субклимаксные) биогеосистемы*. В этом отношении вряд ли можно согласиться с утверждением о том, что “... климаксное сообщество филогенетически зрелой экосистемы с точки зрения задач экологического мониторинга – очень неудобный объект наблюдения” [24, с. 18]. Как раз наоборот, именно такое сообщество, которое соответствует зонально-региональной биоклиматической системе, способно наиболее адекватно отслеживать фоновые климатические изменения и вносить свой вклад в общемировую систему глобального мониторинга. Не случайно И.П. Герасимов подчеркнул, что “... биосферный мониторинг должен прежде всего опираться на систему геоэкологических зональных и региональных полигонов ...” [7, с. 124], имея несомненно в виду гео(эко-)системы с зонально-региональными биоклиматическими свойствами как основные объекты глобального биосферного мониторинга

Пока региональная биоклиматическая система не получила своего достаточно полного воплощения в растительном покрове на данном участке биосферы, подвергнутом ранее мощному антропогенному воздействию (как это случилось с территорией Приокско-Террасного заповедника), флоро- и фитоценотические представители этой территории проходят через определенные сукцессионные этапы. На этих этапах весьма существенную роль в пространственной организации фитоценозов играет *комплексный литогенный фактор* – система локальных ландшафтных сопряжений (катен) и тесно связанные с нею литология и механический состав почвообразующих пород. Соответственно, в этот достаточно длительный период наиболее ярко выражена *катенарная система природно-территориальной организации*, с отчетливой поляризацией двух противостоящих факторов – литоморфности и гидроморфности [15], поэтому *данный период эндогенной траектории развития лесного покрова будем называть литогенным*.

Описанный выше пространственно-временной срез с этой траектории в Приокско-Террасном заповеднике характеризует именно *литогенный период лесовосстановительного процесса* на данной территории. Об этом же свидетельствуют известные нам геоботанические и почвенные исследования в данном экорегионе [5, 12, 23 и др.]. Выраженная “экопическая неоднородность” растительного покрова заповедника [10] – наглядное доказательство ведущей фитоценологической роли литогенного фактора

Таким образом, Приокско-Террасный заповедник представляет собой весьма благоприятный объект для осуществления *регионального геоэкологического мониторинга*, в задачи которого входят “... контроль над сукцессионным ходом формирования климаксных (эталонных) экосистем, охрана и обеспечение стабильного состояния последних на основе сохранения их естественной функциональной структуры” [7, с. 131]. Объектами мониторинга здесь выступают не только коренные растительные сообщества, но и их различные антропогенные модификации и восстановительные серии, т.е. широкий спектр *природно-антропогенных систем* [9]. Такой спектр в заповеднике изначально обеспечен разнообразием самих коренных (квази-климаксных) растительных сообществ. Будучи зональным экотонном между подтаежной зоной и подзоной широколиственных лесов в Центре Русской равнины, данная территория является не только ареной распространения локальных представителей этих двух биоклиматических систем. Сюда трансgressируют с севера южно-таежные еловые леса [5, 22], которые выходят здесь в ранг коренных ассоциаций со своим квазиклиматическим климаксом.

Однако более масштабные задачи *глобального биосферного мониторинга* требуют информации “... о глобальном фоновом состоянии биосферы” [6, с. 7]. Система наблюдений “... за главными параметрами современной биосферы” [7, с. 123] должна включать анализ и прогноз мировых балансов тепла, влаги и важнейших химических элементов, глобальную, биологическую продуктивности суши и др. Очевидно, что общепланетарная процедура слежения за природной средой и прогноза ее изменений может эффективно работать только на основе сопоставимых базовых данных, а именно параметров поведения зонально-региональных климаксных или квазиклимаксных, т.е. эталонных, по И.П. Герасимову, природных экосистем. Согласно [9], здесь главное внимание должно быть уделено не режимным или воспроизводимым видам изменений природных комплексов, а их *эволюционным преобразованиям*, ведущим к смене самого геосистемного инварианта.

ОЦЕНКА ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ КАК ОБЪЕКТОВ БИОСФЕРНОГО МОНИТОРИНГА

Состояние лесных экосистем заповедника, за редким исключением, делает весьма проблематичным использование его как объекта глобального биосферного мониторинга. Фитобиота здесь находится в большинстве случаев на различных этапах лесовосстановления: раннесукцессионном, промежуточном и позднесукцессионном. Такая чрезвычайно раздробленная по территории заповедника и контрастная фитоценотическая динамика весьма затрудняет решение узловых задач мониторинга [11] – отделить признаки экзогенной однонаправленной траектории изменений экосистемы от признаков ее эндогенной динамики, а также осуществить прогноз ее экзогенных преобразований. Лесные сообщества почти повсеместно еще не достигли циклической стадии своих эндогенных трансформаций, которые носят так же пока еще однонаправленный характер [10, 12], что и позволяет давать определенный эндоэкогенетический прогноз [22], но отнюдь не прогноз экзоэкогенетический.

В заповеднике полноправными объектами биосферного мониторинга могут рассматриваться в первую очередь филогенетически наиболее зрелые (с возрастом 125–150 лет) мезоморфные и ксеро-мезоморфные сосново-широколиственные, с елью в подросте, разнотравные и широколиственные леса (группа биогеоценозов 3, рис. 4г). Эти леса встречаются в достаточно широком диапазоне типов местоположений (см. табл. 2), однако они занимают не более 5–7% территории заповедника [4]. Процесс замены сосны елью здесь находится в позднесукцессионной стадии, с выходом елового подроста во второй ярус. Тем не менее эти сообщества, составляющие с учетом елового подроста уже до 45% площади заповедника, еще не достигли коренного состояния елово-широколиственных лесов, поэтому они могут условно считаться лишь как квазиклимаксные сообщества.

Согласно концепции глобального биосферного мониторинга [6, 7] репрезентативность того или иного объекта должна оцениваться главным образом по характеристикам его функционирования – в первую очередь по первичной биопродуктивности и биологическому круговороту. Эти комплексные показатели состояния природного комплекса характеризуют эффективность использования его фитобиотой ресурсов среды с соответствующим обеспечением ее выживания в кризисных экстремальных ситуациях [9]. Проведем экспертную оценку функциональных показателей топоэкосистем Приокско-террасного заповедника.

Мезоморфные и ксеро-мезоморфные хвойно-широколиственные леса, которые условно приняты за квазиклимаксный эталон, существенно отличаются от общего фитоценотического фона заповедника по целому ряду функциональных параметров (табл. 6). Они обладают максимальным общим годовым производством органического вещества (PC), а также, ввиду их преобладающего 125–150-летнего и более возраста, имеют максимальные запасы живой надземной массы (BL) и мертвой фитомассы (BD), главным образом дебриса. Правда, при своем перестойном состоянии они имеют слабый годичный прирост скелетной фитомассы (PS) и сравнительно низкую эффективность продукционного процесса (KE), что свидетельствует об их близости к климатическому климаксу [19]. Однако низкий подстилочно-опадный индекс (KY) совместно с общей высокой продуктивностью указывают на максимально возможную в данных зональных условиях интенсивность биологического круговорота, которая и должна обеспечить репрезентативность данных хвойно-широколиственных сообществ как объектов глобального биосферного мониторинга.

Добавим к сказанному результаты теоретико-множественного моделирования лесных биогеоценозов заповедника по множеству дискретных функциональных параметров: живым и мертвым фитомассам, продуктивности и биологическому круговороту (рис. 5, см. табл. 2). Во-первых, эталонные лесные сообщества оказываются на территории заповедника не только весьма редкими, но и в определенной мере экзотичными: осредненная мера их функционального сходства $N_k(\text{cp})$ со всеми остальными сообществами минимальна и равна 0.78 против $N_k(\text{cp}) = 0.81–0.85$ у всех других групп сообществ. Характерен при этом весьма высокий изоморфизм ($N_k(\text{cp}) = 0.91$) подтаежных смешанных лесов с южнотаежными сосново-еловыми лесами водоразделов и подножий склонов (группы 2 и 5). Это согласуется с развивающимся в настоящее время процессом широкой экспансии ели в смешаннолесные сообщества [5, 22].

Во-вторых, еще более разительна экзотичность квазиклимаксных хвойно-широколиственных лесов по функциональному состоянию их экологического пространства, что отражено на структурной схеме доминирования биогеоценологических групп (см. рис. 5б). По значению параметра S^m_k эти лесные сообщества отнесены к категории макроболитов, т.е. они обладают наиболее развитыми механизмами продуцирования и круговорота органического вещества. Они также в наибольшей степени отображают зонально-региональное экологическое пространство заповедника и в этом смысле отличаются

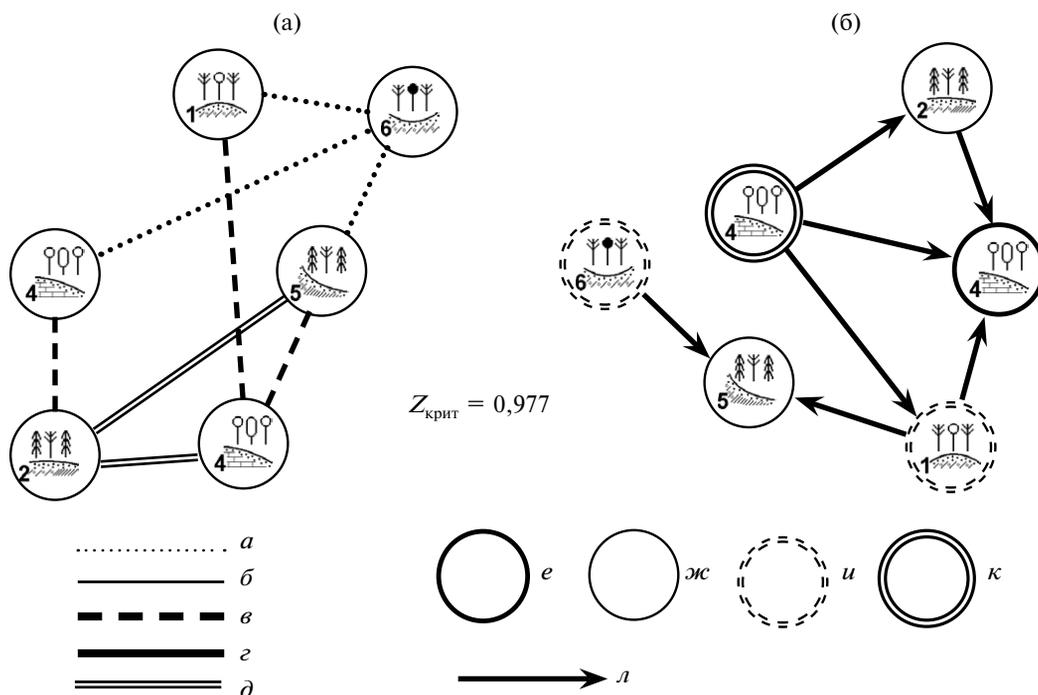


Рис. 5. Схемы нетранзитивных отношений между группами биogeоценозов Приокско-Террасного заповедника по параметрам структуры лесных сообществ: граф отношений сходства (А); оргграф отношений доминирования (Б). Меры сходства: а – 0,65–0,70; б – 0,76–0,80; в – 0,86–0,85; г – 0,86–0,90; д – 0,91–0,95. Экотипы лесных сообществ: е – доминанты; ж – темпоральные экотипы; и – субпессимальные; к – пессимальные; л – направление включения. $Z_{крит}$ – критический порог неразличимости. Остальные обозначения см. в табл. 1.

наибольшей резистентной устойчивостью, т.е. максимальными запасами гомеостатичности (G_k). С другой стороны, достаточно интенсивный годовой оборот надземной живой фитомассы (KR) и незначительные запасы лесной подстилки (ML) обеспечивают им высокий лесовосстановительный потенциал – упругую устойчивость (IS , см. табл. 6).

Представители соседней южной тайги – сосново-еловые леса и ельники южнотаежного облика на плоских моренно-суглинистых междуречьях (группа 2) существенно отличаются значениями параметров PC , S^m_k и G_k от подтаежного квазиклиматического эталона. Резистентная устойчивость их средняя, однако, лесовосстановительный потенциал (IS) невысок ввиду низких значений KR и большой массы лесной подстилки. Несмотря на значительную эффективность продукционного процесса (KE), высокий подстилочно-опадный индекс (около 6,5 лет) свидетельствует о весьма слабой интенсивности биологического круговорота. Следовательно, здесь можно ожидать более длительную реакцию лесного сообщества на тот или иной гидротермический сигнал по сравнению с эталонными смешанными лесами.

Своеобразные функциональные черты свойственны второму представителю южной тай-

ги – мезо-гидроморфным ельникам и сосново-еловым лесам нижних частей склонов и их подножий (группа биogeоценозов 5, см. рис. 5 и табл. 6). Эти сообщества приближаются к *экстразональному гидроэдафическому климаксу*. По общему уровню функционирования они выходят в разряд метаболитов с максимальными запасами гомеостатичности, что указывает на их относительно слабую чувствительность к внешним воздействиям. Вместе с тем в них резко снижены эффективность продукционного процесса и скорость биологического круговорота (об этом можно судить по параметру KY), что связано с весьма малой годичной продуктивностью, а также со слабым разложением лесной подстилки и дубрисы. Соответственно минимальные значения здесь принимает упругая устойчивость (IS). Таким образом, данные лесные сообщества не могут служить в заповеднике достаточно репрезентативными объектами глобального биосферного мониторинга

Две крайних экстразональных группы литоэдафических климаксов: липово-осиново-березовые леса на известняках и доломитах (группа 4) и трансэлювиальные сосняки на мощных песках (группа 1), будучи наиболее молодыми образованиями, обладают минимальными запасами живой фитомассы (BL), но повышенной

Таблица 6. Таксономические (средневзвешенные) нормы некоторых дискретных показателей биологического круговорота в лесных биогеоценозах Приокско-Террасного заповедника (фитомассы и продуктивности)

Группа биогеоценозов	Параметр				
	<i>BL</i>	<i>PS</i>	<i>PC</i>	<i>ML</i>	<i>BD</i>
 1	260.75	3.66	12.66	23.12	80.72
 2	313.30	5.46	11.51	25.85	52.86
 3	376.45	3.64	14.21	18.18	110.62
 4	261.05	5.07	12.44	17.60	31.18
 5	287.70	3.48	9.29	43.64	93.72
 6	106.41	2.39	12.19	44.57	79.11

Биологический круговорот

Группа биогеоценозов	Параметр				
	<i>KR</i>	<i>KE</i>	<i>KY</i>	<i>KP</i>	<i>IS</i>
 1	0.036	0.060	3.74	0.292	0.413
 3	0.019	0.058	6.43	0.784	0.224
 3	0.026	0.035	1.89	0.310	0.408
 4	0.035	0.063	3.33	0.145	0.427
 5	0.018	0.043	7.95	0.758	0.175
 6	0.164	0.179	5.04	1.059	0.505

Примечание. Фитомассы, т/га: *BL* – общая надземная; *ML* – лесной подстилки; *BD* – общая мертвая. Продукция, т/га в год: *PS* – скелетной массы; *PC* – общая надземная и подземная.

KR – коэффициент годичного оборота надземной фитомассы; $KE = PC / BC$, где *BC* – общая фитомасса (КПД фитоценоза). *KY* – подстильно-опадный индекс;

$KP = BD / BL$ – коэффициент многолетней деструкции; *IS* – индекс упругой устойчивости лесного фитоценоза (см. [13]).

продуктивностью (PC), а также высокими значениями параметров KR и KE и умеренными – индекса KY , что указывает на их эффективный и достаточно интенсивный биологический круговорот. Соответственно они обладают экстраординарным лесовосстановительным потенциалом (IS), особенно неморальнолесные сообщества литоэдафического климакса (см. табл. 6). Тем не менее по обобщенному показателю функционирования обе эти фитоценотические группы оказываются в категориях соответственно микроболитов и субмикроболитов, с минимальными значениями как метаболического индекса, так и запасов гомеостатичности (см. рис. 5). Низкий уровень функционирования (S^m_k) этих сообществ сочетается с их высокой чувствительностью к внешним возмущениям. Однако остается открытым вопрос, насколько локальные вещественно-энергетические балансы, построенные на основе экзогенной динамики таких весьма динамичных экосистем, будут отражать гораздо более устойчивую зонально-региональную систему указанных балансов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В качестве приоритетных объектов глобального биосферного мониторинга в Приокско-Террасном заповеднике как подтаежном экорегионе могут рассматриваться две группы лесных биогеоценозов: 1) мезоморфные и мезо-ксероморфные сосново-липово-дубовые и сосново-липовые разнотравные и широколиственные леса в широком диапазоне ландшафтных сопряжений (от элювиальных геотопов до трансаккумулятивных); 2) мезо-гидроморфные еловые и елово-сосновые кислично-зеленомошные леса плоских слабо дренируемых водоразделов (элювиальные). Первая группа биогеоценозов эвритопна, но весьма спорадична, с мелкими разорванными ареалами (см. рис. 1). Она позволит выявить катенарное многообразие локального отклика в подтаежной фитосреде на фоновые гидро-климатические воздействия. Вторая же группа лесных образований, как более монолитная и широко распространенная, будет характеризовать данный отклик в условиях трансгрессии экстразонального биоклиматического режима южной тайги (экспансии ели) на территорию подтаежной зоны, вплоть до ее южной границы.

Усложнение объектов биосферного мониторинга в Приокско-Террасном заповеднике по сравнению с предложенными ранее методическими положениями [24] имеет и свою положительную сторону. Она состоит в возможности рассмотрения экзогенной динамики лесных фитоценозов в системе их *катенарной*

организации, которая наиболее ярко проявляется именно в переходные этапы становления растительного покрова как репрезентативного представителя той или иной региональной биоклиматической системы. Учет катенарной организации природных комплексов дает наиболее полное представление о пространственном многообразии фитоценологических и ландшафтных структур в рамках данной биоклиматической системы [28]. Соответственно, представляется возможность выявить многообразие их ответной реакции на внешние воздействия – как естественные климатические, так и антропогенные. Катенарная организация лесных биогеоценозов и типов леса достаточно четко проявляется на территории заповедника. Об этом же говорят и результаты геоботанических исследований [10]. Однако работа с такими фитоценологическими объектами, многие из которых весьма далеки от зонального климакса, существенно усложнит саму процедуру мониторинга.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 18-05-00024-а.

FUNDING

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 18-05-00024-a.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреев В.Л.* Классификационные построения в экологии и систематике. М.: Наука, 1980. 142 с.
2. *Асаинова Ж.С., Иванов И.В.* Эволюция почв Приокско-террасного биосферного заповедника / Проблемы эволюции почв. Пушино: Ин-т физ.-хим. и биол. проблем почвоведения РАН, 2003. С. 122–131.
3. *Базилевич Н.И., Гребенщиков О.С., Тишков А.А.* Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука, 1986. 297 с.
4. *Бобровский М.В., Брынских М.Н.* Атлас карт Приокско-террасного заповедника. М.: ООО БИО-ПРЕСС, 2005. 63 с.
5. *Бобровский М.В., Ханина Л.Г.* Характеристика сукцессионных процессов в лесной растительности Приокско-террасного государственного природного заповедника на основе лесоустроительных материалов / Экосистемы Приокско-Террасного биосферного заповедника. Пушино: Приокско-террасный биосферный заповедник, 2005. С. 49–64.
6. *Герасимов И.П.* Биосферные станции-заповедники, их задачи и программа деятельности // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1978. № 2. С. 5–17.

7. Герасимов И.П. Экологические проблемы в прошлой, настоящей и будущей географии Мира. М.: Наука, 1985. 247 с.
8. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1964. 230 с.
9. Грин А.М. Геосистема как объект мониторинга / Геосистемный мониторинг в биосферных заповедниках. М.: Ин-т географии АН СССР, 1984. С. 6–13.
10. Заугольнова Л.Б. Оценка и сохранение биоразнообразия лесного покрова в заповедниках Европейской России. М.: ЦЭПЛ РАН, 2000. 196 с.
11. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 275 с.
12. Иванов И.В., Шадриков И.Г., Асаинова Ж.С., Дмитраков Л.М. Пространственно-временные соотношения почвенного и растительного покровов на границе южной тайги и смешенных лесов в условиях антропогенного воздействия / Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв. М.: Наука, 2006. С. 78–97.
13. Ковда В.А., Керженцев А.С., Заболоцкая Л.В., Гордеева Е.В. Пространственная и временная изменчивость природной среды экологического региона Центральной России / Биосферные заповедники. Тр. II Сов.-амер. симп. Л.: Гидрометеиздат, 1982. С. 162–163.
14. Коломыц Э.Г. Бореальный экотон и географическая зональность. Атлас-монография. М.: Наука, 2005. 390 с.
15. Коломыц Э.Г. Локальные механизмы глобальных изменений природных экосистем. М.: Наука, 2008. 427 с.
16. Коломыц Э.Г., Сурова Н.А. Экологическое пространство и устойчивость высокогорно-луговых геосистем // География и природные ресурсы. 2014. № 4. С. 120–131.
17. Морозов Г.Ф. Учение о лесе. М.–Л.: Гослесбуиздат, 1949. 368 с.
18. Одум Ю. Основы экологии / пер. с англ. М.: Мир, 1971. 574 с.
19. Погребняк П.С. Общее лесоводство. М., 1968. 440 с.
20. Пузаченко Ю.Г., Скулкин В.С. Структура растительности лесной зоны СССР: Системный анализ. М.: Наука, 1981. 275 с.
21. Работнов Т.А. Фитоценология. М.: Изд-во МГУ, 1978. 384 с.
22. Смирнова О.В. Восточноевропейские леса. История и современность. Кн. 2. М.: Наука, 2004. 575 с.
23. Смирнова О.В., Попадюк Р.В. Экологический и демографический анализ растительных сообществ заповедника / Сукцессионные процессы в заповедниках России и проблемы сохранения биологического разнообразия. СПб.: Русское ботаническое о-во, 1999. С. 254–264.
24. Соколов В.Е., Пузаченко Ю.Г. Естественная динамика биоценозов как базис экологического мониторинга // Биосферные заповедники. Тр. II Сов.-амер. симп. Л.: Гидрометеиздат, 1982. С. 8–20.
25. Сочава В.Б. Геотопология как раздел учения о геосистемах // Топологические аспекты учения о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1974. С. 3–86.
26. Сукачев В.Н. Избранные труды. Т. 1. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Л.: Наука, 1972. 418 с.
27. Сукачев В.Н. Избранные труды. Т. 3. Проблемы фитоценологии. Л.: Наука, 1975. 543 с.
28. Тишков А.А. Биосферные функции природных экосистем России. М.: Наука, 2005. 310 с.
29. Учеватов В.П. Геологическое строение и особенности водного режима почво-грунтов пикетов биосферной станции / Экосистемы южного Подмосковья. М.: Наука, 1979. С. 53–69.
30. Шарая Л.С. Предсказательное картографирование лесных экосистем в геоэкологии // Поволжский экол. журн. 2009. № 3. С. 249–257.
31. Allen D.M. The relationship between variable selection and data augmentation and a method for prediction // Technometrics. 1974. V. 16. P. 125–127.
32. Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. The problem of scale-specific and scale-free approaches in geomorphometry // Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria. 2005. V. 28. № 1. P. 81–101.

REFERENCES

1. Andreev V.L. *Klassifikatsionnye postroeniya v ekologii i sistematike* [Classification Constructions in Ecology and Systematics]. Moscow: Nauka Publ., 1980. 142 p.
2. Asainova Zh.S., Ivanov I.V. Soil evolution on the By-Oka-terrace biosphere reserve. In *Problemy evolyutsii pochv* [Problems of Soil Evolution]. Pushchino, 2003, pp. 122–131. (In Russ.).
3. Bazilevich N.I., Grebenshchikov O.S., Tishkov A.A. *Geograficheskie zakonomernosti struktury i funkcionirovaniya ekosistem* [Geographical Conformity to Natural Laws of Ecosystems Structure and Functioning]. Moscow: Nauka Publ., 1986. 297 p.
4. *Atlas kart Prioksko-terrasnogo zapovednika* [Map Atlas of the Oka Terrace Reserve]. Bobrovsky M.V., Brynskikh M.N., Eds. Moscow: BIOPRESS Publ., 2005. 63 p.
5. Bobrovsky M.V., Khanina L.G. Characteristics of succession processes in forest vegetation of the Oka Terrace State Nature Reserve on the basis of forestry materials. In *Ekosistemy Prioksko-terrasnogo biosfernogo zapovednika* [Ecosystems of the Oka Terrace Biosphere Reserve]. Pushchino, 2005, pp. 49–64. (In Russ.).
6. Gerasimov I.P. Biospherestations-reserves, their problems and program of the activity. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1978, no. 2, pp. 5–17. (In Russ.).
7. Gerasimov I.P. *Ekologicheskie problemy v proshloi, nastoyashchei i budushchei geografii Mira* [Ecological Problems in Past, Present and Future World Geography]. M.: Nauka Publ., 1985. 247 p.
8. Glazovskaya M.A. *Geokhimicheskie osnovy tipologii i metodiki issledovaniy prirodnykh landshaftov* [Geochemical Bases for Typology and Methods of Natural Landscapes Investigations]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1964. 230 p.
9. Grin A.M. Geosystem as an object of monitoring. In *Geosistemnyi monitoring v biosfernykh zapovednikakh* [Geosystem Monitoring in Biosphere

- Reserves]. Moscow: Inst. Geogr. Akad. Nauk SSSR, 1984, pp. 6–13. (In Russ.).
10. *Otsenka i sokhranenie bioraznoobraziya lesnogo pokrova v zapovednikakh Evropeiskoi Rossii* [Evaluation and Preservation of Forest Cover Biodiversity in the Reserves of European Russia]. Zaigolnova L.B., Ed. Moscow, 2000. 196 p.
 11. Izrael Yu.A. *Ekologiya i kontrol' sostoyaniya prirodnoi sredy* [Ecology and Control of Natural Environment State]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1979. 275 p.
 12. Ivanov I.V., Shadrikov I.G., Asainova Zh.S., Dmitrakov L.M. Spatio-temporal correlations of soil-vegetation covers on the boundary of south taiga and mixed forests under conditions of anthropogenic influence. In *Pochvennye protsessy i prostranstvenno-vremennaya organizatsiya pochv* [Soil Processes and Space-Time Organization of Soils]. Moscow: Nauka Publ., 2006, pp. 78–97. (In Russ.).
 13. Kovda V.A., Kerzhentsev A.S., Zabolotskaya L.V., Gordeeva E.V. Spatial and temporal variability of natural environment in ecological region of Central Russia. In *Biosfernye zapovedniki. Tr. II Sovetsko-amerikanskogo simp.* [Biosphere Reserves. Trans. of the II Soviet-American Symposium]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1982, pp. 162–163. (In Russ.).
 14. Kolomyts E.G. *Boreal'nyi ekoton i geograficheskaya zonal'nost'. Atlas-monografiya* [Boreal Ecotone and Geographical Zonality. Atlas-Monograph]. Moscow: Nauka Publ., 2005. 390 p.
 15. Kolomyts E.G. *Lokal'nye mekhanizmy global'nykh izmenenii prirodnykh ekosistem* [Local Mechanisms of Global Changes in Natural Ecosystems]. Moscow: Nauka Publ., 2008. 427 p.
 16. Kolomyts E.G., Surova N.A. Ecological space and stability of high mountain meadow ecosystems. *Geogr. Prir. Resur.*, 2014, no. 4, pp. 120–131. (In Russ.).
 17. Morozov G.F. *Uchenie o lese* [Forest Studies]. M.–Leningrad: Goslesbumizdat Publ., 1949. 7th ed. 368 p.
 18. Odum E.P. *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia: W.B. Saunders, 1971. 574 p.
 19. Pogrebnyak P.S. *Obshchee lesovodstvo* [General Forestry]. Moscow: Nauka Publ., 1968. 440 p.
 20. Puzachenko Yu.G., Skulkin V.S. *Struktura rastitel'nosti lesnoi zony SSSR: Sistemnyi analiz* [Structure of Vegetation in Forest Zone of the USSR: System Analysis]. Moscow: Nauka Publ., 1981. 275 p.
 21. Rabotnov T.A. *Fitotsenologiya* [Phytocoenology]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1978. 384 p.
 22. Smirnova O.V. *Vostochno-evropeiskie lesa. Istoriya i sovremennost'* [Eastern European Forests. History and Modernity]. Moscow: Nauka Publ., 2004, vol. 2. 575 p.
 23. Smirnova O.V., Popadyuk R.V. Ecological and demographical analysis of plant communities in reserve. In *Suktsessionnye protsessy v zapovednikakh Rossii i problemy sokhraneniya biologicheskogo raznoobraziya* [Succession Processes in Russian Reserves and Problems of Biodiversity Preservation]. St. Petersburg: Russ. Botanicheskoe O–vo, 1999, pp. 254–264. (In Russ.).
 24. Sokolov V.E., Puzachenko Yu.G. Natural dynamics of biogeocoenoses as a basis of ecological monitoring. In *Biosfernye zapovedniki. Tr. II Sovetsko-amerikanskogo simp.* [Biosphere Reserves. Trans. of the II Soviet-American Symposium]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1982, pp. 8–20. (In Russ.).
 25. Sochava V.B. Geotopology as part of the geosystems science. In *Topologicheskije aspekty ucheniya o geosistemakh* [Topological Aspects of the Geosystems Science]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1974, pp. 3–86. (In Russ.).
 26. Sukachev V.N. *Izbrannye trudy* [Selected Works], vol. 1: *Osnovy lesnoi tipologii i biogeotsenologii* [Foundations of Forest Typology and Biogeocoenology]. Leningrad: Nauka Publ., 1972. 418 p.
 27. Sukachev V.N. *Izbrannye trudy* [Selected Works], vol. 3: *Problemy fitotsenologii* [Problems of Phytocoenology]. Leningrad: Nauka Publ., 1975. 543 p.
 28. Tishkov A.A. *Biosfernye funktsii prirodnykh ekosistem Rossii* [Biosphere Functions of Natural Ecosystems in Russia]. Moscow: Nauka Publ., 2005. 310 p.
 29. Uchvatov V.P. Geological structure and peculiarities of soil-ground water regime in pikets of biosphere station. In *Ekosistemy yuzhnogo Podmoskov'ya* [Ecosystems of the South of the Moscow Region]. Moscow: Nauka Publ., 1979, pp. 53–69. (In Russ.).
 30. Sharaya L.S. Predictive mapping of forest ecosystem in geoecology. *Povolzhskii Ekol. Zh.*, 2009, no. 3, pp. 249–257. (In Russ.).
 31. Allen D.M. The relationship between variable selection and data augmentation and a method for prediction. *Technometrics*, 1974, vol. 16, no. 1, pp. 125–127.
 33. Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. The problem of scale-specific and scale-free approaches in geomorphometry. *Geogr. Fis. Din. Quat.*, 2005, vol. 28, no. 1, pp. 81–101.

Results and Prospects of Geosystem Monitoring in Prioksko-Terrasny Biosphere Reserve

E. G. Kolomyts*

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

**e-mail: egk2000@mail.ru*

Received November 26, 2015; revised December 26, 2018; accepted January 25, 2019

The empirical-statistical models of spatial organization and function of forest biogeocoenoses of the Prioksko-Terrasny Reserve are developed. The edaphic climaxes of forest communities reflecting the diversity of zonal structures of this subtaiga region are revealed. The causal mechanisms of climax formation are described. The role of catenary organization of biogeocoenoses, as well as the lithogenic factor and the hydrological regime in the structure of forest cover is demonstrated. It is shown that the nature reserve can be a favorable testing ground for regional geosystem monitoring. However, the range of objects for solving the problems of global biosphere monitoring is very limited here due to ubiquitous forest regeneration successions. The two groups of forest biogeocoenoses are proposed as priority objects in respect to structural development and biological cycle parameters – (1) mesomorphic and meso-xeromorphic pine-lime-oak and pine-lime mixed grass and broad grass forests in a wide range of landscape interfaces (from eluvial geotopes to transaccumulative); (2) meso-hydromorphic spruce and spruce-pine acid-green forests of flat poorly drained watersheds (eluvial). This significantly diversifies the objects of geosystem monitoring.

Keywords: biosphere reserve, forest biogeocoenoses, spatial organization, functioning, modeling, geosystem monitoring.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019341-56>