

DOI:10.17308/978-5-9273-3692-0-2023-129-132

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ЛЕСНОГО ПОКРОВА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ
(ОЦЕНКА НА ОСНОВЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ МЕТРИК ФРАГМЕНТАЦИИ)****SPATIAL STRUCTURE OF THE MOSCOW REGION FOREST COVER (BASED ON
QUANTITATIVE FRAGMENTATION METRICS)****Котлов И.П., Курбатова Ю.А.**

Kotlov I.P., Kurbatova Yu.A.

e-mail: ikotlov@sev-in.ru

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова РАН, Москва, Россия

A.N. Severtsov institute of ecology and evolution of the Russian academy of sciences, Moscow, Russia

Аннотация. В ландшафтной экологии структура экосистем рассматривается как сочетание взаимодействующих пространственных элементов с их площадью, конфигурацией, ориентацией, соседством, фрагментированностью. Все более актуальной становится тема оценки пространственной структуры экосистем (измерения фрагментации) в связи с функциями экологического каркаса территории. Показано наличие широкого спектра взаимосвязей метрик фрагментации и геоботанических характеристик лесного покрова Московской области. Предложен метод проектирования регионального экологического каркаса на основе оценки пространственной структуры с помощью фрагментации.

Abstract. In landscape ecology, the structure of ecosystems is considered as a combination of interacting spatial elements with their area, configuration, orientation, neighborhood, fragmentation. The assessing the spatial structure of ecosystems (measurements of fragmentation) in connection with the functions of the ecological framework of the territory is becoming increasingly relevant. A wide range of interrelations between fragmentation metrics and geobotanical characteristics of the forest cover of the Moscow region is shown. The method of designing a regional ecological framework based on the assessment of the spatial structure using fragmentation is proposed.

Ключевые слова: экологический каркас, метрики фрагментации, Московская область, эколого-фитоценоотическая классификация.

Keywords: ecological framework, fragmentation metrics, Moscow region, ecological-phytocoenotic classification

Исследование пространственной структуры растительного покрова предполагает оценку характера географического рисунка, мозаичности и фрагментации экосистем. В ландшафтной экологии структура экосистем рассматривается как сочетание взаимодействующих пространственных элементов с их площадью, конфигурацией, ориентацией, соседством, фрагментированностью [7]. Структура является одновременно результатом и индикатором радиальных и латеральных процессов. Эта трактовка особенно продуктивна для трансформированных антропогенной деятельностью территорий, где экосистемы чаще сохраняются в виде «островов» [5]. В связи с общей тенденцией к увеличению степени трансформации экосистем и необходимостью оценки их устойчивости, прогноза и управления природно-антропогенными системами, все более актуальной становится тема оценки пространственной структуры экосистем (измерения фрагментации) в связи с функциями экологического каркаса территории. А в контексте развития математических и статистических методов анализа усиливается роль количественных подходов к измерению характеристик экосистем. Обе задачи могут быть решены с помощью формализации расчета метрик фрагментации экосистем. Общее количество разработанных метрик фрагментации по наиболее скромным оценкам составляет несколько десятков. Однако гораздо более сложная задача – установить, какие именно метрики соответствуют тем или иным свойствам экосистем.

Объект исследования – лесной покров Московской области (МО). Основная часть МО находится в пределах зоны хвойно-широколиственных лесов. На юге региона проходит граница с широколиственной зоной. Для МО характерны как собственно широколиственно-хвойные леса, так и еловые субнеморальные и бореальные, а также широколиственные леса, распространение которых зависит от ландшафтной структуры территории [2]. Сбор полевых геоботанических данных выполнен в 2006-2019 гг. по стандартной методике. Общее число описаний – 1694. Эколого-фитоценоотическая классификация полевых описаний выполнена на уровне формаций [1, 6]. В анализе связи метрик фрагментации с геоботаническими характеристиками выделов использованы как измеренные в поле, так и рассчитанные на их основе характеристики: биотопические и лесохозяйственные (измеренные в поле), индексы разнообразия и уникальности (видовое богатство, представленность эколого-ценотических групп (расчетные)).

В качестве данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) использована полностью безоблачная мультиспектральная мозаика Sentinel-2 (20-23 июня 2021 г.). Кроме 11 спектральных каналов, рассчитан 41 спектральный индекс, цифровая модель рельефа SRTM и 10 морфометрических характеристик, радарные данные Palsar-2. Методом «случайный лес» выполнено картографическое моделирование лесных формаций. Для каждого лесного выдела рассчитаны 14 метрик фрагментации: метрики размера (площадь, периметр, радиус охвата), метрики формы (отношение периметра к площади, индекс формы, индекс фрактальной размерности, описанная окружность, смежность), метрики экологического ядра (площадь ядра, число ядер, доля площади ядра), метрика контрастности границ, Метрики

изоляции (дистанция, близость, сходство).

Связь метрик фрагментации и геоботанических характеристик выделов оценена методом корреляционного анализа при уровне значимости $p < 0.0005$. Связь метрик фрагментации с принадлежностью к формациям оценена методом дисперсионного анализа [4]. В рамках данного исследования проведена попытка использования метрик фрагментации для выявления участков, наиболее подходящих в качестве элементов экологического каркаса. Для выявления потенциальных поясов экологического каркаса использован метод анализа весового расстояния (cost distance analysis).

В результате типологической классификации лесных фитоценозов выделено 11 формаций. Общая сходимость картографического моделирования по формациям составила 67%. Корреляционный анализ метрик и геоботанических характеристик показывает наличие ряда слабых, но достоверных ($p < 0.005$) взаимосвязей (Рис. 1).

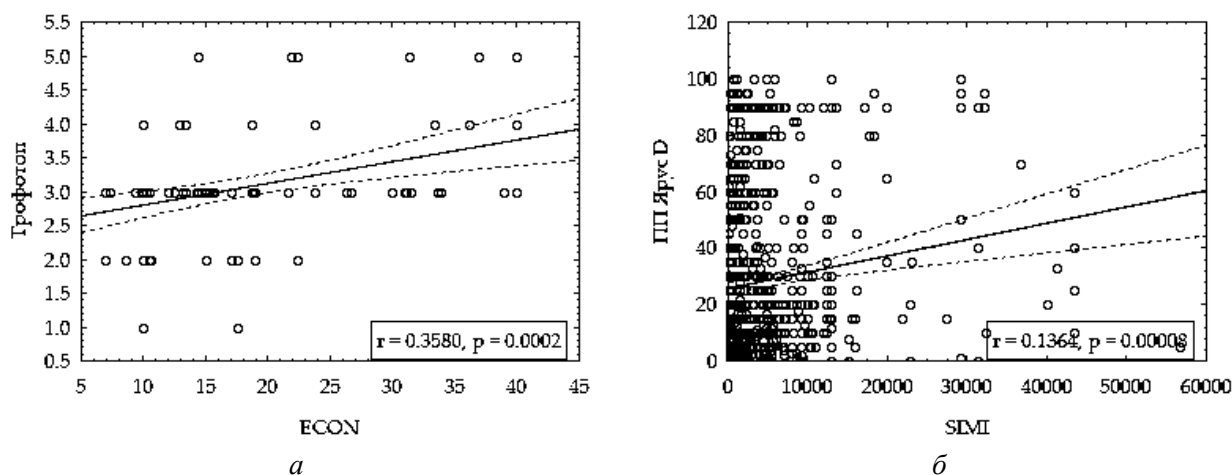


Рис. 1. Графики рассеяния и линии аппроксимации геоботанических характеристик и метрик фрагментации: а) трофотоп и контрастность, б) проективное покрытие яруса D и сходство.

Наблюдается существенная связь между метриками размера и формы. Выделы с высокими значениями этих метрик чаще всего являются наименее фрагментированными. Обычно в пределах этих выделов располагаются крупные ООПТ, либо группы из нескольких ООПТ. Среди биотопических характеристик выдела связь с метриками фрагментации проявляют гигротопические и трофотопические условия, проективное покрытие, высота и диаметр древесного яруса А. Проективное покрытие верхнего древесного яруса А выше в выделах, окруженных менее контрастной средой, а проективное покрытие мохового яруса выше, если выдел окружен крупными гомогенными выделами. Высота и диаметр верхнего древесного яруса больше в выделах, окруженных менее контрастной средой и имеющих большую площадь ядра. Наиболее ярко проявляется связь метрик с представленностью эколого-ценологических групп: бореальной, неморальной, нитрофильно-влажнотравной и влажнотравной. Бореальные виды преобладают в выделах наиболее крупных, сложных по форме и окруженных выделами сходных и гомогенных формаций, то есть наименее фрагментированными. Неморальные выделы чаще расположены в окружении выделов гетерогенных формаций и в контрастной среде. Еще в большей степени такой характер связи с метриками характерен для нитрофильно-влажнотравных видов.

Дисперсионный анализ показывает наличие характерных особенностей фрагментации у различных формаций (Рис. 2). Еловые и сосновые леса имеют наибольшие площади, периметр и охват, т.к. это зональные бореальные леса, кроме того, немаловажен фактор лесокультурных посадок именно этих пород. Мелколиственные леса – несколько менее фрагментированы, широколиственные, в частности, дубовые – наиболее фрагментированы. Черноольховые леса имеют большую смежность и описанную окружность при средних площади и периметре, что может быть связано с встречаемостью черноольховых лесов в поймах, и на зарастающих торфяниках, а также высокотрофных увлажненных почвах. Описанная окружность также велика для еловых лесов, в связи с приуроченностью к поймам либо гидроморфным подошвам склонов [8].

Таким образом, подтверждается гипотеза о том, что для геоботанических характеристик выделов характерно наличие взаимосвязи с количественными метриками фрагментации. Это позволяет сделать предположение, что использование количественных данных о пространственной структуре может быть продуктивно использовано для проектирования экологического каркаса исследуемой территории.

Выявление потенциальных элементов экологического каркаса выполнено методом классификации к-средних, в результате которой выявлены наименее фрагментированные потенциальные экологические ядра первого и второго уровней, умеренно фрагментированные буферные зоны и наиболее фрагментированные выделы, непригодные в качестве элементов экологического каркаса. Однако непосредственно экологические пояса таким способом выделены быть не могут, что связано с прерывисто-

стью лесного покрова. Естественные целостные экологические пояса на территории исследования отсутствуют, есть только их части, которые могут нуждаться в тех или иных мерах по восполнению целостности (лесохозяйственные мероприятия, локальные ограничения хозяйственной деятельности и др.). Установление таких участков, их размера, протяженности и степени значимости, возможно на основе метода весового расстояния. На рисунке 3 приведены экологические ядра и смоделированные пояса между ними экологические пояса. Во многих случаях наблюдается совпадение предлагаемых поясов со Схемой территориального планирования.

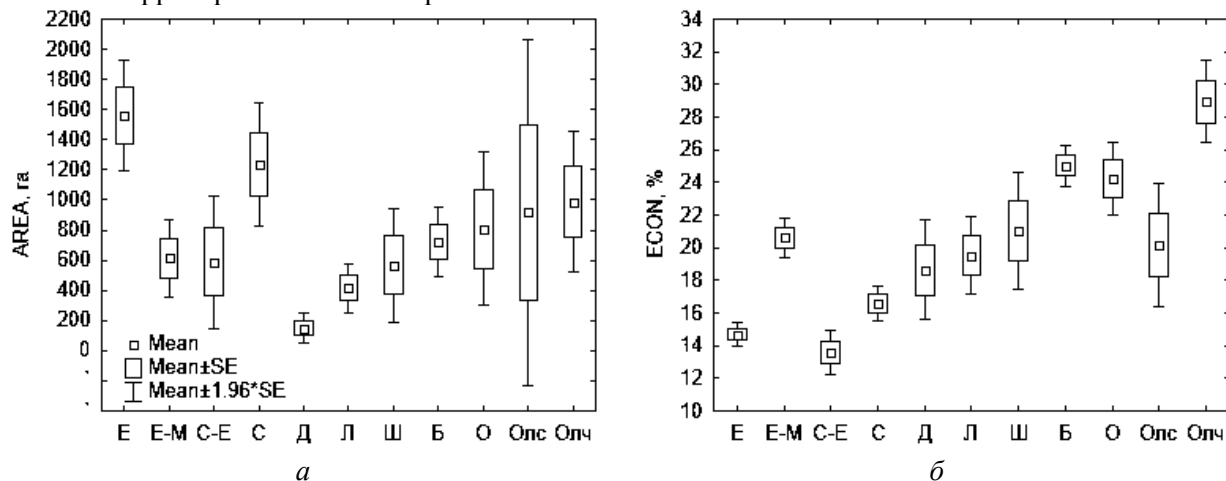


Рис. 2. Дисперсионный анализ метрик (а) площади, (б) контрастности в разрезе формаций

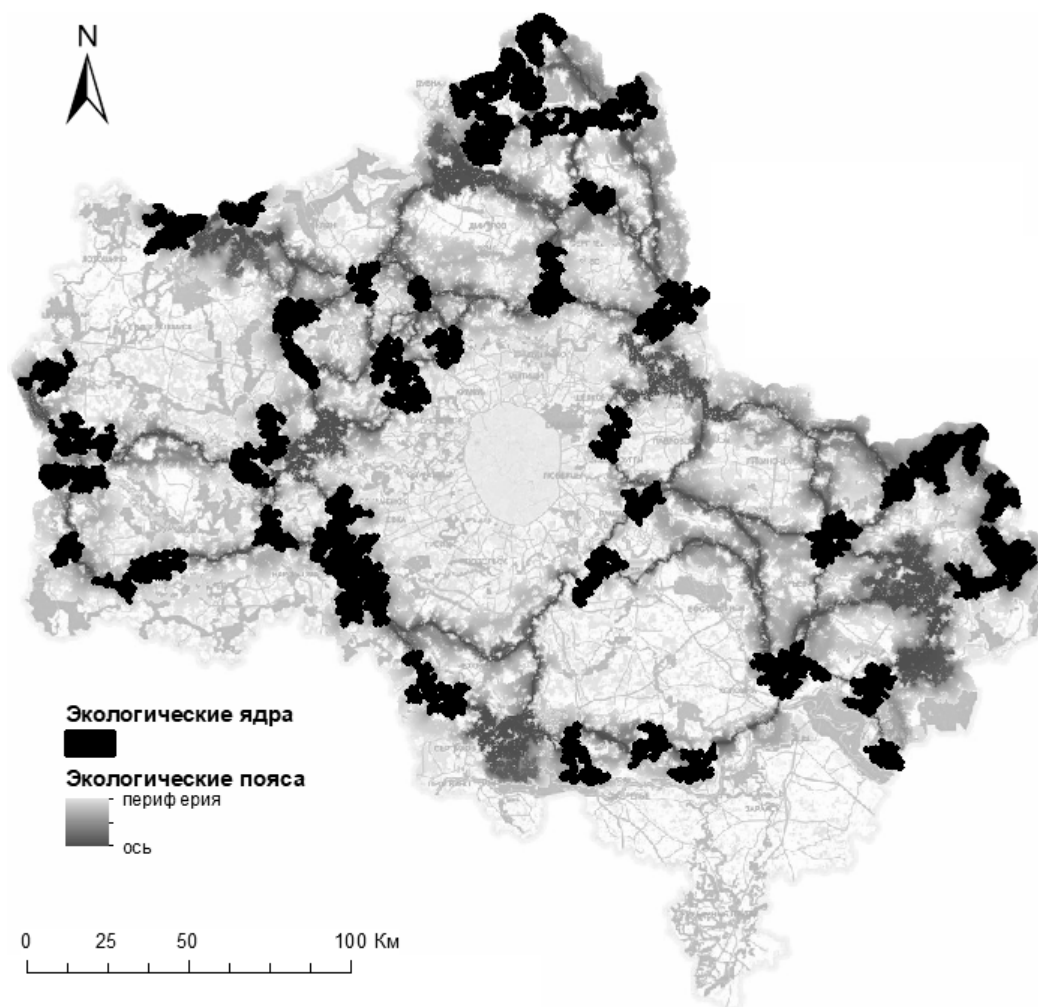


Рис. 3. Экологические ядра и смоделированные пояса. Подложка – картосхема планируемых особо охраняемых природных территорий – природных экологических территорий из схемы территориального планирования МО

В ходе исследования разработана геоботаническая карта Московской области, основанная на обширной базе данных полевых геоботанических описаний и независимая от лесотаксационных данных. Карта показывает хороший уровень соответствия как с картой преобладающих пород, так и с ранее выполненными геоботаническими картами. Предыдущее геоботаническое картографирование выполнялось в 1996 году [3]. Впервые показана и охарактеризована связь метрик фрагментации и геоботанических характеристик выделов. Показаны значимые различия метрик фрагментации в разрезе эколого-фитоценологических формаций. Установлена достоверная связь между пространственной структурой и процессами, протекающими внутри фитоценозов. Предложен и апробирован новый подход к проектированию экологического каркаса территории, в частности выделения разноуровневых приоритетных ядер экологического каркаса и оптимальных экологических поясов. Сравнение спроектированных таким образом элементов экологического каркаса с существующими экологическими территориями, приведенными в Схеме территориального планирования региона [9], показало их совместимость, а в ряде случаев более оптимальное размещение элементов экологического каркаса по сравнению с существующей структурой экологических территорий.

Предлагаемые комплекс и последовательность методических решений отвечают наиболее современным подходам к картографическому моделированию и оценке пространственной структуры. Оценка пространственной структуры с помощью количественных метрик фрагментации открывает широкие возможности для выявления фоновых, уникальных и уязвимых экосистем. Для задач разработки региональных экологических каркасов предлагаются методы и техники, позволяющие упростить, формализовать и повысить точность процесса природоохранного проектирования.

Литература

1. Заугольнова Л. Распространение и классификация неморально-бореальных лесов / Л. Заугольнова, О. Морозова // Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. М.: Наука. – 2004. – С. 13-62.
2. Огуреева Г. Разнообразие лесов Клинско-Дмитровской гряды в связи с ландшафтной структурой территории / Г. Огуреева, Е. Булдакова // Лесоведение. – 2006. – № 1. – С. 58-69.
3. Огуреева Г.Н. Растительность Московской области. Пояснительный текст и легенда к карте М 1:200 000 / Г. Н. Огуреева. – Москва : МГУ, 1996. – 45 с.
4. Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях / Ю. Г. Пузаченко. – 2004.
5. Хорошев А.В. Полимасштабная организация географического ландшафта / А. В. Хорошев. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2016. – 416 с.
6. Chernenkova T. V. Classification and Mapping of Coenotic Diversity of Forests / T. V. Chernenkova, O. V. Morozova // Contemporary Problems of Ecology. – 2017. – Т. 10. – № 7. – С. 738-747.
7. Forman R. T. T. Landscape Ecology. Т. 619 / R. T. T. Forman, M. Godron. – New York : John Wiley & Sons, 1986.
8. Биоразнообразие лесов Московского региона / Т. В. Черненкова, Е. Г. Суслова, О. В. Морозова [и др.]. – Текст : электронный // Экосистемы: Экология И Динамика. – 2020. – Т. 4. – № 3. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44038778> (дата обращения: 28.10.2020).
9. Правительство Московской области. Схема территориального планирования Московской области / Правительство Московской области. – 2007