

На правах рукописи

Котлов Иван Павлович

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ЛЕСНОГО ПОКРОВА МОСКОВСКОЙ
ОБЛАСТИ (ОЦЕНКА НА ОСНОВЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ МЕТРИК
ФРАГМЕНТАЦИИ)**

1.5.15 — экология
(биологические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в Лаборатории биогеоценологии им. В.Н. Сукачева Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук»,

Научный руководитель: **Курбатова Юлия Александровна**
кандидат биологических наук

Официальные оппоненты: **Лапшина Елена Дмитриевна**
Доктор биологических наук, профессор, директор НОЦ «Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата» ФГБОУ ВПО «Югорский государственный университет»

Лавриненко Игорь Анатольевич
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией динамики растительного покрова Арктики ФГБУН Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова г. Москва**

Защита состоится «___»_____ 2023 года в _____ час. _____ мин. на заседании диссертационного совета 24.1.109.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН по адресу: 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 33. Тел./факс: +7(495)952-35-84, e-mail: admin@sevin.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке Отделения биологических наук Российской академии наук по адресу: 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 33; на сайте ФГБУН ИПЭЭ РАН по адресу: www.sev-in.ru и на сайте Высшей аттестационной комиссии по адресу vak.minobrnauki.gov.ru

Автореферат разослан «_____»_____ 2023 года.

Ученый секретарь диссертационного совета, к.б.н. **Кацман Елена Александровна**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. 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 и фрагментированностью [Forman, Godron, 1986]. В этом контексте 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» [Хорошев, 2016].

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 том числе в рамках определения функций экологического каркаса территории. Кроме того, в контексте развития математических и статистических методов анализа усиливается роль количественных подходов к измерению характеристик экосистем. Пространственная структура может быть оценена 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. Большинство ранее изучаемых метрик фрагментации относится к простым структурным – периметру, площади и их соотношениям. Среди современных геоботанических работ характерно преобладание исследований метрик, посвященных изучению тундровых фитоценозов [Кораблёв, 2011; Холод, 2017]. При этом лесным сообществам уделено меньше внимания; ещё меньше внимания уделено аспекту природно-антропогенной фрагментации структуры растительного покрова. В ходе проведенного исследования оценены и функциональные метрики - экологического ядра, контрастности, изоляции и связанности, ранее практически не изученные применительно к структуре лесного покрова.

Одним из наиболее значимых объектов для анализа фрагментации является типологическое разнообразие лесного покрова, оцененное в рамках эколого-фитоценотического подхода [Черненькова, Морозова, 2017]. Эколого-фитоценотический подход представляется наиболее развитым инструментом при картографировании, изучении

биоразнообразия, организации мониторинга и ландшафтного планирования, в том числе в урбанизированных регионах [Noss, 1999; Wang, Wang, Liu, 2019]. Типологическое разнообразие позволяет оценивать биоразнообразие лесов в простых и четких терминах [Gardner, 2010]. При этом наиболее эффективный путь оценки пространственной структуры типологического разнообразия лежит через совмещение данных дистанционного зондирования, полевых измерений и картографического моделирования [Лавриненко, 2020].

Цели и задачи. Целью работы является выявление особенностей пространственной структуры лесного покрова Московской области на основе количественных методов измерения фрагментации.

Задачи исследования:

1. Оценить типологическую структуру и разнообразие лесов Московской области на уровне формаций методами картографического моделирования;
2. Охарактеризовать взаимообусловленность геоботанических характеристик выделов (полевых и расчетных) и количественных метрик фрагментации лесного покрова региона;
3. Выявить характерные особенности фрагментации, присущие различным типологическим единицам лесного покрова в ранге формаций;
4. Оценить разнообразие характерных типов фрагментации, пространственных рисунков лесного покрова в регионе;
5. Охарактеризовать потенциал использования метрик фрагментации для проектирования элементов экологического каркаса региона, включая оценку соответствия существующей сети ООПТ и других природных территорий.

Научная новизна, теоретическое и практическое значение работы. В ходе исследования разработана геоботаническая карта Московской области, основанная на обширной базе данных полевых геоботанических описаний и независимая от лесотаксационных данных. Карта разработана путем совмещения геоботанических описаний с данными дистанционного зондирования в геоинформационной среде и методом картографического моделирования. Карта показывает хороший уровень соответствия как с картой преобладающих пород, так и с ранее выполненными геоботаническими картами. Предыдущее геоботаническое картографирование выполнялось в 1996 году [Огуреева, 1996].

Впервые показана и охарактеризована связь метрик фрагментации и геоботанических характеристик выделов. Для метрик фрагментации показано наличие корреляций с геоботаническими параметрами: лесохозяйственными характеристиками выделов, индексами видовой уникальности и выровненности, видовым богатством, представленностью эколого-

ценологических групп в целом и по отдельным ярусам растительности. Показаны значимые различия метрик фрагментации в разрезе эколого-фитоценологических формаций. Установлена достоверная связь между пространственной структурой и процессами, протекающими внутри выделов лесного покрова.

На основе установленных закономерностей предложен и апробирован новый подход к проектированию экологического каркаса территории, в частности выделения разноуровневых приоритетных ядер экологического каркаса и оптимальных коридоров, призванных формировать связность ядер. Сравнение спроектированных элементов экологического каркаса с существующими экологическими территориями, приведенными в Схеме территориального планирования региона [Правительство Московской области, 2007], 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. Эколого-фитоценологический подход при классификации лесных сообществ является наиболее удобным базисом для решения фундаментальных и прикладных задач при оценке типологического разнообразия. Данные дистанционного зондирования обеспечивают высокое разрешение, актуальность результатов и возможность дальнейшего мониторинга. 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.

Методы исследования. Для классификации лесных сообществ использован эколого-фитоценологический подход, включающий в себя сбор полевого материала по стандартной методике Браун-Бланке [Braun-Blanquet, Pflanzensoziologie, 1964] с полной видовой инвентаризацией по всем ярусам и дополнительным измерением высот и диаметров древесных ярусов, оценкой трофотопа и гигротопы, статистическую обработку результатов и экспертную классификацию лесных сообществ по принадлежности к формациям и группам ассоциаций [Черненкоова, Морозова, 2017]. Общее количество геоботанических описаний 1694. Для картографического моделирования использованы данные дистанционного зондирования – мультиспектральные снимки (июль 2021 г.), цифровые модели рельефа и радарные снимки. Моделирование выполнено ансамблевым методом случайный лес (random

forest) с использованием тестовой выборки объемом 30% [Joelsson, Benediktsson, Sveinsson, 2006]. На основе полученного растрового картографического продукта выполнен расчет метрик фрагментации индивидуально для каждого выдела. Оценка связи метрик фрагментации и геоботанических характеристик выполнены с помощью корреляционного анализа. Выявление характерных значений метрик фрагментации в разрезе формаций выполнено с помощью дисперсионного анализа. Классификация выделов по различным типам фрагментации проведена с помощью классификатора к-средних. Построение экологических коридоров выполнено методом анализа весового расстояния. Дополнительно использованы методы пространственного анализа в геоинформационной среде.

Положения, выносимые на защиту.

- Среди метрик фрагментации выделяются значительно скоррелированные между собой структурные метрики (размера) – площадь, периметр, охват и другие, и независимые от них и между собой функциональные метрики – изоляция, контрастность;
- Метрики фрагментации демонстрируют достоверную связь с измеренными в поле и рассчитанными геоботаническими характеристиками, являются индикаторами принадлежности к формации.
- Характер пространственного рисунка лесных сообществ меняется в зависимости от их эколого-ценотического состава и сукцессионного статуса, демонстрируя тем самым взаимосвязь между процессами, протекающими в них и пространственной структурой.
- Проектирование элементов экологических сетей на основе метрик фрагментации показывает хорошую согласованность с уже существующим экологическим каркасом, а в ряде случаев превосходит его по качеству интегрирования с природной средой.

Личный вклад автора. Автор принимал участие в сборе полевого материала, и в обработке геоботанических описаний. Автором полностью выполнены работы по формированию геопрограммной базы данных, обработке данных дистанционного зондирования, картографическому моделированию лесных сообществ, статистической обработке данных, анализу и интерпретации результатов, написанию текста диссертации и подготовке публикаций.

Апробация результатов. Основные результаты работы вошли в доклады, представленные на 13 международных и 4 российских конференциях: Всероссийская научно-

практическая конференция с международным участием: Актуальные проблемы урболесоведения: город, лес, человек, посвященная 90-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН Л.П. Рысина, Москва, 2019; Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски, Красноярск, 2019; 28th Meeting of the European Vegetation Survey, Мадрид, 2019; Вторая международная научная конференция «Современные фундаментальные проблемы классификации растительности», г. Ялта, 2019; IV Конференция Сообщества природоохранных ГИС в России, Кенозерский национальный парк, 2019; Современная наука о растительности, Звенигородская станция МГУ, 2019; VII Всероссийская конференция с международным участием, посвященной 30-летию научной школы чл.-корр. РАН А.К. Темботова и 25-летию Института экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН, Нальчик, 2019; V Конференция Сообщества природоохранных ГИС в России, Кенозерский национальный парк, 2021; Растительность Восточной Европы и Северной Азии. Материалы II Международной научной конференции. Брянск, 2020; Международная научно-исследовательская конференция по перспективным исследованиям в науках о Земле, Барнаул, 2021; International Boreal Forest Research Association (IBFRA) / Changing Boreal Biome, Канада, 2021; 27-я конференция пользователей Esri в России и странах СНГ, Москва, 2022; 2nd International Scientific Conference Landscape Dimensions of Sustainable Development: Science – Mapping – Planning – Governance, Tbilisi, 2022; V (XIII) Международная ботаническая конференция молодых ученых, Санкт-Петербург, 2022 г; «Российская геоботаника: итоги и перспективы» (к 100-летию Отдела геоботаники БИИ) Санкт-Петербург, 2022 г; XIV Международная ландшафтная конференция «Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии», Воронеж, 2023; 11th IALE World Congress, Nairobi, Kenya, 2023.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 статей в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации и 15 тезисов в сборниках материалов конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения, 5 приложений. Список литературы включает 170 источников, в том числе 124 на иностранных языках. Общий объем диссертации – 165 страниц (основной текст – 150 страниц, приложения – 15 страниц), иллюстрирован 20 таблицами и 31 рисунком.

Благодарности. Автор глубоко признателен научному руководителю Юлии Александровне Курбатовой и Татьяне Владимировне Черненковой за поддержку на всех этапах работы. Отдельную благодарность автор выражает своему учителю Ю.Г. Пузаченко.

Автор признателен за советы и ценные рекомендации коллегам: А.А. Ячменниковой, Р.Б. Сандлерскому, своей семье за неоценимую моральную поддержку. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-17-00129. Автор благодарен авторам геоботанических описаний, среди которых наибольший вклад осуществили Е.Г. Суслова, Н.Г. Беляева, Т.В. Черненькова, О.В. Морозова, С.Ю. Попов и другие специалисты-геоботаники.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, обозначены цель и задачи, сформулированы степень разработанности проблемы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, перечислены методы исследования и представлены положения, выносимые на защиту.

ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В первой главе приводится сравнение особенностей исторического развития подходов к оценке пространственной структуры экосистем в отечественной экологии и зарубежной ландшафтной экологии. Обсуждается взаимодополняемость подходов к изучению структурно-функциональной организации экосистем с одной стороны и исследования пространственных отношений между элементами экосистем с другой. Дается оценка развития подходов к количественному измерению пространственной структуры экосистем с помощью метрик фрагментации. Проводится обзор широко распространенных метрик и выявленных для них взаимосвязей с особенностями экосистем. В контексте природоохранной значимости метрик фрагментации проводится анализ законодательства в области проектирования региональных экологических каркасов.

Тема пространственной структуры неоднократно поднималась советскими и российскими учеными, начиная с исследований структуры почвенного покрова [Фридланд, 1973]. Подчеркивается слабая изученность связи количественных параметров структуры экосистем с устойчивостью, типами экосистем, стадиями сукцессии и ландшафтно-экологическими процессами внутри отдельных экосистем [Викторов, 1998]. В зарубежной ландшафтной экологии исследование пространственных отношений между элементами экосистем обозначено как основной вопрос ландшафтной экологии [Farina, 1998; Forman, 2006; Forman, Godron, 1986; Moss, 1999; Pickett, Cadenasso, 2002], в рамках которого рассматривается взаимное двустороннее влияние физико-географических процессов с одной стороны и пространственной структуры экосистем – с другой [Хорошев, 2016]. В основу

ландшафтной экологии заложена теория островной биогеографии, а прикладное значение в большинстве случаев реализовано при проектировании экологических каркасов [Macarthur, Wilson, 1967]. Таким образом, тенденция ландшафтной экологии к описанию и прогнозированию процессов через пространственные структуры является взаимодополняющей к отечественной традиции экологии изучать процессы как факторы формирования пространственной структуры («факторы дифференциации»).

В целях изучения пространственной структуры экосистем разрабатываются подходы, основанные на применении количественных метрик фрагментации (метрики размера, формы, изоляции др.). Многочисленными исследованиями показана связь метрик фрагментации, например, с видовым разнообразием и богатством [Hu и др., 2011], филогенетическим разнообразием растительного мира [Arellano-Rivas и др., 2017], поведением животных [Duengkae и др., 2019] и другими свойствами экосистем. Отдельно подчеркивается необходимость учета факторов фрагментации и неоднородности пространственной структуры экосистем при анализе экологических сетей и проектировании экологических каркасов [Hagen и др., 2012; Wang, Blanchet, Koper, 2014].

Современные представления об экологическом каркасе территории построены на взаимодействии характерных элементов экологического каркаса – таких как ядра, коридоры и буферные зоны [Jongman, 1995]. На сегодняшний день в наибольшей степени информация о пространственном размещении природоохранных мероприятий аккумулируется в Схемах территориального планирования субъектов Российской Федерации [Правительство РФ, 2006]. Однако для них не разработана соответствующая терминологическая база. В рамках существующего законодательства составляющие элементы экологических каркасов не соответствуют современным научным представлениям.

Подчеркивается необходимость изучения количественных характеристик пространственной структуры экосистем через измерение фрагментации отдельных свойств экосистем и использования фрагментации в качестве основы при проектировании экологических каркасов. Приводится краткий обзор нормативных документов и подчеркивается, что на законодательном уровне существует дефицит соответствующих терминов в области разработки экологических сетей, в результате чего уровень природоохранного проектирования не охватывает всего функционального разнообразия экосистем, потенциально пригодных в качестве экологических ядер, коридоров и буферных зон.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В главе приводятся сведения о факторах формирования естественной мозаики эдафических условий Московской области (МО) – разнообразии рельефа, климата и неоднородности воздействия материковых оледенений на территорию. Граница Московского оледенения пересекает территорию исследований примерно по широте $55^{\circ}20'$ - $55^{\circ}50'$. Валдайское оледенение непродолжительное время покрывало небольшой участок на севере территории исследования. В результате ледниковой деятельности слабодренированные моренные суглинистые плато на севере и северо-западе сменяются по направлению к востоку и юго-востоку хорошо дренированными водноледниковыми эродированными междуречьями, сложенными легкими суглинками и песками. Градиентная смена и пространственное разнообразие суглинистого, песчаного и супесчаного субстратов является важнейшим фактором формирования природной мозаичности эдафических условий МО. На территории МО выделяют 7 физико-географических провинций (ФГП): Верхне-Волжская, Мещерская, Московская, Смоленская, Москворецко-Окская, Заокская и Среднерусская провинции [Анненская и др., 1997] (Рис. 1).



Рисунок 1. Границы физико-географических провинций, края Московского оледенения и лесорастительных зон по Курнаеву [1968].

Основная часть МО находится в пределах зоны хвойно-широколиственных лесов. На юге региона проходит граница с широколиственной зоной [Грибова, Исаченко, Лавренко, 1980]. Для МО характерны широколиственно-хвойные леса, еловые субнеморальные и

бореальные и широколиственные леса, распространение которых зависит от ландшафтной структуры территории [Огуреева, Булдакова, 2006]. На водораздельных пространствах доминируют сложные ельники и мелколиственные леса. Широколиственные леса – дубовые, липовые, генетически связанные со сложными ельниками, встречаются на возвышенных поверхностях в более богатых лесорастительных условиях и фрагментарно на склонах холмов и речных террас. Сосняки на водоразделах, как правило, имеют искусственное происхождение.

Лесной покров Московской области на протяжении нескольких столетий испытывал сильное антропогенное воздействие, которое привело к сокращению площади и выраженному процессу фрагментации лесов [Низовцев и др., 2020]. В настоящее время коренных лесов в Подмосковье не сохранилось. Вместе с тем в регионе представлены условно-коренные леса, под которыми принято понимать леса, близкие к коренным аналогам по составу древесного и подчиненных ярусов, но существенно отличающиеся от них по возрастной структуре древостоев. В итоге лесной покров в МО представлен сукцессионной мозаикой из лесных массивов разного состава, возраста и происхождения.

Несмотря на то, что для лесов Московской области накоплен большой опыт в типизации и картографировании [Курнаев, 1968; Рысин, 1982], наблюдается дефицит актуального картографического материала, основанного на данных дистанционного зондирования Земли [Kotlov, Chernenkova, 2020].

ГЛАВА 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сбор полевых геоботанических данных выполнен в 2006-2019 гг. по стандартной методике [Braun-Blanquet, Pflanzensoziologie, 1964]. Общее число описаний – 1694. Эколого-фитоценотическая классификация полевых описаний выполнена на уровне формаций [Заугольнова, Морозова, 2004; Chernenkova, Morozova, 2017]. 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 съемка Sentinel-2, выполненная в течение двух дней (20 и 23 июня 2021 г.) и соединенная в бесшовную мозаику. Методом «случайный лес» выполнено картографическое моделирование типологического состава лесов. Для каждого

выдела рассчитаны 14 метрик фрагментации: метрики размера (площадь, периметр, радиус охвата), конфигурации (отношение периметра к площади, сложность формы, фрактальная размерность, описанная окружность, смежность), метрики экологического ядра (площадь ядра, число ядер, доля площади ядра), метрика контрастности границ, метрики изоляции (дистанция, близость, сходство). Формулы расчета некоторых метрик приведены в Табл. 1. Выполнен визуальный картографический анализ выделов с различными значениями метрик фрагментации.

Таблица 1. Формулы и характеристики метрик формы, контрастности и близости.

Метрика	Формула
SHAPE Индекс формы	$SHAPE = \frac{0.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}$ <p>p_{ij} - периметр (м) выдела ij, a_{ij} - площадь (м²) выдела ij</p>
ECON Контрастность границ	$ECON = \frac{\sum_{k=1}^m (p_{ijk} \cdot d_{ik})}{p_{ij}} (100)$ <p>p_{ijk} = длина (м) границы выдела ij, прилегающая к выделу класса k, d_{ik} = различие (вес контрастности границы) между выделами классов i и k^*, p_{ij} = длина (м) периметра выдела ij</p>
PROX близость	$PROX = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}}$ <p>a_{ijs} = площадь (м²) выдела ijs в пределах заданного буфера вокруг выдела ij, размер буфера установлен 500 м, h_{ijs} = дистанция (м) от выдела ij до ближайшего выдела, принадлежащего к такому же классу, к такому же классу, рассчитанная от границы до границы</p>

Метрика площади отвечает за размер выдела и исчисляет соотношение формаций мозаики лесного покрова. Периметр отвечает за длину границ, сформированных этим выделом. Радиус охвата можно рассматривать как меру среднего расстояния, на которое организм может перемещаться, прежде чем он пересечет границу выдела [McGarigal, 1995]. Основная задача метрик конфигурации – оценка «краевого эффекта». Простейший способ оценки формы – расчет отношения периметра к площади. Метрика сложности формы [Patton, 1975] оценивает конфигурацию выдела по сравнению квадратом аналогичной площади. Фрактальная размерность [McGarigal, 1995], позволяет оценивать влияние феномена самоподобия на конфигурацию. Описанная окружность измеряет вытянутость выдела. [Baker, Cai, 1992]. Смежность оценивает, насколько выдел целостный либо ажурный, дисперсный. [LaGro, 1991]. Метрики экологического ядра оценивают участок внутри выдела за исключением некоторой заданной глубины краевого влияния. Как и в случае с метриками

формы выдела, основное значение метрик ядра связано с "краевым эффектом" [Temple, 1986]. В их состав входят: площадь ядра, доля площади ядра от общей площади выдела и количество ядер, возникших в результате краевого эффекта. [McGarigal, 1995]. Метрика контрастности оценивает степень различия между выделом и примыкающими соседними выделами, принадлежащими к другим формациям. [Forman, Godron, 1986]. Метрики изоляции показывают степень, в которой выделы пространственно удалены друг от друга. Среди них наиболее простая метрика - евклидова дистанция между оцениваемым выделом и ближайшим к нему выделом той же формации. Метрики близости и сходства при измерении расстояния учитывает площади расположенных рядом гомогенных выделов, смещая оценку в пользу выделов, окруженных крупными гомогенными выделами [Gustafson, Parker, 1992].

Связь метрик фрагментации и геоботанических характеристик выделов оценена методом корреляционного анализа при уровне значимости $p < 0.0005$ (ранговые корреляции Спирмена). Связь метрик фрагментации с принадлежностью к формациям оценена методом дисперсионного анализа [Пузаченко, 2004]. В рамках данного исследования проведена попытка использования метрик фрагментации для выявления участков, наиболее подходящих в качестве элементов экологического каркаса. Для выявления выделов, различающихся между собой по характеру фрагментации, использован метод классификации к-средних. Каждому классу присвоена его потенциальная роль в экологическом каркасе. Для выявления потенциальных коридоров экологического каркаса использован метод анализа весового расстояния (cost distance analysis) [Ye, Yang, Xu, 2020].

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате типологической классификации лесных сообществ выделено 11 формаций. Общая сходимость картографического моделирования по формациям составила 67%. При векторизации получено 147630 лесных выделов. Визуальный анализ выделов с различными значениями метрик фрагментации показывает связь между метриками размера, конфигурации и экологического ядра. Метрики контрастности и изоляции ведут себя независимо. Наименее фрагментированные выделы часто приурочены к крупным и значимым ООПТ, однако ООПТ занимают не всю площадь таких потенциально ценных выделов.

Корреляционный анализ метрик и геоботанических характеристик показывает наличие ряда слабых, но достоверных ($p < 0.005$) взаимосвязей. Индекс трофотопы имеет положительную связь с контрастностью границ выделов (Рис. 2а), и отрицательную с долей экологического ядра. Для древесного яруса А чем выше контрастность – тем меньше сомкнутость, а для мохового яруса D - чем выше сходство, тем выше проективное покрытие.

Высота и диаметр первого яруса имеет наибольшую связь с контрастностью границ (Рис. 2б) и долей экологического ядра.

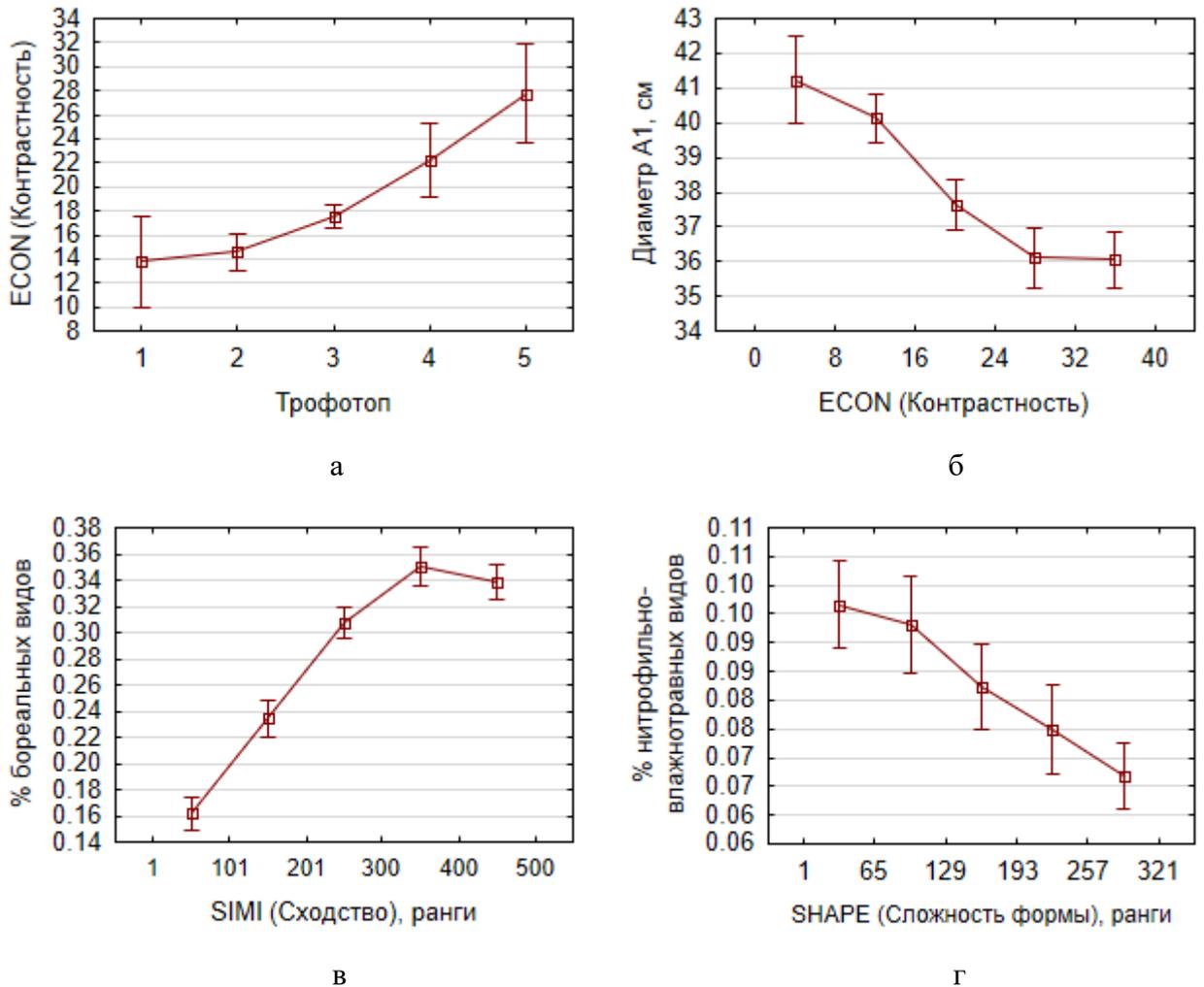


Рисунок 2. Графики средних значений и стандартных ошибок геоботанических характеристик и метрик фрагментации: а) трофотоп и контрастность, б) диаметр A1 и контрастность, в) процент бореальных видов и сходство, г) процент нитрофильно-влажнотравных видов и сложность формы.

Связь видового разнообразия и метрик фрагментации слабая и разнонаправленная. Так, видовое богатство травяного яруса наиболее выразительно растет с увеличением площади и сложности формы выдела. При этом видовое богатство ярусов A2 и B1 растет с увеличением контрастности границ выдела, что можно связать с краевым эффектом, в ходе которого в выдел заносятся и прорастают адвентивные виды. Наблюдаются значимые отрицательные корреляции между индексом уникальности яруса D и двумя метриками конфигурации - фрактальной размерностью и индексом округности, что может означать доминирование определенных видов мхов в выделах с простыми и округлыми границами. Связь индекса видовой выровненности яруса D с фрактальной размерностью и формой обратна вышеописанной закономерности. Индекс видовой выровненности яруса D положительно

связан с метрикой сходства, а индекс уникальности этого яруса – наоборот, отрицательно с ней связан. Можно предположить, что видовое богатство и разнообразие мохового яруса особенно сильно зависит от близости сходных и гомогенных выделов, что в свою очередь потенциально может быть связано отсутствием опыления у мхов. Индекс видовой выровненности яруса С демонстрирует положительную корреляцию с числом экологических ядер, что может рассматриваться как проявление «островного» характера ядер в многоядерных сложных выделах.

Наиболее выраженную связь с метриками демонстрируют виды, принадлежащие к группам: бореальные, неморальные, нитрофильно-влажнотравные, влажнотравные. Менее выраженная связь у олиготрофных, опушечных и адвентивных видов. Бореальные виды положительно связаны с метриками сходства (Рис. 2в) и доли экологического ядра. Бореальные и отчасти олиготрофные виды преобладают в выделах, окруженных лесами сходных и гомогенных формаций. Неморальные и в меньшей степени нитрофильно-влажнотравные виды имеют противоположную закономерность связи с метриками фрагментации. Связь со сходством для них отрицательная. Также наблюдается отрицательная связь со сложностью формы (Рис. 2г), долей экологического ядра и контрастностью. Неморальные выделы чаще расположены в окружении выделов гетерогенных формаций и в контрастной среде. При этом процесс фрагментации за счет увеличения освещенности и прогревания может дополнительно способствовать неморализации лесных сообществ. Опушечные виды имеют слабую отрицательную связь с площадью и другими метриками размера – периметром и радиусом охвата. Чем больше выдел – тем больше в нем опушечных местообитаний. При этом отсутствует ожидаемая связь с метриками доли экологического ядра и контрастности. Это может означать, что участие опушечных видов в составе сообщества выражено непосредственно на линии контакта разных выделов, а не в полосе различной глубины проникновения воздействия выделов друг на друга. Виды адвентивные в своем взаимоотношении с метриками фрагментации частично схожи с неморальными. Слабая отрицательная взаимосвязь с метриками сходства и контрастности говорит о несколько противоречивом положении с одной стороны в окружении выделов гетерогенных формаций, с другой – в окружении не очень контрастных выделов.

При оценке метрик фрагментации в разрезе формаций наблюдаются существенные различия (Рис. 3). Наименьшая фрагментация (наибольшие значения метрик) характерны для лесов с доминированием ели и сосны. Мелколиственные леса (береза, осина, ольха серая, ольха черная) имеют несколько более фрагментированный характер. Смешанные леса (елово-

мелколиственные, сосново-еловые) занимают промежуточное положение по степени фрагментации. Наиболее фрагментированы леса широколиственные – дубовые и липовые.

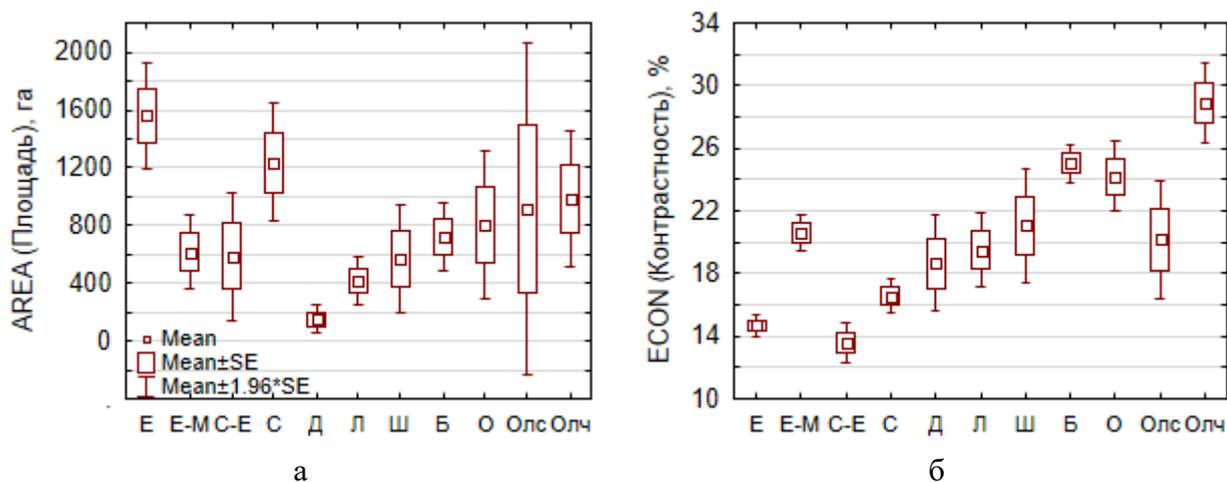


Рисунок 3. Дисперсионный анализ метрик (а) площади, (б) контрастности в разрезе формаций

В целом между геоботаническими характеристиками выделов и метриками фрагментации наблюдаются слабые достоверные корреляции. Наибольшие корреляции проявляются со стороны метрик контрастности, близости и сходства и со стороны геоботанических характеристик – увлажненности, трофности, высоты и диаметра древесного яруса и представленности эколого-ценотических групп.

ГЛАВА 5. ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЛЕСНОГО ПОКРОВА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Типологическая классификация соответствует как мелкомасштабным источникам, таким как карта лесорастительных зон [Курнаев, 1973], так и крупномасштабным, таким как карта растительности МО [Огуреева, 1996].

Как показал расчет метрик и сравнение пространственного расположения выделов различных формаций с различными значениями метрик, наблюдается существенная связь между метриками размера и конфигурации. Выделы с высокими значениями этих метрик чаще всего являются наименее фрагментированными. Обычно в пределах этих выделов располагаются крупные ООПТ, либо группы из нескольких ООПТ. Метрика отношения площади к периметру является индикатором сукцессионного статуса лесных выделов и наличие антропогенного воздействия. Метрика описанной окружности позволяет идентифицировать антропогенный фактор и влияние речной сети. Максимальные значения

метрики смежности могут свидетельствовать о формировании лесных массивов под доминирующим воздействием мощного природного фактора (например, гидроморфизации в торфяниках). Метрики близости, сходства и контрастности отражают защищенность выдела и его территориальное расположение в малонарушенной среде.

Среди геоботанических характеристик выдела связь с метриками фрагментации проявляют гигротопические и трофотопические условия, проективные покрытия верхнего древесного и мохового ярусов, высота и диаметр верхнего яруса. В наибольшей степени они зависят от контрастности границ и близости/сходства, в меньшей степени – от доли экологического ядра и сложности формы. Индексы выровненности и уникальности видового состава проявляют взаимосвязь с пространственными характеристиками выделов только для травяного и мохового ярусов. Уникальность видового состава мохового яруса возрастает для выделов простой и округлой конфигурации, а выровненность – для выделов сложной конфигурации и имеющих поблизости крупные гомогенные выделы той же формации. Видовая выровненность яруса С возрастает с ростом числа экологических ядер, что может свидетельствовать о проявлении «островных» популяционных механизмов. Видовое богатство связано с ограниченным набором метрик фрагментации. Богатство второго древесного яруса А2 и подроста В1 положительно связано с контрастностью, что говорит о роли контраста границ во взаимопроникновении видов нижней части лесного полога внутрь выдела. Видовое богатство травяного яруса С связано с конфигурацией, в том числе с индексом описанной окружности, что также может говорить в пользу того, что вытянутые выделы сложной конфигурации граничат с большим числом выделов-соседей, что влияет на взаимопроникновение видов внутрь выдела. Наиболее ярко проявляется связь метрик с представленностью эколого-ценотических групп. Представленность видов бореальных, неморальных, нитрофильно-влажнотравных и влажнотравных демонстрируют наиболее заметную связь с метриками. Причем если бореальные виды чаще встречаются в наименее фрагментированных выделах, то неморальные и близкие к ним свойственны сильнофрагментированным выделам.

Выделы еловой формации самые крупные, имеют наиболее сложную конфигурацию, наибольшее число экологических ядер и слабоконтрастные границы. Сосновые выделы вторые после них по размеру, но при этом опережают их по смежности (отсутствуют включения других формаций) и доле экологического ядра, имеют при этом также слабоконтрастные границы. Выделы сосново-еловых лесов заметно отличаются от вышеописанных по характеру фрагментации имеют меньшие размеры и более простую форму, их характерная особенность – наименее контрастные границы и наибольшая доля

экологического ядра. Крупные выделы хвойных формаций — это основа лесного покрова (лесного фонда). Они проявляют элементы эндогенной динамики саморазвития (микроклимат) и несомненно являются ядрами экологического каркаса.

Можно сделать предположение, что хвойные бореальные лесные формации занимают доминантные площади моренных и моренно-водноледниковых равнин, особенно на севере и западе области, еловые — на плохо дренированных суглинистых моренных отложениях, сосновые — на бедных дренированных песчаных и супесчаных. При этом хвойные выделы формируют характерный микроклимат, препятствующий развитию неморальных видов в древостое и под пологом леса. Со временем это приводит как к увеличению общей площади хвойных формаций, так и к увеличению средней площади выдела.

Черноольховые леса имеют уникальный характер фрагментации выделов, непохожий на другие формации. Они характеризуются наибольшей вытянутостью, наибольшей дистанцией между выделами и наибольшей контрастностью. Такой характер фрагментации тесно связан с их интразональной природой.

Заметно отличаются от других выделы дубовой и липовой формации — в противовес еловым они имеют наименьшие размеры и простую конфигурацию, наименьшее экологическое ядро и наименьшие близость и сходство. В несколько большей степени это характерно для дубовых лесов. За исключением некоторых лесопарковых территорий это наиболее фрагментированные и наиболее уязвимые формации. Вероятно, широколиственные леса занимают высокотрофные местообитания малого размера, либо имеющие озерно-водноледниковое происхождение, либо связанные с зрелостью рельефа, эрозийным врезанием рек и оврагов и обнажением карбоновых известняков.

Схожи между собой выделы осиновых и сероольховых формаций. Максимальное отношение периметр/площадь и минимальная смежность говорят о том, что это небольшие по площади выделы со сложной дисперсной конфигурацией. Принимая во внимание их пионерный характер, эти формации выступают в роли «соединительной ткани», заполняя окна и опушки в лесах, имеющих более зрелый сукцессионный статус и в достаточно короткой временной перспективе сменяющиеся следующими сукцессионными формациями.

Наименее выраженные особенности фрагментации присущи березовой и елово-мелколиственной формациям. При умеренной фрагментированности (небольшие площади, простые формы, средняя контрастность) суммарно эти леса занимают треть лесного покрова Московской области, сформированы под воздействием рубок и других неблагоприятных воздействий и могут испытать сукцессионную смену на хвойные либо широколиственные

формации в долгосрочной перспективе и при соответствующем лесохозяйственном уходе. Мелколиственные леса занимают субдоминантные субстраты – как правило дренированные склоны моренных равнин, либо подстилаемые водопроницаемыми известняками. Сведение хвойных лесов преимущественно без искусственного лесовосстановления приводит вначале к зарастанию вырубок мелколиственными породами, облик их имеет фрагментированный характер. В дальнейшем при вытеснении мелколиственных хвойными фрагментация снижается.

ГЛАВА 6. АПРОБАЦИЯ МЕТРИК ФРАГМЕНТАЦИИ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Выявленные закономерности связи между пространственной структурой лесного покрова, выраженной через количественные метрики фрагментации и геоботанические характеристики, включая принадлежность к лесным формациям, позволяют сделать предположение, что оценка фрагментации территории может быть продуктивно использована для проектирования экологических сетей.

Выявление потенциальных элементов экологического каркаса выполнено методом классификации к-средних, в результате которой выявлены семь классов, выстраивающихся в ряд от наименее к наиболее фрагментированным. Выделяются потенциальные экологическим ядрам первого порядка – семь выделов. Это одновременно наиболее крупные выделы площадью 12-22 тыс. га, наименее фрагментированные по остальным метрикам. 52 выдела площадью от 3 до 8 тысяч гектар проявляют свойства ядер экологического каркаса 2го порядка. 1657 выделов имеют умеренные значения метрик фрагментации и им может быть присвоена буферная роль. Оставшиеся 145914 выделов наиболее фрагментированные и не должны включаться в потенциальные элементы экологического каркаса. Полноценные естественные экологические коридоры на территории исследования отсутствуют и возникает задача их проектирования для дальнейшего присвоения функций лесного управления. Проектирование возможно на основе метода весового расстояния. На 4 приведены экологические ядра первого уровня и смоделированные между ними коридоры. Во многих случаях наблюдается совпадение предлагаемых коридоров со Схемой территориального планирования.

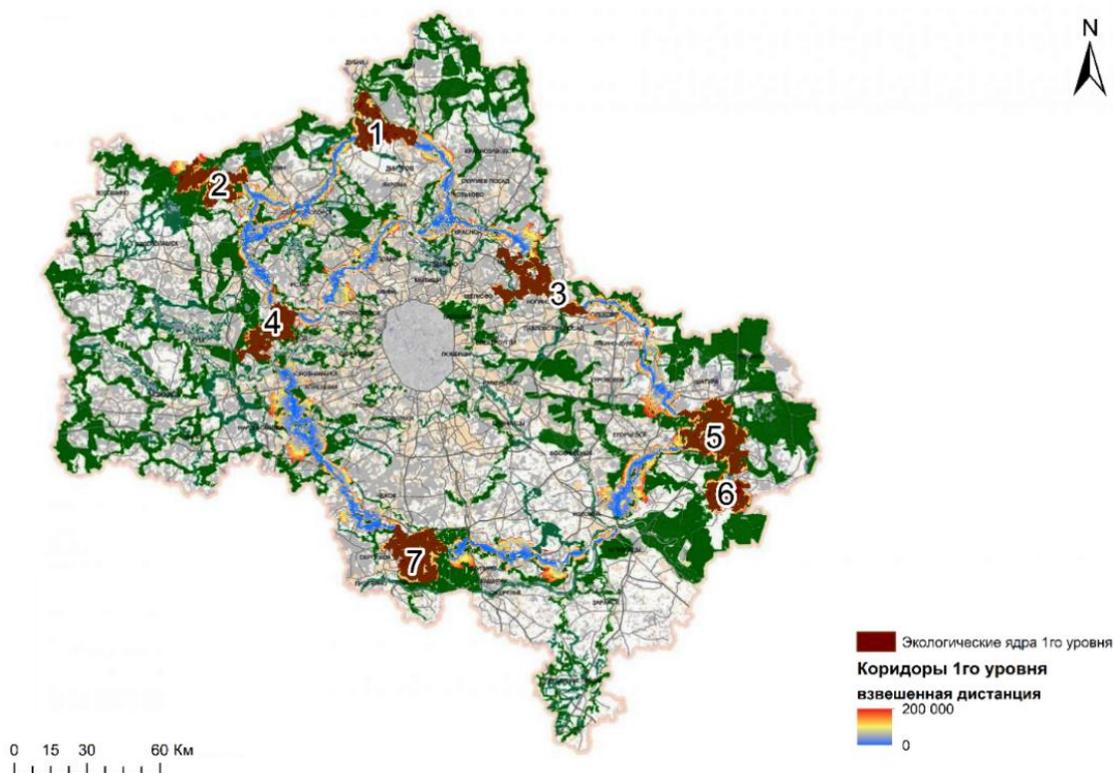


Рисунок 4. Экологические ядра и смоделированные коридоры 1-го уровня. Подложка – картосхема планируемых особо охраняемых природных территорий – природных экологических территорий из схемы территориального планирования МО.

Экологический каркас дополняет общую концепцию охраны природного наследия региона и усиливает ее, с одной стороны, не вмешиваясь и не изменяя существующую структуру природоохранной деятельности, а с другой – создает новый аспект природоохранной деятельности. Экологический каркас формирует запрос на создание новых видов охраны лесов, возможно не столь строгих, но призванных создать буферные территории вокруг существующих ООПТ, чтобы снизить краевые эффекты, воздействующие на них.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании показано и проанализировано наличие многочисленных и разнонаправленных связей между метриками фрагментации и геоботаническими характеристиками лесных сообществ, неоднородность распределения метрик по формациям. Хвойные леса наименее фрагментированные, а широколиственные наиболее уязвимые. Леса мелколиственные при высокой доле площади в регионе занимают промежуточную умеренно фрагментированную позицию. Такой характер фрагментации различных формаций связывается для хвойных лесов с доминированием слабодренированных моренных субстратов и эндогенным формированием микроклимата, вытесняющего неморальные виды из

сообществ. Мелколиственные и смешанные леса на фоне фактора отсутствия искусственного лесовосстановления формируются на субдоминантных дренированных склонах и в среднесрочной перспективе испытывают сукцессионную смену на хвойные. Широколиственные леса связаны с высокотрофными местообитаниями озерно-водноледникового происхождения либо эрозионного обнажения известняков. Сероольховые и осиновые формации обеспечивают краткосрочную сукцессию в окнах и на опушках.

Пространственная структура, оцененная с помощью метрик фрагментации, может служить индикаторной основой для проектирования региональных экологических сетей, наряду с другими более детальными источниками данных. Ранжирование по степени фрагментации позволяет выделить экологические ядра региона, а проектирование экологических коридоров требует дополнительного привлечения метода весового расстояния. Спроектированная экологическая сеть позволяет в многих случаях оптимизировать имеющийся экологический каркас региона, в том числе снизить затраты на его поддержание.

Проведенное исследование подтверждает связь пространственной структуры с процессами, происходящими в лесных экосистемах и потенциал использования количественно измеренных свойств пространственной структуры при проектировании экологических каркасов крупных пространственных единиц регионального уровня.

ВЫВОДЫ

1. Лесохозяйственные и биотопические характеристики выделов в наибольшей степени зависят от контрастности границ, доли экологического ядра, сходства и близости, в наименьшей степени – от описанной окружности и евклидовой дистанции.
2. Видовое богатство, индексы выровненности и уникальности видового состава проявляют взаимосвязь с пространственными характеристиками выделов только для травяного и мохового ярусов, что во многом связано с количественным доминированием видов в этих ярусах. В наибольшей степени они зависят от сложности формы, сходства и контрастности, а в наименьшей – от площади экологического ядра, смежности и отношения периметр/площадь.
3. Наиболее ярко проявляется связь метрик с представленностью эколого-ценотических групп: олиготрофной, бореальной, неморальной, нитрофильно-влажнотравной. В наибольшей степени представленность эколого-ценотических групп зависит от контрастности и сходства, а в наименьшей от описанной окружности. Причем

представленность олиготрофных и бореальных видов имеет положительную связь с этими метриками, а неморальных и нитрофильно-влажнотравных – отрицательную.

4. Зональное доминирование хвойных лесов, в том числе на преобладающих слабодренированных моренных субстратах, связано с наименьшей фрагментацией этого класса формаций по метрикам размера, контрастности, изоляции. Далее в ряду фрагментации следуют мелколиственные и затем широколиственные леса.
5. Метрики описанной окружности, смежности и дистанции являются индикаторами интразональности (например, черноольховые пойменные леса, леса на торфяниках и верховых болотах).
6. Сукцессионный статус лесов (градиент первичности и вторичности) может быть оценен с помощью метрик смежности и отношения периметр/площадь – наибольшая смежность и наименьшая периметр площадь у дубовых, липовых, широколиственно-еловых, а обратное соотношение – у осиновых и сероольховых лесов, которые занимают окна и прогалины в лесу, формируя сетчатую мелкодисперсную пространственную структуру.
7. Спроектированные экологические ядра включают еловые, сосновые, березовые леса, такой состав соответствует типологическому статусу региона. Леса дубовые и липовые максимально фрагментированы и уязвимы и должны включаться в природоохранные мероприятия по признаку уникальности.
8. Предлагаемая сеть ядер и коридоров имеет более рациональный характер, чем официальная в составе Схемы территориального планирования Московской области, в частности благодаря тому, что смоделирована в уже существующих крупных и малофрагментированных лесных массивах и нуждается в минимальных дополнительных природоохранных мероприятиях.
9. Доля ООПТ в количественном и площадном отношении отличается в пределах экологического каркаса по сравнению со всей территорией лесного фонда - проектирование экологического каркаса через оценку фрагментации дополняет общую концепцию охраны природного наследия региона и усиливает ее, не вмешиваясь и не изменяя существующую структуру природоохранной деятельности, а создавая новый аспект природоохранной деятельности.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. **Kotlov, I. P.**; Chernenkova, T. V. Modeling of Forest Communities Spatial Structure at the Regional Level through Remote Sensing and Field Sampling: Constraints and Solutions. *Forests* **2020**, *11* (10), 1088. <https://doi.org/10.3390/f11101088>.
2. Черненькова, Т. В.; **Котлов, И. П.**; Беляева, Н. Г.; Сулова, Е. Г.; Морозова, О. В. Оценка и Картографирование Ценотического Разнообразия Лесов Московского Региона. *Лесоведение* **2022**, No. 6, 617–630. <https://doi.org/10.31857/S0024114822060043>.
3. Chernenkova, T.; **Kotlov, I.**; Belyaeva, N.; Suslova, E. Spatiotemporal Modeling of Coniferous Forests Dynamics along the Southern Edge of Their Range in the Central Russian Plain. *Remote Sensing* **2021**, *13* (10). <https://doi.org/10.3390/rs13101886>.
4. Chernenkova, T. V.; **Kotlov, I. P.**; Belyaeva, N. G.; Suslova, E. G.; Morozova, O. V.; Pesterova, O.; Arkhipova, M. V. Role of Silviculture in the Formation of Norway Spruce Forests along the Southern Edge of Their Range in the Central Russian Plain. *Forests* **2020**, *11* (7), 778. <https://doi.org/10.3390/f11070778>.
5. Chernenkova, T. V.; **Kotlov, I. P.**; Belyaeva, N. G.; Morozova, O. V.; Suslova, E. G.; Puzachenko, M. Y.; Krenke, A. N. Sustainable Forest Management Tools for the Moscow Region. *Geography, Environment, Sustainability* **2019**, *12* (4), 35–56. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-57>.
6. Yachmennikova, A.; Zhu, S.; **Kotlov, I.**; Sandlerky, R.; Yi, Q.; Rozhnov, V. Is the Lesser Khingan Suitable for the Amur Tiger Restoration? Perspectives with the Current State of the Habitat and Prey Base. *Animals* **2023**, *13*, doi:[10.3390/ani13010155](https://doi.org/10.3390/ani13010155).
7. Chernenkova, T.; **Kotlov, I.**; Belyaeva, N.; Suslova, E.; Lebedeva, N. Environmental Performance of Regional Protected Area Network: Typological Diversity and Fragmentation of Forests. *Remote Sensing* **2023**, *15*, doi:[10.3390/rs15010276](https://doi.org/10.3390/rs15010276).

Публикации в других изданиях и сборниках конференций:

1. Т. В. Черненькова, И. П. Котлов, Н. Г. Беляева, М. Ю. Пузаченко. Особенности современного типологического состава лесов и устойчивое природопользование в пределах территории Московской агломерации // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Актуальные проблемы урболесоведения: город, лес, человек», посвященная 90-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН Л.П. Рысина. 17-18 апреля 2019, Москва.

2. Котлов, И. П.; Черненкова, Т. В.; Беляева, Н. Г.; Пузаченко, М. Ю. Ландшафтно-экологические метрики растительного покрова Московской области// Всероссийская конференция с международным участием «Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски». 26-31 августа 2019, Красноярск.
3. Chernenkova T., Belyaeva N., Suslova E., Puzachenko M., Kotlov I., Morozova O. The importance of small-leaved forests in the vegetation cover of the middle of the Russian plain: case study of Moscow region Vegetation diversity and global change // 28th Meeting of the European Vegetation Survey 2–6 September 2019. Book of abstracts. Madrid, p.107.
4. Черненкова Т.В., Беляева Н.Г., Сулова Е.Г., Пузаченко М.Ю., Котлов И.П., Морозова О.В., Гнеденко А.Е.. Пространственно-временная динамика мелколиственных лесов Московского региона// Вторая международная научная конференция «Современные фундаментальные проблемы классификации растительности», 15-20 сентября 2019, г. Ялта.
5. Черненкова Т.В., Сулова Е.Г., Котлов И.П., Ниц О.В., Беляева Н.Г., Морозова О.В. Оценка эффективности существующей системы ООПТ для сохранности биоразнообразия лесов Московского региона // IV Конференция Сообщества природоохранных ГИС в России, 3-5 Октября 2019, Кенозерский национальный парк.
6. Черненкова Т.В., Котлов И.П., Морозова О.В., Сулова Е.Г., Беляева Н.Г. Разнообразие лесов Московской области по дистанционным и наземным данным // Всероссийская конференция «Современная наука о растительности», 10-13 октября 2019, Звенигородская станция МГУ.
7. Черненкова Т.В., Котлов И.П., Беляева Н.Г. Геоинформационное обеспечение оценки видового и типологического разнообразия лесов (на примере Московского региона) // Международная научно-исследовательская конференция по перспективным исследованиям в науках о Земле 23 июля 2021, Барнаул.
8. Chernenkova T., Belyaeva N., Kotlov I. Composition and dynamics of Norway Spruce forests along the southern edge of their range in the Central Russian plain // International Boreal Forest Research Association (IBFRA) / Changing Boreal Biome, August 16-20 2021
9. Chernenkova T., Kotlov I., Belyaeva N., Suslova E., Morozova O GIS support for the assessment of forest diversity case study: Moscow region // 2nd International Scientific Conference Landscape Dimensions of Sustainable Development: Science – Mapping – Planning – Governance, 12-16 September 2022, Tbilisi.
10. Котлов И.П., Рожнов В.В., Черненкова Т.В., Ячменникова А.А., Жу Ш., Беляева Н.Г., Эрнандес-Бланко Х.А., Чистополова М.Д., Сандлерский Р.Б. Проблемы подготовки и

использования данных при моделировании ареалов видов и картографировании растительного покрова // V (XIII) Международная ботаническая конференция молодых ученых, Санкт-Петербург, 2022 г; «Российская геоботаника: итоги и перспективы» (к 100-летию Отдела геоботаники БИН), 25-29 апреля 2022, Санкт-Петербург.

11. Черненкова Т.В., Котлов И.П., Беляева Н.Г. Картографирование ценоотического разнообразия лесов: проблемы и решения // Международная конференция «Российская геоботаника: итоги и перспективы» (к 100-летию Отдела геоботаники БИН). 26–30 сентября 2022 г. Санкт-Петербург.
12. Котлов И.П., Курбатова Ю.А. Пространственная структура лесного покрова Московской области (оценка на основе количественных метрик фрагментации) // XIV Международная ландшафтная конференция «Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии», 17-21 мая 2023 года, Воронеж.
13. Kotlov I., Chernenkova T., Sandler'sky R. Theoretical and practical relevance of landscape fragmentation metrics for the Moscow region forests // 11th IALE World Congress, 10-15 July 2023, Nairobi, Kenya.