

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Котлова Ивана Павловича «Пространственная структура лесного покрова Московской области (оценка на основе количественных метрик фрагментации)», представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 01.05.15 – экология (биологические науки)

Данные дистанционного зондирования и формализованные, статистические и математические методы, в изучении пространственной изменчивости поверхности Земли, достаточно давно используются в биологических и экологических исследованиях. Однако, задачи фундаментальных научных исследований на стыке этих областей (математики, статистики и биологии), в полной мере могут быть достигнуты только при достаточном обеспечении информацией, полученной на основе классических естественнонаучных подходов, в процессе полевых и лабораторных изысканий, и дистанционных методов изучения наземных объектов. Кроме того, актуальной остается задача адекватной интерпретации формальных оценок, поиска их взаимосвязи с конкретными биологическими процессами и явлениями.

Диссертационная работа П.И. Котлова посвящена изучению пространственной структуры лесного покрова Московской области на основе комплексного подхода. С одной стороны, проведен сбор и анализ обширного массива данных ботанических характеристик, весьма разнородного растительного покрова глубоко урбанизированного региона; с другой – осуществлена попытка анализа полученных результатов при помощи методов геостатистики, картографии и математики.

Актуальность работы, в фундаментальном смысле, заключается в том, что автором осуществлен новый шаг в изучении свойств лесного покрова в региональном масштабе; выполнена актуализация данных о распространении, состоянии и свойствах лесных массивов Московского региона в виде новой карты высокого пространственного разрешения. При этом автор использовал опыт предшественников, а в качестве основы полученных результатов выступили методы классической ботаники. Практическая значимость выполненной работы заключается в двух аспектах:

- 1) апробирована методология использования количественных метрик в качестве критериев оценки конкретных физиологических, экологических, морфологических и других свойств лесного покрова;
- 2) на основании полученной карты и рассчитанных метрик предложен проект поддержания и развития экологического каркаса региона.

Цель работы состояла в выявлении особенностей пространственной структуры лесного покрова Московской области на основе количественных методов измерения фрагментации. Во ВВЕДЕНИИ автор обосновывает актуальность, четко формулирует цели, задачи исследования и основные положения работы, выносимые на защиту, характеризует научную новизну, теоретическую и практическую значимость работы, что достаточно полно отражено в автореферате.

Глава 1 «ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ» начинается с краткого очерка истории развития методических подходов к изучению пространственной структуры экосистем в целом и лесов Московского региона в частности. Упомянут современный этап развития методов оценки пространственной структуры сообществ с использованием данных дистанционного зондирования и ГИС (геоинформационных систем). Особое внимание (наибольший по размеру и смысловому наполнению раздел главы 1) уделено прикладному аспекту работы: а именно, современному состоянию проблемы экологического каркаса территорий. В целом структура главы полностью соответствует содержанию работы.

В главе 2 «ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ» дано исчерпывающее представление о климатических особенностях и ландшафтной структуре Московского региона. Приведены характеристики климата, рельефа и почвенного покрова; в достаточной степени подробно освещены свойства растительности и ботанико-географических характеристик территории. Рассмотренные свойства, представлены отдельно для каждой из выделяемых на территории Московского региона физико-географических провинций, что хорошо структурирует текст диссертации. Рисунки в данном разделе также иллюстрируют информацию с разделением на физико-географические провинции, что удобно для понимания.

Кроме того, не упущен из внимания такой важный фактор формирования современного облика весьма фрагментированного лесного покрова исследуемого региона, как антропогенное воздействие. Поскольку именно он, как будет показано в работе далее, является одной из ключевых причин такого разнообразия полученных значений метрик лесных выделов, и необходимости развития идеи создания и поддержания единого экологического каркаса Москвы и Московской области.

Первый раздел 3 главы «МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ» посвящен описанию использованных ботанических методов в исследовании лесного покрова Московской области. Классификация полевых описаний выполнена на доминантной основе с выявлением полного списка видов по всем ярусам. Дана обобщающая таблица измеренных в рамках полевых работ и рассчитанных камерально геоботанических параметров. Во втором разделе – методы и использованные для построения типологической карты лесов материалы ДДЗ (данные дистанционного зондирования). Дана таблица наименее скоррелированных (и потому показательных с точки зрения дешифрирования) характеристик ДДЗ, которые были использованы для индикации свойств лесного покрова, описаны математические и, в частности статистические методы, использованные при картографировании.

Основную часть главы занимает крайне подробное описание использованных метрик фрагментации лесного покрова. Содержание этого раздела весьма полезно и в полной мере позволяет понять, каким именно образом форма, площадь, периметр и другие метрики лесных выделов могут иллюстрировать их экологические свойства.

Заключительные разделы главы 3 содержат примеры использования метрик фрагментации в прикладных исследованиях, в частности, при проектировании экологического каркаса территории.

В первом разделе 4 главы «РЕЗУЛЬТАТЫ» представлена карта типологических единиц лесного покрова на территории Московского региона. Дано соотношение площадей формаций лесного покрова, количество выделов и их описательные статистики. Составлена гистограмма распределения площадей выделов. Далее на подробных иллюстративных примерах показаны «крайние случаи» фрагментации выделов, что помогает составить представление о границах изменчивости формы, площади, длины периметра, смежности и др. характеристик изученных лесных формаций исследованного региона. Далее представлены результаты найденных взаимосвязей метрик фрагментации растительного покрова с лесохозяйственными и биотическими характеристиками, в частности: индексом трофотопы, ботаническими параметрами (сомкнутость, ярусность, проективное покрытие, диаметр деревьев, видовым разнообразием), эколого-ценотическими характеристиками. Соответствующие разделы в полной мере проиллюстрированы таблицами, содержащими результаты корреляционных тестов. В заключительной части главы выполнен более анализ представленных результатов; в частности, дано обобщение связи метрик фрагментации в разрезе изученных формаций лесного покрова.

Глава 5 «ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЛЕСНОГО ПОКРОВА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ» является аналогом раздела «Обсуждение полученных результатов», как это обычно принято в структуре научной статьи. Здесь освещаются возможные причины полученных результатов, представленных в главе 4: в некоторых разделах при помощи статистических тестов (формализованного анализа), в других – экспертным путем с привлечением данных литературных источников.

Раздел 5.1 «Пространственная неоднородность формационного состава лесного покрова» содержит анализ распределения лесных формаций на полученной карте (таким образом, этот раздел логически связан с разделом 4.1), отмечено наличие «соответствия» этих данных крупно- и мелкомасштабным картам, составленным ранее (Курнаев, 1973; Огуреева, 1996). Здесь же, приведена оценка «сходимости» карты по формациям.

В разделе 5.2 подробно обсуждается, как проявились свойства использованных метрик фрагментации в свойствах отдельных лесных формаций: дано обобщение степени фрагментированности мелколиственных, широколиственных и хвойных лесов; показаны различия метрик фрагментации для условно первичных и вторичных лесных формаций; возможности идентификации влияния антропогенного фактора при помощи метрики описанной окружности. В заключении раздела рассмотрены метрики изоляции, которые наряду с метриками близости и сходства предлагаются к использованию как основа проектирования экологического каркаса территории.

Раздел 5.3 содержит информацию о связи метрик фрагментации с условиями увлажнения и трофности, что, как предполагается, косвенно отражает развитие мохового покрова; показана связь видового богатства с метриками контрастности. Наконец, подчеркнута наиболее яркая связь метрик с представленностью эколого-ценотических групп.

В разделе 5.4 выполнена стандартизация и усреднение всех рассмотренных метрик, по типам лесных формаций; это ценный результат, который в будущем может способствовать разработке единой системы (библиотеки) эталонных метрик для экспресс-оценки свойств и состояния лесных формаций на территории региона. Также осуществлен кластерный анализ лесных формаций на основе стандартизированных значений метрик фрагментации, что, кроме прочего, позволило подчеркнуть определённую обособленность черноольховых лесов в пространстве признаков, иллюстрирующую их интразональную природу.

Глава 6

В первом разделе главы 6 «АПРОБАЦИЯ МЕТРИК ФРАГМЕНТАЦИИ КАК ОСНОВЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА ...» представлены результаты выполненной пошаговой «оптимизации» (то есть, выбора наименее скоррелированных друг с другом) набора рассчитанных метрик фрагментации с целью поиска наиболее значимых для проектирования экологического каркаса Московской области. Полученный набор из нескоррелированных метрик включает: отношение периметра к площади, площади к описанной окружности, площади ядра, близости, сходства, дистанции и контрастности. Затем, во втором разделе, на основании «оптимизированного» набора метрик выполнена классификация (при помощи метода k-средних) полученной карты по выделам с целью ранжирования выделов по степени фрагментации. Необходимо пояснить, что этот этап представляет собой, по сути, классификацию второго уровня – то есть, полученные на карте (которая является классификацией первого уровня) выделы объединяются в кластеры, обладающие близкими признаками фрагментации. Таким образом, свойства растительного покрова могут быть одновременно рассмотрены в двух разрезах: с одной стороны, по преобладающему типу лесных формаций, ранжированных при этом по классам

фрагментации; а с другой – по классам фрагментации, представленных различными пропорциями лесных формаций.

В разделе 6.3 каждому из рангов фрагментации присваивается вес, что количественно иллюстрирует степень фрагментации и становится численной основой проектирования экологических коридоров. Результаты планирования экологического каркаса Московской области представлены в заключении главы в виде картосхемы. Необходимо отметить, что планирование выполнено с учетом существующей схемы ООПТ.

В заключение диссертационной работы автор, в свободной форме, формулирует основные достигнутые результаты, касающиеся сбора ботанических описаний, их статистического анализа, анализа распределения метрик по формациям и делает утверждение о подтвержденной связи между пространственной структурой и процессами, протекающими в лесных экосистемах. Ниже сформулированы выводы, в полной мере вытекающие из полученных результатов исследования, которые хорошо обоснованы и полностью подтверждают теоретические положения, выносимые на защиту.

Замечания

1. Одним из основных результатов, выполненной диссертационной работы, является карта лесных формаций, полученная на основе мозаики спутниковых снимков. Это крайне ценный самостоятельный результат, так как, насколько известно из литературных источников, аналогов ему на данный момент нет. Особую ценность полученная карта имеет благодаря тому, что основана на обширном материале наземных ботанических исследований (1694 геоботанических описания). Однако, в описании методики создания карты, есть ряд белых пятен, затрудняющих ее понимание и воспроизводимость другими исследователями, а именно:
 - не ясно, какими именно были «оптимальные параметры моделирования» и «наилучшая модель» (стр. 41) использованные при создании карты;
 - учитывая относительно небольшую среднюю площадь тестовых полигонов и достаточно высокое пространственное разрешение использованных данных дистанционного зондирования (ДДЗ), а также тот факт, что обычно ДДЗ из различных источников имеют погрешности географической привязки, не ясно, была ли выполнена весьма необходимая в таких случаях коррекция координат снимков?
 - важным этапом анализа спектральных характеристик использованных данных ДДЗ является атмосферная коррекция и трансформация исходных данных из безразмерных показателей DN в отражательную способность поверхности – из текста диссертации не ясно, были ли выполнены эти процедуры, или если они не требовались, то почему?
 - анализируя рисунки 9–16, можно прийти к выводу, что на них отсутствуют единичные пиксели какого-либо класса, окруженные пикселями какого-либо иного класса (с учетом диагонального соседства). Обычно при создании карт такие единичные пиксели присутствуют в силу особенностей используемых алгоритмов обработки, характеристик исходных ДДЗ и ряда других причин. Предположительно, автор выполнил процедуру «сглаживания» или «отсеивания» растров, в которых такие «осколочные» пиксели были удалены. В тексте работы нет информации об этом. Если такие процедуры были выполнены, они должны были оказать определенное влияние на результаты расчета метрик фрагментации, а если они не были выполнены, то что послужило причиной этого?
2. В работе была выполнена оценка сходимости результатов типологического картографирования с данными проверочной выборки. В тексте отсутствует

информация об аналогичной проверке результатов анализа лесных выделов при помощи метрик; то есть, не была выполнена формальная проверка предсказательной силы метрик фрагментации в оценке экологических, морфологических, ценотических и др. свойств растительного покрова;

3. К сожалению, в работе не проведено сравнения **площадей** полученных типологических единиц с более ранними материалами, в частности, с картой Г.Н. Огуревой (1996);
4. В разделе «Методы исследования» представлено исчерпывающее описание использованных метрик фрагментации; даны ссылки на многочисленные литературные источники, описывающие их использование в различных экосистемах, приведены примеры. Раздел 3.3 настолько насыщен цитируемой информацией, что его содержание в большей степени соответствовало бы литературному обзору, чем методической части работы;
5. Одним из этапов типологической классификации полевых ботанических описаний стала оценка различий групп сообществ по факторам (использованы шкалы Элленберга). Автор не приводит рисунки ординационных пространств, в которых можно было бы увидеть результаты анализа, хотя они достаточно часто встречаются в ботанических исследованиях, посвященных классификации растительного покрова.

Кроме того, присутствует ряд мелких замечаний:

1. Например, на стр. 96 указано, что «Наименьшая фрагментация характерна для лесов с доминированием ели и сосны», «Наиболее фрагментированы леса широколиственные – дубовые и липовые». В то же время, на стр. 99 указано, что «Максимальное число ядер характерно для еловых выделов...», а «Наиболее низкое число ядер у выделов дубовых и липовых формаций». Нет ли здесь логической ошибки? Ведь, чем выше фрагментация (до определенного предела), тем большее число ядер может включать выдел и наоборот;
2. В таблицах 3–7 представлены формулы и характеристики использованных метрик. К этим таблицам есть ряд замечаний, например:
 - **Таблица 4**, в метрике «PARA» (*Отношение периметра к площади*) – единицы измерения не безразмерные, а м/м^2 , то есть $1/\text{м}$;
 - здесь же, в метрике «SHAPE» (*Сложность формы*) – диапазон измерений на самом деле может принимать значения <0 , для круглых объектов или близких к круглым. В природе такие встречаются не повсеместно, однако достаточно часто озера, карстовые болота, заболоченные леса могут иметь близкую к кругу форму, что стоило бы добавить в комментарий к метрике;
 - здесь же, метрика «FRAC» – видимо, здесь также приведена неверная размерность;
 - здесь же, метрика «CONTIG» (*Смежность*) – в расчет входит параметр c_{ij} , обозначающий значение смежности пиксела i в выделе ij , но способ его получения не приведен; величина v – непонятна размерность и происхождение величины; a_{ij} – «площадь выдела, измеренная в количестве пикселей» – если данная величина все-таки выражается площадью, то размерность метрики «CONTIG» это единицы площади, а если количеством пикселей, то достаточно было бы указать в качестве единицы измерений для a_{ij} просто «количество пикселей»;
 - **Таблица 7**, в метрике «PROX» (*Близость*) – видимо, также приведена неверная размерность;
3. На рисунке 2–3 по оси абсцисс представлены порядковые номера физико-географических провинций, однако соответствующая подпись на рисунке отсутствует. С одной стороны, это затрудняет восприятие представленной

информации, так как требуется искать пояснение в тексте, а с другой – наталкивает на вопрос: правомерно ли проводить сравнение климатических характеристик нескольких участков местности, разных по площади, обеспеченности данными метеостанций и т.д. Другими словами, правомерно ли проведенное сравнение неравноточных данных?

4. Также использованы следующие формулировки:
стр. 31: «В целом более **высоких** провинций...»;
стр. 40: «Кроме 11 спектральных каналов, рассчитан 41 спектральный индекс...» – вряд ли автор диссертации самостоятельно рассчитывал спектральные каналы данных Sentinel-2;
стр. 50: «...метрика (описанной окружности) ... **негативно** связана с (уязвимостью к подтоплениям)» – скорее всего речь идет об отрицательной связи, корреляционной или иной.
В целом в тексте можно отметить ряд неточностей и орфографических ошибок;
5. Ряд важных величин представлен без погрешностей, например, площади типов лесных формаций (рисунок 6, с.70); характерные средние размеры выделов (с. 110, табл. 18 и др.). В таблице 18 не указаны единицы измерения.
6. В разделе выводов не отражены результаты типологической классификации, хотя это было заявлено во ВВЕДЕНИИ в виде первой задачи исследования (стр. 6).

В целом, несмотря на ряд замечаний, диссертационная работа Котлова Ивана Павловича «Пространственная структура лесного покрова Московской области (оценка на основе количественных метрик фрагментации)» соответствует пп. 9–11, 13–14 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 «О присуждении ученых степеней» и отвечает современным требованиям, предъявляемым к диссертационным работам, представляемым на соискание ученой степени кандидата биологических наук, а ее автор, Котлов Иван Павлович заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата биологических наук по специальности 01.05.15 – Экология (биологические науки).

В заключение хотелось бы высказать в качестве рекомендации автору рассмотреть возможность размещения полученной типологической карты и других материалов проведенного исследования в открытом доступе.

Лапшина Елена Дмитриевна,
доктор биологических наук, профессор,
директор Научно-образовательного центра
«Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата».
Тел.: +7 (3467) 377 000, доб. 313, сот. +7 912 902 1033
E-mail: e_lapshina@ugrasu.ru

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Югорский государственный университет» (ЮГУ).
628012, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16.
E-mail: ugrasu@ugrasu.ru