

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата географических наук Енуковой Евгении Александровны
на тему: «Городские «острова тепла» в поле температуры поверхности по
данным космических снимков»
по специальности 1.6.21 геоэкология

Диссертация Е.А.Енуковой посвящена исследованию свойств городского «острова тепла» в Москве на основе анализа космических снимков, охватывающих период с 2000 по 2020 г. Вряд ли можно сомневаться в актуальности этой темы, которая становится все более острой и затрагивает не только научное сообщество, но и жизненные интересы многих людей на планете, учитывая, что мегаполисы, подобные Москве, растут и расширяются во всех индустриальных странах, а глобальное потепление с каждым годом усиливается, делая климат мегаполисов все менее комфортным для их населения. В своей работе автор исследует пространственные и временные закономерности феномена острова тепла путем сравнения поля температуры в Москве и в ее окрестностях, включая небольшие города и деревни, расположенные неподалеку от столицы. Задача только на первый взгляд кажется простой. На самом деле она очень многомерна и требует учета множества параметров и характеристик, поэтому, выводам, которые касаются непосредственно свойств «острова тепла» в Москве, предшествуют скрупулёзные методические исследования, выполненные автором, которые повышают достоверность полученных результатов.

Работа состоит из Введения, пяти глав (203 страницы, 41 таблица, 106 рисунков), Заключения и обширного Списка литературы из 120 наименований.

В первой главе автор приводит физико-географическую характеристику Московского региона, рассматривает возможные причины образования городских «островов тепла», методы их изучения, включая спутниковые

данные и особенности их использования для достижения поставленной цели. Хочу отметить сбалансированность текста этой сложной синтетической главы, где уместились разные сюжеты: в ней есть все необходимое и ничего лишнего. В частности, здесь продемонстрировано понимание автором технологической стороны процесса и приведены все важные технические характеристики использованных продуктов. Из частных недостатков отмечу, что некоторые заимствованные из других источников карты (см., например, 1.11) плохо читаются, но это не так важно, поскольку они имеют вспомогательных характер. Уже в первой в главе автор приводит важные данные, касающиеся возможных искажений, смещенных оценок интенсивности «острова тепла», связанных с использованием спутниковых данных (время пролета спутника и отсутствие ночных данных и завышение среднемесячных и среднегодовых оценок из-за облачности). Однако, учитывая многие обстоятельства, автор приходит к выводу, что, используя снимки MODIS, можно получить данные о температуре поверхности с точностью до 1°C , что достаточно для задачи этой работы.

Вторая глава, которая называется «Поверхностный «остров тепла» Москвы», начинается с нескольких методических разделов. Рассматриваются характеристики данных, программное обеспечение, время полета спутников, приводятся результаты численных экспериментов по имитации облаков и т.д., а также подробно рассматривается один из ключевых вопросов исследования - сравнение спутниковых данных с наземными метеорологическими наблюдениями. В этой главе основным является Рис. 2.23 (Рис. 3 автореферата), который показывает, что наибольшая интенсивность острова тепла в Москве наблюдается в июне, а наименьшая – в октябре и приводятся количественные среднемесячные значения этого индекса, рассчитанного на основе анализа спутниковых данных. Здесь автор также выдвигает гипотезу о том, что главным фактором, определяющим индекс «острова тепла», является растительность (этот вывод более детально затем рассматривается далее по тексту, в частности, в разделе 3.2), однако важную роль играют и другие

параметры (альbedo подстилающей поверхности, снежный покров, выделение тепла городскими тепловыми сетями, транспортом и пр.). Сделана попытка оценить влияние карантина из-за пандемии коронавируса в 2020 году на поверхностный «остров тепла» в Москве, однако из-за кратковременности этого «эксперимента» каких-то однозначных выводов получить не удалось, о чем автор и сообщает читателю. Интересным и важным мне показался вывод о том, что во времени (с 2000 по 2020 г.) интенсивность «острова тепла» в Москве менялась мало. Этот вопрос, который связан с прогнозом будущих изменений, по-моему, можно было бы рассмотреть подробнее, в частности, сравнить значения индекса не только с ходом среднегодовой температуры (Рис.2.26), но и по месяцам, особенно с июньскими и июльскими температурами.

Третья глава посвящена более подробному исследованию собственно термической структуры «острова тепла» в Москве. Отдельно рассматриваются шесть типов поверхностей: плотная городская застройка и промзоны, разреженная застройка и пустыри, парки, а также поверхности относительно небольшой площади - поверхности открытой воды, луга, пляжи и песчаный карьер. Установлен вклад каждого типа поверхности в индекс «острова тепла» в Москве (Рис.3.1). Так, 28 лесопарков Москвы, фактически являются «островами холода» и ослабляют интенсивность «острова тепла» в среднем на $-1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, но эта характеристика меняется в широком диапазоне от $-4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, причем влияние растительности наиболее заметно в июне ($-2,7 \pm 0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) и менее всего - в ноябре ($-0,2 \pm 0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$). Автор приходит к выводу, что это степень воздействия лесной и парковой растительности определяется площадью, породным составом, объемом биомассы и плотностью древостоя. Эти выводы не вызывают сомнения, хотя, справедливости ради, следует отметить, что связь интенсивности «островов холода» с площадью лесопарков очень слабая и при удалении всего одной точки, видимо, станет статистически незначимой (Рис. 6 автореферата - к слову, в самой диссертации этот рисунок выглядит несколько иначе - см. Рис. 3.12). Водные объекты оказывают охлаждающее воздействие

во время теплого сезона и отепляющее – зимой, песчаные - в среднем теплее, чем город в течение всего года, луговые – примерно такие же как средние для всего города. Для зоны плотной городской застройки получены значения, которые свидетельствуют о том, что эти районы теплее фоновых (за городом) в среднем на 3,6 °С. Не подвергая сомнению эти, безусловно, значимые результаты, отмечу, что мне показалось не вполне обоснованным выделение больших территорий в основном спальных районов с плотной высокоэтажной застройкой площадью 646 км² в отдельный кластер без расчленения («остальная часть города») и их объединение с пустырями, которые имеют совершенно другие характеристики поверхности (Рис. 3.1). Надеюсь, что в будущем, для этого кластера удастся получить более детальные данные, хотя автор наглядно показал всю сложность выделения для них эталонов, отметив, что «попытки объективного анализа сводятся к субъективному выбору таких участков» (стр. 146).

Для сравнения с московской «аномалией» используются данные по фоновым территориям, которые обсуждаются в *четвертой главе* диссертации. На Рис. 4.4. где показано пространственное поле температур московского региона, видно, как заметно выделяется теплое пятно Москвы на фоне менее урбанизированных территорий; кроме того, общегеографические закономерности проявляются в виде повышения температур в юго-восточном направлении. Здесь мне показались важными эксперименты автора с размером сетки, которые могут существенно повлиять на результат и выявить или, напротив, затушевать важные закономерности. Автор делает вывод, что наибольшее влияние на распределение температуры поверхности оказывает вегетационный индекс NDVI, однако пятью строками ниже сказано, что «В наименьшей степени на поле температуры поверхности влияет ... лесистость территории (то есть доля территории, занятая землями лесного фонда РФ) (стр. 165). Это, пожалуй, требует пояснений. Если обратиться к таблице 4.2, на основе которой сделан этот вывод, то можно видеть, что значения коэффициентов корреляции для всех переменных, за исключением NDVI, хотя

и значимы, но очень близки между собой. Далее автор рассматривает вопрос о том, насколько велики должны быть компактно населенные человеком территории, чтобы на них проявился «остров тепла» и обнаруживает статистические связи индекса «островов тепла» с плотностью населения и размеров населенных пунктов (Рис. 4.10). Обращает на себя внимание небольшая интенсивность острова тепла в Твери. Автор предлагает логичное возможное объяснение этому феномену, но эта проблема явно ждет более подробного исследования в будущем. Короткий раздел в этой главе об «островах тепла» в тропиках не кажется мне инородным. Он придает более широкий контекст диссертации и показывает, что не во всяких климатических условиях города являются островами термических аномалий.

В *Заключении* сформулированы основные выводы автора, с которыми я в целом согласна, хотя есть здесь и некоторые шероховатости формулировок. Так, после текста п. 3 требуется некоторое короткое резюме, которое бы поясняло, как эти очень существенные по величине погрешности учтены в расчетах. В пункте 5 упомянуты типы почв, которые в диссертации почти не рассматриваются. Пункт 8 менее всего обеспечен данными анализа и, возможно, в *Заключении* его можно было бы опустить.

Я оцениваю работу очень высоко. Пожалуй, единственным крупным недостатком, который я вижу, является недостаточно широкий контекст, который позволил бы сравнить полученные выводы с результатами подобных исследований в других районах мира, особенно в умеренной зоне. Это дало бы возможность более полно оценить особенности «острова тепла» в Москве, его интенсивность, динамику во времени, зависимость от разных природных и антропогенных факторов, сделать прогноз его дальнейшего существования и изменений. Большинство сравнений, приведенных в работе, относятся к тропическим городам, что интересно, но не приоритетно в данном контексте. В работе нет ссылок на IPCC, а, между тем, в материалах Межправительственной Комиссии по изменению климата содержатся ценные

сведения, относящиеся к теме работы. Ссылки на публикации в работе выполнены по ГОСТУ, что требуется по правилам, но очень неудобно для читателя. Всегда хочется знать оригинальное имя автора и год выхода публикации.

Работа Евгении Александровны Енуковой чрезвычайно значима для науки и практики. Методика, использованная автором, адекватна поставленным задачам, актуальна и современна. Она обеспечивает достоверность выводов. Работа выполнена автором самостоятельно, но с учетом знаний о современном состоянии дел в этом комплексном научном направлении. Научная новизна работы несомненна – подобных исследований «острова тепла» в Москве не проводилось.

Диссертация хорошо структурирована, иллюстрирована, написана ясным, профессиональным языком, доступным и для широкого круга читателей. В ней, как и в любой работе, встречаются опечатки, изредка – не очень удачные формулировки. Свои частные замечания редакционного характера я передаю автору. Диссертация прошла апробацию на многих научных конференциях, а ее основные положения опубликованы в высокорейтинговых журналах «Доклады академии наук» и «Метеорология и гидрология».

Хочу отметить исключительную практическую значимость этой работы. Она особенно важна в свете недавнего изменения законодательства, в результате которого ООПТ Москвы потеряли свой охранный статус и подвергаются опасности жилой застройки. Особенно остро стоит вопрос с Национальным Парком Лосиный Остров в связи с его расчленением в результате строительства шоссе в г. Королев. А между тем, именно этот, самый большой лесопарковый массив снижает температуру на -2.2°C (см. Табл. 3.6). Я думаю, что было бы полезно направить эту работу в мэрию Москвы, чтобы ознакомить чиновников с теми негативными последствиями, к которым могут привести их недавние решения.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.21 геоэкология (по географическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Енукова Евгения Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.21 геоэкология.

Официальный оппонент:

Доктор географических наук,

ДИРЕКТОР ФГБУН Института географии РАН

СОЛОМИНА Ольга Николаевна

Дата подписания

Контактные данные: тел.: 8(495)959-00-32, e-mail: direct@igras.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация: 25.00.27 (1.6.16) – Гидрология суши. Водные ресурсы

Адрес места работы:

119017, г. Москва, пер. Старомонетный, д. 29 стр.4,

ФГБУН Институт географии РАН

Тел.:8(495) 959-00-32; e-mail: direct@igras.ru