

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОГО ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЭФФЕКТА «ГОРОДСКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Исследуется важный элемент городского микроклимата – «городской остров тепла», рассмотрены используемые в настоящее время подходы к его изучению. Приведен краткий обзор современного использования спутниковой информации и ее обработка средствами популярных геоинформационных систем в целях выполнения элементов микроклиматической оценки, в частности, альbedo территории. Предложен подход к определению альbedo местности по спутниковым снимкам.

Ключевые слова: микроклимат, альbedo, городской остров тепла, геоинформационные системы.

В настоящее время роль городов в жизни человека неуклонно возрастает. Климат города принципиально отличается от климата сельской местности. «Простые» для сельской местности погодные условия под влиянием городской среды часто приобретает экстремальный характер. В городах существенно изменяется естественный тип местности, изменяются характер и свойства подстилающей поверхности. Характерной особенностью мегаполисов является «городской остров тепла», поведение которого существенно влияет на термическую структуру и динамику приземного слоя воздуха и, в конечном итоге, на экологию городской окружающей среды [2].

Феномен был впервые исследован и описан Luke Howard в 1810, хотя он и не давал этому феномену название [10]. Температурная разница между городскими и сельскими районами обычно больше ночью, чем днем, и является наиболее очевидной, когда ветры слабые. Основной причиной возникновения городского острова тепла является модификация земной поверхности городской застройкой, в которой используются материалы, эффективно сохраняющие тепло.

Материалы, широко используемые в городских районах для тротуаров и крыш, такие как бетон и асфальт, имеют существенно отличающиеся объемные тепловые свойства (в том числе теплоемкость и теплопроводность) и поверхностные радиационные свойства (альbedo и излучения), чем окружающие сельские районы. Это приводит к изменению энергетического баланса в городской местности, что часто приводит к более высокой температуре [12].

Исследования, проведенные Нуньесом и Оке по изучению энергетического обмена, который происходит в городских каньонах в средних широтах в хорошую погоду летом, показали, что количество поверхностной энергии в разное время в каньоне зависит от геометрии и ориентации застройки [12], [13].

Начиная с 1998 года, в США был запущен проект Urban Heat Island Pilot Project (UHIPP), в котором приняли участие многие города, такие как Чикаго, Хьюстон, Солт-Лейк-Сити и другие [15]. Цель UHIPP было оказание помощи городам в попытке оценки острова тепла и принятия стратегий его сокращения. Для оценки территорий агентство NASA предоставило снимки территорий высокого разрешения для измерения температуры и объемов растительности в городах. Эта информация была собрана с помощью спутников и датчиков, установленных на реактивных самолетах, помогла идентифицировать «горячие точки» городов. Департамент энергетики и национальная лаборатория Лоуренса в Беркли (LBNL) провели исследования землепользования территорий городов, чтобы определить целевые области для изменения условий землепользования [5], [7], [9].

В России подобной программы с таким широким охватом по городам страны не существует по многим причинам (малодоступность аэрофотоснимков для нецентральных городов, и спутниковых снимков высокого разрешения в тепловом диапазоне). Но исследования в данной области позволяют бороться с последствиями городского острова тепла. Эти последствия включают в себя:

- повышенное потребление энергии на кондиционирование в летний период;
- повышенные выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ и парниковых газов;
- угроза здоровью человека и комфортность проживания;
- ухудшение качества воды [11].

Но так как вместо снимков в тепловом диапазоне возможно использование карт дифференциального альbedo территорий, поэтому их построение будет описано в данной статье.

Фактором, определяющим размер тепловых ресурсов деятельного слоя, и, как следствие, влияющим на размер потоков явного и скрытого тепла и собственное излучение земной поверхности, является альbedo. Для отдельных типов поверхностей величины альbedo изучены достаточно хорошо. Для многих поверхностей альbedo существенно зависит от высоты Солнца, а также состояния этих поверхностей – увлажненности, загрязненности, фенофазы растительного покрова, состава материалов в искусственных покрытиях и т. д. Для определения дифференциального альbedo городской застройки требуется расчет отдельных его составляющих разнородных по отражательной способности поверхностей [3].

Однако цифровая информация, поступающая от современных средств дистанционного зондирования атмосферы и подстилающей поверхности, требует расшифровки и анализа с целью идентификации изображенных на снимках объектов, осуществляемых, как правило, вне рамок ГИС с использованием специализированных программных и аппаратных средств. Можно выделить две основные проблемы, решение которых необходимо для превращения данных дистанционного зондирования в информационные слои, составляющие основу для хранения информации в ГИС: 1) компрессия данных, или выбор наиболее информативных спектральных диапазонов зондирования; 2) идентификация изображенных на снимках объектов. Значительное ускорение процесса принятия решений может быть достигнуто при рассмотрении этих задач непосредственно в контуре ГИС.

Задача определения альbedo по крупномасштабным снимкам видимого диапазона в целях исследования микроклимата в рамках ГИС-технологий решается не так часто. Сложность определения представляется необходимой точно-

стью дешифровки. Между тем приходится констатировать отсутствие единого методологического подхода к анализу данных дистанционного зондирования атмосферы и подстилающей поверхности.

Изображения видимого диапазона накладывают свои ограничения, в связи с этим выполнение дешифровки выполняется вручную с использованием пакетов для работы с растровыми изображениями.

Для построения карт использовались программные комплексы: ESRI ArcGIS, Google Earth, Adobe Photoshop.

В качестве исходной информации о характере подстилающей поверхности использовались космические снимки сервиса Google Earth.

Для больших площадей обследования местности хорошо подходят программные продукты ERDAS [5,14]. Так из-за большого объема обрабатываемых данных, невозможно рассмотреть все его детали визуально.

Одним из подходов для получения полигональных слоев может быть:

1. Визуальный осмотр воздушных аэрофотоснимков и подготовка списка различных типов поверхностей идентифицируемых на фотографии;
2. Группировка поверхности в категории, по необходимым признакам;
3. Случайная выборка подмножества данных для каждого района (использую метод Монте-Карло), и визуальный осмотр каждого образца с присвоением ему категории [5].

Из недостатков этого подхода можно отметить следующие:

- для небольших по площади территорий настройка фильтров ERDAS займет значительно больше времени, чем при визуальном выделении,
- методика определения переходных поверхностей не предоставляет возможностей для детального исследования альbedo территории.

Поэтому был предложен следующий алгоритм для определения такой специфической величины как альbedo. Дешифровка космических снимков представляет собой двухэтапный процесс.

Первичная оценка вида подстилающей поверхности осуществляется визуально, путем выделения значительных однородных поверхностей качественный состав которых не вызывает сомнений. Такие поверхности, как зеленая

трава или асфальтированные поверхности определяются безошибочно. Далее следует сопоставление ранее накопленной теоретической и эмпирической информации о коэффициентах альbedo с типами поверхности.

Второй этап оценки представляет собой детальный анализ поверхности с использованием графического редактора. Так при невозможности определения, либо в сложных случаях по выделению однородных участков для дешифровки или уточнение качественного состава поверхности следует применять предложенный алгоритм. Как правило, сложные для дешифровки поверхности это переходные формы «зеленая трава – выгоревшая трава», участки смены различных типов почв и т. п., либо участки, включающие в себя поверхности с различным альbedo (например, отдельные кустарники, деревья на фоне почвы).

Алгоритм по определению коэффициента альbedo основан на разложения какой-либо поверхности цвета на RGB составляющие цветовой модели. Модель RGB цвета является аддитивной цветовой моделью, в которой красный, зеленый и синий цвета складываются в различных пропорциях для воспроизведения широкого спектра цветов. Название модели происходит от первых трех букв основных аддитивных цветов, красного (R), зеленого (G) и синего (B). Значения компонент часто хранятся как целые числа в диапазоне от 0 до 255. Максимальный диапазон, с учетом того, что в 24-битном изображении 8 бит приходится на один канал. Для этого требуется выделить сложные участки в отдельные слои в ArcGIS. Используя инструменты программного комплекса Adobe Photoshop «Blur-Average» и «Eyedropper Tool», следует определить RGB составляющие для известных поверхностей, далее путем осреднения найти составляющие цвета для участка смешанной поверхности.

Blur представляет собой фильтр изображения, в котором каждый пиксел в результирующем изображении имеет значение, равное сред-

нему значению соседних пикселов в исходном изображении. Размывание изображения с помощью функции, реализуется при помощи последовательности одномерной свертки.

В табл. 1 представлен алгоритм расчета альbedo для смешанных и переходных поверхностей на примере участка «зеленая трава – выгоревшая трава».

Для расчетов использовались формулы следующие формулы:

$$K_{(r,g,b)} = \frac{A_x - A_{\max}}{A_{\min} - A_{\max}}, \quad (1)$$

$$K_{cp} = \frac{K_r + K_g + K_b}{3}, \quad (2)$$

$$A_x = A_{\min} + (A_{\max} - A_{\min})K_{cp}, \quad (3)$$

где A_x – альbedo неизвестной поверхности, A_{\max} – максимальное значение альbedo одной из двух известных поверхностей, A_{\min} – минимальное значение альbedo одной из двух известных поверхностей, $K_{(r,g,b)}$ – расчетные коэффициенты по составляющим цветовой схемы, K_{cp} – средний расчетный коэффициент.

После дешифровки необходимо выполнить классификацию поверхностей с присвоением индивидуальных определителей типа поверхности, в зависимости от последующих целей. Например, при работе с картами альbedo, как составной частью радиационного баланса лучше использовать классификацию, основанную на группировке поверхностей с равным альbedo, с возможностью наложения изолиний [1], [4] гипсометрической карты (рис. 1).

Значительный интерес представляют для оценки теплового эффекта «городского острова тепла» данные зональной статистики на основе построенной карты (рис. 1), сгруппированные в табл. 2, в которой рассматривается деление территорий по грациям в зависимости от типа подстилающей поверхности с учетом вклада каждой из граций в общую площадь.

В силу своей высокой теплоемкости, городские поверхности представляют собой гигантский резервуар тепловой энергии. Например, бетон может вместить примерно в 2000 раз больше тепла, чем эквивалентного объема воздуха. В результате, большую дневную температуру поверхности в городском острове тепла мож-

Таблица 1. Определение альbedo для смешанного участка поверхности

Цветовая схема	Зеленая трава	Выгоревшая трава	Смешанный участок	Коэффициенты (K)
Red (R)	60	160	127	$K_r=0,67$
Green (G)	190	195	192	$K_g=0,40$
Blue (B)	70	60	64	$K_b=0,60$
Альbedo поверхности (%)	26	19	22,9	$K_{cp}=0,56$

но легко видеть, с помощью теплового дистанционного зондирования. Либо с применением методики определения температуры поверхности в зависимости от альбедо.

Согласно L. Gartland [8] все типы поверхностей можно разделить на 4 группы в зависимости от их пиковой дневной температуры:

- деревья, трава, растительность являются самыми холодными поверхностями с максимальной дневной температурой (T_{veg}) 15–38°C;
- антропогенные покрытия естественной поверхности (дороги, тротуары, парковки и т. п.) являются более теплыми, значения максимальной температуры для светлых покрытий (T_{lpav}) находятся в пределах 49–60°C;
- для более темных или серых покрытий (T_{dprav}) 60–71°C;
- крыши классифицируются как самые горячие поверхности в городах и пригородах с максимальной дневной температурой (T_{roof}) 66–88°C.

Далее на примере пригорода г. Перми (пос. Б. Савино) можно показать применимость данной методики. Рассматриваемая территория характеризуется сочетанием разнообразной растительности, участков сельских поселений с малоэтажной застройкой и различных служб аэропорта (аналог городской застройки).

Средняя температура территории (T_i) согласно этим данным (использовались максимальные значения температуры) оценивается как:

$$T_i = T_{veg}S_{veg} + T_{lpav}S_{lpav} + T_{dprav}S_{dprav} + T_{roof}S_{roof} \quad (4)$$

Исходя из того, что любой тип поверхности будет тем холоднее, чем выше его альбедо, можно провести процедуру определения более точных температур для каждой группы поверхностей с учетом составляющих ее элементов, аналогично тому, как проводилось определение альбедо смешанной поверхности.

Расчеты сделаны для времени максимального прогрева территории, примерно 14-16 часов местного времени. Данные расчетов можно подтвердить с использованием теплового дистанционного зондирования. Но в связи с малым масштабом общедоступных снимков разница в данных может быть достаточно большой и оценка может быть не репрезентативной.

В ночное время отсутствие солнечного излучения приводит к уменьшению атмосфер-

Таблица 2. Оценка теплового эффекта «городского острова тепла»

Тип поверхностей	Площадь поверхности	Температура поверхности
Деревья, трава, растительность	72%	15–38°C
Светлые покрытия	8%	49–60°C
Темные покрытия	10%	60–71°C
Крыши	10%	66–88°C
Территория аэропорта Б. Савино	100%	48,06°C



Рисунок 1. Карта изменчивости альбедо местности в окрестности МС Б.Савино (применена ретушь объектов в/ч «Сокол»)

ной конвекции, и городской пограничный слой начинает стабилизироваться. Если стабилизация будет достаточной, тогда образуется инверсионный слой. В связи с этим происходит запираание городского воздуха вблизи поверхности, и могут отмечаться более высокие ночные температуры поверхности [12], [13].

На основе данных расчетов можно оценивать эффективность мероприятий по улучшению условий комфортности территории для человека. Анализируя, формулу (4) можно видеть два пути по улучшению микроклиматической обстановки и уменьшению термических эффектов острова тепла: изменение площадного состава территорий и качественное изменение характера и свойств подстилающей поверхности, то есть уменьшение альбедо поверхности. Конкретные меры могут быть следующими:

– эффекту острова тепла можно противодействовать с помощью белых или светоотражающих материалов, используемых при строительстве домов, крыш, тротуаров и дорог, тем самым увеличивая общее альбедо города. Относительно других методов устранения причин возникновения острова тепла, замена темного кровельного материала требует наименьших инвестиций и наиболее быстро дает эффект.

– второй метод заключается в увеличении количества зеленой растительности.

– первые два варианта могут быть объединены в современный проект – зеленые крыши. Зеленые крыши представляют собой отличные изоляторы в течение всего теплого времени года [7], [8].

Результаты данной работы так же применимы для решения задач в области энерго- и теплосбережения, приобретающих все большую актуальность в настоящее время.

25.12.2012

Список литературы:

1. Гольдберг И.А. Методические указания по производству микроклиматических обследований в период изысканий. Л.: Гидрометиздат. 1969. 63с.
2. Ляхов А.А., Тимофеев И.Ю. Влияние экстремальных гидрометеорологических условий на эффективность хозяйственной деятельности жилищно-коммунальной отрасли в мегаполисах // Международная конференция по проблемам гидрометеорологической безопасности. Тезисы докладов. Географический вестник №3 (14). М., 2006. С. 40.
3. Мягков С.М. Механизм формирования теплового баланса в городской застройке на примере г. Москвы/ Авт. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. М. 2004. 26 с.
4. Шкляев В.А., Исаков С.В. Применение ГИС технологий при производстве микроклиматических исследований // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч.тр. – Пермь, 2010. С. 115-120.
5. Akbari, H. and Rose, L. S.. Characterizing the Fabric of the Urban Environment: A Case Study of Salt Lake City, Utah. LBNL-47851. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2001.
6. Chanikarn Y., Mojtaba N. Quantification of available solar irradiation on rooftops using orthophotograph and lidar data. Fourth National Conference of IBPSA-USA, New York City, New York, August 11 – 13, 2010
7. Cummings, J.B.; Withers, C.R.; Sonne, J.; Parker, D.; Vieira, R.K. UCF Recommissioning, Green Roofing Technology, and Building Science Training; Final Report. Cocoa, FL: Florida Solar Energy Center, 2007.
8. Gartland L. Heat islands. London: Sterling VA, 2008. 215 p.
9. Gray, K. A. and Finster, M. E. The Urban Heat Island, Photochemical Smog, and Chicago: Local Features of the Problem and Solution. Evanston, IL: Northwestern University, 1999.
10. Howard L., The climate of London, deduced from Meteorological observations, made at different places in the neighbourhood of the metropolis, 2 vol., London, 1818-20.
11. Kusaka, Hiroyuki and Fujio Kimura. 2004. Thermal Effects of Urban Canyon Structure on the Nocturnal Heat Island: Numerical Experiment Using a Mesoscale Model Coupled with an Urban Canopy Model. American Meteorological Society. Vol. 43. pg. 1899-1910.
12. Oke T.R. The energetic basis of the urban heat island. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1982, 108 (455): 1–24.
13. Nunez, M., T. R. Oke. The Energy Balance of an Urban Canyon. Journal of Applied Meteorology. 1977, Vol. 16. pg. 11-19.
14. U.S. Environmental Protection Agency. Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2008.
15. <http://www.epa.gov/heatisland/pilot/index.htm>

Сведения об авторах:

Исаков Сергей Владимирович, аспирант кафедры метеорологии и охраны атмосферы Пермского государственного национального исследовательского университета, e-mail: isakov-sergey2009@yandex.ru

Шкляев Владимир Александрович, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы Пермского государственного национального исследовательского университета, кандидат географических наук, доцент 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15, ПГНИУ, географический факультет, тел. (342)2129645, e-mail: shkkliaev@psu.ru