

УДК 528.873.041.3:911.375

**ТЕПЛОВАЯ СТРУКТУРА ГОРОДА СИМФЕРОПОЛЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ОБРАБОТКИ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ****Дубровская С.А.***ФГБУН Институт степи Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург,
e-mail: skaverina@bk.ru*

Микроклимат города – важный компонент, характеризующий комфортную среду «обитания» человека. Создавая оптимально благоприятную обстановку для своего существования, горожане кардинально преобразуют (трансформируют) естественные ландшафты, превращая их в техногенные. На основе данных тепловых инфракрасных снимков разработаны картографические модели структуры и аномалий урбанизированного ландшафта города Симферополя, выделены районы города, различающиеся по уровням поверхностного «острова тепла». В статье приводятся результаты обследования сезонных изменений в рамках теплового загрязнения урбосреды. При расчете аномальных территорий рассчитаны классы с максимальными температурами по многовременным разносезонным изображениям и определена компонента пересечения участков, совпадающих по количественным показателям. В целом тепловая структура города Симферополя является относительно удовлетворительной. В рамках распределения средних значений температур на многовременных разносезонных снимках отображается и квалифицируется по результатам исследования сетчатой моделью.

Ключевые слова: городской ландшафт, Республика Крым, тепловая интенсивность излучения, тепловая структура и аномалии, микроклимат, природоподобные и экобиотехнологии

**THERMAL STRUCTURE OF THE SIMFEROPOL ON THE RESULTS
OF MULTISPECTRAL IMAGES PROCESSING****Dubrovskaya S.A.***Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, e-mail: skaverina@bk.ru*

The microclimate of the city is an important component that characterizes the comfortable environment of human «habitat». Creating an optimally favorable environment for their existence, citizens dramatically transform natural landscapes, turning them into man-made landscapes. Based on the data of thermal infrared images, cartographic models of the structure and anomalies of the urbanized landscape of Simferopol have been developed, and it has been identified to identify areas of the city that differ in the levels of the surface «heat island». The article presents the results of a survey of seasonal changes in the context of thermal pollution of the urban environment. When calculating the anomalous areas, classes with maximum temperatures for different images were calculated and a component of the intersection of the areas coinciding in terms of quantitative indices was determined. In general, the situation in the field of thermal pollution in Simferopol is relatively satisfactory. The structure of the city is represented as a grid – a uniform distribution of average temperatures with very high temperatures. In general, the thermal structure of the city of Simferopol is relatively satisfactory. Within the distribution of average temperatures for multi-season seasons, it is displayed and classified according to the results of the study by a grid model.

Keywords: city landscape, Republic of Crimea, thermal intensity of radiation, thermal structure and anomalies, microclimate, converging technologies, ecobiotechnology

По определению Н.Ф. Реймерса (1990) урбосистема – неустойчивая природно-антропогенная система, состоящая из архитектурно-строительных объектов и резко нарушенных естественных экосистем [6]. Город – «живой организм» с ослабленной иммунной системой, во многом утративший экологическую устойчивость и способность к самовосстановлению состояния своих компонентов [1]. Характеризуя геоэкологический аспект урбанизированной территории, следует отметить изменения всех компонент природной составляющей: атмосфера, рельеф, водные и почвенные ресурсы, подземные воды, растительность, приводящие к кардинальной трансформации всех сред и возникновению под воздей-

ствием искусственных поверхностей и промышленных объектов своего микроклимата. Замещение природных сред на антропогенные ландшафты приводит к деградации урбозкосистем. Возникают техногеосистемы (ТГС) с экстремальными экологическими условиями, что приводит к снижению качественных характеристик урбоареала для любых видов живых организмов, в том числе и человека. Создавая оптимально «уютные» условия для своего существования («качество жизни»), общество получает взамен весь спектр экологических проблем.

Архитектурно-планировочные особенности ТГС городской территории способствуют формированию особого местного микроклимата, существенно отличающе-

гося от пригородных зон, граница между ними выделяется как «утес острова тепла». В зависимости от типа ТГС создаются разные микроклиматические условия, определяемые плотностью застройки (геометрия зданий, блокирование воздушных потоков, материалы искусственных покрытий), присутствием промышленного предприятия, наличием естественного и искусственного покрытий, транспортные потоки и другие источники избыточного тепла, присутствие зеленых насаждений и водоемов (плато низких температур). Нужны минимизация отрицательных воздействий негативных факторов урбосреды возможно за счет включения в планировочную структуру города природно-ландшафтных элементов; установление баланса между антропогенными и природными ландшафтами; увеличение площадей зеленых насаждений и благоустройство рекреационных зон, набережных; перенос из жилых районов промышленных предприятий, строительство объездных автомобильных дорог для уменьшения транспортных потоков в городской черте. Следует оценить степень экологического благополучия и благоприятные условия проживания населения с помощью медико-демографических и гигиенических показателей.

Цель исследования

Используя снимки в тепловом инфракрасном диапазоне, получить картографические модели урбанизированной территории для выявления устойчивых тепловых аномалий, тепловых структур местности, связанные с техногеосистемами степной зоны, на основе этого выявить районы (участки) города, различающиеся по уровню поверхностного «острова тепла».

Материалы и методы исследования

Для обследования выбраны многовременные разнотемпературные снимки (тепловой инфракрасный диапазон, 2008–2015 гг.). В качестве исходных данных были использованы мультиспектральные снимки спутника Landsat 7 с сенсором ETM+, Landsat 8 с сенсором OLI/TIRS с разрешением 100 м (канал 10,4–12,5 мкм). Снимки серии Landsat на территории представлены Геологической службой США (USGS) и находятся в открытом доступе на электронном ресурсе – <http://www.glovis.usgs.gov>. При помощи программных продуктов ENVI 5.1, ArcGIS 10.2 получены многовременные разнотемпературные картографические модели. Применен алгоритм ISODATA и выявлены однородные системы по сезонной динамике интенсивности теплового излучения. Кластеризация теплового снимка позволила выявить структуру теплового поля г. Симферополя. Определение тепловых аномалий города связано с объектами повышенной интенсивности теплового излучения.

Результаты исследования и их обсуждение

Для устойчивого развития урбогеосистемы необходима комплексная экологизация всех направлений деятельности человека – грамотное градостроительное проектирование промышленных, транспортно-коммуникационных ТГС, селитебных и рекреационных комплексов. Применение многовременных разнотемпературных мультиспектральных изображений дает возможность оценки экологической обстановки урболандшафтов. Дешифрирование – инструмент для создания картографических основ и генеральных планов перспективного развития городского хозяйства [4]. На картографической модели тепловой структуры г. Симферополя (рис. 1), составленной по многовременным разнотемпературным снимкам, характер интенсивности теплового излучения в весенне-летний период установлен как относительно комфортный. В осенне-зимний (резкое увеличение площади территории с максимальной тепловой интенсивностью) сезон прослеживается дифференциация урбогеосистем: нагрев селитебных и промышленных ТГС. Растительные сообщества способны реагировать не только на естественные, но и антропогенные изменения окружающей среды [2]. Особенностью осенних снимков теплового излучения является образование в общей структуре зон тепловых максимумов в жилых, производственных структурах и над зеленым каркасом (некоторые парки) города по пойме р. Салгир. Для выяснения причин повышения температур в парковых зонах, был рассмотрен растительный видовой состав этих рекреационных объектов. Примером флоры выбран парк им. Т.Г. Шевченко (Центральный район, ул. Севастопольская), для которого ассортимент древесно-кустарниковых пород существенно не отличается от других садово-парковых объектов г. Симферополя.

По результатам инвентаризационного обследования парка (% экземпляров) основную площадь занимают следующие виды растений: плосковечный восточный (*Platycladus orientalis* L. (Franco) – 25,23%, самшит вечнозеленый (*Buxus sempervirens* L.) – 14,78%, стипнолобий японский или софора японская (*Styphnolobium japonicum* (L.) Schott – 9,43%, ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.) – 7,39%, орех грецкий (*Juglans regia* L.) – 6,21%, сосна крымская (*Pinus pallasiana* D. Don) – 4,87%, вяз гладкий

(*Ulmus laevis* Pall.) – 4,17%, сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L.) – 3,54%. Наиболее распространены представители семейств Buxaceae, Cupressaceae, Fabaceae, Pinaceae, Rosaceae, Ulmaceae. [5]. Так основными представителями парковых зон являются хвойные и вечнозеленые деревья и кустарники, существенно отличающиеся от группы декоративных лиственных деревьев (листва сохраняется в течение всего года). Нагретый воздух от зданий образует восходящие потоки вместе с мелкими частицами пыли, которые долго держатся в воздухе. Тогда как над парком возникают нисходящие потоки, с ними теплый воздух и пылевые частицы задерживаются в этой зоне,

а прохладный и очищенный атмосферный воздух попадает на соседнюю жилую территорию (рис. 2).

Другой причиной осеннего теплового нагрева парковых зон могут являться физиологические особенности вечнозеленых растений. Процессы фотосинтеза и дыхания (транспирации) в течение суток протекают с разной интенсивностью. У растений в ночное время, согласно циклу Кребса, происходит биохимический процесс, в ходе которого при распаде углеводов (глюкозы) при участии воды, образуются углекислый газ, водород и АТФ (аденозинтрифосфат). Содержание CO_2 в воздухе задерживает распространение

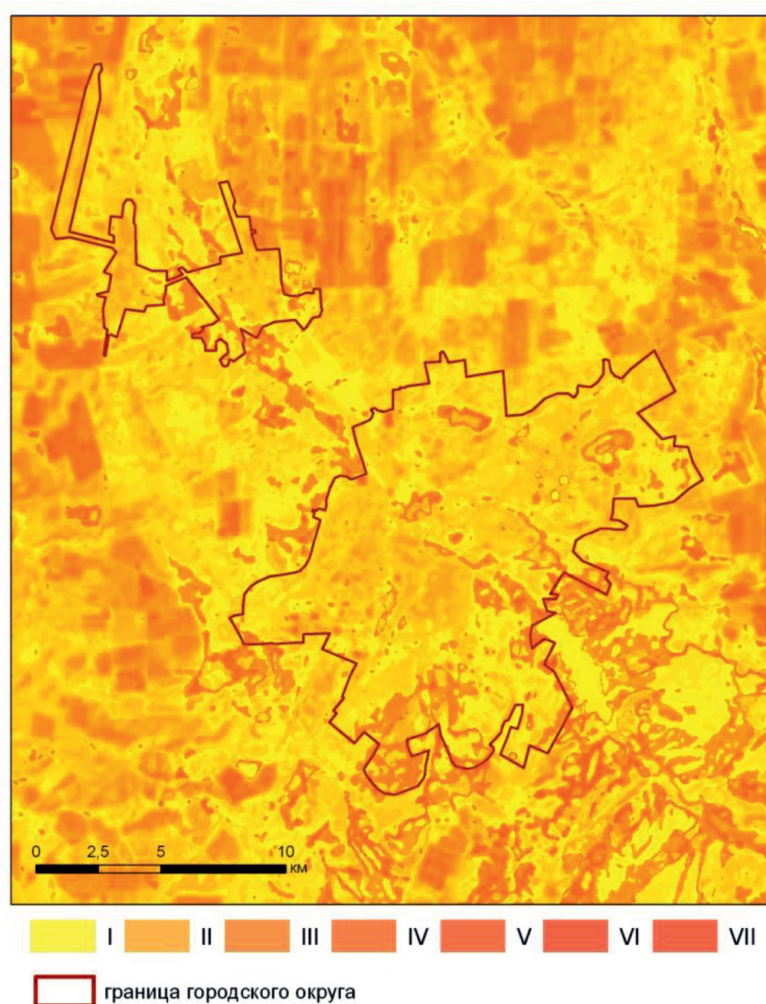


Рис. 1. Тепловая структура г. Симферополя: I – области минимальных амплитуд тепловой интенсивности; II – области пониженной интенсивности теплового излучения; III – области средней с уменьшенными сезонными амплитудами интенсивности теплового излучения; IV – области средней со значительными сезонными амплитудами интенсивности теплового излучения; V – область высокой интенсивности теплового излучения; VI – области очень высокой интенсивности теплового излучения; VII – области максимально высокой интенсивности теплового излучения

длинноволновой радиации, что приводит к сохранению тепла. Фотосинтез растений субтропического пояса относится к C_4 -пути (цикл Хэтча – Слэка). C_4 -растения осуществляют фотосинтез более эффективно, чем C_3 -растения. Благодаря особенностям анатомии листовых пластин (*кранц-тип*) субтропические растения имеют низкий коэффициент транспирации, более высокие показатели эффективности использования воды, скорости фотосинтеза, температурного оптимума и прироста сухого вещества [7, 3]. Кроме этого важен процесс транспирации, который находится в прямой зависимости от такого экологического фактора как влажность почвы. Чем выше влажность почвы, тем интенсивнее растение включает процессы устьичной и внеустьичной регуляции. В осенний период в г. Симферополь выпадает от 37 мм до 44 мм (так в 1989 г.

в сентябре наблюдался максимум, 153 мм). Температурный режим, углекислый газ и повышенная влажность создают условия для повышения тепла в парках.

Тепловая структура на зимних снимках обусловлена нагревом промышленных и некоторых участков селитебных застроек. Основные площади приходятся на области минимальной и пониженной интенсивности теплового излучения. Распределение оставшихся областей незначительно. В целом структура города представлена как *сетчатая* – равномерное распределение средних с очень высокими значениями температур. Характеризуя тепловую структуру г. Симферополя по результатам обработки многовременных разнотемпературных мультиспектральных изображений, в целом обозначить как удовлетворительное состояние теплового поля.

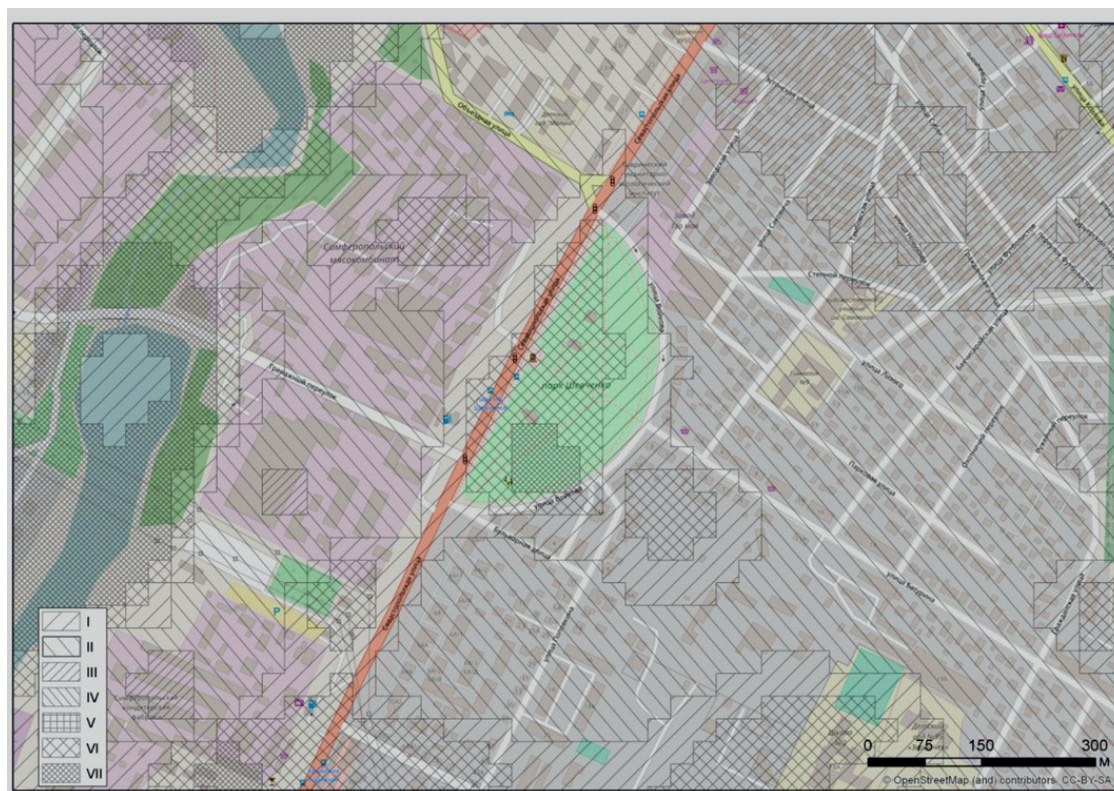


Рис. 2. Тепловая структура парка им. Т.Г. Шевченко: I – области минимальных амплитуд тепловой интенсивности; II – области пониженной интенсивности теплового излучения; III – области средней с уменьшенными сезонными амплитудами интенсивности теплового излучения; IV – области средней со значительными сезонными амплитудами интенсивности теплового излучения; V – области высокой интенсивности теплового излучения; VI – области очень высокой интенсивности теплового излучения; VII – области максимально высокой интенсивности теплового излучения

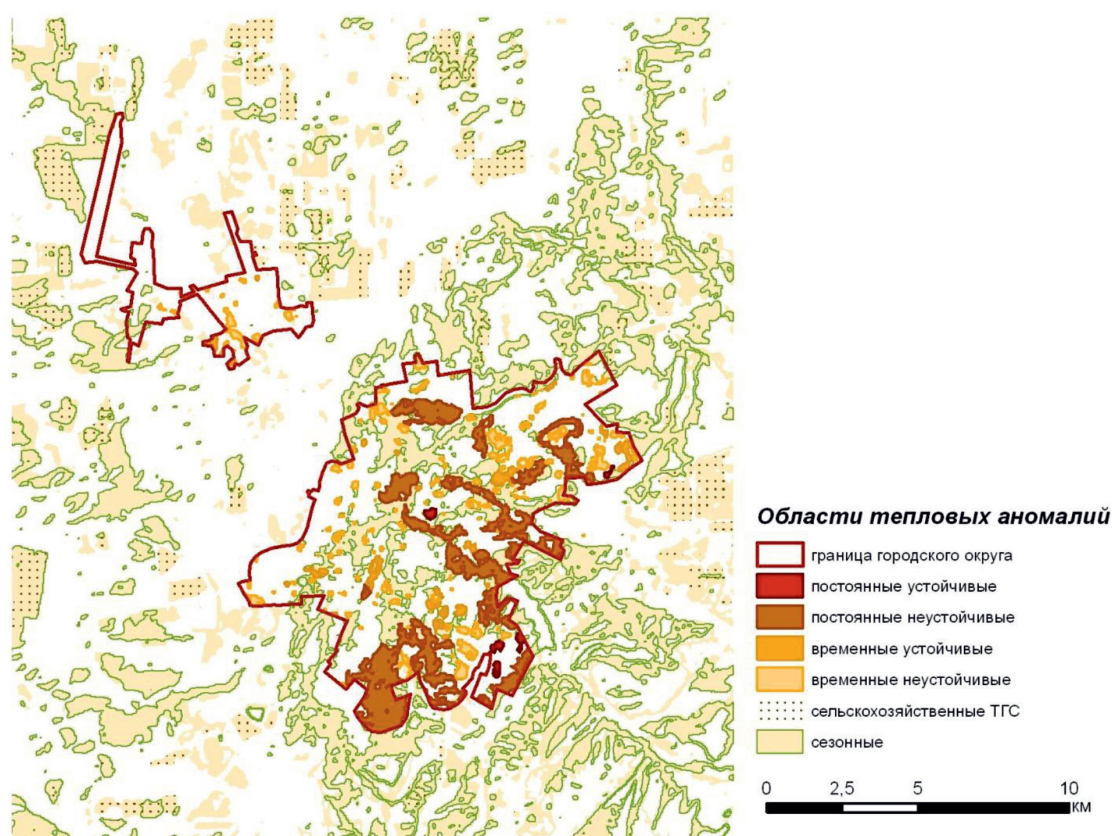


Рис. 3. Картограмма тепловых аномалий г. Симферополя

Нами отдельно выделены области тепловых аномалий исследуемой территории (рис. 3). Установлены полигоны с максимальной областью теплового излучения по многовременным разносезонным мульти-спектральным данным и определены участки их пересечения: постоянные устойчивые (стабильно постоянной площади теплового излучения на протяжении всех сезонов); постоянные неустойчивые (изменяющие площадь в течение трех сезонов); временные устойчивые (полигоны с постоянной площадью – пересечение сезонных комплексов по парным сочетаниям); временные неустойчивые (полигоны, меняющие тепловой диапазон по площади и сезонам). Кроме выделенных тепловых аномалий классифицируются еще два тепловых класса – сезонные и сельскохозяйственные. Сезонные тепловые аномалии квалифицируются как полигоны с неравномерным нагревом территорий, которые негативно не влияют на комфортность урбосреды. Класс сельскохозяйственных ТГС четко прослеживается за пределами границ городского округа. На-

блюдается незначительный нагрев участков сельхозугодий (открытая почва) в весенне-осенний периоды.

Заключение

Возрастает необходимость использования биопозитивных (природоподобных) технологий, позволяющих преобразовать урботехногеосистему в новую природосберегающую и природовоспроизводящую систему с комфортными условиями проживания для человека. Антропогенные (энтропийные) объекты в урбосреде исключают негативное воздействие (физическое, механическое, химическое и другие виды загрязнений). Следовательно, для позитивного функционирования природоподобного урболандшафта г. Симферополя показано использование альтернативной энергетики – ветроэлектрические станции, автономные ветрогенераторы, солнечные электростанции, фотоэлектрические элементы, солнечные водонагреватели и коллекторы. Для улучшения экологической обстановки необходима организация про-

цесса утилизации (рециклирования) твердых коммунальных (бытовых) и промышленных отходов в пределах городского округа. Возрастает необходимость создания энергосберегающих зданий с учетом особенностей архитектурно-планировочных решений – строительство «умных» экодомов, проектирование зданий с низким энергопотреблением за счет высокотехнологического оборудования (альтернативных источников энергии). Для экологизации городского пространства необходимо проведение экоконтруктурирования компонентов городского ландшафта и создания зданий и сооружений с биопозитивными свойствами (органично вписывающихся в окружающий природный ландшафт). Желателен перенос всех объектов промышленности и производства, являющихся источниками вредного воздействия на здоровье населения и способствующих загрязнению урбосреды, за пределы городского округа, с учетом аэроклиматических характеристик, рельефа местности.

Зеленые зоны повышают уровень комфорта урбосреды, внешне позитивно влияют на облик городских кварталов и укладываются в современный тренд «friendly-city» – тематическая карта туристических маршрутов по организации городского пространства с информацией об разнообразных объектах, с фильтрами по интересам, популярности для знакомства и посещения жителями и гостями города

Симферополя. В этом аспекте наиболее ценным объектом является р. Салгир, в пределах ее долины необходима комплексная организация и благоустройство ее набережной, пляжа и прилегающих ареалов зеленых насаждений города.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Степи России: ландшафтно-экологические основы устойчивого развития, обоснование природоподобных технологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды» № ГР АААА-А17-117012610022-5.

Список литературы

1. Каверина С.А., Климентьев А.И., Ложкин И.В. Геоэкологическая оценка трансформации почвенного покрова Орско-Новотроицкого промузла // Вест. Оренб. гос. ун-та. – 2007. – № 3. – С. 124–142.
2. Климентьев А.И., Ложкин И.В., Каверина С.А. К методике биотестирования городских почв // Биотехнология – охрана окружающей среды. – II Международная конференция. – 2004. – С. 115.
3. Медведев С.С. Физиология растений: учебник. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 512 с.
4. Петрищев В.П., Дубровская С.А., Ряхов Р.В. Сравнительный анализ состояния растительности в г. Оренбурге по результатам обработки мультиспектральных космических снимков // Экология урбанизированных территорий. – 2014. – № 4. – С. 213–217.
5. Потемкина Н.В., Романенко Н.П. Инвентаризация дендрофлоры парка им. Т.Г. Шевченко в городе Симферополе // Бюлл. Никитинского ботанического сада. – 2011. – Вып. 102. – С. 86–89.
6. Реймерс Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник. – М.: Просвещение. – 1990. – 637 с.
7. Смашевский Н.Д. Экология фотосинтеза // Астраханский вестник экологического образования. – 2014. – № 2 (28). – С. 165–180.