

12/12/2019

**ПРОУЧВАНЕ НА ДОБРИ
ПРАКТИКИ ЗА ТОПЛИННИТЕ
ОСТРОВИ НА ТЕРИТОРИЯТА НА
СТОЛИЧНА ОБЩИНА
/ИЗСЛЕДВАНЕ И
КАРТОГРАФИРАНЕ НА ЕФЕКТА
НА ГРАДСКИЯ ТОПЛИНЕН
ОСТРОВ НА ТЕРИТОРИЯТА НА
СОФИЯ И ПРОУЧВАНЕ НА ДОБРИ
ПРАКТИКИ ЗА СМЕКЧАВАНЕ НА
НЕГОВОТО ПРОЯВЛЕНИЕ/**

ПРОФ. Д-Р АНТОН ПОПОВ, ДОЦ. Д-Р СТЕЛИЯН
ДИМИТРОВ, ДОЦ. Д-Р БИЛЯНА БОРИСОВА, ДОЦ. Д-Р
БОЯН КУЛОВ, АС.МАРТИН ИЛИЕВ, МАРГАРИТА
АТАНАСОВА



София, 2019

Съдържание

1. ВЪВЕДЕНИЕ.....	4
2. ТОПЛИННИ ОСТРОВИ – СЪЩНОСТ.....	7
3. МЕТОДОЛОГИЯ	15
4. ОБЗОРНО КАРТОГРАФИРАНЕ НА ГТО, ИЗВЪРШЕНО ЧРЕЗ ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ (LAND SURFACE TEMPERATURE) С ПОМОЩТА НА САТЕЛИТНИ ИЗОБРАЖЕНИЯ	19
5. АНАЛИЗ НА ОЧАКВАНИТЕ КЛИМАТИЧНИ ПРОМЕНИ С ХОРИЗОНТ ДО 2050 Г. 30	
6. КЛИМАТИЧНО ЗОНИРАНЕ, ТЕРЕННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ОЦЕНКА НА ИЗНТЕЗИВНОСТТА НА ГТО	65
7. ОЦЕНКА НА УЯЗВИМОСТТА, ЗАПЛАХИТЕ И РИСКА ОТ ЯВЛЕНИЕТО „ГРАДСКИ ТОПЛИНЕН ОСТРОВ“	98
8. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДОБРИ ПРАКТИКИ ПО ОТНОШЕНИЕ НА ЕФЕКТА „ТОПЛИНЕН ОСТРОВ“ И ПРИЛАГАНЕТО ИМ НА ТЕРИТОРИЯТА НА ГР. СОФИЯ 103	

Списък на използваните съкращения:

ГТО	Градски топлинен остров
ГСА	Горен слой на атмосферата
ГИС	Географски информационни системи
ЛКЗ	Локална климатична зона
ТЗП	Температура на земната повърхност
ALADIN	Aire Limitée Adaptation Dynamique développement InterNational.
CNRM	Centre National de Recherches Météorologiques
CORDEX	COordinated Regional climate Downscaling Experiment
EPA	Environmental Protection Agency
HyMex	Hydrological cycle in the Mediterranean Experiment
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IR	InfraRed/инфрачервена зона
Med-CLIVAR	CLimate VARIability and Predictability
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Near InfraRed/близка до видимия диапазон инфрачервена зона
RCP	Representative Concentration Pathway
UHI	Urban Heat Island
SUHI	Surface Urban Heat Island

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Процесите на интензивна урбанизация са основен фактор за промяната на географската структура на територията, изразяваща се в дълбока и всестранна трансформация на естествените ландшафти и екосистеми и превръщането им в изкуствени хабитати със силно насищане на пространството с антропогенни обекти и системи. В резултат на това, особено в големите градски центрове, се наблюдават съществени изменения в естествените екологични процеси, чиито негативни последици засягат пряко начина и качеството на живот на обитаващото ги население.

Промяната в земното покритие и налагането на интензивно земеползване в урбанизираните територии оказва влияние и видими ефекти върху формирането на местния климат и неговите елементи (температурни режими, валежи, изпарение, влажност, вятър), които от своя страна имат определящо значение за качеството на обитаемата среда. Включването на климатологичните аспекти при оценката на екологичната ситуация в процедурите по планиране и управление на урбанизираните територии изисква да бъде дефинирано понятието „градски климат“. Най-често с това понятие се обозначава „силно модифициран локален климат на градските територии и индустриалните зони в сравнение със заобикалящите ги територии“¹. Специфичните му особености се наблюдават в приземните атмосферни слоеве и имат важно значение за условията на обитаване в рамките на урбанизираните територии и техните непосредствени околности.

Температурата на повърхността и на приземния въздушен слой е една от променливите, които най-добре отличават и характеризират спецификата на климата в урбанизираните пространства. През годините научните изследвания са доказали, че в рамките на урбанизираните пространства се наблюдават устойчиво по-високи температури, което се определя като **ефект на градския топлинен остров (ГТО, Urban Heat Island-UHI)**. От времето на първото документирано изследване в тази област, проведено от Люк Хауърд в Лондон² в края на 19 в., това явление е изследвано в различни градове с различни размери и географско разположение³. По-високите температури на земната повърхност и на контактния с нея слой въздух допълнително топлинно натоварват градското население, като повишават температурния стрес, особено през летните месеци, което съществено се отразява на нивата на обща смъртност⁴ на населението, както и на разходите за енергия за охлаждане и свързаните с това емисии на парникови газове⁵.

¹ Schirmer, H. et al. 1987: Meyers Kleines Lexikon, Meteorologie, Meyers Lexikon Verlag, Mannheim

² Mills, G., 2008, Luke Howard and the climate of London Weather, 63 (6) (2008), pp. 153-157

³ Zhou, B., D. Rybski, J.P. Kropp, 2017) The role of city size and urban form in the surface urban heat island, Sci. Rep., 7 (2017), p. 4791

⁴ Constantinescu D., S. Cheval, G. Caracș, A. Dumitrescu, Effective monitoring and warning of Urban Heat Island effect on the indoor thermal risk in Bucharest (Romania) Energ. Buildings, 127 (2016), pp. 452-468

⁵ Y. Zhou, Q. Weng, K.R. Gurney, Y. Shuai, X. Hu Estimation of the relationship between remotely sensed anthropogenic heat discharge and building energy use, ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., 67 (2012), pp. 65-72

Интензивната урбанизация в комбинация с глобалните климатични промени вероятно ще доведат до засилване на негативните последици от това явление, включително по отношение на повишаването на риска за жителите на урбанизираните територии, свързани с проявата на т.нар. топлинни вълни, чиито интензитет и честота се очаква да нарастват. Именно във връзка с тези повишени рискове ГТО и неговите проявления все повече са във фокуса на изследователския интерес⁶, като немалка част от тези изследвания акцентират върху необходимостта от точна и коректна количествена и пространствена параметризация на неговия интензитет и факторите, които го определят. Познаването на генезиса и динамиката на ГТО може да допринесе за подобряване на процесите на градско планиране и за повишаване на ефективността на вземаните решения с цел подобряване условията на градската среда.

Основните причини за това явление са пряко свързани със специфичните свойства на градските пространства, формирани основно чрез „отлагането“ на перпендикулярни изкуствени конструкции и екстензивното и интензивно влагане на плътни материали с ниска пропускливост и висок топлинен капацитет. Тези модели на усвояване на географските пространства променят естествената морфология на терена и формират различни по характер и генезис геодинамични и атмосферни процеси, които се проявяват чрез специфични климатични режими с висока степен на пространствена изменчивост, съществено отличаващи се от термичните, хидростатичните и радиационни свойства на естествените ландшафти. Тази ситуация допълнително се усложнява от високата концентрация на атмосферни замърсители в градовете, както и от антропогенните топлинни емисии в градската атмосфера, които също допринасят в синергичен порядък за формирането на изкуствено създадените по-топли урбанизирані пространства.

Трябва да се подчертае, че *градският топлинен остров е сложен геопространствен феномен*, който се проявява както на микро- и локално ниво, така и на регионални нива в различни пространствено-времеви мащаби. Всъщност, градският топлинен остров включва най-малко три основни проявления: (1) в рамките на повърхността на урбанизираната територия и непосредствено под-повърхностното покритие на града; (2) непосредственият атмосферен слой, обгръщащ града и включените в неговите предели сгради, техническа инфраструктура и население; и (3) формираният граничен район в околорадското пространство, формиран по посока на преобладаващото движение на въздушните маси (Oke, 1976).

Отчитайки тези особености на явлениято ГТО, *целта на настоящото изследване е да се разработи, адаптира и приложи ефективна методика за изследване, картографиране и оценка на проявлението на ефекта на градския топлинен остров в рамките на урбанизираното пространство на гр. София и да се оцени неговото потенциално влияние върху структурата на града и перспективите за неговото развитие и устройство*. В обхвата на изследването е включено идентифицирането, оценката и картографирането на потенциалните заплахи и рискове, свързани с това явление, както и набелязването на възможни мерки и решения, чрез които да се постигне

⁶ M.J. McDonnell, I. MacGregor-Fors The ecological future of cities Science, 352 (2016), pp. 936-938

ограничаване и/или смекчаване на негативните последици от него в отделните части на урбанизираното пространство.

За да бъде постигната формулираната цел на изследването са дефинирани следните главни задачи:

- Да се извърши обзорно картографиране на ефекта ГТО в рамките на Софийската котловина чрез използване на съвременни дистанционни методи и геопространствени данни, като се определят общите пространствени и количествени параметри на явлениято в рамките на обособеното пространство на Столичния град.
- Да се направи изследване на очакваните климатични промени в рамките на урбанизираното пространство на гр. София и прилежащите територии и да се направи оценка на очакваната проекция на явлениято ГТО с хоризонт 2050 г.;
- Да се направи локално климатично зонироване на урбанизираната територия по научно утвърдената и апробирана методика и схема, разработена от Stewart and Oke (2012).
- Да се извърши теренна верификация на интензивността на ефекта на ГТО в отделните класифицирани типове – „локални климатични зони”, на чиято основа да бъде създаден пространствен модел на интензитета (магнитуда) на ГТО в рамките на урбанизираното пространство на гр. София.
- Полученият пространствен модел да се интегрира с данните от устройственото планиране на София, като се направи анализ на потенциала за адаптивност на отделните устройствени зони по отношение на климатичните промени и ефекта на ГТО.
- На базата на направеното картографиране, анализ и оценка да се селектират и представят добри практики за смекчаване и адаптиране към ефекта на ГТО, които са подходящи за територията на София чрез използване на обосновани критерии за подбор.

2. ТОПЛИННИ ОСТРОВИ – СЪЩНОСТ

В концептуално отношение, понятието „градски топлинен остров (ГТО)” (Urban Heat Island, UHI) най-общо може да се дефинира като локален термичен режим на урбанизираните пространства, който се изразява в устойчиво проявление на сравнително по-високи температури на повърхността и на приземния въздушен слой в сравнение с естествените ландшафти и открити пространства, формиращи околната среда на урбанизираните територии. Това характеризира ГТО като локален геопропространствен феномен, чиято същност се определя в зависимост от методите, чрез които се измерва и изследва явлението (дистанционни или наземно базирани измервания), от неговите характеристики в зависимост това какво се изследва (повърхността или приземния въздушен слой), така и от моделите на пространствено проявление и времевите скали, които предопределят неговото изява. За разлика от стандартните климатични изследвания, които в общи линии се опират на стационарни, стандартизирани и калибрирани мрежи за наблюдение, осигуряващи данни за продължителен период от време, изследванията на проявлението на ГТО значително варират както по отношение на пространствените измерения (от няколко десетки метра до няколко десетки километра), а така също и по времевите интервали, които се използват, за да бъдат наблюдавани и изследвани тези явления (от няколко часа до години)⁷.

Когато се говори за градските топлинни острови следва да се има предвид, че това понятие не се отнася до едно строго дефинирано и структурирано явление, а за комплекс от взаимно свързани проявления, които могат да бъдат класифицирани по различни признаци, определяни както на основата на процесите, които ги обуславят и характеризират, така и според използваните методи и инструменти за тяхното наблюдение и изследване. Независимо че всички видове ГТО са свързани помежду си чрез обмен на маса, енергия и инерционни въздействия, всеки тип включва различни процеси, изисква специфични методи, инструменти и системи за изследване, както и използването на различни пространствено-времеви скали, чрез които те да бъде характеризирани.

ГТО най-често се поделят на три основни групи в зависимост от обекта, който се изследва за тяхното определяне и характеризиране:

- ***ГТО, дефинирани на базата на температурата на повърхността (ГТО на повърхността),***
- ***ГТО, определяни на базата на термичният режим на подповърхността,***
- ***ГТО, определяни на основата на атмосферните процеси в урбанизираните и субурбанизираните пространства.***

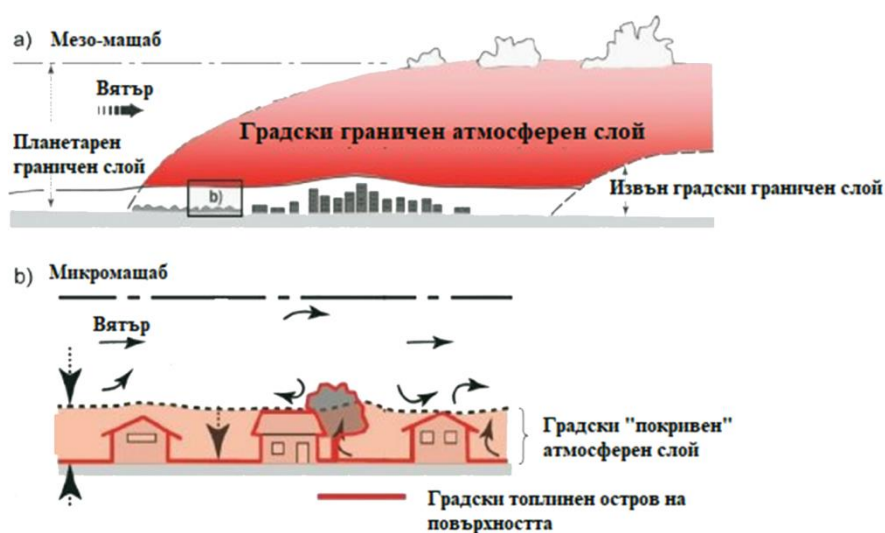
Първият тип се характеризира чрез установяване на термичните режими на повърхността на терена в урбанизираните територии и се определя от температурните разлики между усвоените, застроени и запечатани градски пространства и откритите пространства, заети от естествени ландшафти и екосистеми и/или слабо урбанизирани

⁷ Stewart, I. D. (2011). *Redefining the urban heat island* (T). Electronic Theses and Dissertations (ETDs) 2008+. University of British Columbia. Retrieved November 14, 2019, from: <https://open.library.ubc.ca/collections/ubctheses/24/items/1.0072360>

територии. Този тип острови се отличават с висока степен на пространствена и времева динамика и изменчивост на сравнително малки разстояния, което се определя от голямото разнообразие от вложени изкуствени повърхности и материали, обуславящи силно диференциран в пространствено отношение температурен режим.

Вторият тип ГТО се формират под повърхността на урбанизираните територии и на това явление са посветени най-малко изследвания. По-топлата повърхност на урбанизираните пространства взаимодейства с подповърхностните слоеве, като чрез директен топлообмен се формират топлинни острови в дълбочина, чиито температурни характеристики зависят от начините на усвояване и ползване на териториите в градските пространства⁸.

Третият тип ГТО е най-традиционният и най-често изследван, който се наблюдава и проявява в прилежащите към урбанизираните пространства контактни слоеве на атмосферата. Най-често се разграничават два вида *атмосферни топлинни острови*, всеки от които е свързан с различни, но все пак физически свързани слоеве на „градската атмосфера”⁹ (фиг.2.1).



Фиг. 2. 1. Схематично описание на елементите на „градската атмосфера” и типовете ГТО (адаптирано по Oke, 1976 и Voogt, 2004).

Първият тип ГТО може да бъде дефиниран като градски топлинен остров, формиран в градския граничен атмосферен слой. Той се обуславя от синергичното климатично влияние на урбанизираното пространство върху тази част от планетарния граничен атмосферен слой, чиито климатични характеристики са засегнати и модифицирани от пространствените и функционалните характеристики на градската територия.

⁸ Taniguchi M, Burnett W, Ness G. 2008. Integrated research on subsurface environments in Asian urban areas. *Science of the Total Environment* 404: 377–92.

⁹ Oke TR. 1976. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere* 14: 269–77.

В много „по-плитките“ слоеве на атмосферата, непосредствено над повърхността на урбанизираното пространство, е формиран вторият вид атмосферен ГТО, който може да се дефинира като ГТО в рамките на градския „покривен“ атмосферен слой. Неговият климатичен режим, и най-вече енергийният и радиационният обмен, които се осъществяват в неговите предели, са обусловени от протичащите процеси на микрониво, действащи между улиците, сградите и другите повърхности в урбанизираното пространство. Именно този тип ГТО, заедно с ГТО на повърхността, са определящи за качеството на обитаемата среда и непосредствено влияят върху качеството на живот и ежедневната човешка дейност.

В научните изследвания е налице своеобразен консенсус, че генезисът на явлениято е пряко свързан с вида на влаганите материали и установената морфология на урбанизираните пространства, формирана при съчетаване на естествените географски характеристики на територията и реализираните градоустройствени модели на развитие.

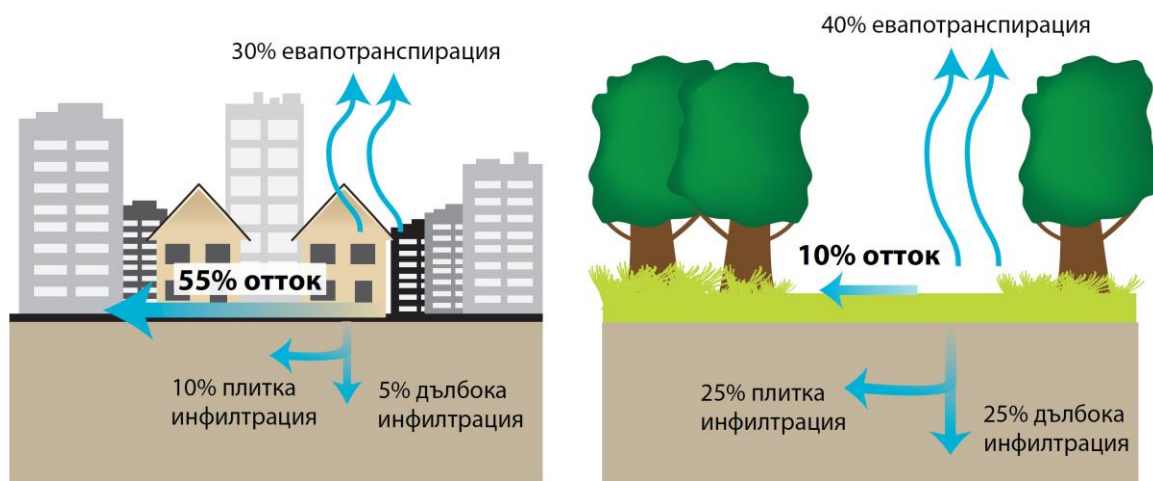
Настоящото изследване е фокусирано основно към изследването на т.нар. „градски топлинен остров на повърхността“ на урбанизираното пространство, формирано от гр. София. Това пространство има полиструктурен характер и този вид ГТО се характеризира чрез температурата на повърхностния слой в рамките на урбанизираното пространство. Самото явление и ефектите, които то оказва са следствие на повърхностния енергиен баланс, в чието формиране участват всички елементи на градското пространство (улици, вертикални стени, покриви, дървета, водни тела и др.)¹⁰, както и материалите (субстрата), които ги формират. Температурите на урбанизираните повърхности се обуславят от комплексни микро-мащабни пространствени модели, които са силно чувствителни към относителната ориентация на структуриращите ги компоненти към слънцето през деня и към небето през нощта, както и на компонентите на радиационния и топлинния баланс – сумарна слънчева радиация (пряка + разсеяна), отражателната способност на различните видове повърхности (албедото), погълнатата радиация и излъчената от повърхността дълговълнова радиация, срещуълченето на атмосферния слой обратно към земната повърхност в резултат от задържането на топлина в атмосферата от парниковите газове (вкл. водните пари), турбулентния топлообмен между земната повърхност (сушева и водна) и прилежащия въздух, загубата на топлина при изпарение и притока на топлина при кондензация, топлинният поток от скалите и почвите към повърхността и обратният топлинен поток в дълбочина (в зависимост от температурния градиент и пр.).

Върху формирането и интензитета на ГТО влияние **оказва комплекс от фактори**, вкл. такива, имащи пряко и активно въздействие върху генезиса и развитието на явлениято, както и такива, които имат косвено и пасивно значение, но могат да играят ролята на катализатор за проявата на ГТО.

Сред основните фактори, имащи важна роля за формирането на ГТО, са значително редуцираните естествени повърхности и липсата на плътна растителна покривка, което в силно застроените урбанизирани територии обикновено е за сметка на гъсто разположени сгради или запечатани територии. В слабоурбанизираните пространства

¹⁰ [Roth, M.](#) , "Urban Heat Islands" , in *Handbook of Environmental Fluid Dynamics* ed. [H.J.S. Fernando](#) (Boca Raton: CRC Press, 12 Dec 2012), accessed 14 Nov 2019 , Routledge Handbooks Online.

растителността обикновено доминира в ландшафтите, което от своя страна позволява по-ефективна регулация на температурния режим на повърхността чрез физически въздействия (например засенчване) или процеси (като напр. евапотранспирация), които редуцират по естествен път топлината в рамките на обособените пространства. За разлика от тях, градските зони се характеризират с преобладаване на сухи и непроницаеми повърхности, като конвенционални покриви, тротоари, пътища, паркинги други антропогенни обекти в градската среда. С интензивното урбанистично развитие най-често се свързва все по-голяма загуба на растителност, усилване на процесите на „запечатване“ на повърхността и влошаване на ефективността на естествения дренаж, коригиране на естествената морфология на ландшафтите и разполагането на различни по размер и геометрия изкуствени конструкции. Промяната и модификацията на естествените ландшафти в процеса на урбанизация като цяло лимитира възможностите за поддържането на градските райони в по-прохладно състояние, което в значителна степен се обуславя и от обстоятелството, че застроените зони изпаряват значително по-малко вода (фиг. 2.2), а това допринася за допълнително повишаване температурата на повърхността и на въздуха.

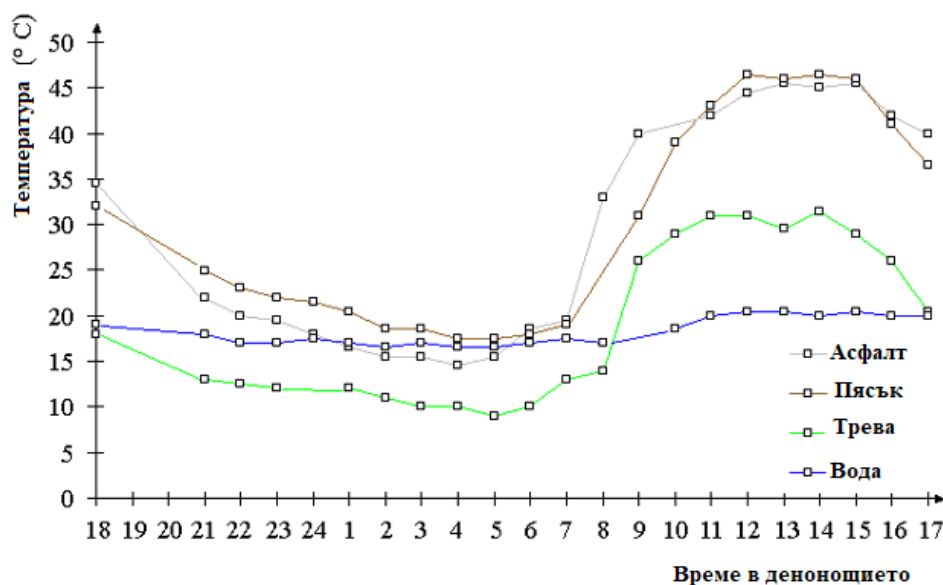


Фиг. 2.2. Роля на запечатаните пространства за водния режим в урбанизираните територии¹¹

Свойствата на градските материали, и по-специално тяхната отражателна способност, топлинната излъчваемост и топлинният капацитет оказват съществен ефект върху формирането и проявлението на ГТО. Те са определящи за формирането на конкретни термични режими в различните части на урбанизираните пространства в зависимост от способността им да излъчват и абсорбират топлинна енергия.

Отражателната способност в комбинация с топлинния капацитет на различните по характер повърхности влияят върху термичния режим през денонощието (фиг. 2.3).

¹¹ U.S. Environmental Protection Agency. 2008. "Heat Island Reduction Activities." In: Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Draft. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.



Фиг. 2.3. Температура на повърхността на различни повърхности (по Kessler 1971, Mählenhoff 1989)

Трансформацията на ландшафтите от естествени в урбанизирани, придружена от влагане на изкуствени материали с ниска отразителна способност допринасят за засилване на интензитета на ГТО, особено в плътно застроени територии и значителна по площ транспортна инфраструктура (табл. 2.1).

Табл. 2. 1. Албедо (отразителна способност) на различни видове повърхности¹²

Видове повърхности	Отразителна способност (%)
Тъмна почва, суха	14
Тъмна почва, влажна	8
Светъл пясък	30 – 40
Сняг, чист	99
Повърхностни води	5 – 15
Зелена трева	26
Житни култури	10 – 25
Бетон	14 – 22
Стени, бели	65 – 80
Стени, жълти	65 – 50
Стени, сиви	20 – 45
Асфалт	12 – 25
Чакъл	5 – 10
Средна стойност за земната повърхност	35

Въпреки че отражението на слънчевата радиация е основният фактор за повърхностната температура на материала, топлинното излъчване или излъчвателната

¹² Източник: Nachbarschaftsverband Stuttgart (1992). Klimauntersuchung für den Nachbarschaftsverband Stuttgart und angrenzende Teile der Region Stuttgart (Klimaatlas), Stuttgart.

способност, също играе роля. Топлинното излъчване характеризира способността на повърхността да излъчва дълговълнова (инфрачервена) радиация. При всички случаи, повърхностите с високи стойности на топлинно излъчване остават по-студени, тъй като отдават топлина по-лесно. Повечето строителни материали имат високи стойности на топлинната емисия, което също влияе на проявлението на ГТО и неговия интензитет. Излъчвателната способност на материалите в голяма степен се определя и от топлинния капацитет на материала, свързан със способността му да съхранява топлина. Много строителни материали, като стомана, камък, асфалт и др., имат значително по-високи стойности на топлинния си капацитет, в сравнение с естествени материи като суха почва, тревна растителност, което от своя страна определя по-голямата „ефективност“ на термална акумулация в градските пространства в сравнение със заобикалящите ги слабоурбанизирани територии. Това се отразява върху значителната инерционност във времето на проявление на ГТО, особено след залез слънце.

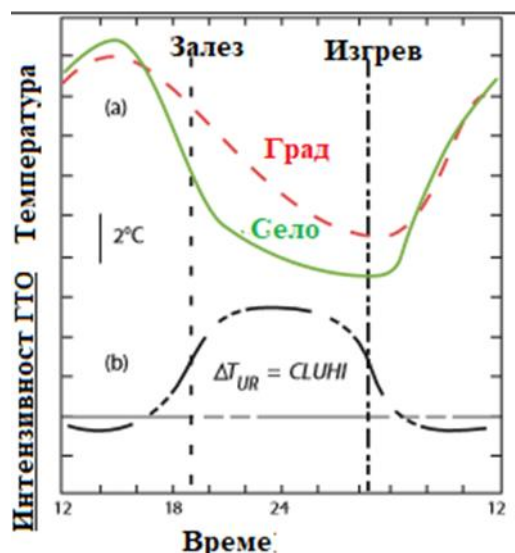
Допълнителен фактор, влияещ върху развитието на градския топлинен остров, особено през нощта, е градската геометрия, която се отнася до размерите, конфигурациите и разстоянията между сградите в урбанизирани пространства. Градската геометрия влияе върху въздушните потоци, поглъщането на енергия и способността на дадена повърхност да излъчва дълговълнова радиация. В силно застроените райони запечатаните повърхности и значимите по размер изкуствени конструкции често са напълно или частично преградени от обекти, като например съседни сгради, което възпрепятства атмосферния въздухообмен в тези райони. Това от своя страна позволява осъществяването на бавно освобождаване на топлина и съответно води до нарастване на интензитета на проявление на ГТО.

Влиянието на градската геометрия върху градските топлинни острови често се описва чрез показателя „sky view factor” (SVF), или „фактор на гледката към небето“, който е видимата област на небето от дадена точка на повърхността. Например, открит паркинг или поле, което има малко препятствия, би имало висока стойност на SVF, по-близо до 1. Обратно, градски каньон в центъра на града, който е заобиколен от близко разположени високи сгради, би имал ниска стойност на SVF (по-близо до нула), тъй като би имало само малка видима зона на небето.

С особена важност при изследване на ГТО е **неговият интензитет (магнитуд) и темпорална изменчивост**. Интензитетът на ГТО може да се определи като разлика между температурите на елементите в урбанизираното пространство и заобикалящите ги отворени, слабоурбанизирани пространства¹³.

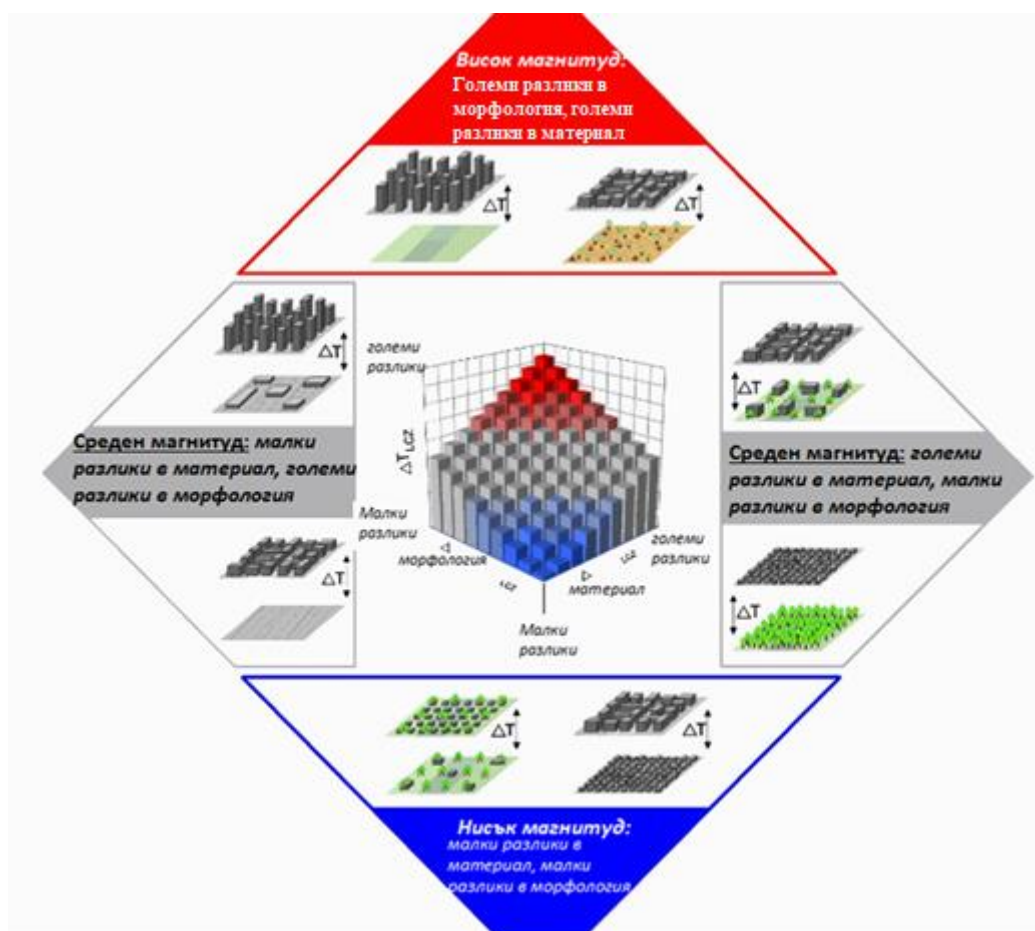
Като цяло интензитетът, измерен в абсолютни стойности, е по силно изразен през деня, когато слънчевото греене създава съществени различия между запечатаните, влажните/сухите или заетите от растителност повърхности, като особено силно са изложени плоските повърхности като покриви и улици (фиг. 2.4).

¹³ M. A. Rizwan, Y. C. L. Dennis, and L. Chunho, “A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island,” J. Environ. Sci., vol. 20, no. 1, pp. 120–128, 2008



Фиг. 2. 4. Интензивност на ГТО през нощта

През деня обикновено с най-високи температури се отличават повърхностите на производствените и складовите зони, както и такива, включващи високи сгради, с плоски покриви или широки запечатани/павирани пространства (напр. летища, търговски центрове, големи кръстовища и др.). През нощта процесът на изстиване на тези повърхности е значително по-бавен, като хода на температурата се отличава със значителна инерционност във времето след залеза на слънцето, което от своя страна обуславя проявата на относително висок интензитет на ГТО. Това съществено се отразява на качеството на средата на обитаване, влияейки върху качеството на живот и разходите за осигуряване на оптимален комфорт в часовете без активно слънчево греење (включително увеличени нива на разходи за охлаждане). Като цяло интензитетът (магнитудът) на ГТО е силно зависим от характера и пространствената конфигурация на морфологията на отделните елементи на урбанизираното пространство и материалите, които ги изграждат (фиг. 2.5).



Фиг. 2. 5. Концептуална схема на магнитуда/интензитета на ГТО¹⁴

Тези връзки и взаимозависимости между структурата и материалите, които формират различните типове урбанизирани единици, следва да бъдат задълбочено изследвани, анализирани и интерпретирани на възможно най-ранен етап от процедурите, свързани с планирането и устройството на територията. Веднъж вече установени и изградени, тези структурни единици е трудно да бъдат съществено модифицирани, което от своя страна ще засилва ефектите от проявата на негативни екологични явления, включително на ГТО.

¹⁴ Stewart, I. D. (2011). *Redefining the urban heat island* (T). Electronic Theses and Dissertations (ETDs) 2008+. University of British Columbia. Retrieved November 14, 2019, from: <https://open.library.ubc.ca/collections/ubctheses/24/items/1.0072360>

3. МЕТОДОЛОГИЯ

През последните 20 години градският топлинен остров в София е обект на проучване в няколко изследвания, при които са използвани различни подходи и методи.

Първото по-сериозно изследване, свързано с градския топлинен остров на София, е извършено от Сиракова и Захариева (1998) [15]. В рамките на това изследване авторите са използвали почасови данни за две стационарни станции (при типични градски и неурбанизирани условия), за период от 10 години. Записаните температурни стойности са стратифицирани, така че да изключат нежелани атмосферни влияния като ветрове и облачни условия от изчислените величини за градския топлинен остров. Авторите са изследвали магнитуда на градския топлинен остров въз основа на почасови и средно месечни температурни разлики между градските и извънградските станции. Резултатът от тяхното изследване показва, че средните годишни стойности на магнитуда за София е средно 1,5°C, докато дневните максимални величини надвишават 4°C при ясно и спокойно време.

Изследването на Сиракова и Захариева изглежда правдоподобно, но при детайлно анализиране на методите и резултатите се появяват недостатъци. Избирането на непредставителна територия за градската зона е първият такъв недостатък. Докато извънградската площ е избрана подходящо, далеч от климатичното влияние на града, градската зона се намира в ботаническа градина, описана като малък парк с високи дървета в централната част на града. Така избраната градска площадка не е представителна за местната градска зона, която авторите изобразяват като площи с тротоари и улици, както и с гъсто и високо застрояване. По този начин авторите са „смесили“ микроклиматичното влияние на ботаническата градина с местното влияние на околните улици и на сградите. Следователно, представената обстановка в урбанизираната част на изследваната територия, която те представят, не е достатъчно добре обоснована поради влиянието на ботаническата градина, където са отчитат стойностите.

Витанова (2018) [16] изследва характеристиките на градския топлинен остров (UHI) и влиянието на урбанизацията върху разпределението на температурите в София, използвайки Модел за Изследване и Прогнозиране на времето (Weather Research and Forecasting “WRF” model) с хоризонтална разделителна способност от 1 км. Данните от това изследване показват, че сутрин в 06:00 часа температурата на земната повърхност в района на централна гара е с 1.6-2.4°C по-висока от тази в предградията, докато в 15:00 часа тази разлика намалява до приблизително 0.5°C. Моделът WRF е приложен за 3 последователни месеца юли (2011-2013) при различни сценарии – 1) при настоящата ситуация на земеползване с антропогенно затопляне, 2) без антропогенно затопляне и 3) урбанизираното земно покритие е заменено с потенциална естествена растителност.

¹⁵ Syrakova M, Zaharieva M. 1998. Sofia heat island—diurnal and seasonal variations. Part I: Frequency distribution of hourly temperature differences. *Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology* 9: 210–19.

¹⁶ Vitanova, Lidia Lazarova., & Kusaka, Hiroyuki, 2018, Study on the Urban Heat Island in Sofia City: Numerical Simulations with Potential Natural Vegetation and Present Land Use Data. *Sustainable Cities and Society*, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.03.012>

Симулираните по сценарий (1) резултати са сравнени с наблюденията. Моделът вярно пресъздава наблюдаваните температури в София и заобикалящите я станции със средни отклонения от -0.64°C до 1.33°C . Симулираните средни месечни температури са сравнени между сегашната ситуация и със сценария с естествена растителност. Резултатите показват значително увеличение на температурата през нощта с 3.4°C в централната част на София.

Филчев и Янев [17] правят първи опит за анализ на градския топлинен остров на София с помощта на сателитни данни. В изследването авторите използват топлинни спътникови изображения от Landsat ETM+ и TIRS сензори. Извършен е статистически анализ на резултатите, както и анализ на температурата на повърхността за периода 2000-2015 г. Анализирано е влиянието на типа земна повърхност, като за тази цел визуално са класифицирани 16 типа земно покритие. Подробният анализ на данните за целия наблюдаван период показва постепенно повишаване на температурата в града поради промяната в урбанизираната среда. Авторите също установяват, че анализите на топлинните спътникови изображения в определени моменти от времето могат да бъдат успешно използвани за откриване на промени в типа земно покритие.

Настоящото изследване се основава на използването на интегрирана методология, която включва приложението на разнообразни изследователски методи, свързани както с измерването и изследването на конкретните променливи, така и с научнообоснована интерпретация на получените резултати. Тя е изцяло съобразена с основната цел на изследването и свързаните с нея конкретни изследователски задачи, чрез които следва да се осигури достоверна информация за проявата и интензивността на явлениято ГТО в рамките на урбанизираното пространство на София.

Изследването се базира на необходимостта от количествена и пространствена параметризация на ГТО най-вече в контекста на нуждата от неговото отчитане в процеса на планиране и управление на територията на столичният град. Тази необходимост се обосновава както от важното значение на проявата на ГТО за качеството на живот на населението, така и с оглед очакваните климатични промени, които вероятно в значителна степен ще променят изискванията към структурата и качествата на урбанизираните пространства, зелената инфраструктура и функционирането на града като цяло. С особена важност е количественото определяне на интензивността на ГТО, който е основен показател за характеризиране на ГТО и неговите пространствено-времеви проявления в София¹⁸.

Разработената методология се основава на три основни групи подходи и свързаните с тях изследователски методи:

- геопространствен подход, който се основава на интегрираното приложение на геоинформационните технологии и геопространствените изследователски методи, чрез които се изследва, анализира и интерпретира явлениято ГТО на повърхността в рамките на урбанизираното пространство на София;

¹⁷ Yanev, Ivan & Filchev, Lachezar. (2017). Assessment of the Land Surface Temperature Dynamics in the City of Sofia using Landsat Satellite Data. 29. 45-71. 10.7546/AeReBu.29.18.01.05.

¹⁸ M. A. Rizwan, Y. C. L. Dennis, and L. Chunho, "A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island," J. Environ. Sci., vol. 20, no. 1, pp. 120–128, 2008

- системен подход, свързан с комплексния характер на ГТО и синергичното влияние на взаимно свързаните фактори на градската среда, обуславящи пространствените и функционални характеристики в различните части на София;
- поетапен подход, който обуславя изпълнението на изследователския процес като логически и технологично свързани фази/етапи на изпълнение в хода реализация на целия проект.

За да се определят основните параметри на ГТО в рамките на София и да се характеризира в количествен и пространствен аспект това явление, настоящото изследване е извършено в рамките на интегриран изследователски проект, осъществен чрез систематично изпълнение на следните работни фази:

Фаза 1: Обзорно картографиране на явлението ГТО в рамките на Софийската котловина. То има за цел да представи пространствените измерения на явлението в рамките на територията, в която е локализиран гр. София. За целта са използвани данни от сателитната платформа Landsat 8, които включват термален канал (TIRS) със сравнително висока радиометрична способност, включваща 4096 цифрови стойности. Изображенията са подложени на комплексна процедура по обработка и интерпретация чрез прилагането на различни пространствено-аналитични и геостатистически методи. На тази основа са изведени и общите параметри на явлението ГТО, които позволяват ясната диференциация на неговото проявление в рамките на различните категории урбанизирани пространства и тяхната сравнимост с околните слабоурбанизирани територии и естествени ландшафти.

Фаза 2: Анализ на очакваните климатични промени в рамките на гр. София и прилежащите територии. Акцентът в тази фаза е свързан с определяне на очакваните тенденции в изменението на климата, което е от съществено значение за определяне на цялостната политика на управление на града и неговото устройство. За целта са използвани данни от регионалния климатичен модел **ALADIN 5.2**, като причините за избора на модела са свързани както със сравнително високата му резолюция (12×12км), така и с обстоятелството, че същият генерира симулационни данни за температура на земната повърхност, която е основен обект на настоящото изследване. Данните от модела са обработени и анализирани чрез използването на методите на пространствената интерполация и геостатистическия анализ. Генерираната информация характеризира очакваните бъдещи изменения на основните климатични променливи (температура и валежи) за два сценария – RCP4.5 и RCP8.5, като хоризонтът на климатичната проекция е 2050 г., който съвпада с инициативата на Столична община за дългосрочна стратегия за развитие на гр. София и прилежащите територии („Визия за София“)¹⁹.

Фаза 3: Климатично зонироване на територията, теренни изследвания и определяне на интензивността на ГТО. Тази фаза включва три основни взаимосвързани изследователски задачи:

- ✓ Климатично зонироване на територията на гр. София, основана на утвърдена в световната практика научнообоснована методика.
- ✓ Извършване на стратифицирано извадково теренно изследване в рамките на територията на гр. София, което има за цел да определи конкретните параметри

¹⁹ <https://vizia.sofia.bg/sofia-vision/>

на проявление на ГТО на повърхността в различните типове локални климатични зони в рамките на града.

- ✓ Пространствена интерпретация на явлението ГТО и определяне на неговата интензивност за отделните части на града чрез използване на геостатистически методи за пространствена интерполация.

Фаза 4: Пространствен анализ и интерпретация. Тази фаза има обобщаващ характер и се основава на получените резултати от предходните изследователски фази и дейности. В нея са включени и обосновани предложения, които са заимствани от идентифицирани и анализирани добри практики, насочени към смекчаване на проявлението на ГТО, вкл. в контекста на очакваните климатични промени.

Така описаната методология схематично може да бъде представена в следния вид:



4. ОБЗОРНО КАРТОГРАФИРАНЕ НА ГТО, ИЗВЪРШЕНО ЧРЕЗ ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ (LAND SURFACE TEMPERATURE) С ПОМОЩТА НА САТЕЛИТНИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Температура на земната повърхност (ТЗП) се дефинира като температура на най-горния слой на повърхността (покриви, пътища, дървета, трева, вода и др.)²⁰. От гледна точка на сателитите „повърхност“ е всичко, което може да бъде наблюдавано през атмосферата. ТЗП е комбинация между температурите на растителността, тези на застроените и запечатени територии и голата почва. Промените при ТЗП са бързи, тъй като и двата вида повърхност отговарят бързо на промени в приходящата слънчева радиация и от различно облачно покритие и аерозолни модификации, както и от дневните промени в ъгъла на осветяването.

Изследователите следят температурата на земната повърхност, тъй като топлината, излъчвана от различните ландшафти влияе на времето и климатичните модели. Въз основа на това се проследява как повишените нива на парникови газове се отразяват на температурата на земната повърхност и как повишаването ѝ повлиява на ледниците, вечните снегове и растителността в различните екосистеми.

Съществува пряка зависимост между типовете земно покритие и температурата на земната повърхност. Например растителността определя до каква степен се нагрива земната повърхност, като в райони с гъста растителност температурата на земната повърхност никога не минава прага от 35°C. За сравнение най-горещите места на земната повърхност винаги са в райони с оскъдна или без никаква растителност.

Температурата на земната повърхност е широко използван показател при анализиране на градския топлинен остров на повърхността (Surface Urban Heat Island, SUHI), което се отнася до топлината на повърхностния земен слой, тъй като променливата, която се анализира е температурата на повърхността, а не температурата на въздуха над нея (Voogt & Oke, 2003)²¹. ТЗП е важен параметър, използван в множество дисциплини като климатология (включително градска климатология), разкриване на топлинни и поглъщащи топлината острови (heat sink); хидрология, моделиране на температурата на водата; селско стопанство; мониторинг на растителността, мониторинг на вулкани, геотермален анализ, локализиране на пожари и изгорени площи, мониторинг на тръбопроводи, данни за влажността на почвата, наблюдение на индустриални площи (Zhan et al., 2013; Kuenzer et al., 2013) [²²].

²⁰ Qin, Z. & Karnieli, A., 1999. Progress in the remote sensing of land surface temperature and ground emissivity using NOAA-AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 20(12), pp. 2367–2393.

²¹ Soux, A., Voogt, J. & Oke, T.R., 2004. A model to calculate what a remote sensor “sees” of an urban surface. *Boundary-Layer Meteorology*, 111(1), pp. 109–132

²² Zhan, W. et al., 2013. Disaggregation of remotely sensed land surface temperature: Literature survey, taxonomy, issues, and caveats. *Remote Sensing of Environment*, 131, pp. 119–139. DOI: 10.1016/j.rse.2012.12.014

Използвана методика и технология за изчисление

Информацията за температурата на повърхността може да бъде получена чрез дистанционни методи, тъй като вътрешната топлина на обекта на изследване се преобразува в излъчване и има силно позитивна взаимовръзка между вътрешната температура и излъчвания от обектите топлинен поток. Температурата на повърхността се отнася към топлинния поток, изразена като функция на енергията, навлизаща и излизаща от обекта, като в този смисъл е най-важно разбирането на връзката между земната повърхност и атмосферата. Най-подходящата дължина на вълната е в спектралния диапазон от 8.0 до 14.0 μm , която позволява по-добро улавяне на излъчената топлина от Земята в термалната инфрачервена част на електромагнитния спектър.

Топлинните (термографските) спътникови изображения имат предимството да предоставят гъста мрежа от времево-синхронизирани температурни данни на земната повърхност, и за градовете в частност (Steininger, 1996) [²³]. Наземните данни (данните от метеорологични станции) предлагат дълги времеви серии и висока времева разделителна способност, но с ограничен пространствен обхват, което ги прави неефективни за анализиране на пространствения обхват на градските топлинни острови. Подвижните метеорологични наблюдателни станции в известна степен преодоляват това ограничение, но се губи синхронността във времето на измерванията в обхвата на града, а изграждането на гъста мрежа от наблюдателни станции е финансово неефективно (Klok et al., 2012) [²⁴]. Данните от топлинните дистанционни изследвания (ДИ) предоставят продължителност и непрекъснатост на наблюденията над целия град, поради което представляват уникален източник на информация за детайлно изследване на градски топлинни острови на повърхността и за градския микроклимат. Ако се вземе предвид и предимството на архивите от времевите серии от наблюденията на спътниковите сензори, то сателитните данни имат огромен потенциал за изследване на пространствения модел и динамиката на топлинната среда (Weng, 2009).

Днес съществуват множество различни топлинни сензори, и въпреки че имат по-добра пространствена разделителна способност (ПРС) в сравнение с най-ранните топлинни спътникови данни (7-8 km ПРС), те все още не покриват изискванията на потребителите. Понастоящем най-високата ПРС в термалния диапазон е 60 m, получена от сензора Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) на борда на сателитната платформа Landsat 7. Тя е приложима за множество изследвания на най-различна тематика, и въпреки че това са най-често използваните дистанционни топлинни данни, все още има необходимост от подобряване на ПРС ²⁵.

След направено проучване на различните варианти за пресмятане на температура на земната повърхност чрез дистанционни изследвания, е избран методът използващ данни от топлинните канали на Landsat 8. Всеки сензор, регистриращ данни в топлинния диапазон, записва информацията под формата на цифрови стойности (Digital numbers,

²³ Steininger, M.K., 1996. Tropical secondary forest regrowth in the Amazon: age, area and change estimation with Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, 17(1), pp. 9–27. DOI: 10.1080/01431169608948984

²⁴ Klok, L. et al., 2012. The surface heat island of Rotterdam and its relationship with urban surface characteristics. *Resources, Conservation and Recycling*, 64, pp. 23–29. DOI: 10.1016/j.resconrec.2012.01.009.

²⁵ Yanev, I. "Methods for land surface temperature estimation using thermal infrared satellite images" Twelfth Scientific Conference with International Participation, SES'2016, 02-04 november 2016, Sofia SRTI-BAS

DN). Обхватът на цифровите стойности зависи от възможността на сензора да разграничава определен брой яркостни нива (т.е. радиометричната му разделителна способност). Така например топлинният канал (TIRS) на Landsat 8 има 4096 цифрови стойности.

При направена справка на броя и качеството на заснеманията от Landsat 8 във времеви интервал на месец август 2019 г. (най-високи средни температури за годината) са установени две заснемания с добро качество и облачност под 10%, съответно на 12.08.2019 и 28.08.2019. Термалните сателитни изображения от 12.08.19 са избрани като подходящи, защото в рамките на същия ден екипът е на терен и в някои части от изследваната територия е извършено изследване на температурата на земната повърхност, с помощта на безпилотна летателна система, снабдена с висококачествен термален сензор.

Трябва да се отбележи, че температурата на повърхността от спътникови данни не се измерва директно, а се изчислява на базата на определени математически зависимости. За изчисление в конкретния случай е приложен алгоритъм за пресмятане на ТЗП, използвайки изображения от Landsat 8 [26]. При изчислението се използват следните честотни групи: 10 thermal, 4 RED и 5 NIR.

1. Изчисляване на спектрално излъчване в горните слоеве на атмосферата ГСА (TOA).

Първата стъпка е да се изчисли спектралното излъчване в горните слоеве на атмосферата:

$$TOA(L) = ML * Q_{cal} + AL$$

Където:

- ML = Честотно-специфичен множителен премащабиращ фактор от метаданните;
- Q_{cal} = отговаря на честотна група 10;
- AL = Честотно-специфичен сборен премащабиращ фактор от метаданните. [27]

2. Преобразуване на спектралното излъчване в ГСА в температура на яркостта.

Първата стъпка е да се преобразуват дигиталните числа (DN) в степен на отражение. След това данните от TIRS е нужно да се преобразуват от спектрално излъчване в температура на яркостта (BT) чрез топлинните константи във файла с метаданни. Използва се следното уравнение:

$$BT = (K2 / (\ln(K1 / L) + 1)) - 273.15,$$

където:

²⁶ Avdan, U., Jovanovska, G., 2016. Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. J. Sens. 2016, 1–8.

²⁷ J. A. Barsi, J. R. Schott, S. J. Hook, N. G. Raqueno, B. L. Markham, and R. G. Radocinski, "Landsat-8 thermal infrared sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration," *Remote Sensing*, vol. 6, no. 11, pp. 11607–11626, 2014.

- $K1$ = Честотно-специфични температурнопреобразуваща константа от метаданните
- $K2$ = Честотно-специфични температурнопреобразуваща константа от метаданните
- L = ГСА

Следователно, за да бъде получен резултат в целзиеви градуси, температурата на излъчване се коригира чрез добавяне на абсолютната нула (приблизително -273.15°C) [28].

3. Изчисляване на Normalized Difference Vegetation Index (NDVI):

$$NDVI = (Band\ 5 - Band\ 4) / (Band\ 5 + Band\ 4)$$

Изчисляването на NDVI е важно, защото дялът на растителността (P_v), който е силно свързан с NDVI, и емисивността (ϵ), която е свързана с P_v , също може да бъде изчислена. [29]

4. Изчисляване на дял на растителността P_v

$$P_v = \text{Square}((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}))$$

5. Изчисляване на емисивността ϵ :

Емисивността на земната повърхност (ϵ) трябва да бъде известна, за да бъде изчислена ТЗП. Емисивността на земната повърхност е пропорционален фактор, обвързан с излъчването на черно тяло (закон на Планк), така че да предскаже излъченото лъчение и ефикасността на пренасянето на термалната енергия от повърхността до атмосферата. Изчисляването на земната емисивност се пресмята условно:

$$\epsilon = 0.004 * P_v + 0.986$$

Стойността 0.986 служи за корекция на уравнението.

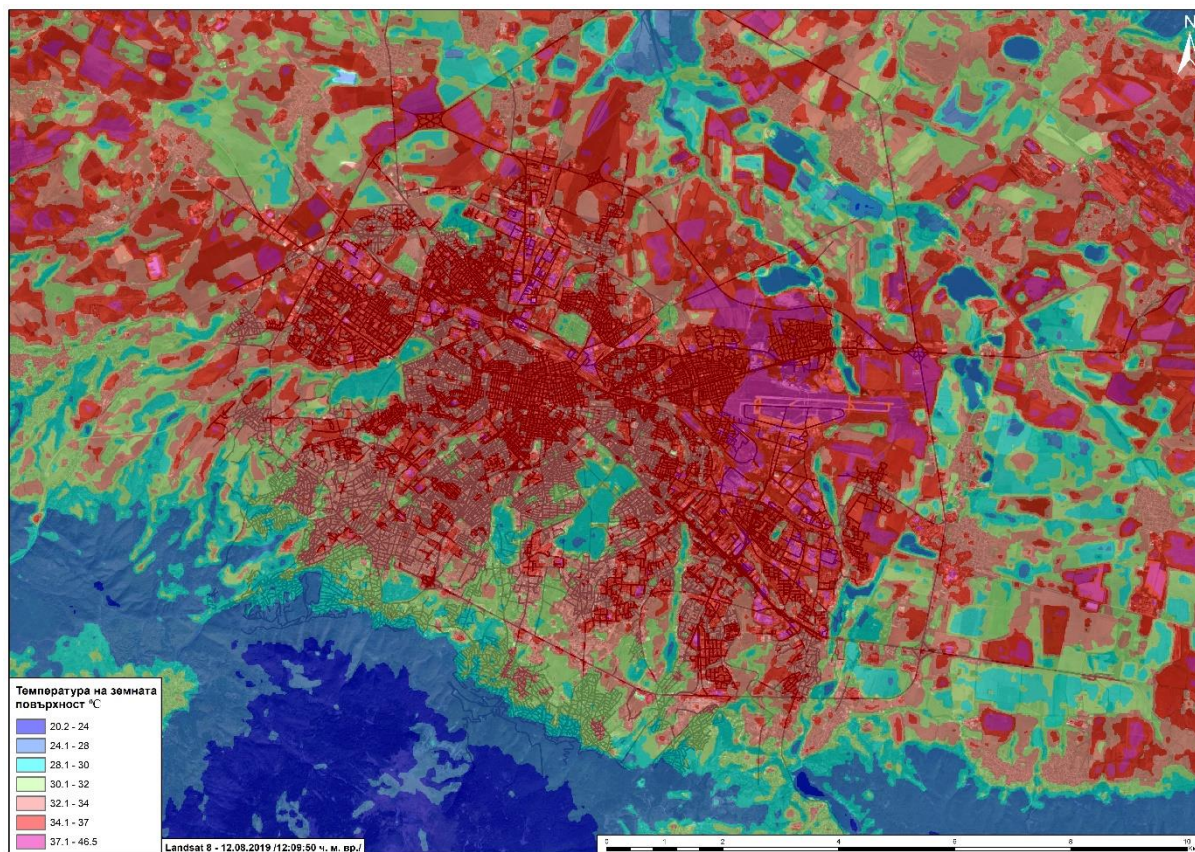
6. Последната стъпка за получаване на ТЗП или емисивно-коригирана температура на земната повърхност (фиг. 4.1) и се изчислява по следния начин: [30]

$$LST = (BT / (1 + (0.00115 * BT / 1.4388) * \ln(\epsilon)))$$

²⁸ H.-Q. Xu and B.-Q. Chen, "Remote sensing of the urban heat island and its changes in Xiamen City of SE China," *Journal of Environmental Sciences*, vol. 16, no. 2, pp. 276–281, 2004.

²⁹ Q. H. Weng, D. S. Lu, and J. Schubring, "Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies," *Remote Sensing of Environment*, vol. 89, no. 4, pp. 467–483, 2004.

³⁰ M. Stathopoulou and C. Cartalis, "Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: an application to major cities in Greece," *Solar Energy*, vol. 81, no. 3, pp. 358–368, 2007.



Фиг. 4.1. Температура на земната повърхност (°C), изчислена на база сателитни изображения от Landsat 8, към дата 12.08.2019 /12:09:50 часа м.вр./

За сравнение на данните за реалната ситуация и NDVI в границите на изследваната територия са генерирани сателитно изображение във видимия спектър (RGB) (фиг. 4.2) и NDVI (фиг. 4.3), като са използвани данни от сателит Sentinel 2 за същият ден и час. За разлика от Landsat 8, Sentinel 2 не е снабден с термален сензор, но разделителната способност на изображенията му е 10×10m, което позволява вникването в по-голям детайл и установяването на някои особености, които са незабележими при разделителна способност от 30×30m от Landsat 8.



Фиг. 4.2. RGB изображение на София от Sentinel 2 (12.08.2019 г.

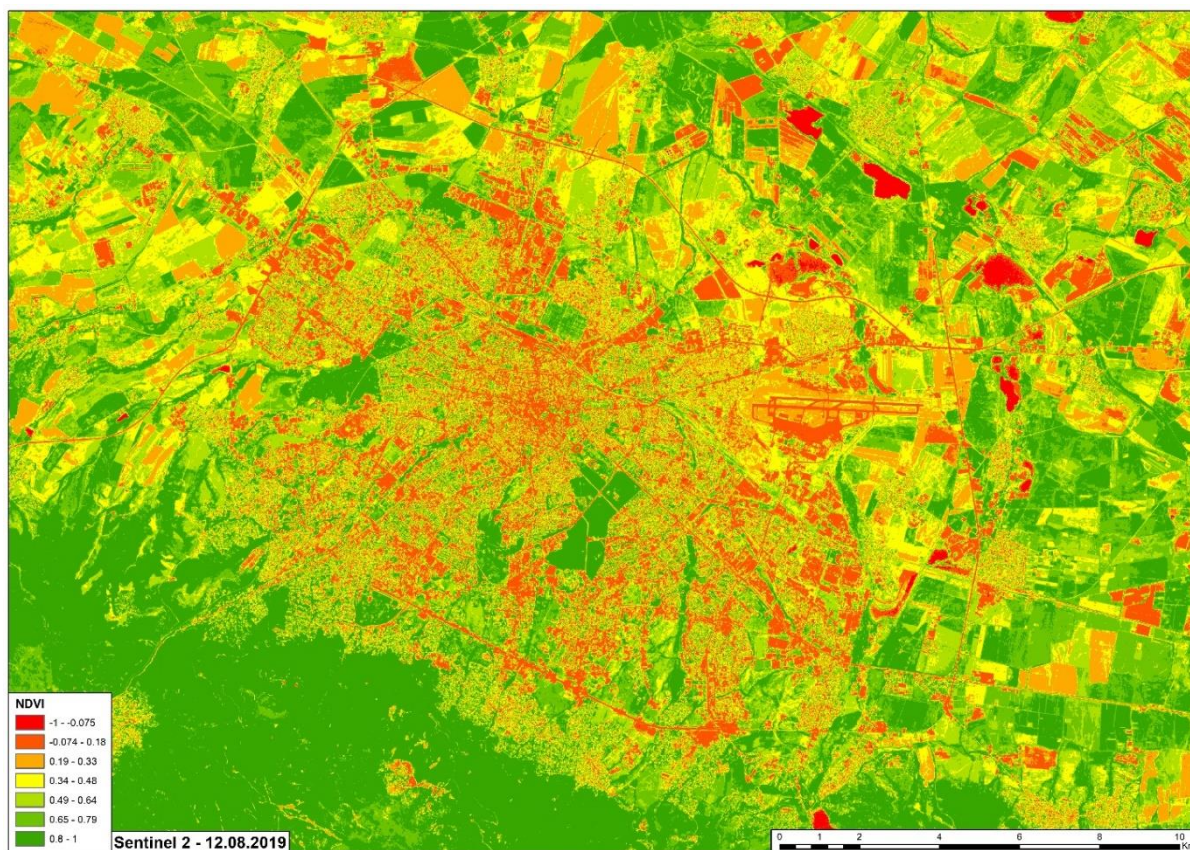
NDVI е широко използван индекс за оценка на биомасата и растителността на земната повърхност по сателитни данни [³¹]). Стойностите на индекса се определят по формулата $NDVI = (NIR - IR) / (NIR + IR)$, където: NIR – близка до видимия диапазон инфрачервена зона, IR – инфрачервена зона, и варират между 0.1 и 0.75 за растителната покривка. По-високите стойности на индекса са индикатор за наличието на по-гъста и по-свежа растителна покривка. Стойностите на индекса за повърхността на почвите и скалите са близки до нула, докато водните тела (реки, езера, язовири) получават отрицателни стойности [³²,³³]. В урбанизираните територии, когато стойностите на индекса са под 0.157, те показват наличие на застроени зони; изкуствено създадени обекти като пътища и бетонни повърхности, както и водни тела и получават стойности между 0.9323 и 0.9925, съответно. Други стойности на индекса, базирани на посочената формула, са индикатор за наличие на други типове обекти [³⁴].

³¹ Chen, D., Brutsaert, W. (1998). Satellite-sensed distribution and spatial patterns of vegetation parameters over a tallgrass prairie. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 55(7), 1225–1238.

³² Xiao, H., Weng, Q. (2007). The impact of land use and land cover changes on land surface temperature in a karst area of China. *Journal of Environmental Management*, 85(1), 245–257.

³³ Feizizadeh, B., Blaschke, T. (2012). Thermal remote sensing for examining the relationship between urban Land surface Temperature and land use/cover in Tabriz city, Iran. Paper presented at the 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.

³⁴ Nichol, J. E. (1996). High-resolution surface temperature patterns related to urban morphology in a tropical city: A satellite-based study. *Journal of Applied Meteorology*, 35(1), 135–146.



Фиг. 4.3. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), генериран на база сателитни изображения от Sentinel 2, към дата 12.08.2019

Получени резултати и тяхната интерпретация

В резултат от приложената технология и методика, описани по-горе, са генерирани цифрови геопространствени слоеве с данни, които характеризират както температурата на земната повърхност към момента на заснемане, така и характера на земното покритие по отношение на разпределението на растителността и запечатаните територии в рамките на гр. София и близките околности. Именно разпределението между естествените повърхности и запечатаните изкуствени покрития се явява основен фактор за формираната температура на земната повърхност.

Основният проблем и недостатък на приложената методика е свързан с ограниченията, които обективно съществуват по отношение на времевият период, в който се осъществяват фактическите заснемания на територията. В случая използваните изображения от платформата Landsat 8 се заснемат за територията на София по обяд местно време, когато земната повърхност е най-силно нагрята и липсва информация за температурата на въздуха след залеза на слънцето. Това води до сериозни изкривявания на данните за проявлението на ГТО и по същество ограничава възможностите за изчисление на някои от важните характеристики на това явление, включително на неговата интензивност. За да се постигне по-голяма ефективност в това отношение, подходящото време за провеждането на тези проучвания е няколко часа след залез или

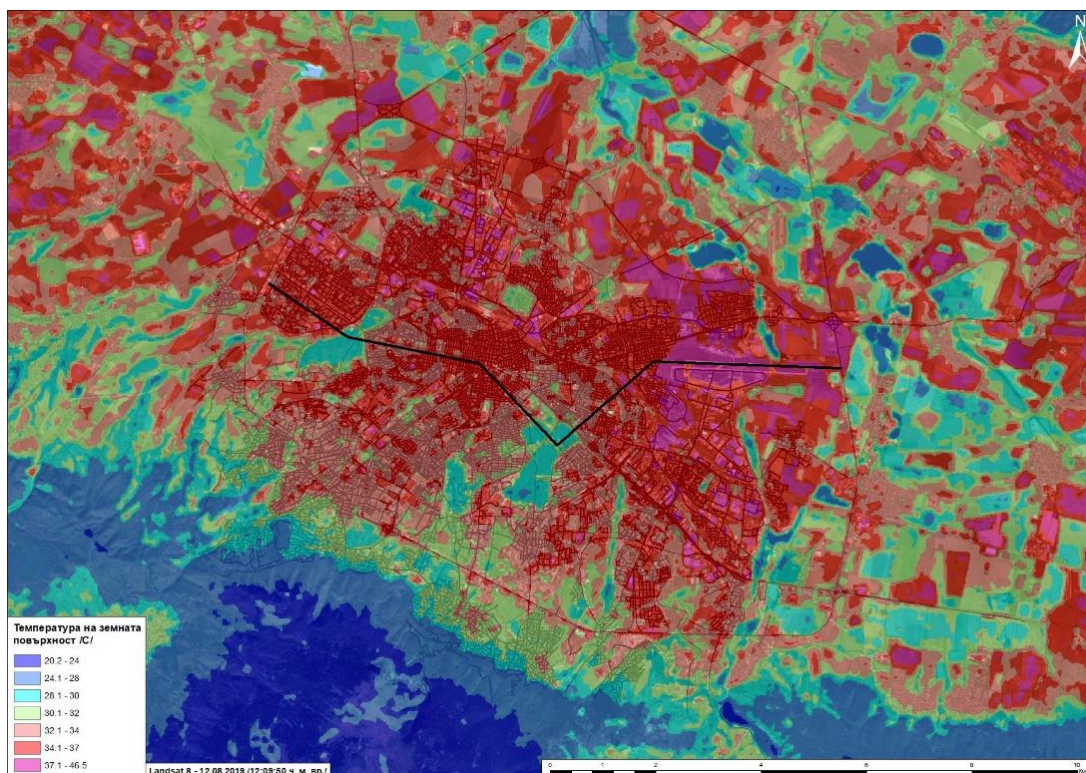
преди изгрев при сравнително безветрие и безоблачно небе ³⁵. Тези условия максимизират потенциала за диференциране на микро- и локални климатични разлики. Всичко това налага необходимост от подобряване на методите за извличане на температура на земната повърхността от топлинни сателитни изображения, както и опити за интегриране на друг тип платформи за дистанционни изследвания, каквито са безпилотните летателни системи.

Независимо от този обективен недостатък на изходните сателитни данни, резултатите от проведеното изследване на базата на данни от платформата Landsat 8, ясно показват, че урбанизираните територии се отличават със значително по-високи температури на повърхността в сравнение с териториите, в които преобладават естествени ландшафти. Така например, в създаденият геопространствен модел на температурата на повърхността на базата на обедното изображение от 12.08.2019 г. (фиг. 4.1), се вижда значителната нееднородност на температурата на повърхността на гр. София и прилежащите територии, като е налице температурна разлика от над 26°C между най-силно и най-слабо нагнетите повърхности.

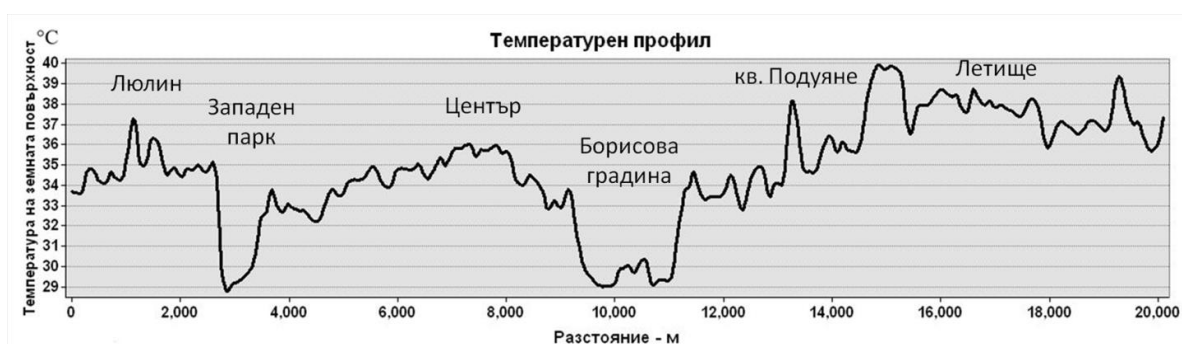
Ако се сравнят фиг. 4.1, фиг. 4.2 и фиг. 4.3 лесно може да се установи, че най-ниските температури на повърхността се отнасят до водните тела и площите с естествена растителност, вкл. зелени пространства, горски паркове и градски градини, докато най-високите температури се отнасят до голи почви и скали и непроницаеми повърхности с различни типове индустриално, жилищно и транспортно земеползване. На фиг. 4.1 много ясно се вижда, че където преобладават открити запечатани пространства или пространства, заети с гъсто разположени високи сгради, е налице значително по-висока температура на повърхността. Особено силно нагreti са териториите, разположени в източната част на града, непосредствено в района на летището и около него. Високи температури на земната повърхност се отчитат също в централната част, където застрояването е гъсто, в комбинация с тесни улици и ограничени междусградни пространства, както и в комплексите, където са налице ограничена като площ и структури паркови и озеленени пространства. Високи температури се наблюдават и по протежение на големите пътни артерии, както и в рамките на основните пътни възли и кръстовища, което се дължи на ниската отразителна способност на асфалтовото покритие и неговият значителен топлинен капацитет.

Същевременно при парковите зони в рамките на града и естествените ландшафти в околградските пространства се наблюдава значително по-ниска температура на повърхността, от порядъка на 10-17°C разлика с най-високите изчислени температурни стойности. Освен това ясно се наблюдава, че същите имат значителен охлаждащ ефект и върху съседните урбанизирани пространства.

³⁵ Oke TR. Initial Guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. World Meteorological Organization, Instruments and Observing Methods, IOM Report No. 81, WMO/TDNo.1250; 2006. Accessed 20 October 2013.



Фиг. 4.4. Линия на температурния профил на земната повърхност между западните и източните части на града



Фиг. 4.5 Профил на температурата на земната повърхност

За да се потвърдят описаните дотук резултати, е построен температурен профил от запад на изток (фиг. 4.4.), който проследява измененията в температурата на земната повърхност на различни типове земно покритие в рамките на града. Стойностите от температурния профил ясно показват значително по-високите температурни стойности за територии със запечатани пространства и такива с гъсто разположени високи сгради. Отчетливо се забелязва и охлаждащият ефект на парковите зони и естествените ландшафти върху съседните урбанизирани пространства. Профилът подчертава също максималните стойности на ТЗП, които се забелязват в района на летището (фиг. 4.5).

Тази взаимна зависимост между температурата на повърхността и пространственото разпределение на растителната покривка ясно личи при сравнителен пространствен анализ между данните за температурата на повърхността и състоянието на растителната покривка, изразено чрез нормализирания вегетационен индекс (NDVI).

За идентифициране на отделните типове земна повърхност е приложена класификация на база прагови стойности от нормализирания вегетационен индекс (NDVI). Праговите стойности са определени чрез метода на „естествените прекъсвания” – т.нар. оптимизация на Jenks (Jenks, 1967) и диапазони на стойностите, публикувани в изследванията [³⁶,³⁷,³⁸,³⁹,⁴⁰] (табл. 4.1). Стойностите на NDVI се влияят от много фактори, включващи вегетационния период, метеорологичните условия и наличието на вода преди и по време на събиране на данните, следователно праговите стойности могат да бъдат различни за други територии и периоди от годината.

Табл. 4.1. Типове земно покритие и прагови стойности на NDVI

Тип земно покритие	Прагови стойности (NDVI)
Водни обекти	$\leq - 0.20$
Запечатани повърхности (включително скали и пясък)	от -0.20 до 0.25
Ненапоявани пропускливи повърхности – (включително гола почва и суха ниска растителност)	От 0.25 до 0.60
Напоявани пропускливи повърхности – (включително ниска растителност, храсти, рядка и гъста дървесна растителност)	≥ 0.60

От картите много ясно се вижда, че максималните стойности на температурата на повърхността се установяват в рамките на пространства, в които е налице минимално покритие с витална растителност, както и обратното – местата, заети от запечатани повърхности или гъсто застроени зони с минимално наличие на растителност, се характеризират със значително по-силно нагreti повърхности.

Изводи и обобщения

- Извършеното изследване се основава на използването на сателитни изображения със средновисока пространствена разделителна способност от платформата Landsat 8, които са дневни, което ограничава възможността за тяхното използване за определяне на точните параметри и най-вече на интензивността на ГТО. Именно поради това в рамките на настоящото изследване е използван и друг подход, базиран на приложението на Безпилотните летателни системи (БЛС) с цел запълване на информационния

³⁶ Anderson, K., Hancock, S., Casalegno, S., Griffiths, A., Griffiths, D., Sargent, F., . . . Gaston, K. J. (2018). Visualising the urban green volume: Exploring LiDAR voxels with tangible technologies and virtual models. *Landscape and Urban Planning*, 178, 248–260. doi:10.1016/j.landurbplan.2018.05.024

³⁷ Badamasi, M. M., Yelwa, S. A., AbdulRahim, M. A., & Noma, S. S. (2010). NDVI threshold classification and change detection of vegetation cover at the Falgore Game Reserve in Kano State, Nigeria. *Sokoto Journal of the Social Sciences*, 2(2), 174–194.

³⁸ Black, A., & Stephen, H. (2014). Relating temperature trends to the normalized difference vegetation index in Las Vegas. *GIScience & Remote Sensing*, 51(4), 468–482. doi:10.1080/15481603.2014.940695

³⁹ Cheng, W.-C., Chang, J.-C., Chang, C.-P., Su, Y., & Tu, T.-M. (2008). A Fixed-Threshold Approach to Generate High-Resolution Vegetation Maps for IKONOS Imagery. *Sensors*, 8(7), 4308–4317. doi:10.3390/s8074308

⁴⁰ Gandhi, G. M., Parthiban, S., Thummalu, N., & Christy, A. (2015). Ndvi: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and GIS – A Case Study of Vellore District. *Procedia Computer Science*, 57, 1199–1210. doi:10.1016/j.procs.2015.07.415

дефицит по отношение на проявата на ГТО в часовете след залез слънце, когато най-съществено се наблюдава неговият интензитет (магнитуд).

- Независимо от тези обективни ограничения на данните, обработката, анализът и интерпретацията на получените резултати, показват наличието на съществени температурни различия между различните по характер повърхности в рамките на урбанизираното пространство и в прилежащите съседни територии.
- Налице е много ясна разлика в температурния профил между силно урбанизираните и запечатани територии и тези, в които преобладава растителност с висока плътност.
- Около вътрешно-градските паркови зони се наблюдават значително по-охладени острови, които влияят и на съседните силно урбанизирани територии, независимо от плътността на тяхното застрояване.

5. АНАЛИЗ НА ОЧАКВАНИТЕ КЛИМАТИЧНИ ПРОМЕНИ С ХОРИЗОНТ ДО 2050 Г.

Изследването на очакваните климатични промени е извършено на базата на анализи на изходни данни, генерирани от симулациите с регионалния климатичен модел ALADIN5.2. Резултатите от симулациите с модела са с висока пространствена резолюция ($\sim 12 \times 12$ км), което дава възможност да се проучат пространствените вариации на климатичните елементи и да се оценят с голяма достоверност регионалните въздействия на очакваните изменения на климата. При симулациите с модела са използвани два от сценариите от най-ново поколение – RCP4.5 (умерен) и RCP8.5 (песимистичен) за бъдещия период 2021-2050 г. За да се установят сигнали за посоката и силата на очакваните промени в температурата и валежите, получените резултати за бъдещия период по двата сценария са сравнени с историческия период 1976-2005 г. Положителните или отрицателните отклонения от данните за него са интерпретирани като климатични аномалии и евентуални сигнали за очакваните изменения на климата. Резултатите от симулациите с модела бяха обработени с ГИС, с която бяха създадени цифрови карти в ESRI формати (растерен и векторен) на проекциите на температурите и валежите.

Главните акценти в тази част на доклада са използваните сценарии за очакваните климатични промени, изходните данни за климатичното моделиране, анализът на получените резултати и основните изводи от него. В отделна папка са приложени следните карти⁴¹:

1. *Пространствено разпределение на средните максимални температури на земната повърхност за историческия период 1976-2005 г.*
2. *Пространствено разпределение на средните максимални температури на земната повърхност за периода 2021-2050 г. по сценария RCP4.5.*
3. *Пространствено разпределение на средните максимални температури на земната повърхност за периода 2021-2050 г. по сценария RCP8.5.*
4. *Пространствено разпределение на средните от минималните дневни количества на валежите през историческия период 1976-2005 г.*
5. *Пространствено разпределение на средните от минималните дневни количества на валежите по сценария RCP4.5 за бъдещия период 2021-2050 г.*
6. *Пространствено разпределение на средните от минималните дневни количества на валежите по сценария RCP8.5 за бъдещия период 2021-2050 г.*
7. *Пространствено разпределение на средните от максималните дневни количества на валежите през историческия период 1976-2005 г.*
8. *Пространствено разпределение на средните от максималните дневни количества на валежите по сценария RCP4.5 за бъдещия период 2021-2050 г.*
9. *Пространствено разпределение на средните от максималните дневни количества на валежите по сценария RCP8.5 за бъдещия период 2021-2050 г.*

1. Използвани сценарии за очакваните климатични промени

Очакваните изменения на климата се моделират на базата на определени сценарии, описващи възможните траектории на бъдещото развитие на човечеството, които трябва да се вземат предвид на входа на използвания климатичен модел. Използването на различни сценарии при един и същи модел дава на изхода на модела различни резултати за очакваните климатични промени. Разработваните досега набори от сценарии като цяло са възприети с консенсус от международната научна общност, поради което са залегнали в публикуваните по различно време оценъчни доклади за изменението на климата, изготвяни от IPCC⁴² (Intergovernmental Panel on Climate Change).

Тъй като бъдещото развитие на човечеството е непредсказуемо, използваните сценарии не представляват точни прогнози, а са субективни предположения за социално-икономическото развитие в глобален и регионален контекст. Затова и резултатите от климатичното моделиране, базирани на съответните сценарии, *не са прогнози, а възможни реакции на климатичната система в отговор на оказания върху нея антропогенен натиск, описан в сценариите*. Поради тази причина при климатичното моделиране вместо понятието „климатична прогноза” се използва понятието „климатична проекция”, с което се подчертава *несигурността в очакваните промени*. Всъщност, един от главните източници на несигурност на резултатите от моделирането на очакваните климатични промени са именно използваните сценарии, защото *може никой от тях да не се случи, въпреки че всички са възможни*. Климатичните проекции не са просто екстраполации на сегашния климат към бъдещи периоди, а дават информация за това *какво би се случило* с климата, ако се сбъдне някой от използваните сценарии.

Досега за моделиране на климатичните промени са разработени четири поколения сценарии, използвани в Европа и света, като към настоящия момент се използват сценариите от последното „четвърто поколение”, които са в основата и на този анализ. Тези сценарии са известни като „Представителни пътища на концентрациите” (Representative Concentration Pathways, **RCPs**) и са използвани при изготвянето на последния *Пети оценъчен доклад* на IPCC (**AR5**, 2013/2014)⁴³. Следващият доклад на IPCC (**AR6**) се очаква да бъде публикуван през юни 2022 г.

При **RCP** сценариите моделирането на климатичните промени се извършва въз основа на очаквания *радиационен натиск* (**Radiative Forcing, RF**) на парниковите газове и други природни и антропогенни фактори върху енергийния баланс на климатичната система, измерен във W/m^2 . В съответствие с основните закони на термодинамиката, тъй като Земята поглъща енергия от Слънцето, то в крайна сметка тя трябва да излъчва същото количество енергия в космоса. Разликата между входящата и изходящата радиация е известна като *радиационен натиск* (**RF**). За сравнителни цели в **AR5** е изчислен **RF** за периода 1750-2011 г., определен като *исторически* („индустриална ера”). Положителните стойности на **RF** водят до затопляне, а отрицателните водят до захлаждане – примерно, за историческия период общият **RF** на всички парникови газове е оценен на $+2.83\ W/m^2$, като само ефектът от въглеродните емисии върху **RF** е оценен

⁴² IPCC, www.ipcc.ch/

⁴³ IPCC, Fifth Assessment Report (AR5) (www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/)

на $+1.82 \text{ W/m}^2$; **RF** на антропогенните аерозоли е оценен на -0.35 W/m^2 ; изчислени са и ефектите върху **RF**, породени от промените в постъпващата слънчева радиация на горната граница на атмосферата, от вулканичните изригвания, от промените в земеползването и т.н. На тази основа е разработен новият набор от **четири RCP сценария**, водещи до стабилизиране на радиационния натиск към края на XXI в. на съответните нива от **8.5, 6, 4.5 и 2.6 W/m^2** (Moss, et al., 2008,⁴⁴). Новите **RCP сценарии** имат много предимства в сравнение с по-старото поколение сценарии (**SRES сценариите**), тъй като дават повече информация за разбиране на процесите в климатичната система и поведението на въглеродния цикъл (Clarke, et al., 2007)⁴⁵. Тези сценарии са отправна точка за всички научни изследвания в областта на климатичните промени, както и за разработването на анализи, стратегически документи и политики за адаптиране и смекчаване на последиците от очакваните изменения на климата в страните от целия свят.

Главните характеристики на четирите **RCP сценария** са следните:

- Сценарият **RCP 8.5** може да бъде наречен „обичайна практика“ („business-as-usual scenario“) с нарастващи емисии и концентрации на парниковите газове във времето. Радиационният натиск се очаква да нарасне до 8.5 W/m^2 до 2100 г., което съответства на концентрации от около 1370 ppm в CO_2 екв. Това е най-песимистичният сценарий, защото според него глобалната температура се очаква да се повиши към края на века с над $4,0^\circ\text{C}$.
- Сценарият **RCP 6.0** е стабилизиращ сценарий, при който емисиите ще нарастват бързо до 2080 г., след което ще намаляват. Радиационният натиск към 2100 г. се оценява на 6 W/m^2 което съответства приблизително на концентрации от около 850 ppm CO_2 екв.
- Сценарият **RCP 4.5** предвижда по-бързо реализиране на адекватни мерки за ограничаване на емисиите. Очаква се пикът на емисиите да бъде около 2040-2050 г., след което те да намалят рязко до 2080 г. Радиационният натиск към 2100 г. се оценява на 4.5 W/m^2 , което съответства приблизително на концентрации около 650 ppm CO_2 екв. Очакваното повишение на глобалната температура по този сценарий към края на века е около $2,5^\circ\text{C}$.
- Сценарият **RCP 2.6** описва най-оптимистичния вариант, при който се допуска, че ще бъдат реализирани всички мерки за ограничаване на емисиите и че глобалното затопляне ще се ограничи до 2°C до края на века. Очаква се емисиите да намаляват рязко след 2020 г. Радиационният натиск (**RF**) към 2050 г. се очаква да достигне около 3.1 W/m^2 , след което към 2100 г. да се стабилизира на около 2.6 W/m^2 , което съответства на концентрации около 450 ppm CO_2 екв.

⁴⁴ Moss, R.H., et al., (2008) *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies*. Technical Summary. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 25 pp.

⁴⁵ Clarke, L.E., et al., (2007) *Scenarios of greenhouse gas emissions and atmospheric concentrations*, Sub-report 2.1a, U.S. Climate Change Science Program. Synthesis and Assessment Product 2.1a, CCSP, Washington, 154 pp.

При сценария RCP 4.5 („умерен“) се допуска, че ще се вземат адекватни мерки за ограничаване на емисиите, но ефектът им ще се прояви през втората половина на века. При сценария RCP 8.5 („песимистичен“) не се очаква антропогенният натиск върху климатичната система да намалее, поради което емисиите и концентрациите на парниковите газове ще нарастват и могат да се очакват по-значими климатични промени. Тези два сценария са най-често използваните в множество научни разработки в целия свят, което осигурява сравнимост на резултатите за различни бъдещи периоди при решаване на научни и приложни задачи, свързани с очакваните изменения на климата към определени бъдещи хоризонти.

2. Изходни данни за климатичното моделиране

При моделирането на очакваните климатични промени обикновено се използват *глобални климатични модели* (с ниска пространствена разделителна способност, примерно 200 km × 200 km) и базирани на тях *регионални климатични модели*, осигуряващи много по-висока пространствена разделителна способност (напр. 10 km × 10 km) на резултатите от климатичните симулации в сравнение с глобалните модели. Като изходни данни за настоящия анализ са използвани базите данни по проекта **MedCORDEX**⁴⁶, генерирани в резултат от симулациите с регионалния климатичен модел **ALADIN5.2**. Проектът **Med-CORDEX** се разработва под координацията на проекта **CORDEX**⁴⁷ (**CO**ordinated **R**egional climate **D**ownscaling **E**xperiment) и се спонсорира от международните изследователски програми **HyMeX**⁴⁸ (**HY**drological cycle in the **M**editerranean **E**Xperiment) и **Med-CLIVAR**⁴⁹ (**CL**imate **V**ARIability and **P**redictability). В рамките на проекта симулациите се извършват с регионални модели с много висока пространствена резолюция (до ~10 km), базирани на най-ново поколение глобални модели. Характеристиките на използваните модели, базите данни с резултатите от извършените симулации и метаданните за тях, са достъпни на сайта на проекта⁵⁰. Повечето от симулациите за климатичните проекции с регионалните модели са базирани на два от новите сценарии в AR5 – **RCP4.5** („умерен“) и **RCP8.5** („песимистичен“). Максималната пространствена резолюция, която се използва е 0.11° × 0.11° (или ~12 km) за очакваните климатични промени за периода 2006-2100 г. на базата на сравнения с изходни данни от ERA-Interim за историческия период 1949-2005 г.

Климатичният модел **ALADIN 5.2** е локална версия на френския глобален модел **ARPEGE**, разработван от **Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM, Météo-France)**. Използва Ламбертова конформна проекция и има 31 вертикални нива. Моделът е центриран към координати: LON0=15°E, LAT0=43°E. Захранването на модела става със стъпка всеки 6 часа от глобалния климатичен модел от CMIP5 CNRM-CM5. Пространственият домейн на модела е 10° з.д., 50° и.д., 60° с.ш. и 25° ю.ш. В радиационната схема са включени всички класове парникови газове – CO₂, CH₄, N₂O, CFC11, CFC12. Моделът съдържа шест класа аерозоли – пустинен прах, морска сол,

⁴⁶ Проект Med-CORDEX (www.medcordex.eu/)

⁴⁷ CORDEX (<http://cordex.dmi.dk/joomla/>)

⁴⁸ Програма HyMeX (www.hymex.org/)

⁴⁹ Програма MedCLIVAR (www.medclivar.eu/)

⁵⁰ Проект Med-CORDEX (www.medcordex.eu/medcordex.php)

сулфати, карбон, органични аерозоли, вулканичен прах. Продължителността на настройването на модела (spin-up) е две моделни години.

В настоящото изследване са използвани резултатите от симулациите с регионалния климатичен модел за денонощните стойности на **температурата на земната повърхност** TAS, TASMIN, TASMAX (съответно за средната, минималната и максималната температура) и денонощните валежни суми PR (за средните, минималните и максималните денонощни валежи). Данните в този анализ се отнасят: за „близкото бъдеще“ (2021-2050 г.) по двата сценария – RCP4.5 и RCP8.5, а за историческия период са използвани данни от реанализа ERA-Interim също за 30-год. период (1976-2005 г.) от базата данни HISTORICAL_DATA, приет за контролен (или референтен). За всички данни е използван пространствения домейн 21° и 29° и.д., и 45° и 41° с.ш., в обхвата на който попада територията на страната. Суровите данни с резултатите от симулациите с модела са извлечени с помощта на инструментите на THREDDS Data Server на MedCORDEX.

Моделът генерира стойности за температурите и валежите в клетки с размер $\approx 12 \times 12$ км. Територията на Софийската котловина, включваща котловинно дъно, подножие и оградни склонове се покрива от 25 клетки. От тях около 8 клетки покриват котловинното дъно, в което е разположена столицата. За 30-годишни периоди месечните данни от модела са организирани като съвкупност от три информационни масива (т.нар. „слайсове“ от по 10 години) за съответните изследвани периоди (1976-2005 г. и 2021-2050 г.) и климатични сценарии (RCP4.5 и RCP8.5). Така за всяка клетка от всеки слайс моделът генерира 120 точки със съответни атрибутивни стойности (10 години $\times$ 12 месеца). В пространствен аспект стойността на всяка точка за съответния климатичен елемент се отнася към центроида на дадената клетка. За целите на това изследване извлечените сурови данни за температурите на земната повърхност и за валежите във формат NETcdf са обработени и интегрирани в геобазите данни на платформата ArcGIS с инструментите за работа с мулти-дименсиални данни (Multidimensional tools). Така са създадени векторни точкови слоеве с толкова на брой точки за всяка клетка, колкото е времевият период. Разработените целеви геобазите данни са основен инструмент при изследването на очакваните климатични промени на месечна, сезонна и годишна база по съответните сценарии. Разликите между стойностите за бъдещия период и стойностите за контролния период се приемат за *климатични аномалии*, които могат да бъдат с положителен или отрицателен знак. Те се интерпретират като *сигнали* за очакваните климатични промени през бъдещия период по двата сценария. При предходни наши изследвания⁵¹ е установено, че моделът ALADIN 5.2 е малко „по-студен“ и малко „повлажен“, което се отразява върху точността. Отклоненията при валидирането на данните от климатичното моделиране представляват *биаса*, като по отношение на температурите има както топъл (с положителен знак), така и студен биас (с отрицателен знак), а по отношение на валежите – както влажен (с положителен знак), така и сух биас (с отрицателен знак). Студеният биас на резултатите от симулациите с модела преобладава и най-често отклоненията са до 1.0 °C, а на влажния биас до +0.5 mm/day. На практика

⁵¹ Вж. Финален доклад по изпълнението на договор с МОСВ „Оценка на натиска и въздействието върху повърхностните и подземните води от изменението на климата и оценка на наличието на вода за икономическите сектори“, 2016 г.

корекциите на биаса обикновено се извършват на базата на сравнението между генерираните от модела резултати с фактически измерени стойности от инструментални наблюдения. Главният недостатък на корекциите на биаса е, че се допуска за бъдещите периоди да бъдат валидни същите комбинации от фактори, които са формирали климата през контролния период, което противоречи на концепцията за нестационарния, нелинейния и хаотичния характер на климатичната система^{52, 53}.

Уточняваме, че данните за климатичните проекции в настоящия анализ не се отнасят за конкретна година през бъдещия период, а са средни стойности за целия 30-годишният период. Същото се отнася и за данните за историческия период. Бъдещият период е центриран времево към 2035 г., но това не означава, че получените стойности за температурите и валежите се отнасят към тази година, към началото или към края на периода.

3. Анализ на резултатите от климатичното моделиране

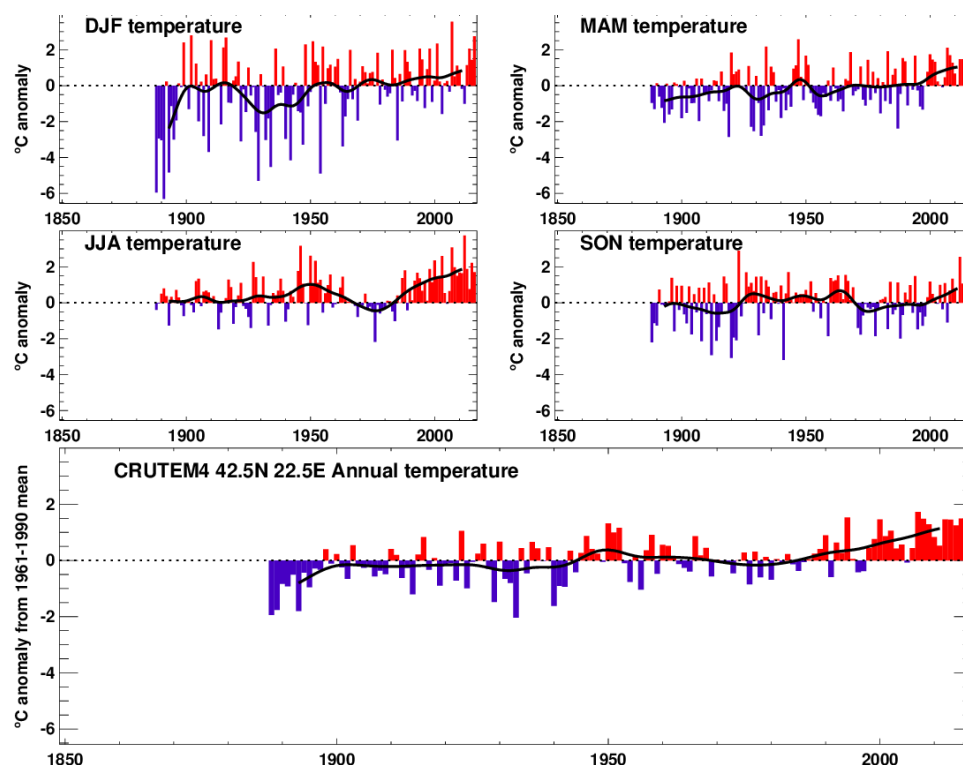
3.1. Очаквани промени в температурите

Според последния доклад на IPCC (AR5) затоплянето на климатичната система е недвусмислено и много от наблюдаваните явления след 50-те години на миналия век са безпрецедентни за периоди от десетилетия до хилядолетия. Всяко от последните три десетилетия е последователно по-топло, отколкото всяко предходно десетилетие след 1850 г. По данните в този оценъчен доклад (AR5), публикуван през 2014 г., периодът от 1983 до 2012 г. е бил най-топлият 30-годишен период за последните 1400 г. в Северното полукълбо⁵⁴. По отношение на територията на района на София световните климатични бази данни също предоставят информация, която потвърждава като цяло общите тенденции към затопляне на климата (фиг. 5.1, фиг. 5.2, фиг. 5.3).

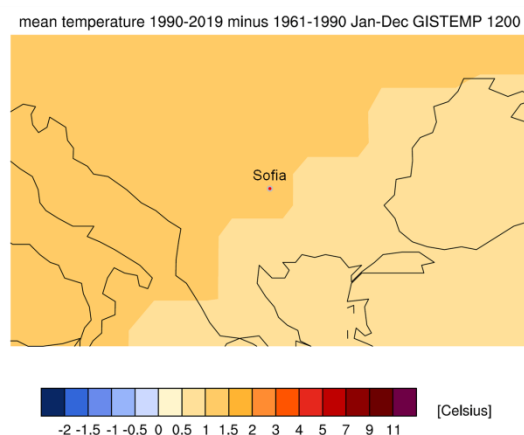
⁵² Lorenz, E. (1994). What is climate? In: Application of Statistics to Modeling the Earth's Climate System. NCAR/TN-409+PROC, NCAR Technical Note, National Center for Atmospheric Research Statistics Project, Boulder, Colorado, Nov. 1994, 28-31.

⁵³ Milly, P., et al., (2008) Stationarity is dead: Whither water management? *Science*, 319(5863).

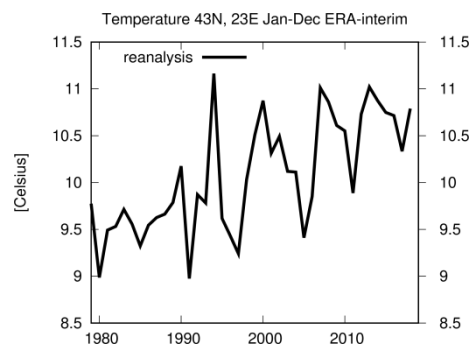
⁵⁴ IPCC, AR5: Climate Change 2014, Synthesis Report, Summary for Policymakers, 2014.



Фиг. 5.1. База данни: CRUTEM4, University of East Anglia, Climatic Research Unit⁵⁵
(аномалии на средната год. температура и средните температури на въздуха по сезони за периода 1888-2016 г. в сравнение с климатичната норма за периода 1961-1990 г.)



Фиг. 5.2. База данни GISTEMP 1200⁵⁶
(аномалии на средната год. температура на въздуха през периода 1990-2019 г. в сравнение с климатичното норма за 1961-1990 г.)



Фиг. 5.3. База данни Era Interim⁵⁷
(аномалии на средната годишна температура на въздуха през последните 40 години)

Както за района на Софийската котловина, така и за котловинното дъно, в което е разположена столицата, регионалният климатичен модел ALADIN 5.2 генерира за бъдещия период (2021-2050 г.) и по двата сценария по-високи стойности за очакваните средногодишни, сезонни и месечни температури на земната повърхност в сравнение с

⁵⁵ <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/> (вж. приложения текстови файл за времевата серия 1888-2016 г.)

⁵⁶ NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS): <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>

⁵⁷ ECMWF ERA-Interim: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim>

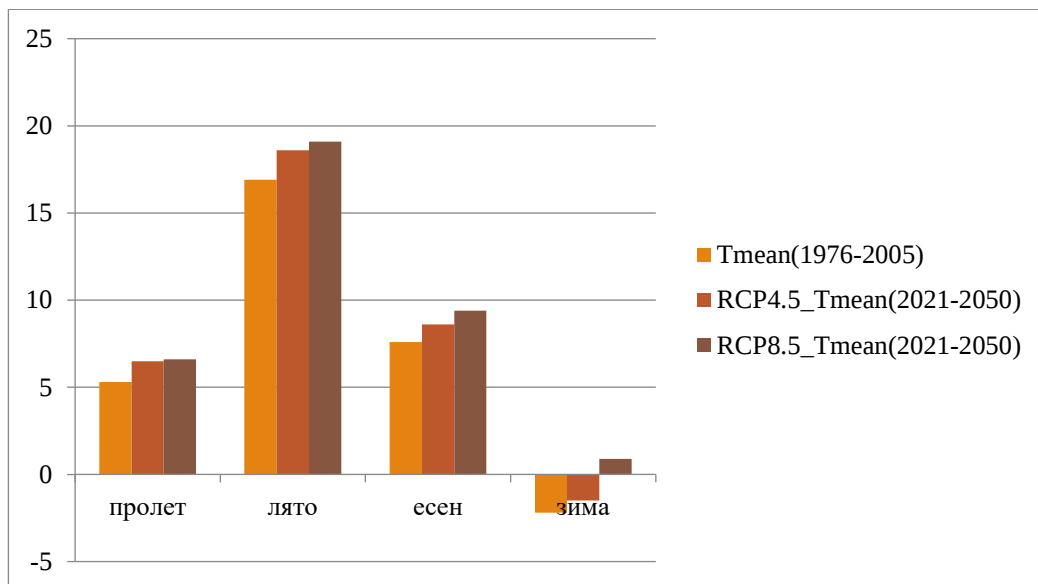
референтния период (1976-2005 г.). На базата на разработената методика от Institute for Environment and Sustainability към Joint Research Centre (JRC, European Commission)⁵⁸ бяха изчислени линейните трендове на очакваните промени на температурите и валежите. Резултатите показват, че очакваното повишение на средногодишните температури на земната повърхност в София по сценария RCP4.5 е с $+0,026^{\circ}\text{C}/\text{год.}$, а по сценария RCP8.5 с $+0,039^{\circ}\text{C}/\text{год.}$

За района на Софийската котловина по сценария **RCP4.5** се очаква **средногодишната температура** през бъдещия период до достигне $8,0^{\circ}\text{C}$, а по сценария **RCP8.5** $8,6^{\circ}\text{C}$. Това означава, че по „умерения“ сценарий очакваното повишение на температурата е с $1,1^{\circ}\text{C}$, а по „песимистичния“ сценарий с $1,7^{\circ}\text{C}$. За района на гр. София по същите два сценария се очаква средногодишната температура се на земната повърхност да се повиши в сравнение с референтния период съответно с $1,2^{\circ}\text{C}$ и $1,8^{\circ}\text{C}$.

Очакваните **средни температури по сезони** и по двата сценария също се повишават, което се вижда от фиг. 5.4 за Софийската котловина и фиг. 5.5 за София. В зависимост от сценария очакваното повишение в Софийската котловина през пролетта е с $1,2-1,3^{\circ}\text{C}$, през лятото с $1,7-2,2^{\circ}\text{C}$, през есента с $1,0-1,8^{\circ}\text{C}$, а през зимата с $0,7-3,1^{\circ}\text{C}$. В София повишението на температурите се очаква да бъде: през пролетта с $1,2-1,3^{\circ}\text{C}$, през лятото с $1,9-2,6^{\circ}\text{C}$, през есента с $0,9-1,8^{\circ}\text{C}$, а през зимата с $0,7-1,5^{\circ}\text{C}$ (също в зависимост от сценария). Изчислените линейни трендове на очакваните повишения на температурите и по двата сценария за София имат най-високи стойности през лятото (по RCP4.5 с $+0,042^{\circ}\text{C}/\text{год.}$, а по RCP8.5 с $+0,056^{\circ}\text{C}/\text{год.}$). Най-ниски стойности на трендовете по сценария RCP4.5 са през зимата (с $+0,016^{\circ}\text{C}/\text{год.}$), а по сценария RCP8.5 през пролетта (с $+0,029^{\circ}\text{C}/\text{год.}$).

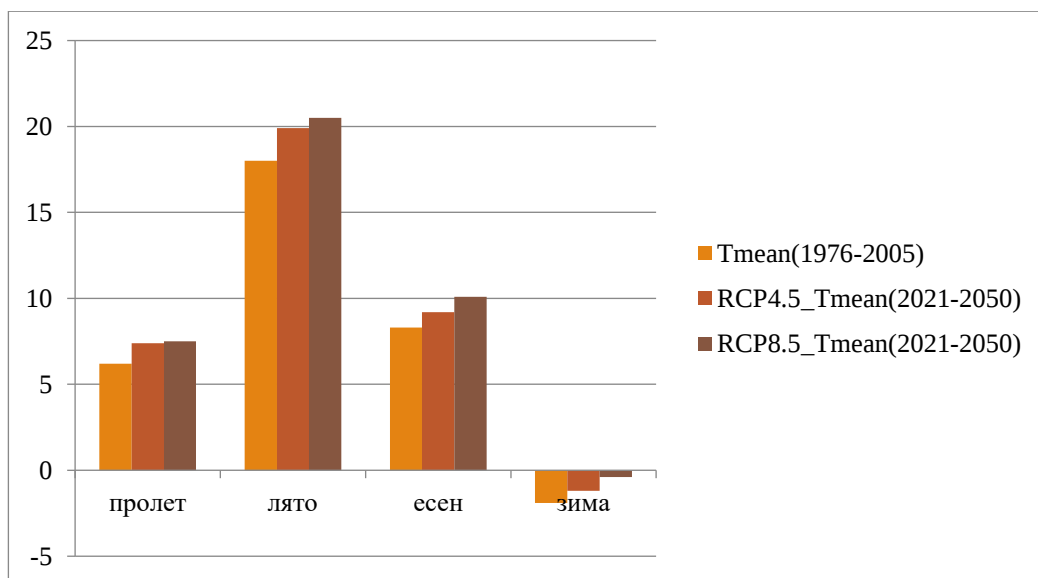
⁵⁸ Institute for Environment and Sustainability, JRC (2013) EFAS-Meteo: A European daily high-resolution gridded meteorological data set for 1990-2011, Ispra, Italy

	пролет	лято	есен	зима
Tmean(1976-2005)	5,3	16,9	7,6	-2,2
RCP4.5_Tmean(2021-2050)	6,5	18,6	8,6	-1,5
RCP8.5_Tmean(2021-2050)	6,6	19,1	9,4	0,9



Фиг. 5.4. Очаквани промени в средните температури на земната повърхност по сезони в Софийската котловина (°C)

	пролет	лято	есен	зима
Tmean(1976-2005)	6,2	18	8,3	-1,9
RCP4.5_Tmean(2021-2050)	7,4	19,9	9,2	-1,2
RCP8.5_Tmean(2021-2050)	7,5	20,5	10,1	-0,4



Фиг. 5.5. Очаквани промени в средните температури на земната повърхност по сезони в София (°C)

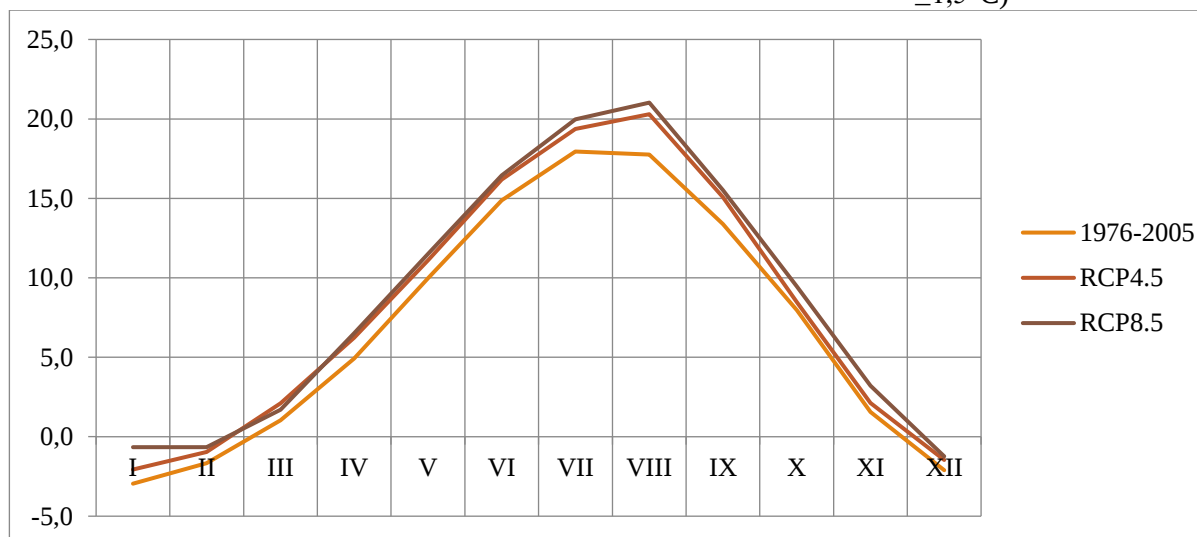
И по двата сценария за бъдещия период 2021-2050 г. се очаква за Софийската котловина и гр. София повишение на **средните месечни стойности на температурите** (фиг. 5.6, фиг. 5.7). И по двата бъдещи сценария се очаква най-голямото повишение да бъде през м. август, като прави впечатление и значителното повишение с 2,3-2,4°C през м. януари.

	1976-2005	RCP4.5	RCP8.5
I	-3,0	-2,1	-0,7
II	-1,7	-1,0	-0,7
III	1,0	2,1	1,7
IV	4,9	6,2	6,5
V	10,0	11,1	11,5
VI	14,9	16,2	16,4
VII	17,9	19,4	20,0
VIII	17,8	20,3	21,0
IX	13,4	15,1	15,5
X	8,0	8,5	9,5
XI	1,6	2,1	3,2
XII	-2,1	-1,5	-1,2
Год.	6,9	8,0	8,6

Средномесечни температури на земната повърхност през контролния период и бъдещия период по двата сценария (°C)

	RCP4.5	RCP8.5
I	0,9	2,3
II	0,7	1
III	1,1	0,7
IV	1,3	1,6
V	1,1	1,5
VI	1,3	1,5
VII	1,5	2,1
VIII	1,5	3,2
IX	1,7	2,1
X	0,5	1,5
XI	1,1	1,6
XII	0,6	0,9
Год.	1,1	1,7

Очаквани температурни разлики между контролния и бъдещия период (с червено са маркирани месечните стойности с повишение $\geq 1,5^{\circ}\text{C}$)



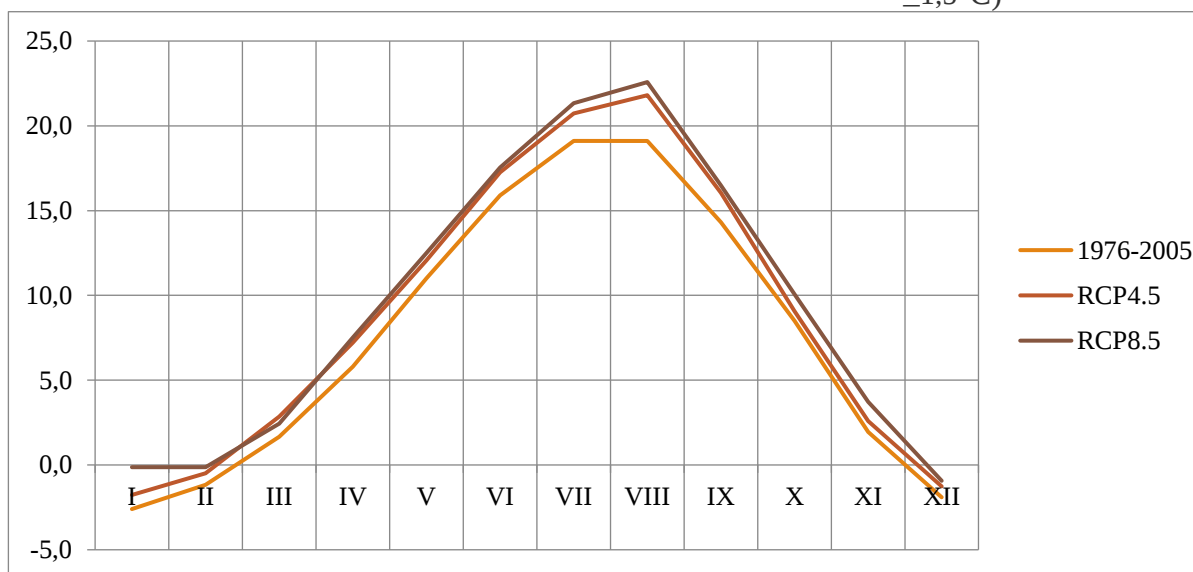
Фиг. 5.6. Очаквани промени през периода 2021-2050 г. на средномесечните температури (°C) на земната повърхност в Софийската котловина по климатичните сценарии RCP4.5 и RCP8.5 спрямо референтния период 1976-2005 г.

	1976-2005	RCP4.5	RCP8.5
I	-2,6	-1,8	-0,1
II	-1,2	-0,5	-0,1
III	1,7	2,9	2,4
IV	5,8	7,2	7,5
V	11,0	12,1	12,5
VI	15,9	17,2	17,5
VII	19,1	20,7	21,3
VIII	19,1	21,8	22,6
IX	14,3	16,0	16,5
X	8,5	9,1	10,1
XI	2,0	2,6	3,7
XII	-1,9	-1,3	-0,9
Год.	7,6	8,8	9,4

Средномесечни температури на земната повърхност през контролния период и бъдещия период по двата сценария (°C)

	RCP4.5	RCP8.5
I	0,8	2,4
II	0,7	1,1
III	1,2	0,7
IV	1,4	1,7
V	1,1	1,5
VI	1,3	1,6
VII	1,6	2,2
VIII	2,7	3,5
IX	1,7	2,2
X	0,6	1,6
XI	0,6	1,7
XII	0,6	1
Год.	1,2	1,8

Очаквани температурни разлики между контролния и бъдещия период (с **червено** са маркирани месечните стойности с повишение $\geq 1,5^{\circ}\text{C}$)



Фиг. 5.7. Очаквани промени през периода 2021-2050 г. на средномесечните температури (°C) на земната повърхност в София по климатичните сценарии RCP4.5 и RCP8.5 спрямо референтния период 1976-2005 г.

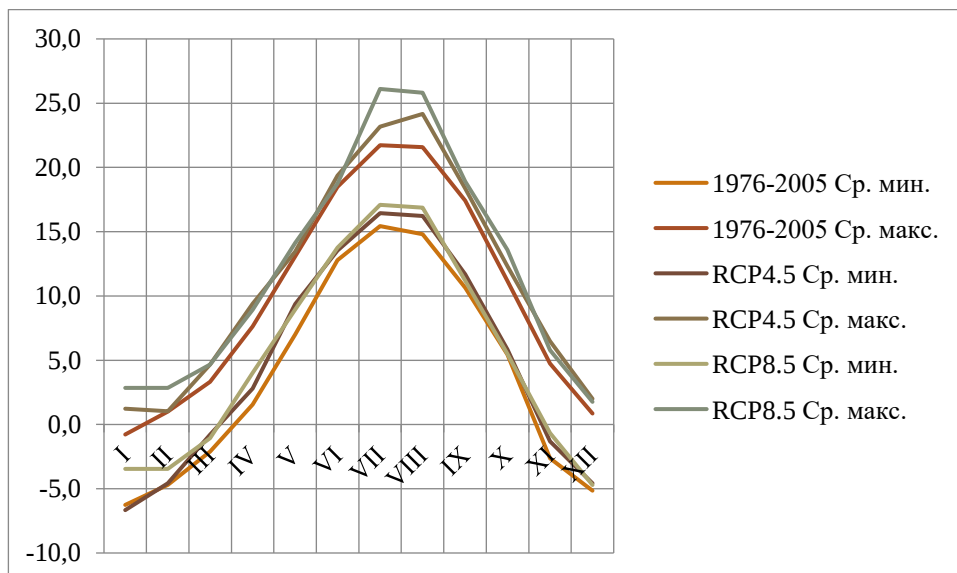
Изчислените линейни трендове на средните месечни температури на земната повърхност в София са показани в табл. 5.1. И по двата сценария трендовете имат най-високи стойности през август, но по „песимистичния” сценарий RCP8.5 стойностите на изчислените трендове са значително по-високи не само за летните месеци, но и за м. януари в сравнение със сценария RCP4.5.

Табл. 5.1. Линейни трендове на средните месечни температури в София на земната повърхност (°C/год.)

София	RCP4.5	RCP8.5
I	+0,018	+0,053
II	+0,016	+0,024
III	+0,027	+0,016
IV	+0,031	+0,038
V	+0,024	+0,033
VI	+0,029	+0,036
VII	+0,036	+0,049
VIII	+0,060	+0,078
IX	+0,038	+0,049
X	+0,013	+0,036
XI	+0,013	+0,038
XII	+0,013	+0,022

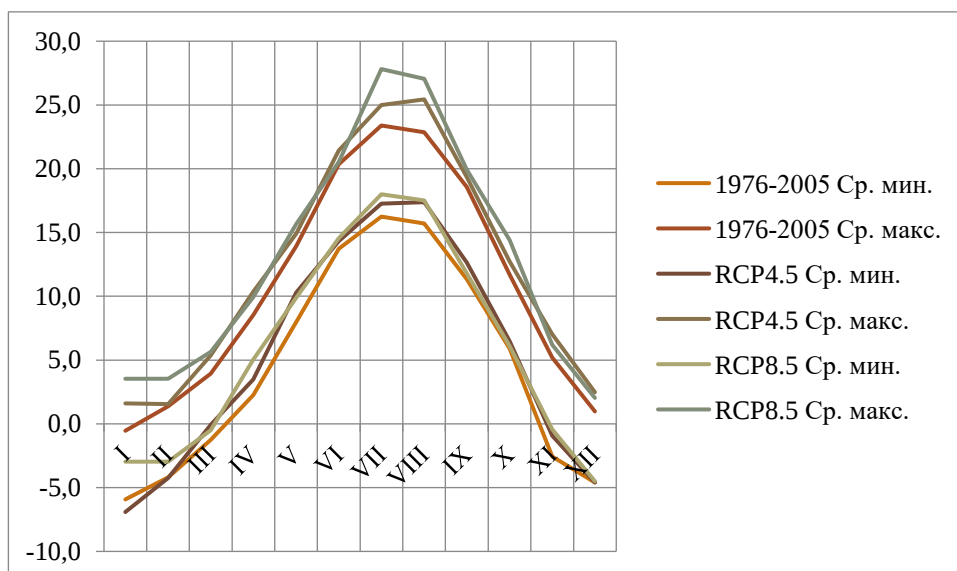
На фиг. 5.8 и фиг. 5.9 са представени очакваните промени на **средномесечните минимални и максимални температури** на земната повърхност по двата климатични сценария. И по двата сценария очакваното повишение на максималните температури е най-голямо през летните месеци юли и август (с 4,2-4,4°C), следвано от повишение през м. януари (с 3,6-4,0°C). Както може да се очаква повишението на минималните и максималните температури е по силно изразено при сценария RCP8.5, като най-слабо то е изразено през есенните и пролетните месеци.

Софийска котловина	1976-2005		RCP4.5		RCP8.5	
	Ср. мин.	Ср. макс.	Ср. мин.	Ср. макс.	Ср. мин.	Ср. макс.
I	-6,3	-0,8	-6,7	1,2	-3,4	2,8
II	-4,7	1,0	-4,6	1,0	-3,4	2,8
III	-2,1	3,3	-0,8	4,7	-1,1	4,7
IV	1,6	7,6	2,8	9,4	4,0	8,9
V	7,0	13,1	9,4	13,5	8,9	14,1
VI	12,8	18,5	13,5	19,4	13,8	18,7
VII	15,4	21,7	16,4	23,2	17,1	26,1
VIII	14,8	21,6	16,2	24,2	16,9	25,8
IX	10,6	17,4	11,7	18,4	11,2	18,9
X	5,4	11,2	5,8	12,3	5,5	13,6
XI	-2,6	4,7	-1,3	6,5	-0,7	5,8
XII	-5,1	0,8	-4,6	2,0	-4,7	1,8
Год.	3,9	10,0	4,8	11,3	5,3	12,0



Фиг. 5.8. Очаквани промени през периода 2021-2050 г. на средномесечните минимални и максимални температури (°C) на земната повърхност в Софийската котловина по климатичните сценарии RCP4.5 и RCP8.5 в сравнение с референтния период 1976-2005 г.

София	1976-2005		RCP4.5		RCP8.5	
	Ср. мин.	Ср. макс.	Ср. мин.	Ср. макс.	Ср. мин.	Ср. макс.
I	-5,9	-0,5	-6,9	1,6	-3,0	3,5
II	-4,18	1,38	-4,24	1,55	-2,97	3,54
III	-1,3	3,9	-0,1	5,4	-0,5	5,7
IV	2,3	8,5	3,5	10,4	5,0	9,9
V	8,0	13,9	10,3	14,9	9,9	15,7
VI	13,7	20,3	14,3	21,4	14,5	20,5
VII	16,2	23,4	17,3	25,0	18,0	27,8
VIII	15,7	22,9	17,4	25,4	17,5	27,1
IX	11,3	18,6	12,6	19,3	11,8	19,9
X	5,9	11,7	6,5	12,7	6,1	14,4
XI	-2,6	5,2	-0,9	7,0	-0,4	6,2
XII	-4,6	1,0	-4,6	2,5	-4,5	2,0
Год.	4,6	10,9	5,4	12,3	6,0	13,0

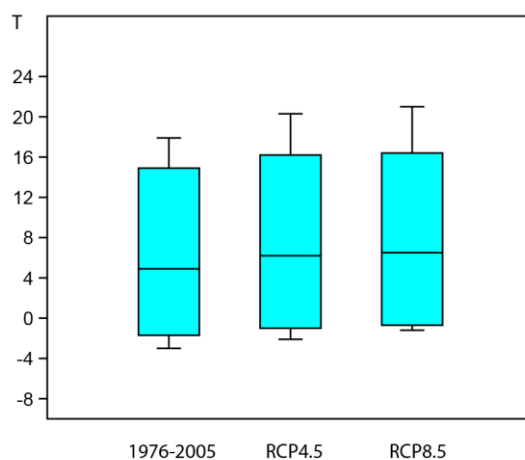
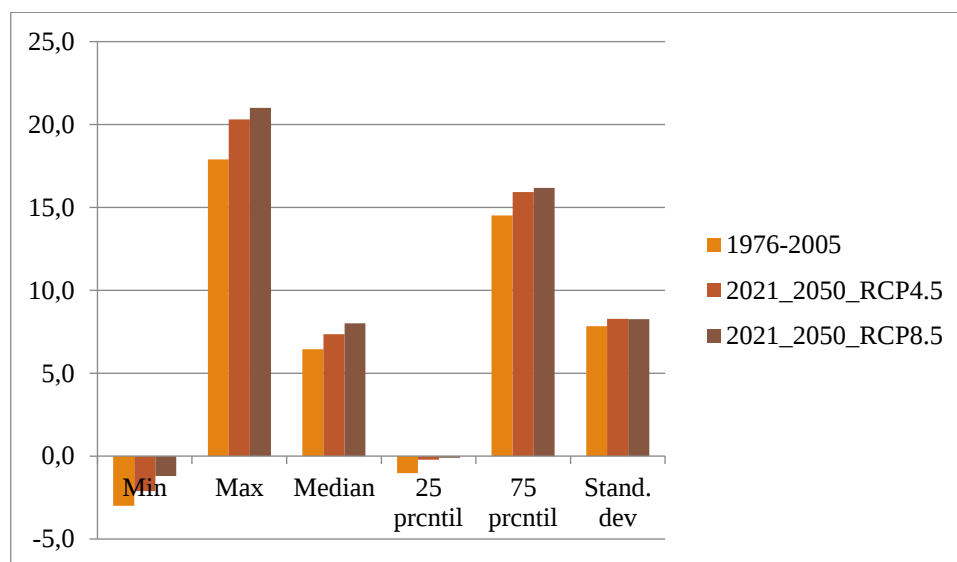


Фиг. 5.9. Очаквани промени през периода 2021-2050 г. на средномесечните минимални и максимални температури (°C) на земната повърхност в София по климатичните сценарии RCP4.5 и RCP8.5 в сравнение с референтния период 1976-2005 г.

В допълнение в *Приложенията* към доклада са представени **карти на пространственото разпространение на средните максимални температури на земната повърхност** за историческия период и за бъдещия период по двата сценария. От тях ясно се вижда, че докато през историческия период максималните температури в картографираната територия са в диапазона 16,8 – 24,6°C, то през бъдещия период стойностите им по „умерения“ сценарий (RCP4.5) са в диапазона 19,5 – 27,2°C, а по „песимистичния“ сценарий (RCP8.5) те са вече в диапазона 21,7 – 28,2°C. Прави впечатление, че по този сценарий най-високите стойности на показателя формират непрекъснат (компактен) ареал в картографираното пространство на Софийската котловина.

В табл. 5.2 и табл. 5.3, както и на диаграмите под тях, са представени статистическите характеристики на очакваните изменения на стойностите на средномесечните температури на земната повърхност през бъдещия период по двата сценария за Софийската котловина и гр. София. За сравнение са показани и статистическите характеристики за контролния период. Данните показват, че повишаването на температурите ще се придружава от увеличаване на вариабилността (изменчивостта) на стойностите им, което ясно се вижда на приложените фигури. Това е сигнал, че за бъдещия период може да се очакват по-големи температурни контрасти в рамките на годината, което се потвърждава и от данните за средногодишните температурни амплитуди, които се повишават и по двата сценария (табл. 5.4).

Софийска котловина	1976-2005	2021_2050_RCP4.5	2021_2050_RCP8.5
Min	-3,0	-2,1	-1,2
Max	17,9	20,3	21,0
Median	6,5	7,4	8,0
25 prcntil	-1,0	-0,2	-0,1
75 prcntil	14,5	15,9	16,2
Stand. dev	7,8	8,3	8,3

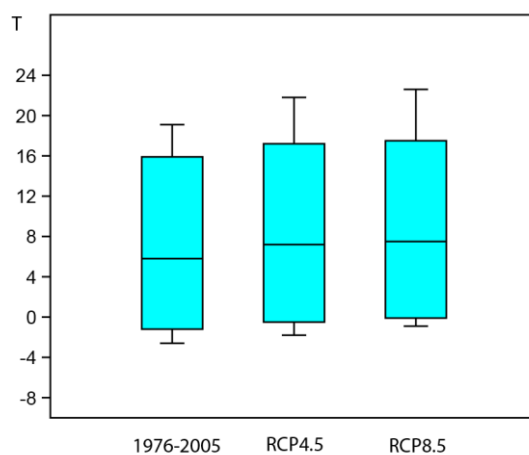
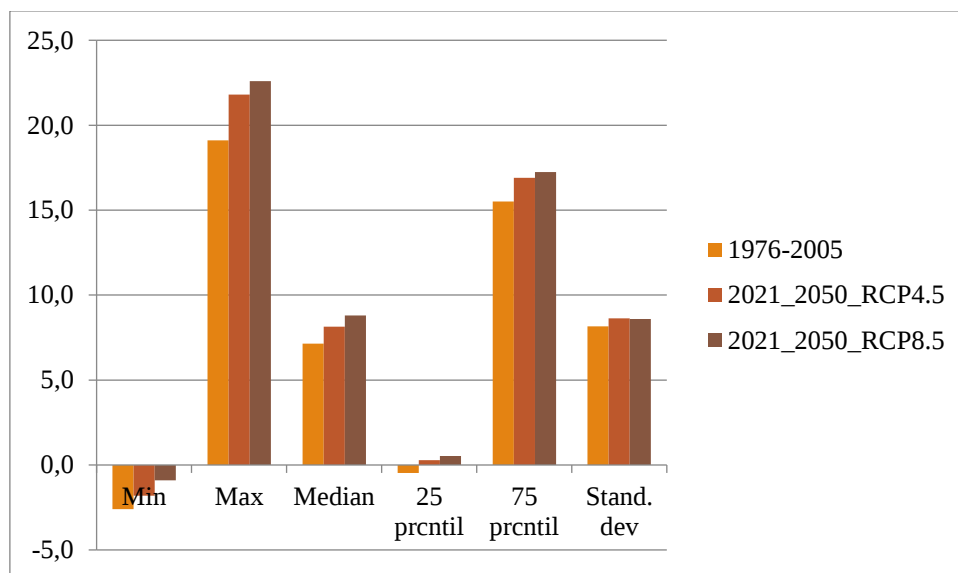


Box-Plot диаграма

Правоъгълниците в диаграмата обхващат от 25-я процентил до 75-я процентил (долния и горния кватил). Вертикалните линии отгоре и отдолу на правоъгълниците показват от 5%-тил до 95%-тил. По-дългата линия над правоъгълниците показва, че разпределението е изтеглено в дясно. Горизонталната линия, пресичаща правоъгълниците, показва медианата (50%) на температурните стойности.

Табл. 5.2. Статистически характеристики на средномесечните температури (°C) на земната повърхност в Софийската котловина за контролния период и за периода 2021-2050 г. по двата сценария

София	1976-2005	2021_2050_RCP4.5	2021_2050_RCP8.5
Min	-2,6	-1,8	-0,9
Max	19,1	21,8	22,6
Median	7,2	8,2	8,8
25 prcntil	-0,5	0,3	0,5
75 prcntil	15,5	16,9	17,3
Stand. dev	8,2	8,6	8,6



Box-Plot диаграма

Табл. 5.3. Статистически характеристики на средномесечните температури (°C) на земната повърхност в София за контролния период и за периода 2021-2050 г. по двата сценария

Табл. 5.4. Средногодишни температурни амплитуди (°C) за контролния период и периода 2021-2050 г. по двата сценария

Период/Сценарий	Температурна амплитуда (°C)
1976-2005	21,7
2021_2050_RCP4.5	23,6
2021_2050_RCP8.5	22,7

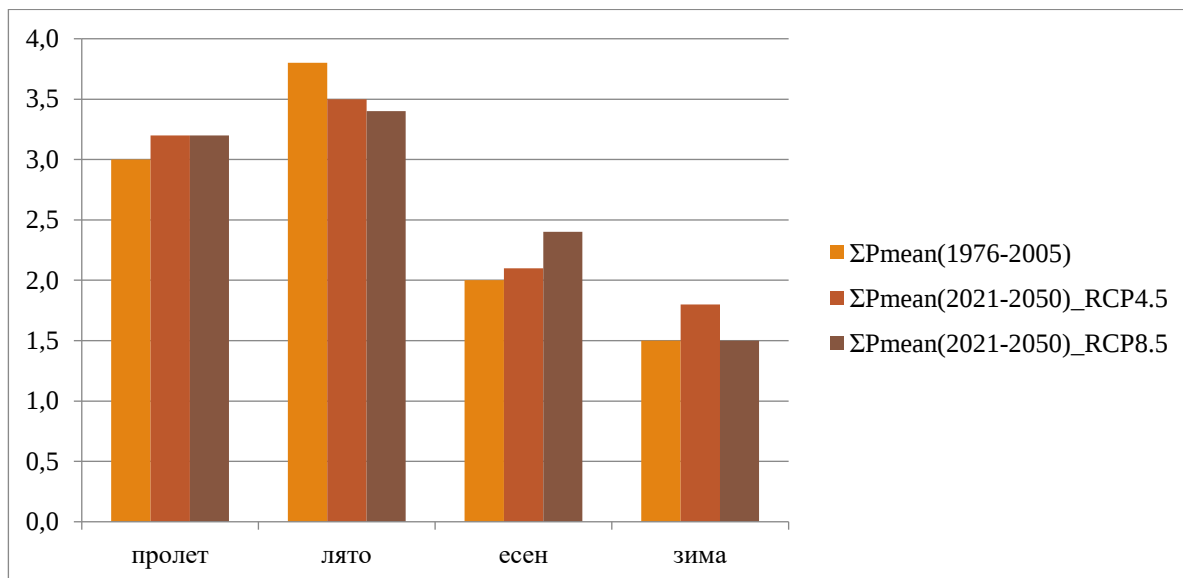
3.2. Очаквани промени в количествата на валежите

За разлика от температурите валежите са климатичен елемент, силно повлиян от циркулационни и орографски фактори, поради което те имат дискретен в пространството и времето характер, както по отношение на количеството им, така и по отношение на вътрешногодишното им разпределение. Очаква се на многогодишна база среднодневните валежни количества да бъдат от порядъка на 2,1-2,7 mm/day. Съществени промени обаче настъпват по отношение на сезонното и месечното им разпределение. Като цяло се очаква валежните количества да намаляват през летните месеци и да се увеличават през пролетта и късната есен.

Моделните резултати показват, че може да се очакват промени в **сезонното разпределение** на валежните количества и по двата сценария през бъдещия период.

За **Софийската котловина** (фиг. 5.10) се очаква увеличаване на пролетните и есенните среднодневни количества на валежите през бъдещия период. Докато през пролетта се очаква еднакво увеличение по двата сценария, то през есента увеличението по сценария RCP8.5 е значително по-голямо в сравнение със сценария RCP4.5. През зимата по сценария RCP8.5 няма разлики с контролния период, но по сценария RCP4.5 моделът генерира по-високи стойности в сравнение с контролния период. През лятото и по двата сценария се очакват по-малко валежи, като по сценария RCP8.5 намалението е по-значително в сравнение с другия сценарий.

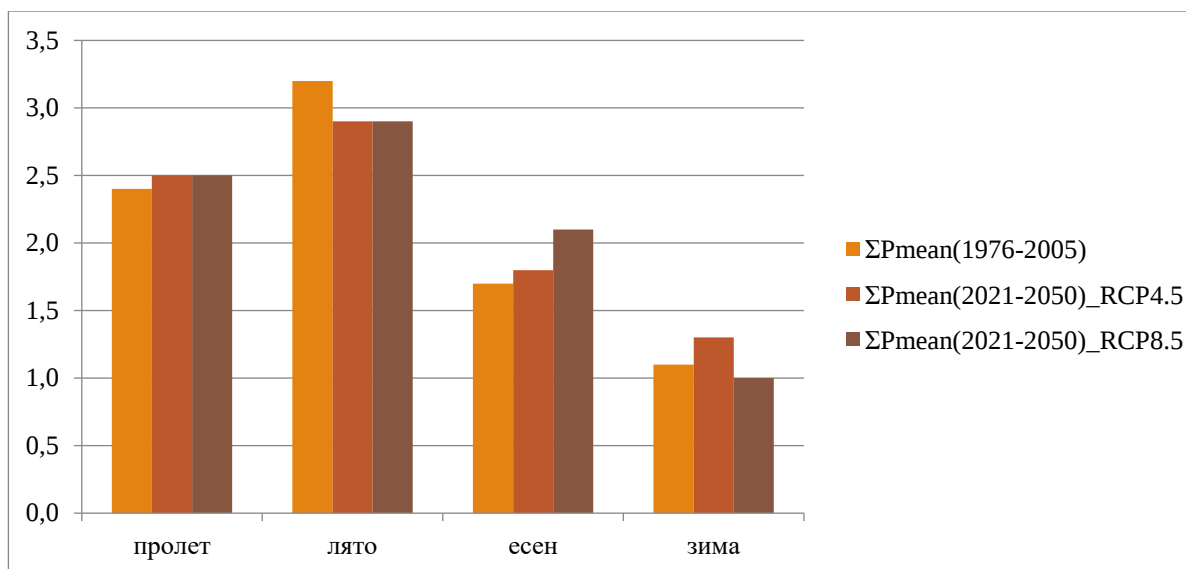
Софийска котловина	пролет	лято	есен	зима
$\Sigma P_{\text{mean}}(1976-2005)$	3,0	3,8	2,0	1,5
$\Sigma P_{\text{mean}}(2021-2050)_{\text{RCP4.5}}$	3,2	3,5	2,1	1,8
$\Sigma P_{\text{mean}}(2021-2050)_{\text{RCP8.5}}$	3,2	3,4	2,4	1,5



Фиг. 5.10. Очаквани промени в сезонното разпределение на валежите в Софийската котловина (mm/day)

За **гр. София** се очакват същите тенденции при сезонните валежи (увеличение през пролетта и есента и намаление през лятото и по двата сценария), но с тази разлика, че през зимата моделът генерира по високи стойности по сценария RCP4.5 и по-ниски стойности по сценария RCP8.5 в сравнение с контролния период (фиг. 5.11).

София	пролет	лято	есен	зима
$\Sigma P_{\text{mean}}(1976-2005)$	2,4	3,2	1,7	1,1
$\Sigma P_{\text{mean}}(2021-2050)_{\text{RCP4.5}}$	2,5	2,9	1,8	1,3
$\Sigma P_{\text{mean}}(2021-2050)_{\text{RCP8.5}}$	2,5	2,9	2,1	1,0

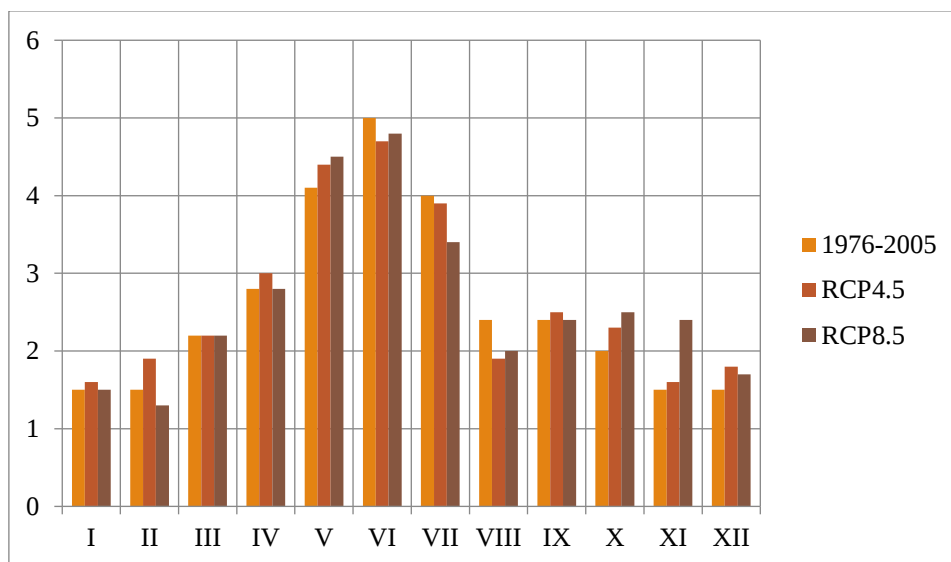


Фиг. 5.11. Очаквани промени в сезонното разпределение на валежите в София (mm/day)

Очакваните промени във валежите личат по-добре при анализиране на средните им месечни стойности, тъй като те не са претърпели агрегация по сезони. На фиг. 5.12 е представено месечното разпределение на средните дневни валежи в **Софийската котловина**, от която личи, че валежният максимум през годината е през май-юни. И по двата сценария моделът генерира нарастване на стойностите през бъдещия период през май и намаление през юни. През август се очаква намаление на валежите и по двата сценария. Прави впечатление и увеличението на валежите през месеците октомври, декември и особено през месец ноември по сценария RCP8.5.

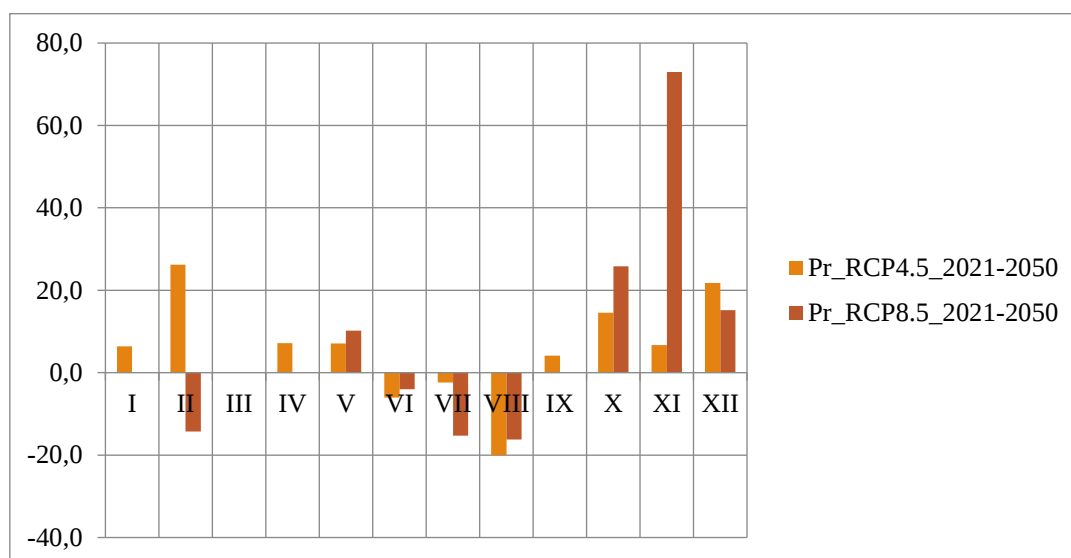
На фиг. 5.13 е показано процентното изменение на месечните валежи в Софийската котловина по двата сценария в сравнение с техните количества през контролния период. От фигурата се вижда, че на годишна база валежите ще се увеличат средно с 5,5% по сценария RCP4.5 и с 6,2% по сценария RCP8.5 спрямо контролния период, но през отделните месеци има както увеличение, така и намаление в зависимост от климатичния сценарий. Например, по сценария RCP4.5 февруари е месецът с най-голямото очаквано процентно увеличение (с +26,2%), докато по сценария RCP8.5 през същия месец може да се очаква намаление с -14,3%. Като цяло и по двата сценария процентното месечно намаление на валежите е най-добре изразено през месец август: с -20% по сценария RCP4.5 и с -16,2% по сценария RCP8.5. По същия сценарий се очаква най-голямото месечно процентно увеличение на валежите да бъде през ноември (с +73%).

mm/day	1976-2005	RCP4.5	RCP8.5
I	1,5	1,6	1,5
II	1,5	1,9	1,3
III	2,2	2,2	2,2
IV	2,8	3,0	2,8
V	4,1	4,4	4,5
VI	5,0	4,7	4,8
VII	4,0	3,9	3,4
VIII	2,4	1,9	2,0
IX	2,4	2,5	2,4
X	2,0	2,3	2,5
XI	1,5	1,6	2,4
XII	1,5	1,8	1,7
Год. (ср.)	2,6	2,7	2,6



Фиг. 5.12. Очаквано изменение на месечното разпределение на валежите (mm/day) в Софийската котловина

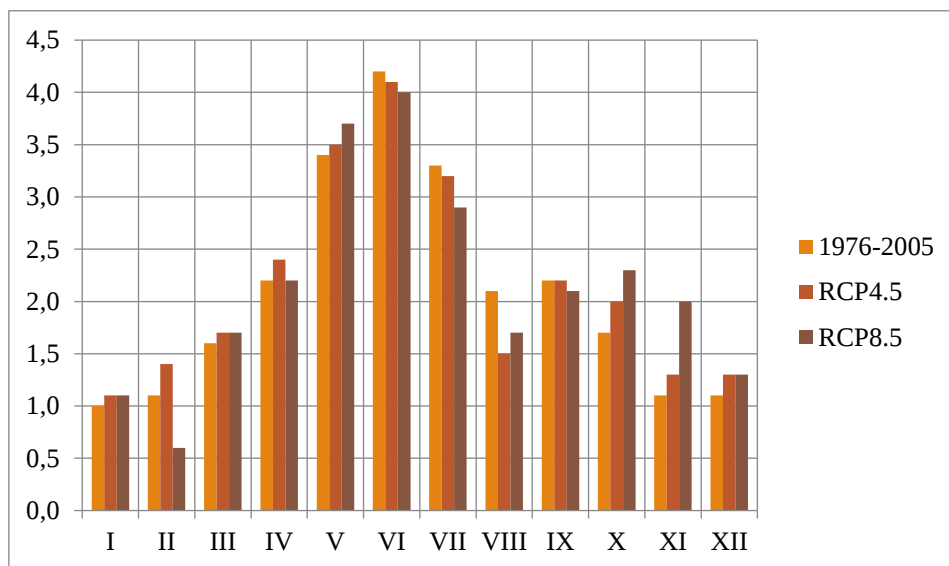
%	Pr_RCP4.5_2021-2050	Pr_RCP8.5_2021-2050
I	6,4	0,0
II	26,2	-14,3
III	0,0	0,0
IV	7,1	0,0
V	7,1	10,2
VI	-6,0	-4,0
VII	-2,4	-15,3
VIII	-20,0	-16,2
IX	4,2	0,0
X	14,5	25,8
XI	6,7	73,0
XII	21,7	15,2
Год.	5,5	6,2



Фиг. 5.13. Очаквано процентно изменение в месечното разпределение на валежите в Софийската котловина през бъдещия период по двата сценария в сравнение с контролния период

На фиг. 5.14 е показано месечното разпределение на средните дневни валежи в **София**, от която личи, че валежният максимум през годината е по-добре изразен през юни, като през бъдещия период се очаква дневните количества на валежите да намаляват през юни и да се увеличават през май. През август и по двата сценария валежите намаляват, а от октомври до януари, а също и през март (макар и с малко), те се увеличават в сравнение с контролния период.

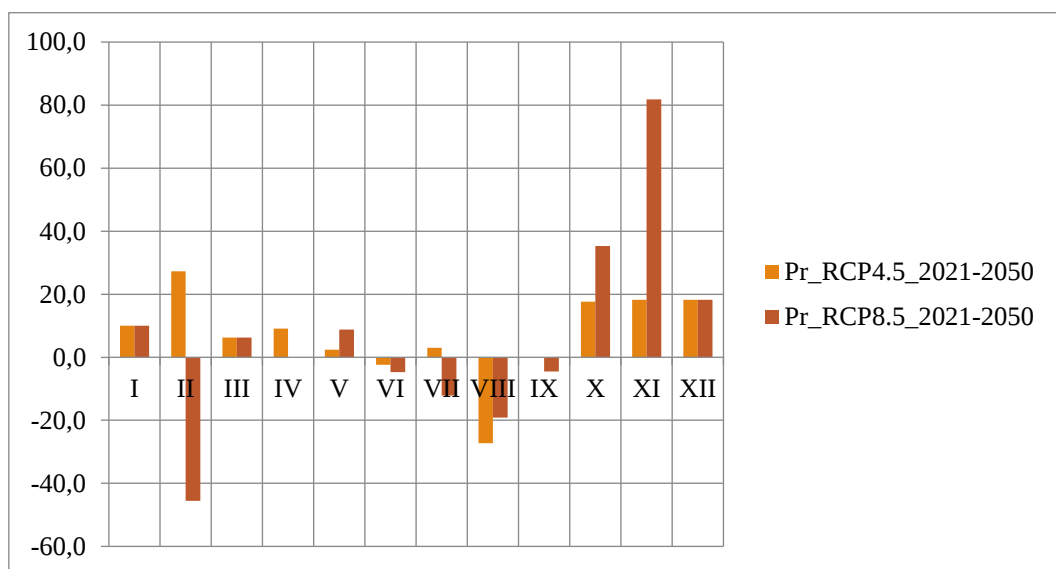
mm/day	1976-2005	RCP4.5	RCP8.5
I	1,0	1,1	1,1
II	1,1	1,4	0,6
III	1,6	1,7	1,7
IV	2,2	2,4	2,2
V	3,4	3,5	3,7
VI	4,2	4,1	4,0
VII	3,3	3,2	2,9
VIII	2,1	1,5	1,7
IX	2,2	2,2	2,1
X	1,7	2,0	2,3
XI	1,1	1,3	2,0
XII	1,1	1,3	1,3
Год. (ср.)	2,1	2,1	2,1



Фиг. 5.14. Очаквано изменение на месечното разпределение на валежите (mm/day) в София

Фиг. 5.15 представя очакваното процентно изменение на месечните количества на валежите в София по двата сценария в сравнение с контролния период. Моделът генерира за февруари както увеличение, така и намаление в зависимост от сценария (по сценария RCP4.5 очакваното увеличение е с +27,3%, а по сценария RCP8.5 очакваното намаление е с -45,5%). И по двата сценария се очаква значително процентно намаление на валежите през август, а най-голямото очаквано процентно месечно увеличение е през ноември (с +81,8%) по сценария RCP8.5.

%	Pr_RCP4.5_2021-2050	Pr_RCP8.5_2021-2050
I	10,0	10,0
II	27,3	-45,5
III	6,3	6,3
IV	9,1	0,0
V	2,4	8,8
VI	-2,4	-4,8
VII	3,0	-12,1
VIII	-27,3	-19,1
IX	0,0	-4,5
X	17,6	35,3
XI	18,2	81,8
XII	18,2	18,2
Год.	6,9	6,2



Фиг. 5.15. Очаквано процентно изменение в месечното разпределение на валежите в София през бъдещия период по двата сценария в сравнение с контролния период

Изчислените линейни трендове на очакваното изменение на средните месечни валежни количества за София показват намаление или увеличение на стойностите за различни месеци по двата сценария (табл. 5.5). От данните в таблицата се вижда, че по сценария RCP4.5 и за трите летни месеца трендовете са отрицателни, като най-силно отрицателният тренд е изразен през август (с $-0,013\text{мм/ден/годишно}$). През извънлетните месеци трендовете са положителни с максимални стойности през февруари и октомври (с $+0,007\text{мм/ден/годишно}$), или не е установен тренд (за септември). По сценария RCP8.5 отрицателни трендове са установени не само за летните месеци, но за месеците февруари и септември, а през останалите месеци трендовете са с положителен знак с максимални стойности през ноември (с $+0,020\text{ мм/ден/годишно}$) и октомври (с $+0,013\text{ мм/ден/годишно}$).

Табл. 5.5. Линейни трендове на средните месечни количества на валежите (mm/day/year) в София

София	RCP4.5	RCP8.5
I	+0,002	+0,002
II	+0,007	-0,011
III	+0,002	+0,002
IV	+0,004	+0,000
V	+0,002	+0,007
VI	-0,002	-0,004
VII	-0,002	-0,009
VIII	-0,013	-0,009
IX	+0,000	-0,002
X	+0,007	+0,013
XI	+0,004	+0,020
XII	+0,004	+0,004

При статистическата обработка на данните беше изчислено и **средното стандартно отклонение** (Std_Dev) по месеци, което показва разсейването (вариацията) на валежните количества около тяхната средна месечна стойност. В табл. 5.6 се съдържат данни за изчислените стандартни отклонения на средните месечни количества на валежите (mm/day) за контролни период и бъдещия период по двата сценария за Софийската котловина и София. От данните се вижда, че през месеците от декември до март (вкл.) разсейването на валежните количества е под 1 стандартно отклонение, а през останалите месеци е >1 стандартно отклонение, като през отделни месеци по различните сценарии то е между 1,7 и 1,9 стандартни отклонения, което е повече от средните стандартни отклонения през контролния период. Това е сигнал за по-голяма вариабилност (колебания) на валежите през бъдещия период в сравнение с контролния период.

Std_Dev

Софийска котловина

София

	1976-2005	RCP4.5	RCP8.5	1976-2005	RCP4.5	RCP8.5
I	0,8	0,9	0,9	0,6	0,7	0,7
II	0,8	0,8	0,6	0,7	0,7	0,6
III	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7
IV	1,0	1,2	1,2	0,9	1,0	1,0
V	1,6	1,2	1,5	1,5	1,1	1,3
VI	1,6	1,3	1,7	1,4	1,3	1,5
VII	1,4	1,8	1,5	1,3	1,6	1,4
VIII	1,1	1,3	1,5	1,0	1,2	1,4
IX	1,5	1,4	1,4	1,5	1,3	1,3
X	1,2	1,8	1,9	1,1	1,6	1,8
XI	1,1	0,7	1,4	1,0	0,6	1,2
XII	0,8	0,9	0,8	0,7	0,8	0,7

Табл. 5.6. Средно стандартно отклонение по месеци на валежните количества (mm/day) за контролния и бъдещия период по двата сценария в Софийската котловина и гр. София (стойностите в таблицата с >1 Std_Dev са рамкирани и болдвани)

Регионалният климатичен модел генерира и средни месечни стойности за **минималните и максималните валежи** (в mm/day). Техният анализ представлява интерес доколкото очертават възможния диапазон на валежните количества по месеци за даден климатичен период.

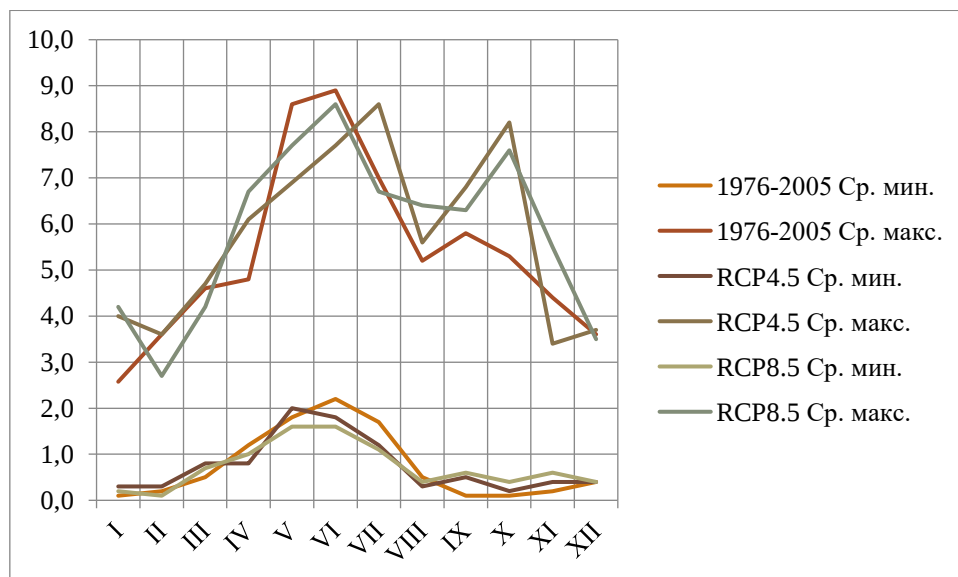
На фиг. 5.16 са показани очакваните промени на средномесечните минимални и максимални валежни количества в **Софийската котловина**. По отношение на минималните валежи може да се очаква намаление на тяхното количество и по двата сценария през месеците април, юни, юли август и увеличение през месеците януари, март, септември, октомври и ноември. През останалите месеци се наблюдава намаление или увеличение на минималните валежи в зависимост от сценария. По отношение на максималните валежи количествата им намаляват в сравнение с контролния период и по двата сценария през май и юни, а се увеличават през януари, април, август, септември и октомври, като през останалите месеци те имат по-високи или по-ниски стойности в сравнение с контролния период в зависимост от сценария.

1976-2005

RCP4.5

RCP8.5

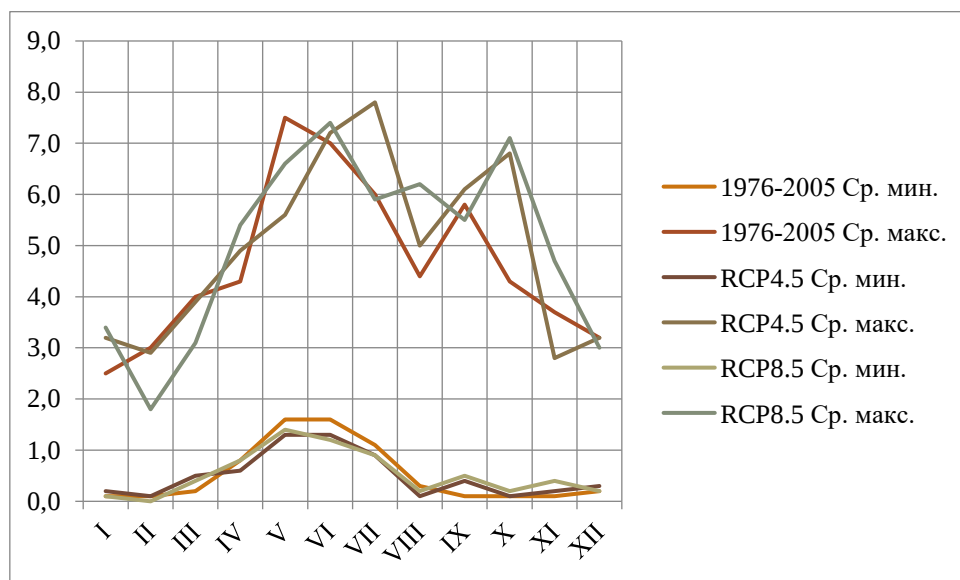
Софийска котловина	Ср. мин.	Ср. макс.	Ср. мин.	Ср. макс.	Ср. мин.	Ср. макс.
I	0,1	2,6	0,3	4,0	0,2	4,2
II	0,2	3,6	0,3	3,6	0,1	2,7
III	0,5	4,6	0,8	4,7	0,7	4,2
IV	1,2	4,8	0,8	6,1	1,0	6,7
V	1,8	8,6	2,0	6,9	1,6	7,7
VI	2,2	8,9	1,8	7,7	1,6	8,6
VII	1,7	7,0	1,2	8,6	1,1	6,7
VIII	0,5	5,2	0,3	5,6	0,4	6,4
IX	0,1	5,8	0,5	6,8	0,6	6,3
X	0,1	5,3	0,2	8,2	0,4	7,6
XI	0,2	4,4	0,4	3,4	0,6	5,5
XII	0,4	3,6	0,4	3,7	0,4	3,5



Фиг. 5.16. Очаквани промени през периода 2021-2050 г. на средномесечните минимални и максимални валежи в Софийската котловина по климатичните сценарии RCP4.5 и RCP8.5 спрямо референтния период 1976-2005 г. (mm/day)

За района на **София** минималните валежи и по двата сценария имат по-ниски стойности в сравнение с референтния период през месеците май, юни, юли и август, а по-високи през месеците март, септември и ноември. През останалите месеци те са по-ниски или по-високи в сравнение с референтния период в зависимост от сценария. Стойностите на максималните валежи и по двата сценария са по-ниски през февруари, март и май, а по-високи през януари, април, юни, август и октомври в сравнение с контролния период, а за останалите месеци те са по-ниски или по-високи в зависимост от сценария (фиг. 5.17).

София	1976-2005		RCP4.5		RCP8.5	
	Ср. мин.	Ср. макс.	Ср. мин.	Ср. макс.	Ср. мин.	Ср. макс.
I	0,1	2,5	0,2	3,2	0,1	3,4
II	0,1	3,0	0,1	2,9	0,0	1,8
III	0,2	4,0	0,5	3,9	0,4	3,1
IV	0,8	4,3	0,6	4,9	0,8	5,4
V	1,6	7,5	1,3	5,6	1,4	6,6
VI	1,6	7,0	1,3	7,2	1,2	7,4
VII	1,1	6,0	0,9	7,8	0,9	5,9
VIII	0,3	4,4	0,1	5,0	0,2	6,2
IX	0,1	5,8	0,4	6,1	0,5	5,5
X	0,1	4,3	0,1	6,8	0,2	7,1
XI	0,1	3,7	0,2	2,8	0,4	4,7
XII	0,2	3,2	0,3	3,2	0,2	3,0

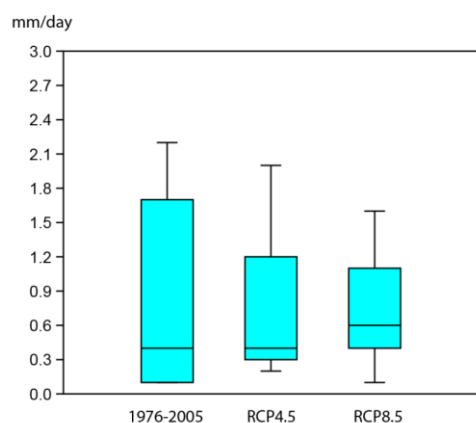


Фиг. 5.17. Очаквани промени през периода 2021-2050 г. на средномесечните минимални и максимални валежи в София по климатичните сценарии RCP4.5 и RCP8.5 спрямо референтния период 1976-2005 г. (mm/day)

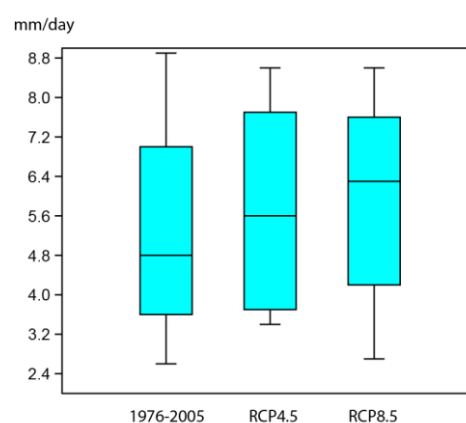
Основните статистически характеристики на минималните и максималните валежи са представени на фиг. 5.18 и фиг. 5.19.

Софийска котловина

	1976-2005		RCP4.5		RCP8.5	
	Ср. мин.	Ср. макс.	Ср. мин.	Ср. макс.	Ср. мин.	Ср. макс.
Min	0,1	2,6	0,2	3,4	0,1	2,7
Max	2,2	8,9	2,0	8,6	1,6	8,6
Median	0,5	5,0	0,5	5,9	0,6	6,4
25 prcntil	0,1	3,8	0,3	3,8	0,4	4,2
75 prcntil	1,6	6,7	1,1	7,5	1,1	7,4
Stand. dev	0,8	1,9	0,6	1,9	0,5	1,8
Skewness	1,0	0,7	0,3	3,8	0,8	-0,3
Kurtosis	-0,7	-0,2	1,1	7,5	-0,4	-0,9



Вох-Plot диаграма (минимални валежи)



Вох-Plot диаграма (максимални валежи)

Фиг. 5.18. Статистически характеристики и Вох-Plot диаграми за минималните и максималните валежи (mm/day) в Софийската котловина за контролния и бъдещия период по двата сценария

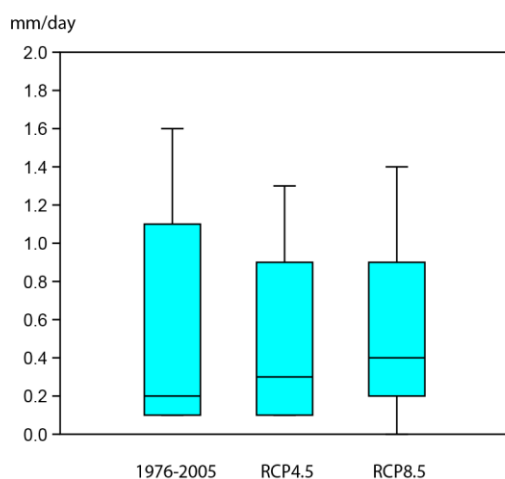
София

1976-2005

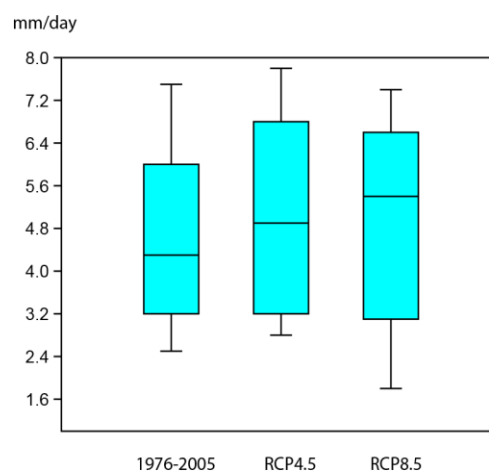
RCP4.5

RCP8.5

	Ср. мин.	Ср. макс.	Ср. мин.	Ср. макс.	Ср. мин.	Ср. макс.
Min	0,1	2,5	0,1	2,8	0,0	1,8
Max	1,6	7,5	1,3	7,8	1,4	7,4
Median	0,2	4,3	0,4	5,0	0,4	5,5
25 prcntil	0,1	3,3	0,1	3,2	0,2	3,2
75 prcntil	1,0	6,0	0,8	6,6	0,9	6,5
Stand. dev	0,6	1,6	0,4	1,8	0,5	1,8
Skewness	1,2	0,6	1,0	0,2	0,9	-0,4
Kurtosis	-0,3	-0,7	-0,2	-1,4	-0,4	-1,0



Box-Plot диаграма (минимални валежи)



Box-Plot диаграма (максимални валежи)

Фиг. 5.19. Статистически характеристики и Box-Plot диаграми за минималните и максималните валежи (mm/day) в София за контролния и бъдещия период по двата сценария

Изчислените линейни трендове за минималните месечни валежни количества показват както увеличение, така и намаление през отделни месеци в зависимост от използвания сценарий (табл. 5.7). Като цяло и по двата сценария отрицателни трендове са установени по сценария RCP4.5 за месеците от април до август вкл., но на средногодишна база този тренд е слабо изразен (с $-0,001$ мм/ден/годишно). За останалите месеци трендът е положителен с изключение на февруари и октомври, за които тренд не е установен. По сценария RCP8.5 също не е установен тренд на минималните количества на месечните валежи за януари, април и декември. По този сценарий най-значими са положителните и отрицателните стойности на тренда съответно през септември и юни. По отношение на максималните месечни количества на валежите и по двата сценария са установени по-значими тенденции към увеличение и по двата сценария (на средногодишна база с $+0,007$ или с $+0,008$ мм/ден/годишно, съответно по „умерения“ и по „песимистичния“ сценарий). По сценария RCP4.5 положителни трендове са установени за месеците януари, април и от юни до октомври вкл., а за останалите месеци са установени отрицателни трендове или не е установен тренд (за декември). По

сценария RCP8.5 положителни стойности на тренда са установени за януари, април, юни, август, октомври и ноември, а за останалите месеци стойностите на тренда са отрицателни.

Табл. 5.7. Линейни трендове на средните месечни минимални и максимални количества на валежите по двата сценария (мм/ден/годишно)

София	Ср. мес. мин. валежи		Ср. мес. макс. валежи	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
I	+0,002	0,000	+0,016	+0,020
II	0,000	-0,002	-0,002	-0,027
III	+0,007	+0,004	-0,002	-0,020
IV	-0,004	0,000	+0,013	+0,024
V	-0,007	-0,004	-0,042	-0,020
VI	-0,007	-0,009	+0,004	+0,009
VII	-0,004	-0,004	+0,040	-0,002
VIII	-0,004	-0,002	+0,013	+0,040
IX	+0,007	+0,009	+0,007	-0,007
X	0,000	+0,002	+0,056	+0,062
XI	+0,002	+0,007	-0,020	+0,022
XII	+0,002	0,000	0,000	-0,004

В Приложенията към доклада са представени карти на пространственото разпространение на очакваните промени на средните от минималните и средните от максималните количества на валежите през бъдещия период по двата сценария, като за сравнение са изготвени и карти за историческия период.

4. Основни изводи от анализа и оценката на очакваните климатични промени

- Очаквани промени в температурите.** Анализът на резултатите от симулациите с регионалния климатичен модел ALADIN5.2 по двата сценария (RCP4.5 и RCP8.5) за бъдещия период 2021-2050 г. показва, че може да се очаква повишение на температурите на земната повърхност през всички месеци и сезони на годината както в обхвата на Софийската котловина, така и в София. Най-високи са стойностите на очакваното повишение на температурите през летните месеци. През бъдещия период се очаква да нарастват температурните контрасти през годината, което се потвърждава от статистическите анализи за вътрешногодишната вариацибилност на температурните стойности и от изчислените средногодишни температурни амплитуди, които нарастват през бъдещия времеви период. Последиците от очакваното повишение на температурите може да имат разнопосочен характер. В периода от юни до август вкл. повишението на температурите в съчетание с намаляващото количество на валежите през същите месеци вероятно ще предизвика по-продължителна и по-

силно изразена суха фаза в сравнение с историческия период. Повишените летни температури вероятно ще пренасочат разпределението на влагата в сухи режими, като по този начин ще увеличат стреса на растенията и потенциално биха могли да намалят създаваната от тях биомаса. От друга страна, увеличаването на валежите от октомври до декември вкл. може да създаде предпоставки за преовлажняване поради намаляващите през студеното полугодие стойности на евапотранспирацията в условията на относително ниски температури, въпреки общия им тренд към повишение. Това означава, че през зимата може да се очаква намаляване на дела на водния еквивалент на снеговалежите (в сравнение с течните валежи) и по-бързо оттичане на валежни води към водните тела поради наситеността на почвите с влага от очакваното нарастване на количеството на валежите от октомври до декември. Като цяло това е сигнал, че може да се очаква увеличение на високите води през студеното полугодие, като трябва да се има предвид и очакваното нарастване на валежите през май. Очакваното повишение на температурите през лятото ще доведе до повишение на температурата на водите в повърхностните водни тела, поради по-малките съхранявани водни обеми в тях, което може да се отрази върху качествените им характеристики (намаляване на количеството на разтворения кислород, повишени концентрации на замърсители, еутрофикация и пр.). Може би от тези процеси няма да бъдат засегнати дълбоко залягащите подземни води или такива, които имат слаба хидравлична връзка с повърхностните води. Повишението на температурите на повърхностните води и на плитко залягащите грунтови води може да предизвика промени в разпределението на местообитанията на водните организми, зависещи от определени температурни режими, както и до загуба на малки влажни зони. Буферните горски насаждения, осигуряващи засенчване, особено около по-малките водни тела, може да се окажат ефективна стратегия за адаптиране с цел смекчаване на ефекта от повишените температури върху термичните свойства на водата. От друга страна, очакваното повишение на температурите през всички месеци на годината вероятно ще удължи продължителността на вегетационния период. Общият ефект от това може да бъде един „по-зелен град”, но трябва да се вземат предвид и по-големите потребности от вода за напояване през летните месеци в конкуренция с потребностите от вода за други сектори (бит, индустрия, енергетика и пр.). Вероятно това ще изисква и по-големи резервирани водни обеми и по-гъвкавото им управление.

- **Очаквани промени в количествата на валежите.** За изследваната територия моделните резултати предвиждат увеличаване на валежите и по двата сценария. За бъдещия период може да се очаква неоголямо увеличение на средните годишни валежи (от порядъка на няколко процента), но във вътрешногодишното им разпределение се установяват различни тенденции към увеличение или намаление през отделни месеци в зависимост от използвания сценарий. Много е вероятно част от тези промени да бъдат в рамките на естествената променливост на вътрешногодишното разпределение на валежните количества, но останалата част ще се дължи на очакваните изменения на климата по съответния сценарий. Моделните резултати и по двата сценария показват, че през летните месеци има

устойчива тенденция към намаляване на средните месечни количества на валежите. Констатациите в доклада се потвърждават и от статистическите анализи, които показват, че вероятно режимът на валежите през годината ще бъде по-екстремен, вкл. с по-изявени сухи периоди, редуващи се с периоди с по-голяма интензивност на валежите. Обикновено проявата на наводнения е резултат от екстремни валежи (или) в комбинация с интензивно снеготопене. Поради това те са трудни за предвиждане, дори при предположения за стационарност на климатичната система. В исторически план честотата на наводненията с определени величини най-често се прогнозира с помощта на статистически хидроложки методи. При този подход се анализират серии от данни за такива събития за минали исторически периоди, за да се определи разпределението на вероятностите, което описва историческото настъпване на наводнение с определен размер. Това обаче е валидно, само ако се допусне, че стационарността може да се използва за изчисляване на предвижданите наводнения. Предположението за стационарност обаче не е приемливо за оценка на влиянието на климатичните промени върху наводненията, което се вижда от научни публикации, призоваващи да се разработят нови подходи, които да заменят традиционните методи⁵⁹. Тъй като резултатите от анализите за честотата на миналите наводнения са несигурни, вероятно е оценките в условията нестационарност при дългосрочно изменение на климата, да бъдат още по-ненадеждни. Една от причините за това е ниската способност на климатичните модели да уловят единични краткотрайни събития като екстремни валежи, тъй като работят на входа с данни от реанализите, представящи „средни атмосферни условия“ за минали исторически периоди. Възможно е промените в типа на валежите (повече дъжд отколкото сняг) и намаляването на задържането на водата в снежната покривка да увеличи вероятността за по-чести наводнения през зимата. Допълнително основание за това предположение е очакваното увеличение на валежите през късната есен, които ще насищат почвите с влага за следващите месеци. От своя страна преовлажнените почви са сигурна предпоставка за бързо формиране на повърхностния отток и бързо надхвърляне на праговете за високи води и евентуално по-висока вероятност за наводнения. Не бива да се забравя обаче, че наводнения се случват както по време на пълноводна, така и по време на маловодна фаза. Още по-трудно могат да се правят заключения за вероятността за наводнения през лятото, поради по-голямата несигурност на данните за летните валежи, зависещи от специфични синоптични обстановки – интензивна конвекция, бързо развиваща се купесто-дъждовна облачност, гръмотевични бури, придружени с град и други явления. Възможно е да се увеличат пиковите наводнения в урбанизираните територии поради увеличаване на обхвата на водонепроницаемите повърхности и по-голямата вариабилност на валежите. С оглед на това трябва да се усъвършенства системата от мерки, насочени към намаляване на бързото оттичане на водата чрез подобряване на

⁵⁹ Milly, P. C. D., J. Betancourt, M. Falkenmark, R. M. Hirsch, Z. W. Kundzewicz, D. P. Lettenmaier, R. J. Stouffer (2008) Stationarity is dead: Whither water management? *Science*, 319(5863), 573-574.

ефективността на дренажните системи, осигуряващи изкуственото проникване на оттичащата се вода, и/или увеличаване на площта на пропускливите настилки в урбанизираните територии. При всички случаи осигуряването на безопасни свободни обеми в язовирите, гъвкавото контролирано изпускане на водите от тях и осигуряването на проводимост на критичните участъци на речните легла ще редуцира степента на риска при заплахи от очаквани наводнения.

- **Степен на доверие към сигналите за очакваните изменения на климата.** Сложността на процесите в климатичната система, за която са характерни множество прави и обратни връзки, прави трудно точното количествено дефиниране на очакваните климатични промени към определени бъдещи времеви хоризонти. Освен естествената вариабилност на климатичните процеси, трябва да се имат предвид и заложената несигурност в използваните сценарии и несигурността на резултатите от симулациите при климатичното моделиране за очакваните промени. С по-голяма степен на доверие могат да се уловят сигнали за промените в температурата и с умерена степен на доверие сигнали за промените на валежите. Установените сигнали и по двата климатични сценария показват като цяло тенденция към по-топъл и по-влажен климат през бъдещия период 2021-2050 г. Очаква се летата да стават по-горещи и по-сухи, а късната есен и зимата – по-топли и по-влажни. В рамките на тези условия са възможни и крайни явления като застудявания през зимата и горещи вълни през лятото, засушавания, поройни извалявания и други опасни явления, които са характерни и за настоящия климат. Поради това смекчаването на последиците от тях и адаптацията към измененията на климата трябва да бъдат сред главните приоритети. Вероятно повишението на температурата през всички сезони и месеци ще доведе до увеличаване не само на интензитета, но и на пространствения обхват на ГТО (градския топлинен остров). Това предположение обаче би имало смисъл само ако се допусне, че няма да настъпят промени в развитието на града през бъдещия период, което очевидно не е реалистично. Всяка значима промяна в начина на планиране и изграждане на градското пространство може да доведе до съществени изменения в урбанистичното развитие на София, което да породии промени и в параметрите на сегашните локални климатични зони (ЛКЗ).

В синтезиран вид заключенията за резултатите от анализа на очакваните климатични промени са представени в табл. 5.8.

Табл. 5.8. Обобщени резултати от анализа

Показател	Тенденция	Климатични проекции (очаквани промени)	Степен на увереност
Температура	↑	Повишение през всички сезони и месеци; най-голямо повишение през лятото; нарастване на температурните амплитуди; увеличаване на продължителността на вегетационния период.	Висока
Валежи	↑↓	Относително слабо увеличение на средногодишните валежи. Намаление на валежите през лятото и увеличение през късната есен и пролетта. Значителни промени при процентното изменение на валежите по месеци.	Умерена
Снежна покривка	↓	Намаляване на дебелината и обхвата на снежната покривка и съкращаване на продължителността на периода със снежна покривка; чувствително намаляване на дела на водния еквивалент на снеговалежите и увеличаване на дела на течните валежи.	Висока
Температура на водата	↑	Повишение за по-малките реки и по-плитките водоеми.	Висока
Качество на водата	↓	Влошаване особено през лятото и ранната есен; наводненията, предизвикани от поройни валежи в комбинация с антропогенното замърсяване и повишените температури биха могли да изострят проблема.	Умерена
Почвена влажност	↓↑	Намаляване на влагата в почвите през лятото и началото на есента, увеличение през късната есен, зимата и пролетта.	Умерена
Наводнения	↑↓	?	Ниска

6. КЛИМАТИЧНО ЗОНИРАНЕ, ТЕРЕННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ОЦЕНКА НА ИНТЕНЗИВНОСТТА НА ГТО

В рамките на тази изследователска фаза са осъществени три основни групи изследователски дейности, които имат за цел да определят и диференцират пространствено вътрешноградските особености и различия в проявлението на ГТО, както и да спомогнат за измерване на интензивността на това явление в рамките на урбанизираното пространство на столицата. Тези дейности включват:

- Осъществяване на подробно изследване и климатично зонироване на територията на урбанизираното пространство, чрез което да се типизира градската територия по отношение на връзката между структурата и особеностите на отделните урбанизирани единици в климатично отношение;
- Осъществяване на теренно изследване с цел определяне на конкретните параметри на температурата на повърхността в различните локални климатични зони, обособени в пределите на града;
- Прилагане на геостатистически методи с цел оценка на проявлението на явлениято ГТО гр. София и определяне на неговата интензивност в различните части на урбанизираното пространство и локални климатични зони.

Климатично класифициране и зонироване на гр. София

Основен проблем при изследванията на градския климат е липсата на единна, световно призната класификация на урбанизираните територии по отношение на климатичните условия в тях. Всеки град е изложен на различни локални климатични фактори, което прави изследването на **градския топлинен остров** сложно и специфично за всяко населено място.

Освен това съществува известна неяснота при използването на класификацията, разделяща територията на урбанизирани и неурбанизирани (извънградски). Терминът „урбанизиран“ често се използва като описателен за места като малки градове, големи градове, предградия, столични градове и мегаполиси. Както подчертава Bjelland⁶⁰ в различните части на света понятията „урбанизиран“ и „неурбанизиран“ се тълкуват по различен начин. Липсата на унифицирана класификация прави изследванията за градските топлинни острови в различни краища на света изключително трудни за сравнение. Освен това, много учени приемат различни подходи към изследването на този проблем, което прави трудно разбирането кой от факторите, контролиращи климата в урбанизирани територии е по-важен в конкретен случай ⁶¹. В допълнение, в гъсто населени региони като Азия, социално-политическото и икономическото пространство, което разделя градовете и провинциите, вече не се разграничава ясно изразена

⁶⁰ Bjelland MD, Fellmann JD, Getis A, Getis J. Human geography: landscapes of human activities. 11th ed. New York: McGraw Hills; 2010.

⁶¹ Kazunori H, Srivani M. The influence of urban morphology indicators on summer diurnal range of urban climate in Bangkok metropolitan area, Thailand. International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS. 2011;11(5):34–46.

урбанизирана и неурбанизирана територия⁶². Това още повече усложнява класифицирането на територията на градски и неурбанизирани класове.

Една от основните цели на това проучване е да приложи новата климатична класификация за урбанизирани територии, представени чрез „локални климатични зони” (ЛКЗ) за урбанизираното пространство на столицата, която се основава на предложената схема, разработена Oke и Stewart⁵⁹. Тя успешно се прилага в различни като генезис и структура градски територии през последните години и постепенно се утвърди като водеща класификационна схема за такъв род изследвания. Тази схема, дефинирана като „локални климатични зони“ е нова и систематична класификация на териториални единици, която успешно се прилага и при изследванията на градските топлинни острови.

Класификацията разделя градските и извънградските ландшафти в 17 стандартни категории, като всяка от тях е определена на основата на синергичното отчитане на свойствата на застроената площ и земното покритие, влияещи върху температурата на въздуха и на земната повърхност. Oke и Stewart⁶³; разработват ЛКЗ като лесно разбираема климатично базирана класификация на градски и извънградски обекти, което осигурява обективно сравнение на градските климати между различни градове чрез употребата на стандартни, редовно събирани метеорологични данни. В тази нова рамка вместо приемането на интензитета на интра-градските топлинни острови като разлика между температурите в градска среда и извънградска среда (ΔT_{u-r}), се използва показателят „интензитет на градския топлинен остров”, представляващ температурни разлики между всяка една ЛКЗ с всички останали локални климатични зони ($\Delta TLCZ_{X-Y}$). Така магнитудът (интензитетът) на ГТО е температурната разлика между местните климатични зони, вместо температурна разлика между градски и извънградски зони, като по този начин има по-малка вероятност от объркване, тъй като се набляга на преобладаващата повърхност и характеристиките на изследвания обект. За по-голяма яснота относно методиката за характеризиране и класифициране на ЛКЗ, представяме примерен модел, базиран на авторите на разработената класификация (Oke и Stewart, 2014) (фиг. 6.1).

⁶² Oke TR, Stewart I. Local climate zones for urban temperature studies. Bull. American Meteorological Society. 2012;93:1879–1900.

⁶³ Oke T, Stewart I. Thermal Differentiation of Local Climate Zones Using Temperature Observations from Urban and Rural Field Sites; 2010. Accessed 22 March 2014. Available: <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/173127.pdf>

⁶⁰ Gal T, Lelovics E, Unger J. A vector-base GIS method for mapping of Local Climate Zones and its application in a Central-European city. International conference “Two hundred years of urban meteorology in the heart of Florence: International conference on urban climate and history of Meteorology”, Florence. 2013;25–26.

Наименование на локална климатична зона

№

Определение

Форма: Описание на геометрията на сградите; строителни материали; земно покритие; гъстота на дървесна растителност; човешка дейност.

Функция: Земеползване в този тип зона.

Местоположение: Най-често позициониране на типа зона.

Пример

Обекти



Представителни снимки с изглед под ъгъл



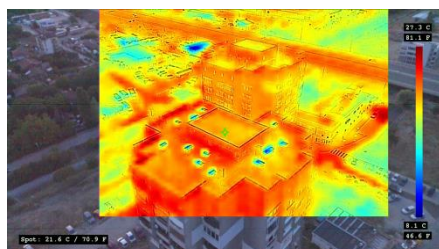
Земно покритие



Представителни снимки с изглед от повърхността



Представителна за зоната термална снимка на повърхността



Статистическа характеристика

Локална климатична зона	Брой клетки	Площ /ха/	Площ /%/	Термално изследвани клетки	Минимална измерена средна температура на повърхността °C	Максимална измерена средна температура на повърхността °C	Средна температура на повърхността °C
Номер на климатичната зона по класификацията	Брой клетки попадащи в тази зона (250x250m) от всички клетки	/ха/	/%/	Избрани и изследвани представителни площи	°C	°C	°C

Данни от изготвен специализиран статистически анализ на база събраните на терен данни

Медиана	Стандартно отклонение	25 процентил	75 процентил	Асиметрия	Ексцес	Коефициент на вариация	Стандартна грешка
-	-	-	-	-	-	-	-

Фиг. 6.1 Протокол, отразяващ етапите на работа за описания на ЛКЗ

Главните етапи на работа включват най-общо три изследователски процедури: 1) определяне за зоната, 2) илюстрация на зоната и 3) статистическа характеристика, получена чрез обработка на данните от теренните измервания. Всяка ЛКЗ има характерен

температурен режим, който се проявява най-вече над сухи повърхности, в спокойни и тихи нощи и при терени с относително неразчленен релеф. Съществуват десет типа застроени площи (от LCZ 1 до LCZ 10) и седем типа (класа) земна повърхност (от LCZ A до LCZ G) (табл. 6.1), като в допълнение тези типове могат да имат сезонни или други по-кратки вариации на свойствата на земното покритие ⁶⁴.

Табл. 6.1. Типове ЛКЗ според застрояването и типове ЛКЗ според земното покритие

Типове ЛКЗ според застрояването	Типове ЛКЗ според земното покритие
ЛКЗ 1 – Компактно високо застрояване	ЛКЗ А – Гъста дървесна растителност
ЛКЗ 2 – Компактно средновисоко застрояване	ЛКЗ В – Рядка дървесна растителност
ЛКЗ 3 – Компактно ниско застрояване	ЛКЗ С – Храстовидна растителност
ЛКЗ 4 – Високо застрояване с отворени пространства	ЛКЗ D – Ниска растителност
ЛКЗ 5 – Средновисоко застрояване с отворени пространства	ЛКЗ Е – Запечатени повърхности
ЛКЗ 6 – Ниско застрояване с отворени пространства	ЛКЗ F – Гола почва / пясък
ЛКЗ 7 – Нестабилно ниско застрояване	ЛКЗ G – Водни площи
ЛКЗ 8 – Широкоплощно ниско застрояване	
ЛКЗ 9 – Застрояване с ниска гъстота	
ЛКЗ 10 – Промислени зони	

Според Оке ⁶⁵ изборът на ЛКЗ по отношение на температурата на въздуха и влажността може да бъде осъществен чрез теренни проучвания, в които използваният сензор за измерване на температурата се носи пеша или с превозно средство през обхвата на зоната, записвайки температурата в различните части на изследваната територия на еднаква височина от земната повърхност.

Настоящата разработка цели да използва температура на земната повърхност вместо температура на въздуха при определянето на ЛКЗ, поради което е необходима различна от предложената от Оке техника. В този случай, измерването на температурата на земната повърхност е извършена с помощта на безпилотна летателна система с интегриран на борда термален сензор. Според Оке ⁶⁵ най-доброто време за провеждането на такива проучвания е няколко часа след залез или изгрев при сравнително безветрие и безоблачно небе. На тези условия отговаряха и метеорологичните условия по време на извършването на експериментите на терена – безоблачно, сухо и тихо време в условията на антициклонална синоптична обстановка. Това максимизира потенциала за диференциране на микро- и локални климатични разлики в хода на експеримента.

⁶⁵ Oke TR. Initial Guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. World Meteorological Organization, Instruments and Observing Methods, IOM Report No. 81, WMO/TDNo.1250; 2006. Accessed 20 October 2013.

Набиране на метаданни за обектите

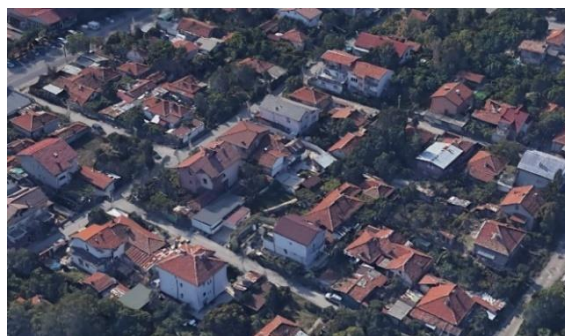
Метаданните се отнасят за състоянието на градския контекст около конкретен проучван обект⁶⁶. Според Oke и Stewart, изследователите е нужно да съберат подходящи метаданни за обекта на изследване, за да определят свойствата на повърхността. За целите на настоящото изследване е извършена предварителна полева работа, за да се определи местоположението на площите в рамките на конкретната ЛКЗ. Източници на метаданни включват и въздушни заснемания с безпилотна летателна система, карти за земеползването и земното покритие, както и данни от Google Earth. Тази стъпка предоставя гледна точка за морфологията на града и неговото влияние.

Поради сложната и пространствено неравномерно разпределена градска морфология в град София, беше взето решение територията на изследване да се раздели на еднакви по големина и форма териториални единици. За тази цел с ГИС среда бе създадена равномерна мрежа от еднакви по форма и големина клетки (грид), разделяща изследваната територия на квадратни клетки със страни 250 м × 250 м. Техният общ брой в границите на изследваната територия възлиза на 3299, като по този начин се постига на уеднаквяване на обхвата на отделните единици, обект на изследване. Това от своя страна прави приложението на геостатистическите и пространствено-интерполационните методи по-надеждно и обосновано.

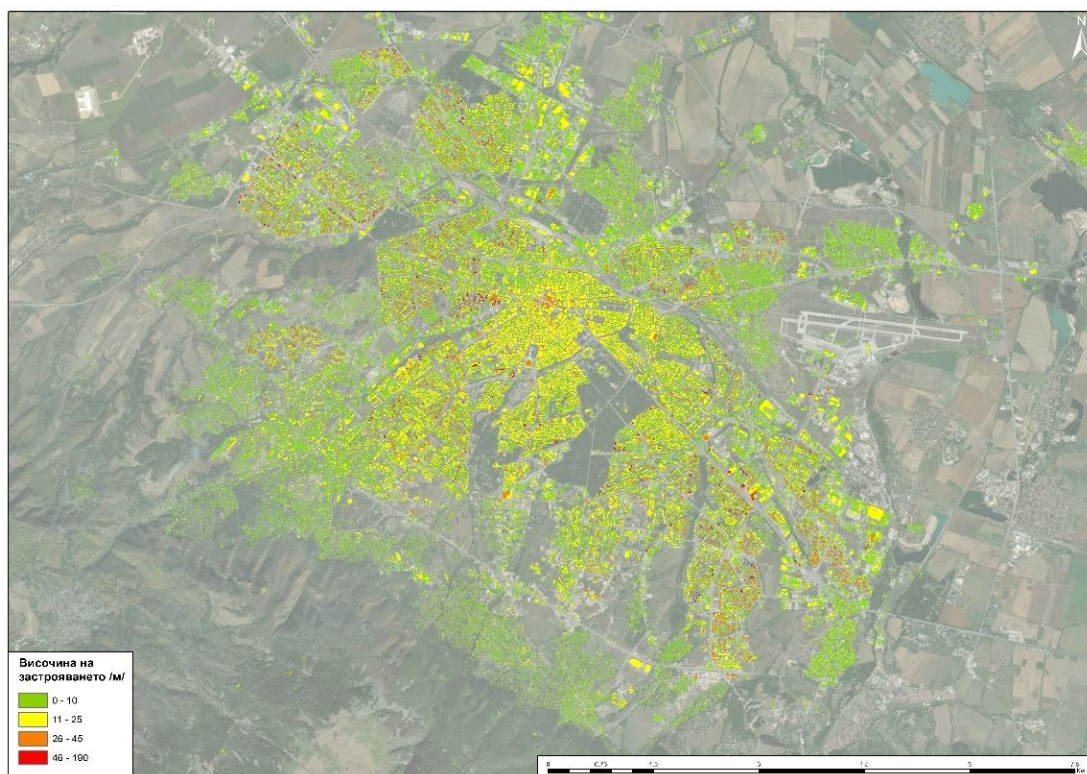
На основата на сходството на морфологични характеристики по-голямата част от тези клетки са групирани по съответните базови показатели, използвани за характеризиране на отделните ЛКЗ. Като основно правило за определяне на принадлежност на всяка клетка към определена ЛКЗ се приема това за преобладаващата площ от повърхността ѝ, т.е. ако в обхвата на дадена клетка попадат различни морфологични типове и типове земеползване, клетката се определя по преобладаващия тип. Например, ако в клетката се наблюдава тип „Ниско компактно строителство“ (ЛКЗ 3) в някоя от частите ѝ, но този тип обхваща само около 20% от площта, а останалите 80% са представени от тип „Високо застрояване с отворени пространства“ (ЛКЗ 4), то тази клетка приема стойността на преобладаващата по площ ЛКЗ 4. С помощта на ортофотоизображения и предоставени в платформата Google Earth Pro триизмерни модели на повърхността в град София, както и с помощта на Google Street View, е направено детайлно анализиране на по-сложните за определяне площи (клетки), както и валидиране на вече определените групи (фиг. 6.2). При определянето на етажността (височината) на застрояването е използвана и информация за височината на сградите с източник Urban atlas⁶⁷ (фиг. 6.3) с разделителна способност 10 м, като информацията за височината е базирана на IRS-P5 стереоизображения и е представена като цифров модел на повърхността. С получените резултати от този анализ е изготвена карта на локалните климатични зони според приложената класификация (фиг. 6.4), като впоследствие някои непотвърдени преди това площи бяха валидирани от екипа на терен.

⁶⁶ Emmanuel MPR, Mahanama PKS, Perera NGR. Projected urban development, changing “Local Climate Zones” and relative warming effects in Colombo, Sri Lanka. Intergovernmental Panel on Climate Change (ICCP) Colombo; 2013.

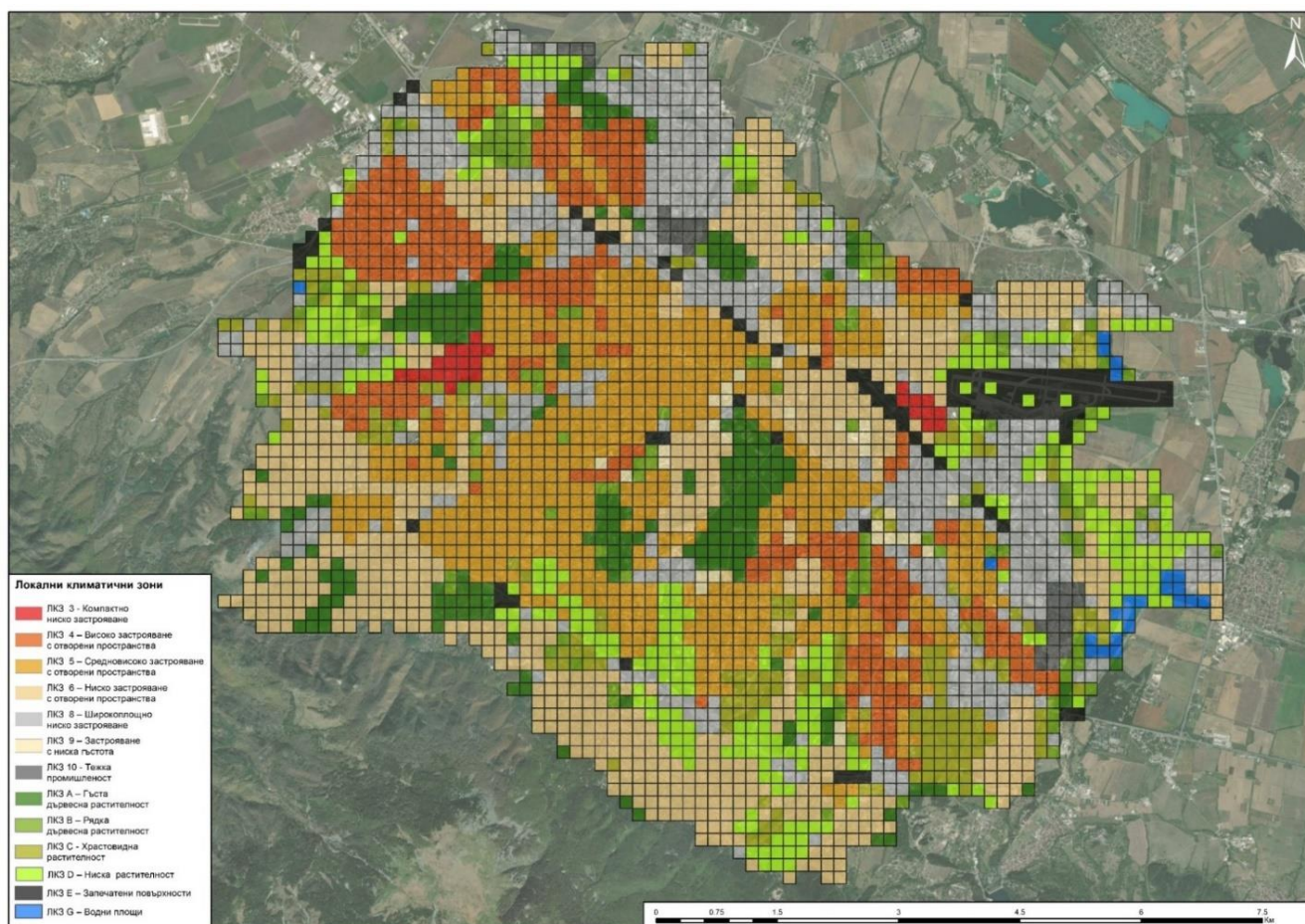
⁶⁷ Urban Atlas - Building Height 2012 (<https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/building-height-2012>)



Фиг. 6.2. Приложение на триизмерен модел на повърхността в Google Earth Pro при определяне на ЛКЗ.



Фиг. 6.3. Данни за височина на застрояването (по Urban atlas)



Фиг. 6.4. Локални климатични зони в София

От разработената от Оке и Stewart класификация в установените зони за град София не присъстват три зони: ЛКЗ 1. Компактно високо застрояване, ЛКЗ 2. Компактно средно високо застрояване и ЛКЗ 7. Нестабилно ниско застрояване. Причината е, че изброените три типа ЛКЗ не са установени в границите на изследваната територия. Дяловото разпределение за всеки тип ЛКЗ е представено в (табл. 6.2.).

Табл. 6.2. Брой на клетките, площта и относителния дял на ЛКЗ

ЛКЗ	Брой клетки от общият брой	Площ /ха/	Площ /%/
ЛКЗ_3	26	162.5	0.8
ЛКЗ_4	346	2162.5	10.5
ЛКЗ_5	636	3975.0	19.3
ЛКЗ_6	723	4518.8	21.9
ЛКЗ_8	547	3418.8	16.6
ЛКЗ_9	34	212.5	1.0
ЛКЗ_10	34	212.5	1.0
ЛКЗ_A	216	1350.0	6.5
ЛКЗ_B	117	731.3	3.5
ЛКЗ_C	194	1212.5	5.9
ЛКЗ_D	298	1862.5	9.0
ЛКЗ_E	105	656.3	3.2
ЛКЗ_G	23	143.8	0.7
Общо	3299	20618.8	100

По-долу са представени подробно основните характеристики на локалните климатични зони (ЛКЗ) в гр. София.

Компактно ниско застрояване

3

Определение

Форма: Близо разположени или долепени сгради с височина от 1 до 3 етажа. Малки сгради, плътно групирани около тесни улици, често без ясна подредба. Изгледът към небето от уличното ниво е силно ограничен. Масивни строителни материали (камък, бетон, тухли) и дебели покриви и стени. Земното покритие е запечатано – паваж, бетон, с малко или липсващи дървета. Умерено потребление на енергия за отопление или охлаждане. Слаб до умерен автомобилен трафик.

Функция: Жилищна (отделни домакинства, редово застрояване с голяма гъстота)

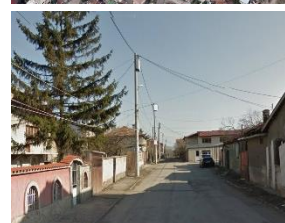
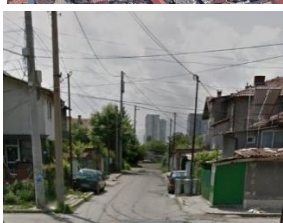
Местоположение: Периферия (квартали с голяма гъстота).

Пример

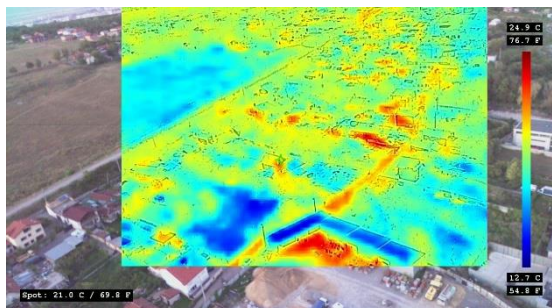
Изглед под ъгъл



Изглед от
повърхността



Термално заснемане на повърхността



Статистическа характеристика

Локална климатична зона	Брой клетки	Площ /ха/	Площ /%/	Термално изследвани клетки	Минимална измерена средна температура на повърхността /°C/	Максимална измерена средна температура на повърхността /°C/	Средна температура на повърхността /°C/
3	26	162.5	0.8	1	-	-	20.6

Медиана	Стандартно отклонение	25 процентил	75 процентил	Асиметрия	Ексцес	Коефициент на вариация	Стандартна грешка
-	-	-	-	-	-	-	-

Високо застрояване с отворени пространства

4

Определение

Форма: Сгради с десетки етажи, изградени в отворена и геометрична подредба. Сгради с еднаква височина, ширина и отстояние. Изгледът към небето от земното ниво е значително намален. Масивни строителни материали (бетон, стомана, камък, стъкло) и дебели покриви и стени. Покривите обикновено са равни. Разпръснати дървета и изобилно растително покритие. Средно до ниско потребление на енергия за отопление или охлаждане. Умерен автомобилен трафик.

Функция: Жилищна (блокове с апартаменти, високоетажни жилищни имоти, многоетажни апартаменти).

Местоположение: Периферия. Гъсто населени градове, вкл. в бившите социалистически държави.

Пример

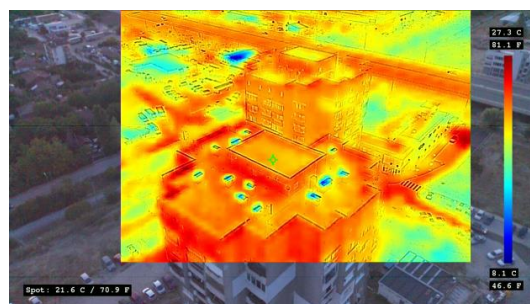
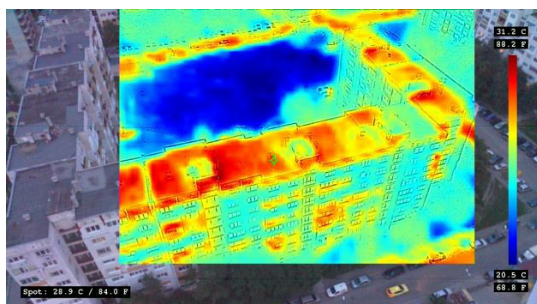
Изглед под ъгъл



Изглед от
повърхността



Термално заснемане на повърхността



Статистическа характеристика

Локална климатична зона	Брой клетки	Площ /ха/	Площ /%/	Термално изследвани клетки	Минимална измерена средна температура на повърхността /°C/	Максимална измерена средна температура на повърхността /°C/	Средна температура на повърхността /°C/
4	346	2162.5	10.5	7	18.8	30.6	23.9

Медиана	Стандартно отклонение	25 процентил	75 процентил	Асиметрия	Ексцес	Коефициент на вариация	Стандартна грешка
23.8	4.3	19.1	26.6	0.3	-0.6	17.8	1.6

Средновисоко застрояване с отворени пространства

5

Определение

Форма: Отворена подредба на сгради с височина 3-9 етажа. Изгледът към небето е леко нарушен. Масивни строителни материали (бетон, стомана, камък, стъкло) и дебели покриви и стени. Разпръсната растителност и изобилно растително покритие. Ниско потребление на енергия за отопление или охлаждане.

Функция: Жилищна (многоетажни апартаментни блокове); институционална (изследователски/бизнес паркове); търговска (офис сгради, хотели).

Местоположение: Център и периферия на централната част.

Пример

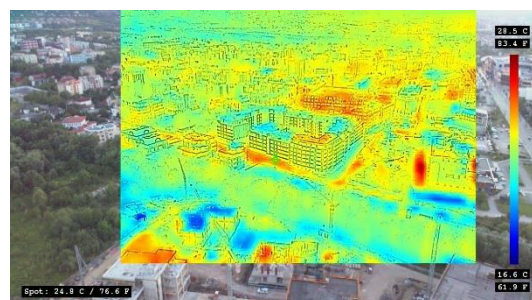
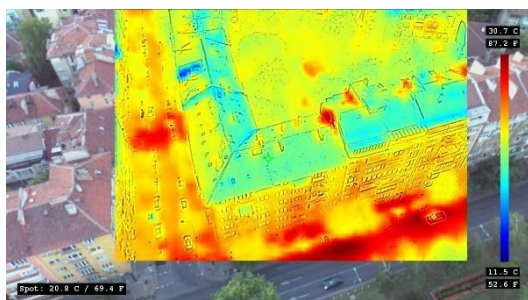
Изглед под ъгъл



Изглед от
повърхността



Термално заснемане на повърхността



Статистическа характеристика

Локална климатична зона	Брой клетки	Площ /ха/	Площ /%/	Термално изследвани клетки	Минимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Максимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Средна температура на повърхността /°C /
5	636	3975	19.3	15	19	27.9	22.5

Медиана	Стандартно отклонение	25 процентил	75 процентил	Асиметрия	Ексцес	Коефициент на вариация	Стандартна грешка
22.5	2.4	20.7	23.7	0.7	0.4	10.5	0.6

Ниско застрояване с отворени пространства

6

Определение

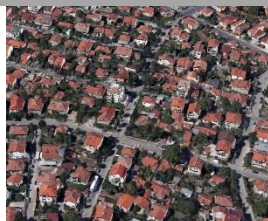
Форма: Малки сгради от 1 до 3 етажа; отделни постройки или редови, често по мрежов образец. Изгледът към небето от нивото на улицата е леко ограничен. Строителните материали са различни (дърво, тухла, камък, плочки). Разпръснати дървета и изобилно растително покритие. Ниско потребление на енергия за отопление или охлаждане. Слаб автомобилен трафик.

Функция: Жилищна (единични или нискоетажни сгради, редово застрояване с ниска гъстота); търговска (малки магазини).

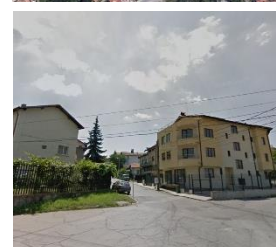
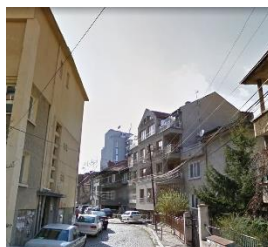
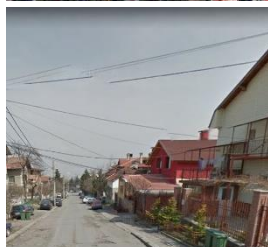
Местоположение: Градове (средна гъстота); периферия (предградия - *suburbs*). Малки градове.

Пример

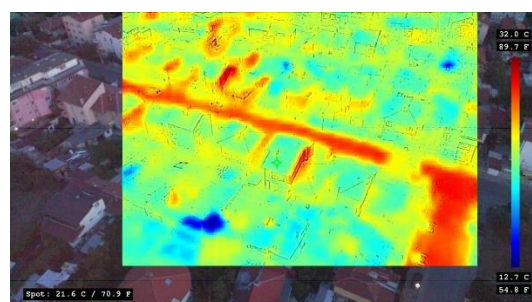
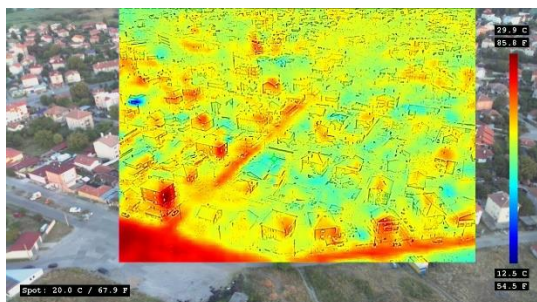
Изглед под ъгъл



Изглед от
повърхността



Термално заснемане на повърхността



Статистическа характеристика

Локална климатична зона	Брой клетки	Площ /ха/	Площ /%/	Термално изследвани клетки	Минимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Максимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Средна температура на повърхността /°C /
6	723	4518.8	21.9	12	17.1	23.3	20.1

Медиана	Стандартно отклонение	25 процентил	75 процентил	Асиметрия	Ексцес	Коефициент на вариация	Стандартна грешка
20.2	2.2	17.8	21.9	0.1	-1.4	10.8	0.6

Широкоплощно ниско застрояване

8

Определение

Форма: Големи, ниски сгради от 1 до 3 етажа, отделени от обширни запечатани (асфалтирани) повърхности. Сградите се простират в площен план, а не на височина; плоски покриви. Изгледът към небето от нивото на улицата е леко ограничен. Използват се различни строителни материали (стомана, бетон, метал). Малко или никакви дървета; земното покритие е запечатано. Средно до ниско потребление на енергия за отопление или охлаждане. Среден до тежък автомобилен трафик.

Функция: Лека индустрия (модерни складове); търговска (търговски центрове, хранилища и складове); транспортни центрове (въздушни, железопътни, камионни, пристанищни).

Местоположение: Периферия.

Пример

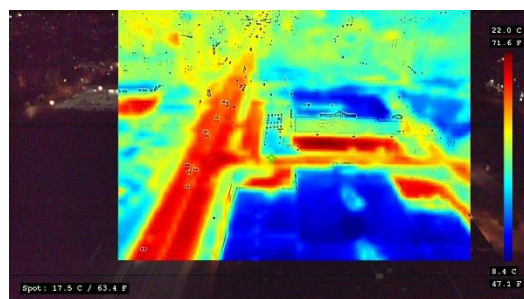
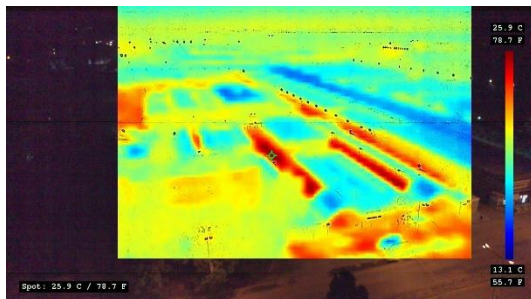
Изглед под ъгъл



Изглед от повърхността



Термално заснемане на повърхността



Статистическа характеристика

Локална климатична зона	Брой клетки	Площ /ха/	Площ /%/	Термално изследвани клетки	Минимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Максимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Средна температура на повърхността /°C /
8	547	3418.8	16.6	14	17.1	24.8	21.3

Медиана	Стандартно отклонение	25 процентил	75 процентил	Асиметрия	Ексцес	Коефициент на вариация	Стандартна грешка
22	2.6	18.4	23.9	-0.3	-1.5	12.4	0.7

Застрояване с ниска гъстота

9

Определение

Форма: Сгради с малки до средни размери, разпръснати сред естествен ландшафт. Пълен изглед към небето от земното ниво. Ползват се различни строителни материали. Разпръснати дървета и изобилно растително покритие. Относително малко потребление на енергия за отопление или охлаждане. Слаб автомобилен трафик.

Функция: Жилищни; търговски (магазини, офиси); институционални (изследователски/бизнес паркове, кампуси); земеделски (ферми, селски имоти).

Местоположение: Периферия (предградия с ниска гъстота). Региони около метрополисите. Новоразработени градски райони. Провинциални градове. Слабозаселени селски райони.

Пример

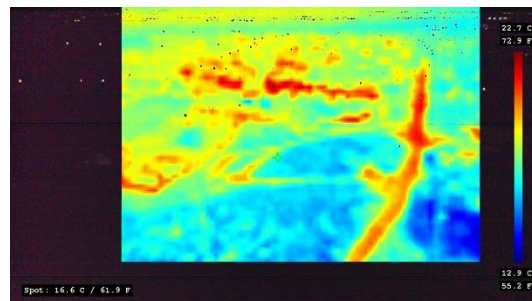
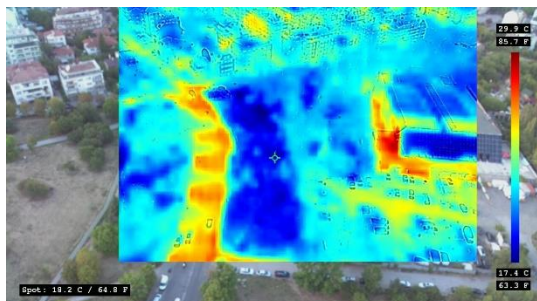
Изглед под ъгъл



Изглед от
повърхността



Термално заснемане на повърхността



Статистическа характеристика

Локална климатична зона	Брой клетки	Площ /ха/	Площ /%/	Термално изследвани клетки	Минимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Максимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Средна температура на повърхността /°C /
9	34	212.5	1.0	2	23.7	26.4	25.1

Медиана	Стандартно отклонение	25 процентил	75 процентил	Асиметрия	Ексцес	Коефициент на вариация	Стандартна грешка
25.1	1.9	17.8	19.8	0.0	-2.8	7.6	1.3

Тежка промишленост

10

Определение

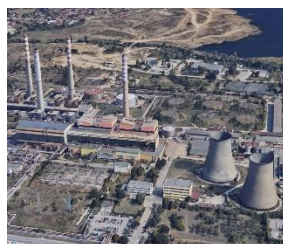
Форма: Непостоянна смес от ниски и средни индустриални сгради (цистерни, кули). Застроената част е с отворени пространства разположени върху силно запечатани повърхности. Изгледът към небето от нивото на улицата е леко ограничен. Различни строителни материали (стомана, бетон, метал). Малко или никакви дървета. Високо потребление на енергия за отопление или охлаждане. Високи нива на топлинно замърсяване и атмосферни замърсители отделяни от механични и химични процеси (топене на метали, обработка на целулоза, рафиниране). Слаб автомобилен трафик.

Функция: Промислена (фабрики, рафинерии, заводи, централи).

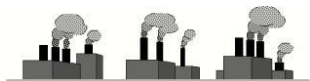
Местоположение: Градски и извънградски територии.

Пример

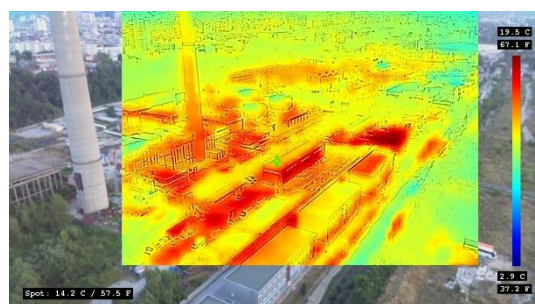
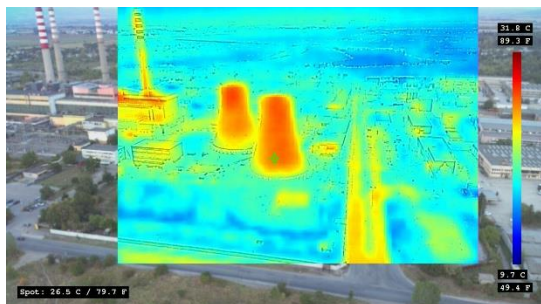
Изглед под ъгъл



Изглед от повърхността



Термално заснемане на повърхността



Статистическа характеристика

Локална климатична зона	Брой клетки	Площ /ха/	Площ /%/	Термално изследвани клетки	Минимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Максимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Средна температура на повърхността /°C /
4	34	212.5	1.0	2	21.0	23.5	22.3

Медиана	Стандартно отклонение	25 процентил	75 процентил	Асиметрия	Ексцес	Коефициент на вариация	Стандартна грешка
22.3	1.8	15.7	17.7	0.0	-2.8	8.2	1.3

Гъста дървесна растителност

A

Определение

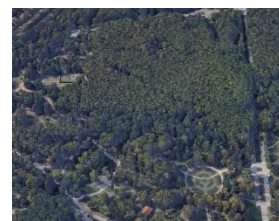
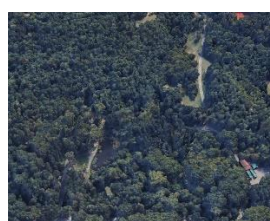
Форма: Гъстозалесен ландшафт с широколистни и/или иглолистни дървета. Изгледът към небето от земното ниво е значително ограничен. Малко или никакви пътища или сгради. Липсва потребление на енергия за отопление/охлаждане. Слаб или липсващ трафик.

Функция: Естествена гора, гъсти овощни градини. Градска рекреация (гористи паркове, зелени пояси).

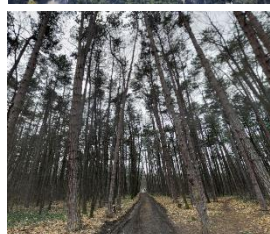
Местоположение: Градове или извънградски територии.

Пример

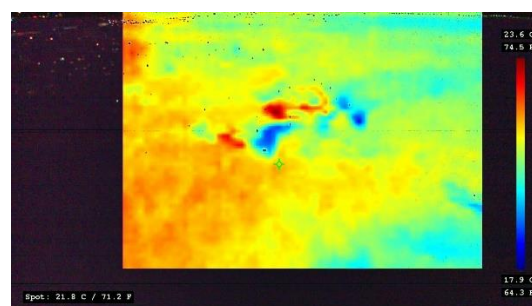
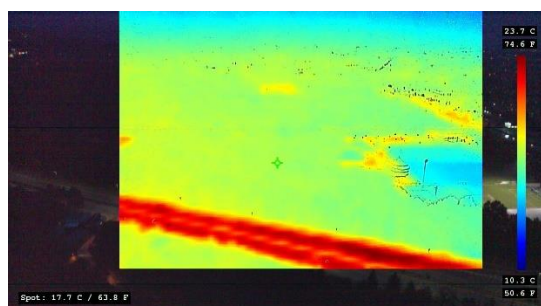
Изглед под ъгъл



Изглед от
повърхността



Термално заснемане на повърхността



Статистическа характеристика

Локална климатична зона	Брой клетки	Площ /ха/	Площ /%/	Термално изследвани клетки	Минимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Максимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Средна температура на повърхността /°C /
A	216	1350.0	6.5	4	17	20.2	19.0

Медиана	Стандартно отклонение	25 процентил	75 процентил	Асиметрия	Ексцес	Коефициент на вариация	Стандартна грешка
19.4	1.5	17.5	20.2	-1.0	-0.7	7.9	0.8

Рядка дървесна растителност

В

Определение

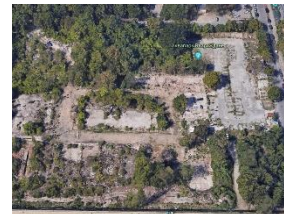
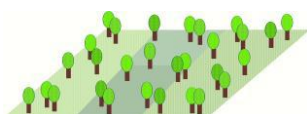
Форма: Рядко залесен горски ландшафт, съставен от широколистни и/или иглолистни дървета. Изгледът към небето от нивото на улицата е леко ограничен. Малко или никакви пътища или сгради. Липсва потребление на енергия за отопление/охлаждане. Слаб или липсващ трафик.

Функция: Естествена гора, паркове с преобладаваща дървесна растителност. Градска рекреация.

Местоположение: Градове или извънградски територии.

Пример

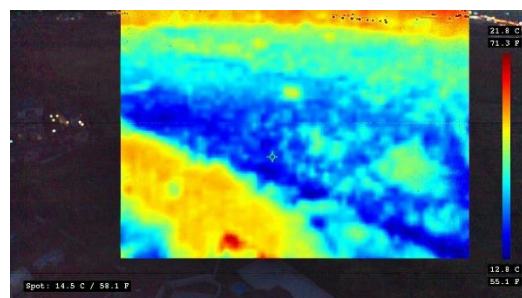
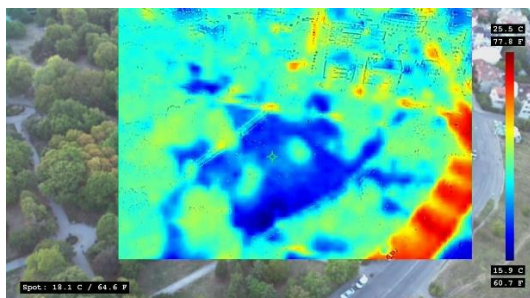
Изглед под ъгъл



Изглед от
повърхността



Термално заснемане на повърхността



Статистическа характеристика

Локална климатична зона	Брой клетки	Площ /ха/	Площ /%/	Термално изследвани клетки	Минимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Максимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Средна температура на повърхността /°C /
В	117	731.3	3.5	2	21.2	21.3	21.3

Медиана	Стандартно отклонение	25 процентил	75 процентил	Асиметрия	Ексцес	Коефициент на вариация	Стандартна грешка
21.3	0.1	15.9	16.0	0.0	-2.8	0.4	0.1

Храстовидна растителност

С

Определение

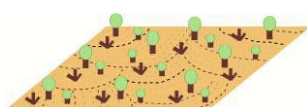
Форма: Отворени пространства с храсти, храстовидни растения и ниски дървета върху пропусклива повърхност (гола почва или пясък; малко растително покритие). Неограничен изглед към небето от земното ниво. Малко или никакви пътища или сгради. Липсва потребление на енергия за отопление/охлаждане. Слаб или липсващ трафик.

Функция: Избуяла дива, храстовидна растителност; овощни градини с ниски или храстовидни дървета. Земеделие (необлагородено пасище).

Местоположение: Градове или извънградски територии.

Пример

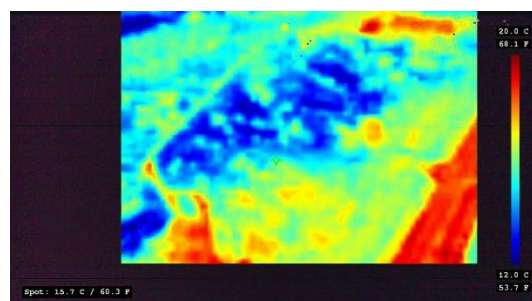
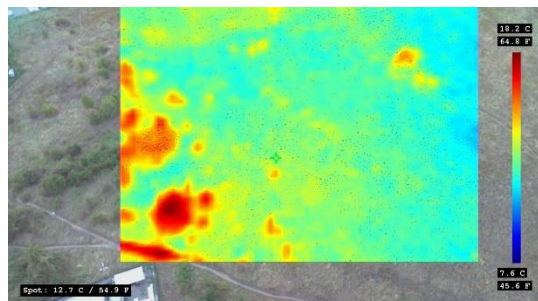
Изглед под ъгъл



Изглед от повърхността



Термално заснемане на повърхността



Статистическа характеристика

Локална климатична зона	Брой клетки	Площ /ха/	Площ /%/	Термално изследвани клетки	Минимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Максимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Средна температура на повърхността /°C /
С	194	1212.5	5.9	2	16.8	17.6	17.2

Медиана	Стандартно отклонение	25 процентил	75 процентил	Асиметрия	Ексцес	Коефициент на вариация	Стандартна грешка
17.2	0.6	12.6	13.2	0.0	-2.8	3.6	3.6

Ниска растителност

D

Определение

Форма: Ландшафт без характерни белези върху пропусклива повърхност, с покритие предимно от ниска растителност. Малко или никакви дървета, пътища или сгради. Неограничен изглед към небето от земното ниво. Малко или никакви пътища или сгради. Липсва потребление на енергия за отопление/охлаждане. Слаб или липсващ трафик.

Функция: Естествени тревни площи – ливади, пасища, обработваема земя, градска рекреация (затревени паркове, зелени пространства).

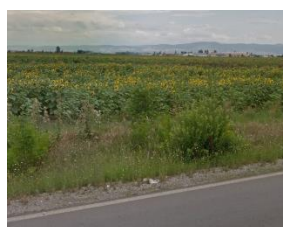
Местоположение: Градове или извънградски територии.

Пример

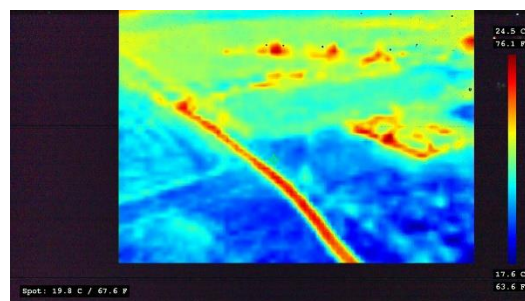
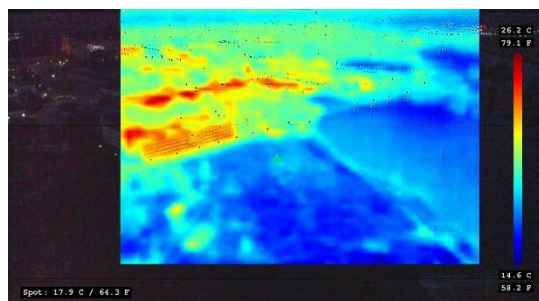
Изглед под ъгъл



Изглед от повърхността



Термално заснемане на повърхността



Статистическа характеристика

Локална климатична зона	Брой клетки	Площ /ха/	Площ /%/	Термално изследвани клетки	Минимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Максимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Средна температура на повърхността /°C /
D	298	1862.5	9.0	10	14.4	22.6	17.8

Медиана	Стандартно отклонение	25 процентил	75 процентил	Асиметрия	Ексцес	Коефициент на вариация	Стандартна грешка
18.1	2.7	15.0	19.7	0.3	-0.7	14.9	0.8

Запечатани повърхности

Е

Определение

Форма: Ландшафт без характерни белези върху непропусклива повърхност, предимно запечатани участъци, скала, асфалт, бетон. Малко или никакви дървета, пътища или сгради. Неограничен изглед към небето от земното ниво. Липсва потребление на енергия за отопление/охлаждане.

Функция: Транспортна инфраструктура (паркинги, контейнерни терминали, товарни терминали).

Местоположение: Градове или извънградски територии.

Пример

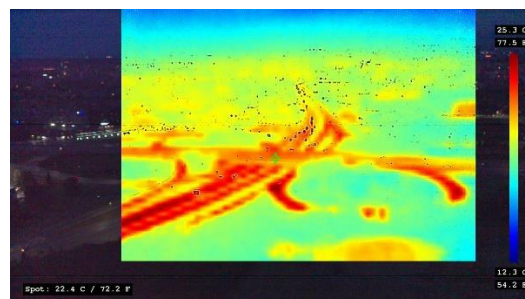
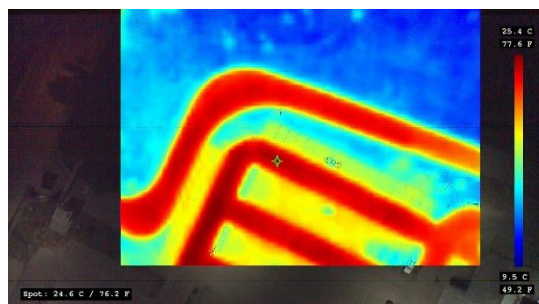
Изглед под ъгъл



Изглед от повърхността



Термално заснемане на повърхността



Статистическа характеристика

Локална климатична зона	Брой клетки	Площ /ха/	Площ /%/	Термално изследвани клетки	Минимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Максимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Средна температура на повърхността /°C /
Е	105	656.3	3.2	2	19.6	21.9	20.7

Медиана	Стандартно отклонение	25 процентил	75 процентил	Асиметрия	Ексцес	Коефициент на вариация	Стандартна грешка
20.7	1.7	14.7	16.4	0.0	-2.8	8.1	1.2

Водни площи

G

Определение

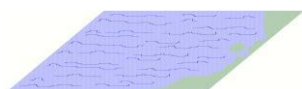
Форма: Различни по големина открити водни тела като реки, язовири, лагуни. Неограничен изглед към небето.

Функция: Естествени водни системи или язовири. Рекреация. Транспорт. Промисленост.

Местоположение: Градове (градски езера, реки, пристанища) или извънградски територии.

Пример

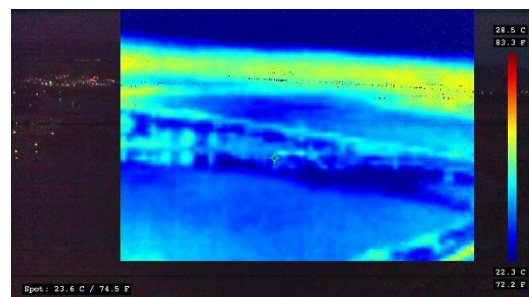
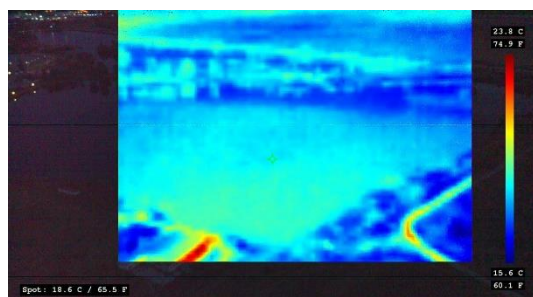
Изглед под ъгъл



Изглед от повърхността



Термално заснемане на повърхността



Статистическа характеристика

Локална климатична зона	Брой клетки	Площ /ха/	Площ /%/	Термално изследвани клетки	Минимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Максимална измерена средна температура на повърхността /°C /	Средна температура на повърхността /°C /
G	23	143.8	0.7	1	-	-	17.8

Медиана	Стандартно отклонение	25 процентил	75 процентил	Асиметрия	Ексцес	Коефициент на вариация	Стандартна грешка
-	-	-	-	-	-	-	-

Теренни изследвания

Теренните изследвания, които са предприети в рамките на настоящият проект, се базират на създадената класификационна схема на ЛКЗ за територията на гр. София, които са представени чрез обща схема от еднакви по размер и геометрия клетки, плътно покриващи територията на урбанизираното пространство. Те са с размер 250×250 м, като всяка индивидуална клетка покрива площ от 6,25 ха. При избора на представителни клетки беше приложена стратифицирана извадкова схема (Stratified sampling, STR), при която популацията (генералната съвкупност), включваща всичките 3299 клетки, първо се разделя на неприпокриващи се субпопулации (13-те класа ЛКЗ), наречени „страти”, и вземането на проби се извършва независимо във всяка от стратите. Тъй като индивидуалните площи на ЛКЗ варират в широки граници, бяха определени и теглата на площите, чиято обща сума е равна на 1, например LCZ-6 получава тегло 0,219, тъй като заема най-голяма площ от всичките локални климатични зони, а LCZ-G получава тегло 0,007, защото има най-малка площ в сравнение с всички останали зони. При излъчването на необходимия брой клетки (проби) във всяка зона беше определен обемът на извадката по метода на безвъзвратния подбор [⁶⁸,⁶⁹,⁷⁰], при който се изчисляват: гаранционният множител z при избраното ниво на доверие (на високо ниво на доверие съответства висок гаранционен множител и съответно е необходима по-голяма извадка; при конкретното изследване е избрано 95% ниво на доверие, при което той е равен на 1,96), дисперсията, оценяваща разсейването или вариацията на единиците в генералната съвкупност (колкото по-голяма е дисперсията, толкова по-голям трябва да бъде обемът на извадката), и извадковата (максимално допустимата стохастична) грешка, която е равна на стандартната грешка, умножена по гаранционния множител. Важно предимство на стратифицираната извадка, в сравнение с други извадкови схеми (проста случайна, систематична, гнездова и др.), е че при еднакъв обем на извадката резултатите при нея са с по-малка стохастична грешка и с по-висока точност на резултатите поради по-малкото разсейване в стратите, в сравнение с общото разсейване в генералната съвкупност. В резултат от използвания статистически подход от всичките 3299 клетки бяха определени общо 74 клетки, принадлежащи към различните локални климатични зони. Измерените температури на земната повърхност в съответните клетки по ЛКЗ се интерпретират като представителни за всички клетки, принадлежащи към съответната ЛКЗ в урбанизираното пространство. Резултатите от този анализ се представени в *Приложение 1*.

Самото измерване на температурата на земната повърхност в рамките на стратифицираната извадка е осъществено чрез използването на Безпилотна летателна система Albris на швейцарската фирма Sensefly. Системата представлява инспектиращ V-образен квадрокоптер, притежаващ 5 сензора и 3 видеокамери, даващи възможност за 3 вида заснемане с детайлност на изображението под 1 мм в зависимост от обекта на изследване. Системата е снабдена с термална камера с параметри 80x60

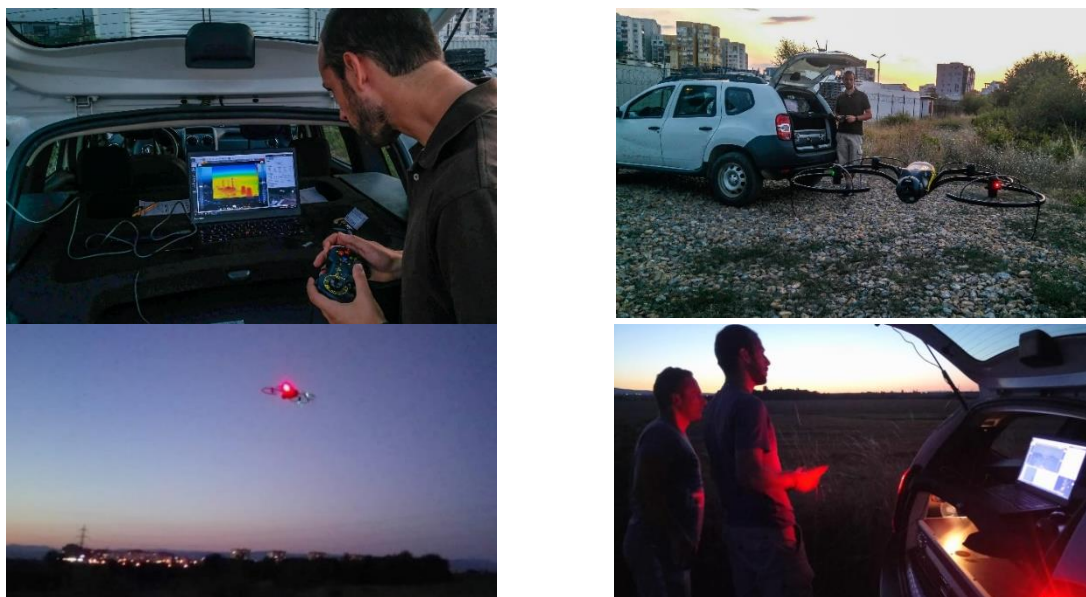
⁶⁸ Cochran, W. G., 1977, Sampling Techniques. 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York.

⁶⁹ Lehtonen, R. and Pahkinen, E. J., 1996, Practical Methods for Design and Analysis of Complex Surveys. Revised Edition, November 1996, Statistics in Practice, John Wiley & Sons, Chichester.

⁷⁰ Stehman, S. V., 2000, Practical Implications of Design-Based Sampling Inference for Thematic Map Accuracy Assessment. Remote Sens. Environ. 72, 35–45.

пиксела с 50 градусов ъгъл и фиксирана измервателна точка, позиционирана на 3-осна глава (гимбъл). Безпилотната летателна система дава възможност за дистанционно заснемане на термални изображения и видео с динамично адаптируема скала в реално време (фиг. 6.5).

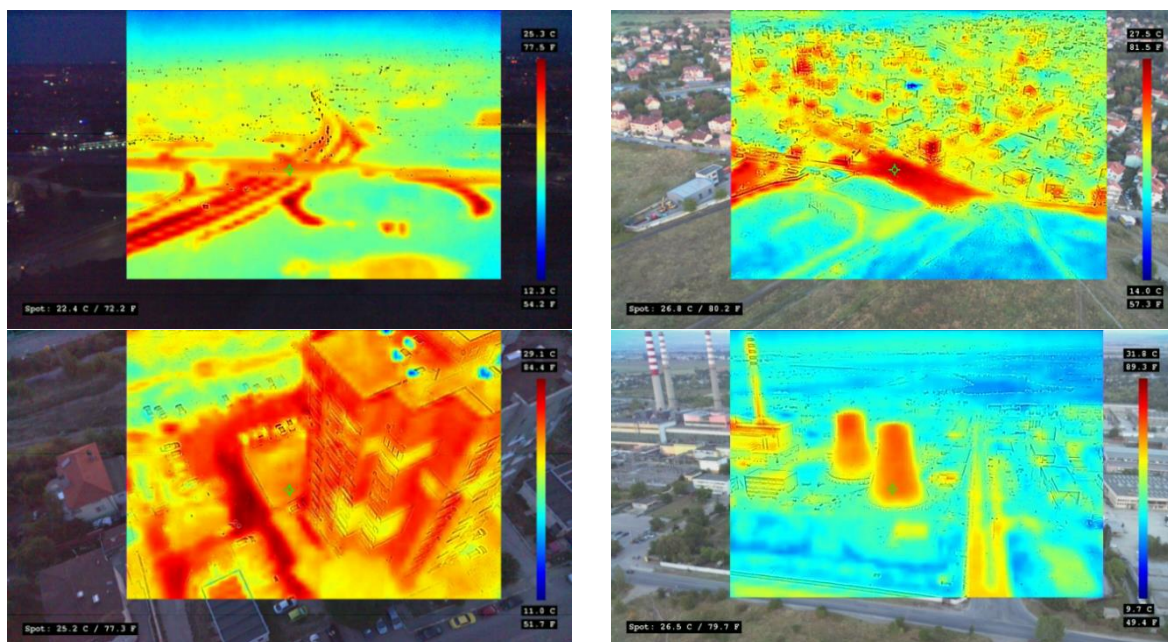
Като най-подходящ период на изследване температурата на земната повърхност е определен месец август. Поради климатичните си характеристики периодът се определя като такъв с най-висока средна температура през годината, което е основна предпоставка за силно изразени признаци на явлението ГТО. Ефектът му е най-силно изразен във вечерните часове, непосредствено след активното слънчево греење. Според Оке ⁷¹ най-подходящото време за провеждането на тези проучвания е няколко часа след залез или преди изгрев при сравнителна безветреност и безоблачно небе. Това максимизира потенциала за диференциране на микро- и локални климатични разлики. В този интервал от денонощието различните типове земна повърхност отдават топлинна енергия без да са под пряко влияние на слънчевото греење. Тази отдадена топлинна енергия е различна за отделните повърхности в зависимост от много фактори, като вид, цвят и плътност на материала, форма, изложение и др. Поради условията, при които най-ясно се откроява явлението, за измерване температурата на земната повърхност с помощта на БЛС е избран часовият интервал между 20:00ч. и 22:00ч. Така, през август 2019 г. беше извършено поетапно термално заснемане на всички 74 предварително определени за тази цел площи с помощта на БЛС (фиг. 6.6).



Фиг. 6.5. Измерване на ТЗП на терен с помощта на БЛС

⁷¹ Oke TR. Initial Guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. World Meteorological Organization, Instruments and Observing Methods, IOM Report No. 81, WMO/TDNo.1250; 2006

Всички площи са заснети в часовия интервал между 20:00 – 22:00 ч. в момент след активно слънчево греење, при ясно небе и сравнително безветрие. Поради сложната логистика за придвижване между отделните площи на изследване и появили се препятствия по време на полетите, екипът на терен е извършил заснемането в период от осем (8) дни (на календарните дати: 7, 8, 12, 13, 14, 21, 22 и 23 август 2019 г.).



Фиг. 6.6. Термални растрерни изображения получени при измерване на ТЗП с помощта на БЛС

Всяка една от изследваните представителни площи представлява съвкупност от различни типове земно покритие и застрояване. За да е възможно правилното изчисление на температурите на повърхността в рамките на всяка една термално изследвана площ са извършени заснемания на температура на различни видове повърхност, групирани в четири категории: 1. *Запечатани повърхности*; 2. *Сгради*; 3. *Растителност*; 4. *Водни обекти*. Всички тези стойности са необходими по-нататък при изчисляването на средната за всяка една площ температура на земната повърхност.

На всички 74 изследвани представителни площи е поставено кодово наименование, изготвено по три признака. Първата цифра от наименованието на площите отговаря на поредността на измерване измежду всички 74 ключови участъци. След нея разделена с долна черта следва датата, на която е измерена конкретната точка. Последната част от наименованието (разделена с наклонена черта) представлява поредността на измерване в конкретната дата (фиг. 6.7).



Фиг. 6.7. Задаване на кодовете на изследваните представителни площи

С помощта на кадастрални данни и ортофото изображения са класифицирани представителните площи според вече обобщените типове земно покритие (фиг. 6.8). Определени са площите и относителният дял на отделните типове земно покритие в обхвата на всяка една от представителните клетки.



Фиг. 6.8. Пример за класифицирани типове земно покритие в представителните площи
(запечатани повърхности – сиво, сгради – оранжево, растителност - зелено)

След обработване на термалните изображения за всяко едно покритие в отделните клетки е определена средна температура на повърхността (например, ако в една представителна площ са направени 5 термални изображения на запечатана повърхност, то тези температурни стойности се събират и след това се разделят на 5, колкото е броят на изображенията).

За да бъде правилно изчислена средна температура за всяка една изследвана клетка е използвана формула за аритметично претегляне на една променлива на базата на друга променлива. Средната температура на всяка повърхност в клетката се умножава по нейният относителен дял от общата площ на клетката, след което получените стойности на отделните повърхнини се събират, по примера по-долу.

Площ и относителен дял на отделните повърхности
в рамките на една клетка

	$S = 6.25 \times a$	100%	1
Сгради	1.28ха	20%	0.2
Запечатана пов.	1.70ха	27%	0.27
Растителност	3.27ха	53%	0.53

Средна температура на отделните повърхности
в рамките на една клетка

Сгради	29 °C
Запечатана пов.	30 °C
Растителност	19 °C

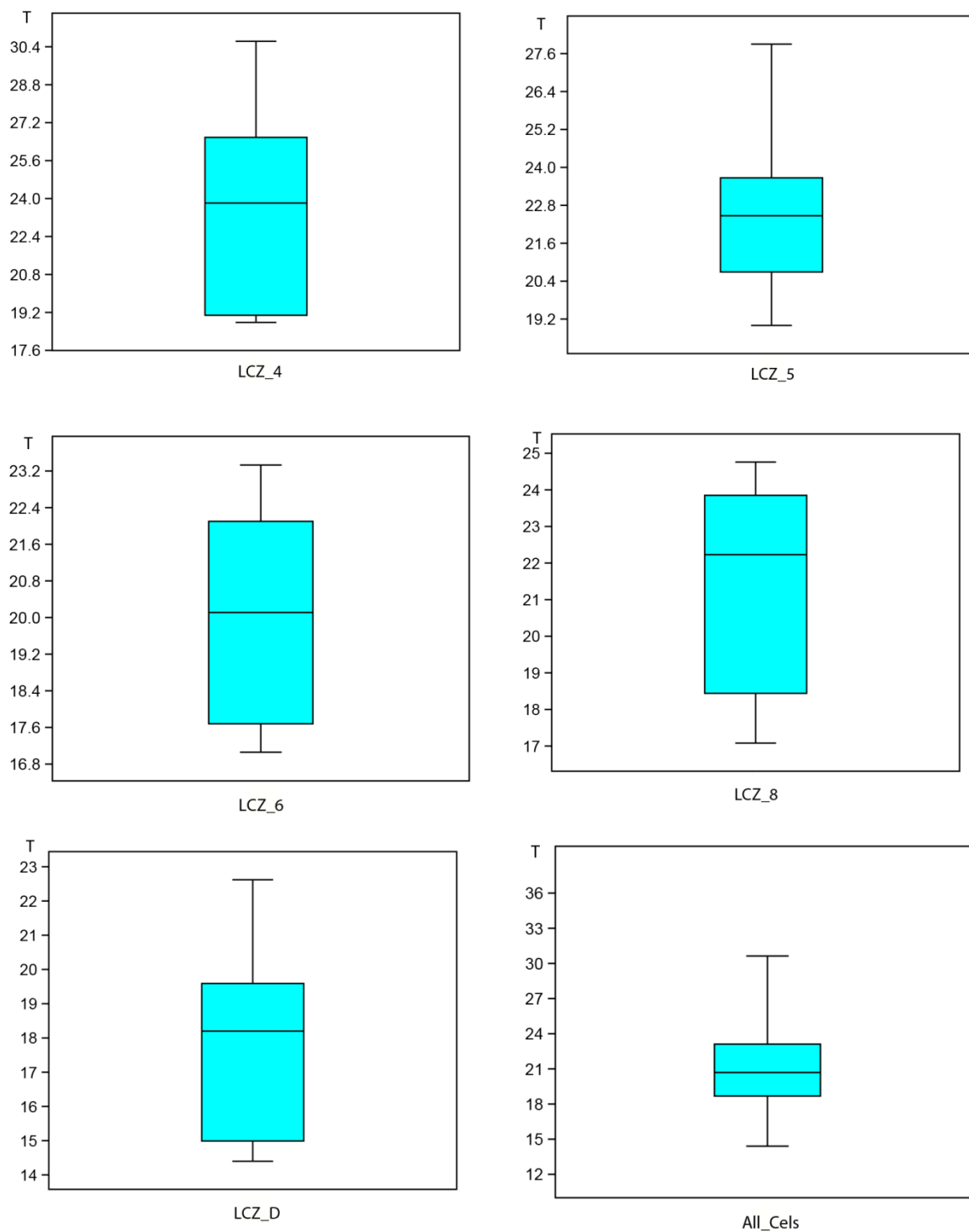
Претеглена стойност на отделните повърхности в рамките на една представителна клетка

Сгради	$0.2 \times 29 = 5.8$
Запечатана пов.	$0.27 \times 30 = 8.1$
Растителност	$0.53 \times 19 = 10.07$

Средна температура на клетката

$$5.8 + 8.1 + 10.7 = 24.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Получените резултати от изследването на представителните площи са подредени и подробно представени в табличен вид (вж. *Приложение 1*). За всяка ЛКЗ са обработени статистическите данни на измерените в тях температури на земната повърхност (с изключение на ЛКЗ-1 и ЛКЗ G, които са представени само с по една клетка и съдържат само по една температурна стойност). От всичките 74 клетки 58 клетки покриват 77,3% от общата площ на всички изследвани клетки. Това са локалните климатични зони: ЛКЗ-4 (7 клетки), ЛКЗ-5 (15 клетки), ЛКЗ-6 (12 клетки), ЛКЗ-8 (14 клетки) и ЛКЗ-D (10 клетки). За илюстрация по-долу са показани Vox-Plot диаграми за измерените температурни стойности на земната повърхност, както и Vox-Plot диаграма за измерените температурни стойности на всичките 74 клетки (фиг. 6.9).



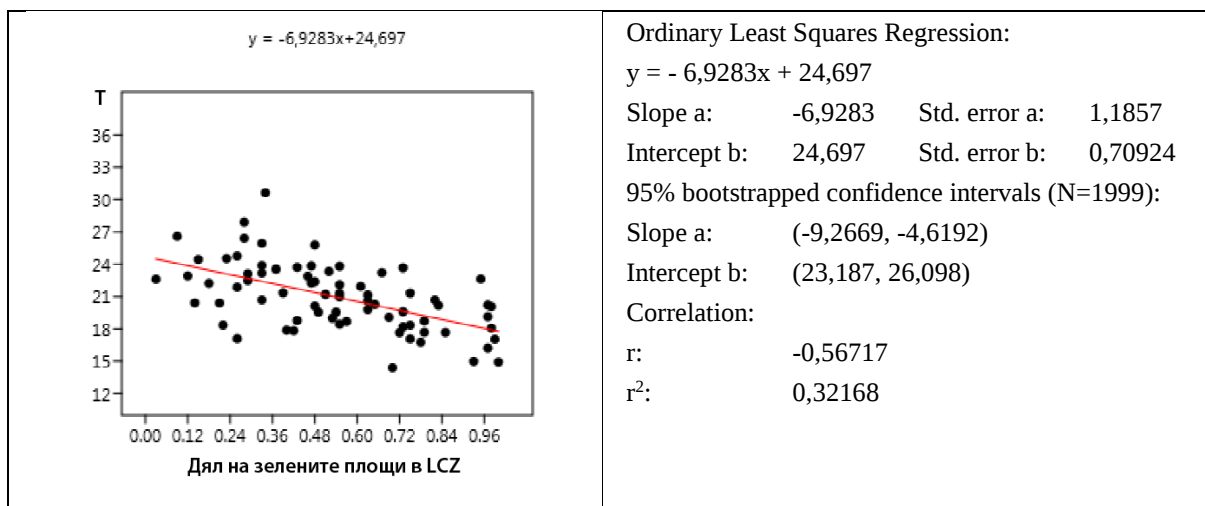
Фиг. 6.9. Box-Plot диаграми за измерените температури на земната повърхност в петте най-големи ЛКЗ и общо на всички ЛКЗ

Пространствена интерпретация и анализ на данните от теренни изследвания. Определяне на интензитета на ГТО

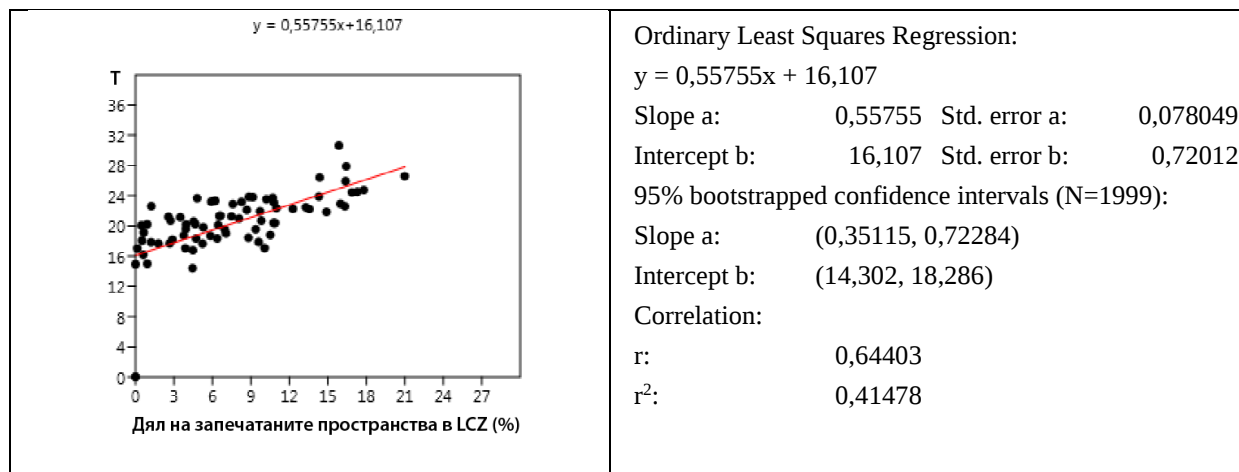
Пространственият анализ е извършен чрез прилагане на геостатистически и пространствено-итерполационни методи. Като основа за това са използвани данните от измерените температури на земната повърхност в рамките на стратифицираната извадка. На основата на геостатистическото изследване са изведени конкретни регресионни зависимости, които от своя страна позволяват постигането на по-надеждни резултати от интерполацията на данните в ГИС среда и по-висока точност при определяне на пространствения обхват и конкретните проявления на ГТО в рамките на урбанизираното пространство.

Получените резултати бяха използвани за построяване на линейни регресионни зависимости по метода на най-малките квадрати между площите на главните типове земеползване (като независима величина) и средните измерени температури по типове земеползване (като зависима величина). Генералните изводи потвърждават хипотезата, че колкото по-голям е дялът на зелените площи, толкова по-ниски са измерените температурни стойности, и обратно – колкото по-голям е дялът на застроените и запечатаните пространства, толкова по-високи са измерените температури:

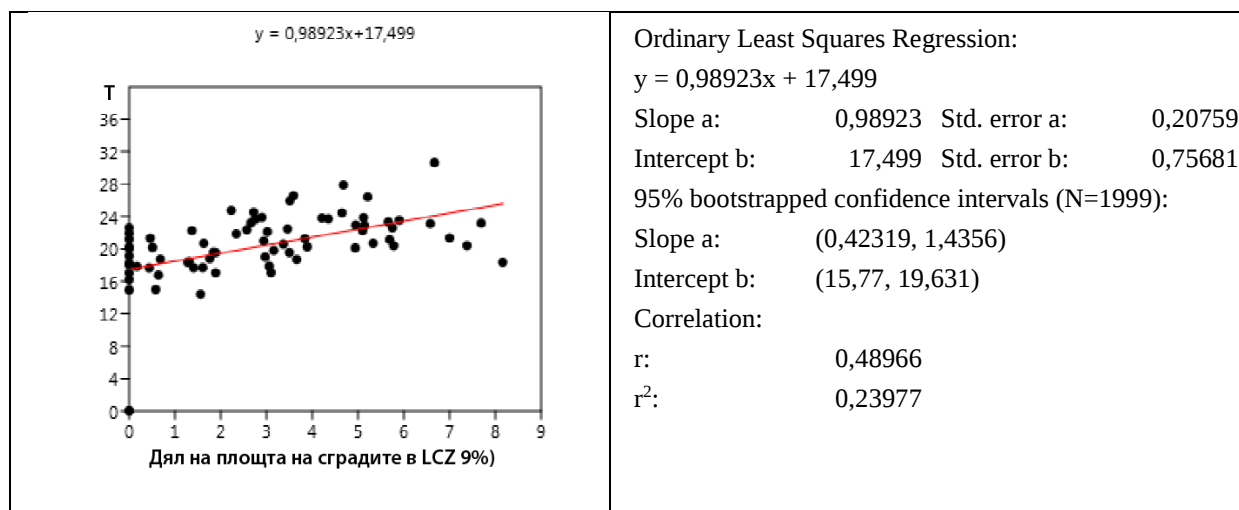
1. С увеличаване на дела на зелените площи в ЛКЗ има ясна тенденция за понижение на температурата на повърхността в интервала 20-22 часа:



2. С увеличаване на дела на запечатаните площи има силно изразена тенденция за повишение на температурата на повърхността в интервала 20-22 часа:

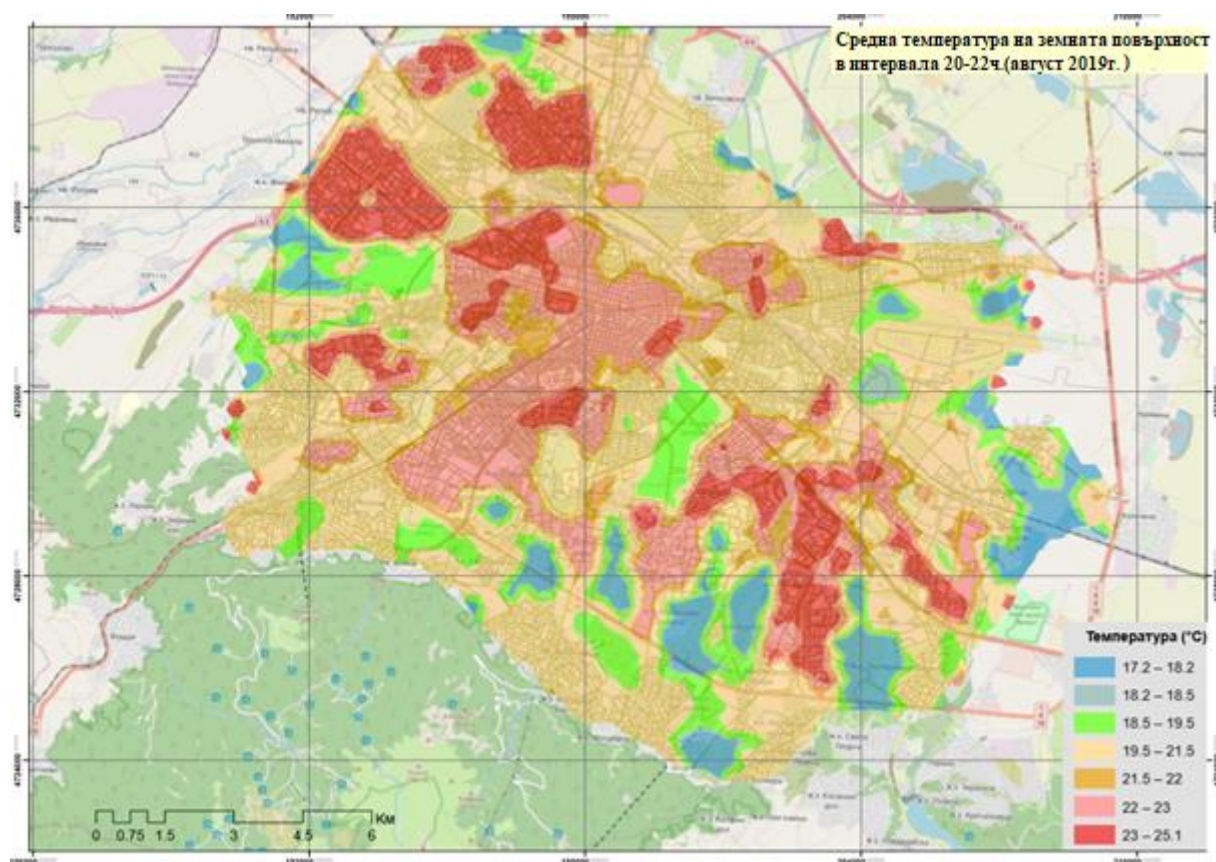


3. С увеличаване на дела на сградите (плътността на застрояване) в ЛКЗ има изразена тенденция към повишение на температурата на повърхността в интервала 20-22 часа:



На база на така изведените регресионни зависимости и на основата на пространственото разпределение на измерените локации от стратифицираната извадка, е конструиран геостатистически интерполационен модел, на чиято основа е генериран слой с пространственото разпределение на температурите на повърхността в часовия интервал 20-22 часа за м. август 2019 г. За създаването на слоя е приложен детерминистичен подход и локална интерполация, при които предиктивните стойности се генерират в рамките на локалитетни групи от съседни точки, базирани на мрежата от измерени стойности и техните локации.

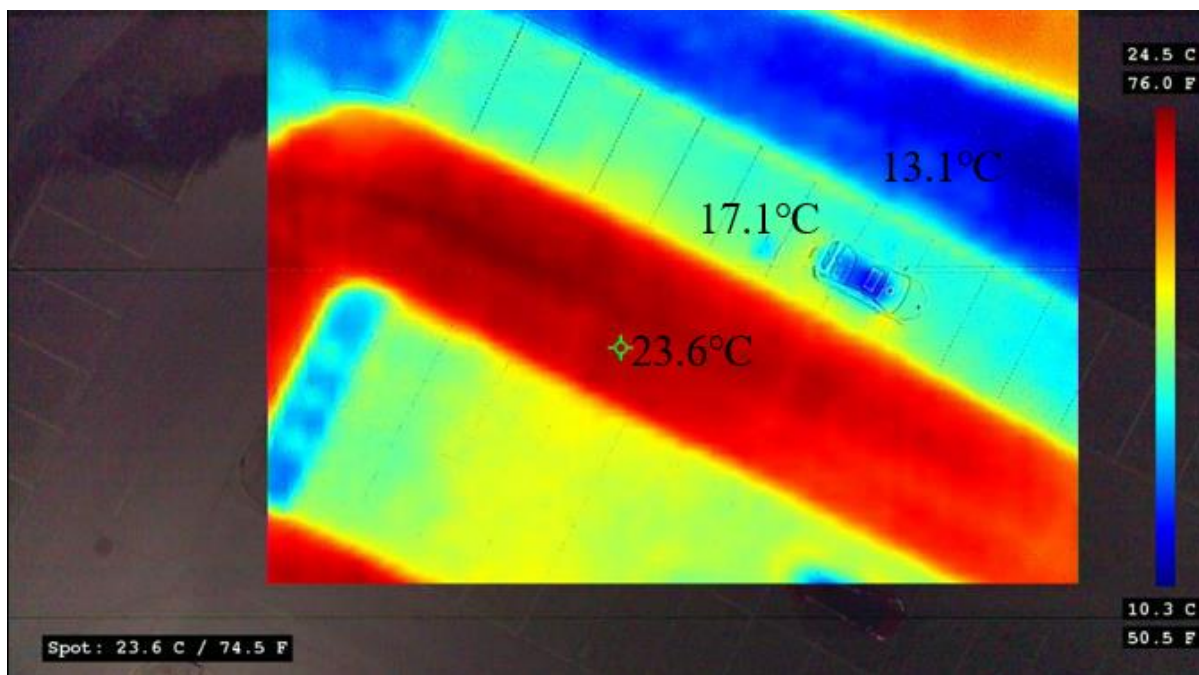
Резултатът от пространствената интерполация ясно показва, че в рамките на урбанизираното пространство в София е формиран полиструктурен (полицентричен) градски топлинен остров (фиг. 6.10).



Фиг. 6.10. Карта на пространственото разпределение на измерените температурни стойности на земната повърхност в София през август 2019 г. (в часовия интервал 20:00-22:00 часа)

С най-висока средна измерена температура на земната повърхност се отличават комплексите, локализирани в източните (Младост) и западните (Люлин и Надежда) части на града. В централната част също е формиран значителен по размери топлинен остров, който включва компактна територия, разположена между основните паркове и зони на града.

Голямото разнообразие на включените територии в отделните ЛКЗ, както и високата пространствена изменчивост на пространствената им структура, определя в голяма степен сложният и полиструктурен характер на явлението ГТО. Така например само в рамките на един участък от 1000 кв. м се наблюдават съществени температурни контрасти. На фигурата по-долу е представен фрагмент от теренно измерване на температура на повърхността в 22 часа, осъществено в района на хипермаркет „Хит“, разположен между ж.к. „Люлин“ и ж.к. „Обеля“. От изображението ясно се вижда, че в рамките на това ограничено пространство се наблюдават изключително големи различия в температурата на повърхността – на тревните площи тя е в рамките на 12.9-13.1°C, на паркинг местата, които са изградени от бетонни розетни плоскости тя е съответно 17,1°C, а на асфалтовия път – цели 23.6°C (фиг. 6.11)



Фиг. 6.11. Термално изображение, показващо големи температурни контрасти в района на паркинга пред хипермаркет „Хит“ (ж.к. „Люлин“ в София)

Тези температурни разлики в най-голяма степен характеризират сложността на ГТО и представят една най-важните му характеристики – интензитета (магнитуда) на явлениято. Интензитетът на ГТО за всяка ЛКЗ обективно характеризира силата на проява на ГТО в пространствен аспект. Интензитетът се изчислява по следния начин:

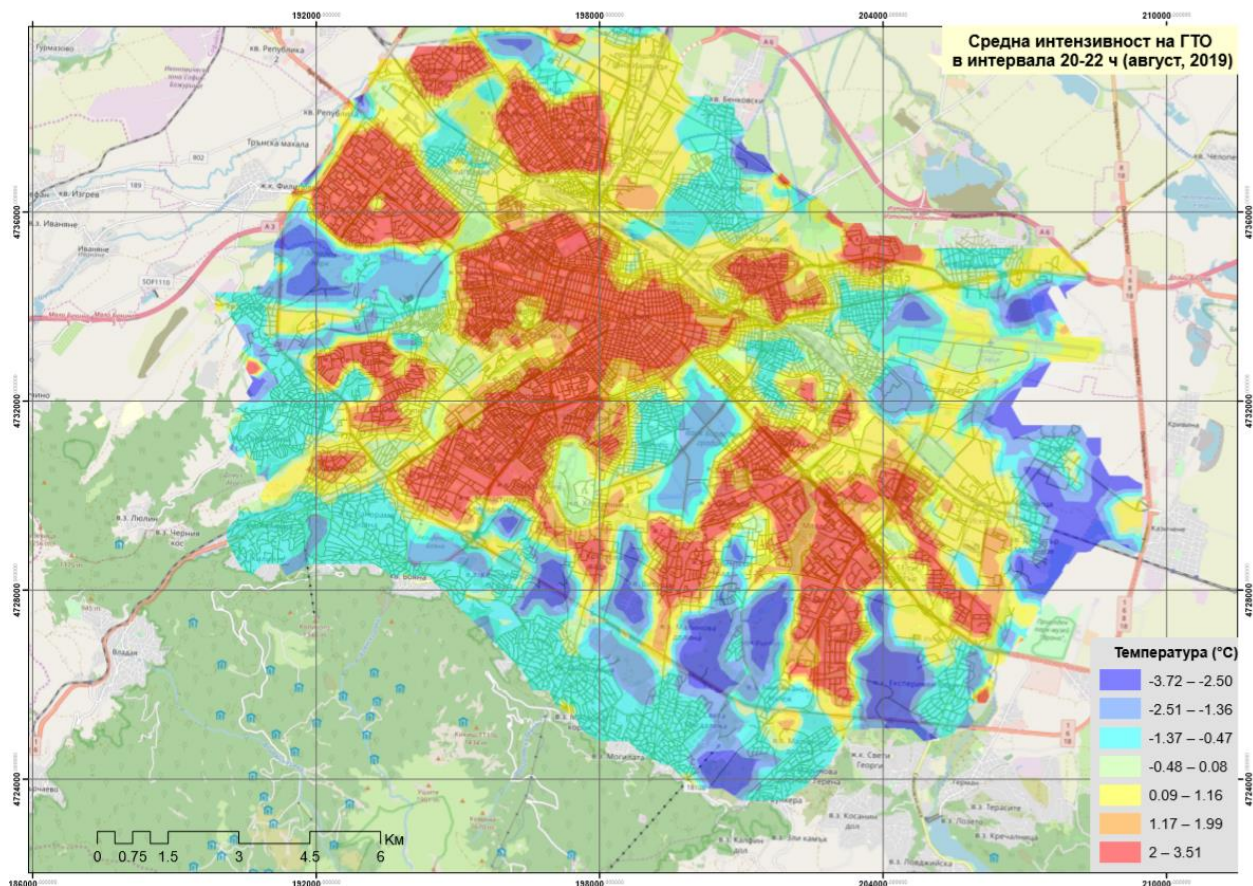
$$\Delta T_{LCZ\ X-Y},$$

където ΔT е максималната разлика от израза $LKZ\ X - Y$, в който X = температурата на дадената ЛКЗ, а Y = температурата на останалите ЛКЗ за сравнение. Данните за разликите в температурите между всички ЛКЗ в София са представени в табл. 6.3.

Табл. 6.3. Температурни разлики между ЛКЗ, необходими за изчисление и картографиране на интензитета на ГТО

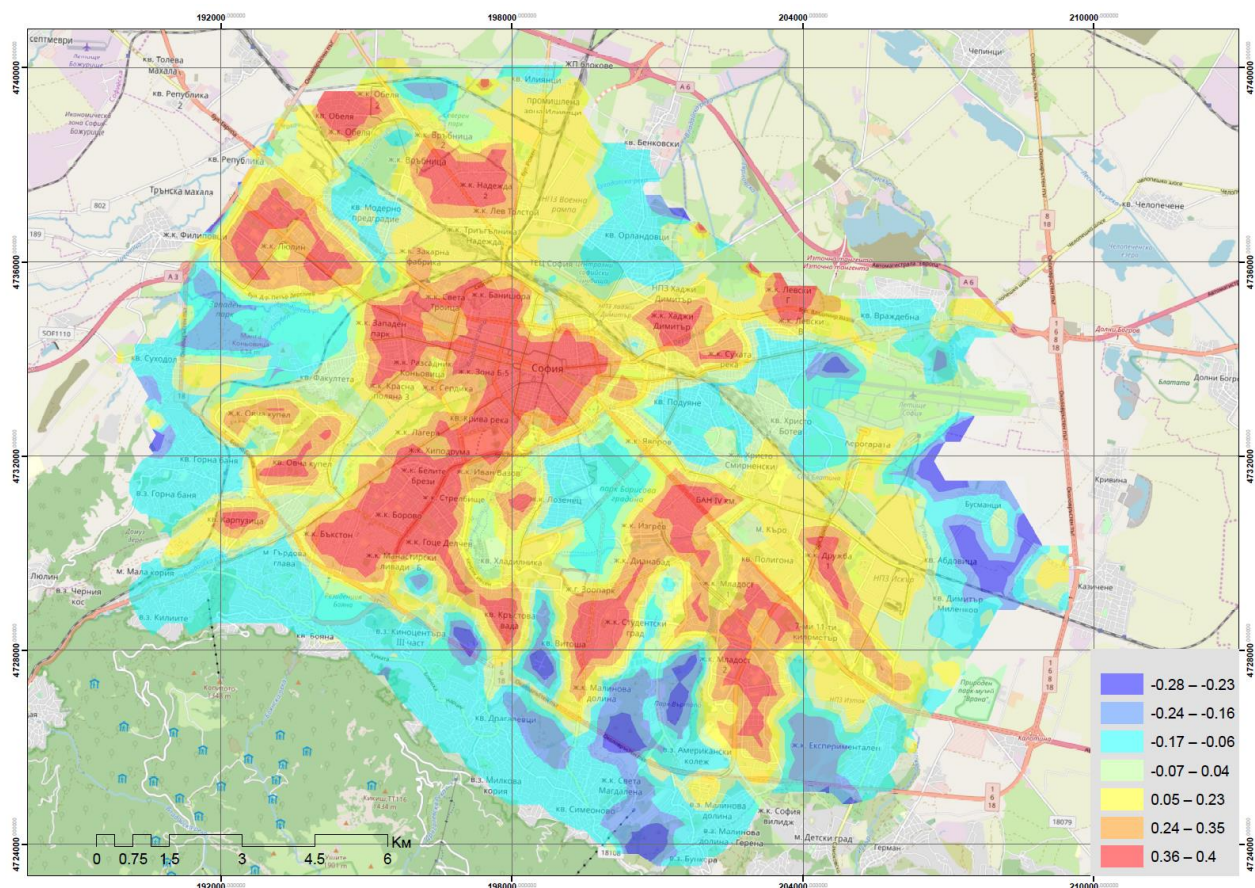
ЛКЗ	ЛКЗ Средна температура на земната повърхност (°C)	ЛКЗ 3	ЛКЗ 4	ЛКЗ 5	ЛКЗ 6	ЛКЗ 8	ЛКЗ 9	ЛКЗ 10	ЛКЗ А	ЛКЗ В	ЛКЗ С	ЛКЗ D	ЛКЗ E	ЛКЗ G
ЛКЗ 3	20.6	0.00	-3.28	-1.94	0.53	-0.71	-4.47	-1.66	1.56	-0.67	3.39	2.77	-0.15	2.77
ЛКЗ 4	23.9	3.28	0.00	1.34	3.81	2.56	-1.19	1.62	4.83	2.61	6.67	6.05	3.13	6.05
ЛКЗ 5	22.5	1.94	-1.34	0.00	2.47	1.22	-2.53	0.28	3.49	1.27	5.33	4.71	1.79	4.71
ЛКЗ 6	20.1	-0.53	-3.81	-2.47	0.00	-1.24	-5.00	-2.19	1.03	-1.20	2.86	2.24	-0.68	2.24
ЛКЗ 8	21.3	0.71	-2.56	-1.22	1.24	0.00	-3.76	-0.95	2.27	0.04	4.10	3.48	0.56	3.48
ЛКЗ 9	23.7	3.13	-0.15	1.19	3.66	2.42	0.00	1.47	4.69	2.46	6.52	5.90	2.98	5.90
ЛКЗ 10	22.3	1.66	-1.62	-0.28	2.19	0.95	-2.81	0.00	3.22	0.99	5.05	4.43	1.51	4.43
ЛКЗ А	19.0	-1.56	-4.83	-3.49	-1.03	-2.27	-6.03	-3.22	0.00	-2.23	1.83	1.21	-1.71	1.21
ЛКЗ В	21.3	0.67	-2.61	-1.27	1.20	-0.04	-3.80	-0.99	2.23	0.00	4.06	3.44	0.52	3.44
ЛКЗ С	17.2	-3.39	-6.67	-5.33	-2.86	-4.10	-7.86	-5.05	-1.83	-4.06	0.00	-0.62	-3.54	-0.62
ЛКЗ D	17.8	-2.77	-6.05	-4.71	-2.24	-3.48	-7.24	-4.43	-1.21	-3.44	0.62	0.00	-2.92	0.00
ЛКЗ E	20.7	0.15	-3.13	-1.79	0.68	-0.56	-4.32	-1.51	1.71	-0.52	3.54	2.92	0.00	2.92
ЛКЗ G	17.8	-2.77	-6.05	-4.71	-2.24	-3.48	-7.24	-4.43	-1.21	-3.44	0.62	0.00	-2.92	0.00

На база данните от матрицата в таблицата е създадена статистическа повърхнина чрез използване на локална полиномна интерполация, която представя в континуален вид интензитета на ГТО в урбанизираното пространство на София (фиг. 6.12).



Фиг. 6.12. Карта на средния интензитет на ГТО в София през август 2019 г. (20:00-22:00 ч.)

Ако се допусне, че приносът на всяка ЛКЗ в интензитета на ГТО зависи не само от измерените температури, но и от площта (дела) на съответната ЛКЗ, то стойностите на интензитета могат да се претеглят на базата на големината на съответната ЛКЗ. Тогава картата на интензитета на ГТО би има следния вид (фиг. 6.13):



Фиг. 6.13. Карта на средния интензитет на ГТО в София през август 2019 г. (20:00-22:00 ч.), създадена чрез претегляне на стойностите на интензитета в зависимост от дела (площта) на всяка ЛКЗ

7. ОЦЕНКА НА УЯЗВИМОСТТА, ЗАПЛАХИТЕ И РИСКА ОТ ЯВЛЕНИЕТО „ГРАДСКИ ТОПЛИНЕН ОСТРОВ“

Градският топлинен остров има пряко влияние върху средата и качеството на живот, като има различни проявления в зависимост от конкретните условия и пространствени съчетания на фактори, които могат да засилят или смекчат неговото въздействие.

Аналитичният материал, приложен в настоящия доклад, ясно насочва вниманието към три отличителни характеристики на ефекта на ГТО:

1. Ефектът се проявява с постоянство в рамките на денонощието – както през деня, така и през нощта.

2. Пиковата интензивност на ефекта се проявява през лятото и в рамките на светлата част на деня.

3. Има индиректно, но значително влияние върху нагряването на въздуха – генерира кумулативен ефект от допълнително нагряване на приземния въздух и подхранва ефекта на градския топлинен остров в атмосферата

Устойчивата проява като честота и магнитуд на ефекта на ГТО от нагряване на повърхността води до трайни негативни въздействия върху екологичните условия в градската среда и нарастваща уязвимост по отношение на ключови аспекти от функционирането на урбанизираната територия. Най-общо те могат да бъдат систематизирани по следния начин:

- **СОЦИАЛНИ** предизвикателства: Увеличаване на риска за здравето на населението и особено на най-уязвимите групи сред тях – деца, възрастни, хронично болни; Нарастване на опасността от заболявания; Нарастване на социални неравенства, производни на диференцирания достъп до поддържани елементи на зелената инфраструктура на града (паркови пространства, водни обекти и места за отдих);
- **ИКОНОМИЧЕСКИ** предизвикателства: Натиск върху ресурсите – нарастване на нуждата и потреблението от питейна вода с добро качество и увеличение на консумацията на енергия за охлаждане; Нарастване на разходите за поддържане на водоснабдителната, енергийната и транспортната системи на града; Увеличаване на разходите в сферата на строително-ремонтните и обслужващите дейности;
- **ЕКОЛОГИЧНИ** предизвикателства: Влошаване на качеството на въздуха и на водите; Уязвимост на почвите в градска среда – подтиснат воден и хранителен режим; Неблагоприятни условия за зелената система на града и възникване на условия за заболявания на дървесните видове; Опасност от настаняването на инвазивни видове – вредители в конкретните за Софийската котловина географски и екологични условия.

За целите на настоящото изследване е създаден пространствен оценъчен модел, който комбинира интензивността на проявата на ГТО в различните части на урбанизираното пространство на гр. София и разпределението на населението и неговите възрастови характеристики. Като основа е използван подход, разработен от Räsänen et al.

(2019) за зонироване на територията на гр. Хелзинки по отношение на уязвимостта на различните части на града от проявата на ефекта на ГТО⁷². В случая, за целите на настоящата оценка се прилага номенклатурата на IPCC по отношение на различните понятия, свързани с риска, заплахата и уязвимостта. Климатичният риск е композитно понятие, което включва заплахата (от проявата на климатично явление и неговата пространствена конфигурация, в нашият случай ГТО и свързаните с него топлинни вълни), изложение (елементи или обекти от средата, които са изложени на въздействие от съответното явление – например населението на града) и уязвимост (характеристики на изложените обекти, които потенциално са най-уязвими).⁷³

В настоящото изследване фокусът е поставен върху населението и групите, които са най-уязвими. Това са главно децата (0-15 г.) и възрастните хора (65+ г.), които според редица изследвания^{74, 75} се определят като особено уязвими към проявата на градските топлинни острови и свързаните с тях топлинни вълни през летните месеци.

За целите на това изследване е конструиран композитен индекс, който комбинира данните за риска (интензитета на ГТО), с данни за пространственото разпределение на населението и дела на двете най-уязвими групи в него – децата (0-15 г.) и възрастните кохорти от населението (65+ г.). Данните за пространственото разпределение на населението са от разработеният от Joint Research Centre (JRC) към ЕК растерен слой, който представя разпределението на населението във вид гريد 100×100 м, който използва комплексна методика за мащабиране (т.нар. downscaling), описана подробно в публикацията на Gallego⁷⁶.

Самото конструиране на индекса е извършено по логическа схема, предложена от Morabito et al⁷⁷, модифицирана за целите на настоящото изследване и реализирана в ArcGIS среда (фиг. 7.1):

⁷² Räsänen, A., Heikkinen, K., Piila, N. et al. Reg Environ Change (2019) 19: 1481. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01491-x>

⁷³ IPCC (2014) Summary for policymakers. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds) Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, pp 1–32

⁷⁴ Carnes BA, Staats D, Willcox BJ (2014) Impact of climate change on elder health. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 69:1087–1091. <https://doi.org/10.1093/gerona/glt159>

⁷⁵ Hajat S, O'Connor M, Kosatsky T (2010) Health effects of hot weather: from awareness of risk factors to effective health protection. Lancet 375:856–863. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61711-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61711-6)

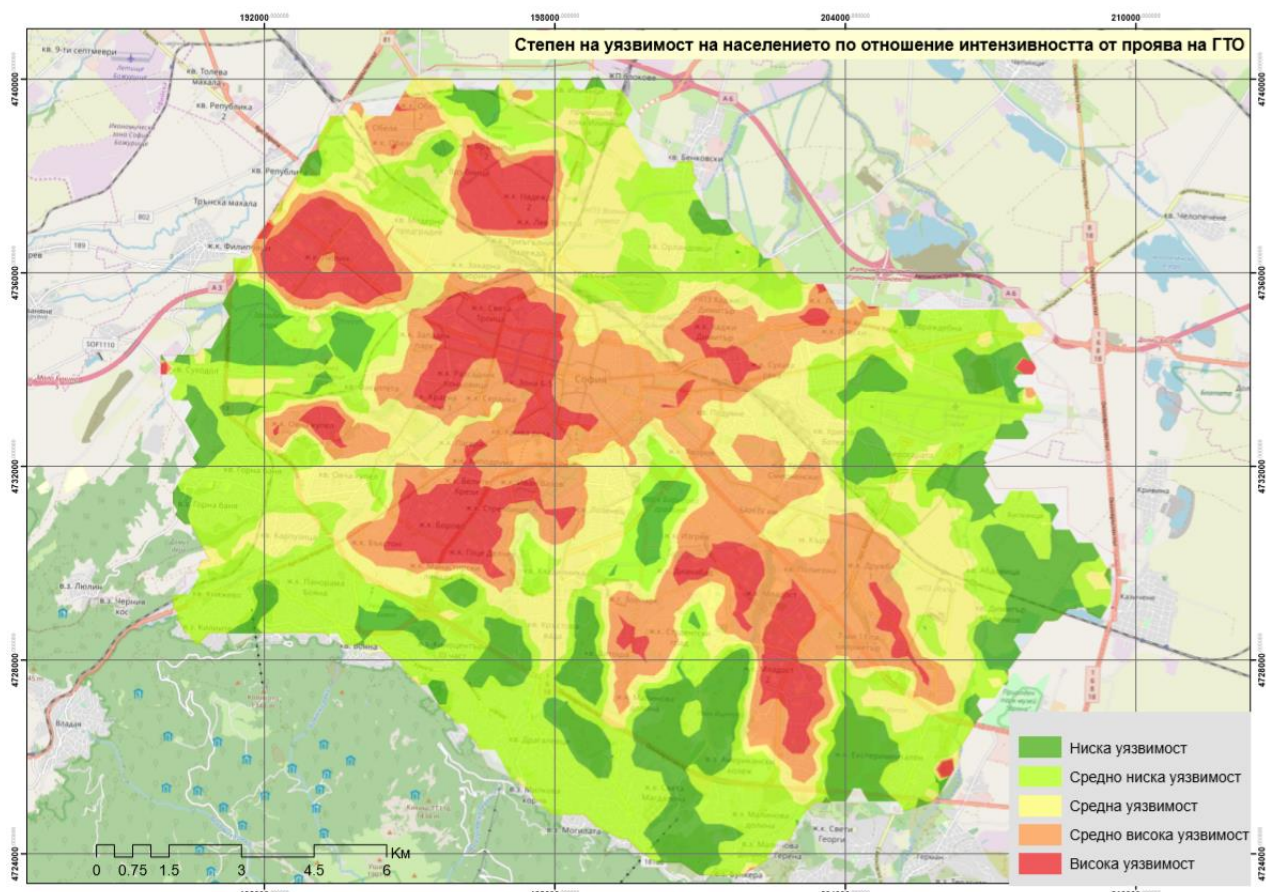
⁷⁶ Gallego FG. A population density grid of the European Union. Popul Environ. 2010;31: 460–473.

⁷⁷ Morabito M, Crisci A, Gioli B, et al. Urban-hazard risk analysis: mapping of heat-related risks in the elderly in major Italian cities. PLoS One. 2015;10(5):e0127277. Published 2015 May 18. doi:10.1371/journal.pone.0127277



Фиг. 7.1. Използвана методология за създаване на пространствения индекс за степента на уязвимост към проявлението на ГТО

На базата на стойностите на индекса са определени пет степени на уязвимост на населението, чието пространствено разпространение са вижда на картата на фиг. 7.2.



Фиг. 7.2. Класификация на територията на гр. София по степен на уязвимост от ефекта на ГТО

От картата ясно се вижда, че най-уязвимите части от градското пространство са териториите, в които е налице голяма концентрация на население, включително на големи групи детско и възрастно население, в комбинация с комплексен начин на застрояване. Последният предполага значителен дял на високите сгради, сравнително гъсто разположение с малки и недобре структурирани зелени пространства. В тези части са налице значителни площи от запечатани територии, които сериозно влияят на градският климат и влошават качеството на живот и условията на средата. По-конкретно с най-висока степен на уязвимост са:

- По голямата част на ж.к. „Люлин”, без неговите периферни територии, които са в контактна зона с преобладаващо открити пространства, както и централната му част, която е със сравнително ниско строителство и по-малък дял на запечатаните територии.
- Централните части на ж.к. „Надежда”.
- Части от ж.к. „Стрелбище”, кварталите „Борово” и „Гоце Делчев”, които са сравнително гъсто застроени със сгради, повечето от които не са санирани и изолирани, с плоски покриви, покрити с битумна изолация.
- Компактна зона, формирана от части, принадлежащи към ж.к. „Света Троица”, ж.к. „Разсадника”, ж.к. „Красна поляна” и „Зона Б5”.
- Компактна зона, формирана в централната част на ж.к. „Младост”.

- Други по-малки зони, формирани в рамките на гъсто застроени територии, с компактно население.

В по-малка степен, но със сравнително високи показатели за уязвимост са Централната част на града, непосредствената периферия на централната част, както и зона, формирана по протежение на бул. „Цариградско шосе“ в западно-източна посока, вкл. ж.к. „Дружба“.

Съответно с най-ниска степен на уязвимост са териториите, разположени непосредствено около големите паркови зони, както и тези, които „контактуват“ с територии с по ниско застрояване и с по-големи открити естествени пространства.

8. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДОБРИ ПРАКТИКИ ПО ОТНОШЕНИЕ НА ЕФЕКТА „ТОПЛИНЕН ОСТРОВ“ И ПРИЛАГАНЕТО ИМ НА ТЕРИТОРИЯТА НА ГР. СОФИЯ

За преодоляване на предизвикателствата, свързани с проявата на ГТО е необходимо въвеждането на конкретни и изпълними в краткосрочна и средносрочна перспектива мерки, които са предназначени за смекчаване на ефекта от проявата на различните аспекти на градския топлинен остров. Те следва да бъдат насочени към съответните секторни политики, планове за действие, правила и разпоредби на Столична община в направленията Устройство на територията, Енергийна ефективност, Качество на въздуха, Водоснабдяване и водоползване, Транспорт, Сграден фонд, Зелена инфраструктура.

Предварително условие за ефективното прилагане на набеязаните мерки е наличието на съответната информационна база, която да служи за подготовка на вземаните решения. Информационната база следва да се формира от регулярно постъпващи данни, които да позволяват ефективно и обективно да се характеризира ефектът на ГТО и неговите конкретни пространствени измерения, включително по отношение на синергията с други неблагоприятни явления в градска среда – замърсяване на въздуха, воден дефицит и влошено качество на водите, лош екологичен статус на растителността и заболявания.

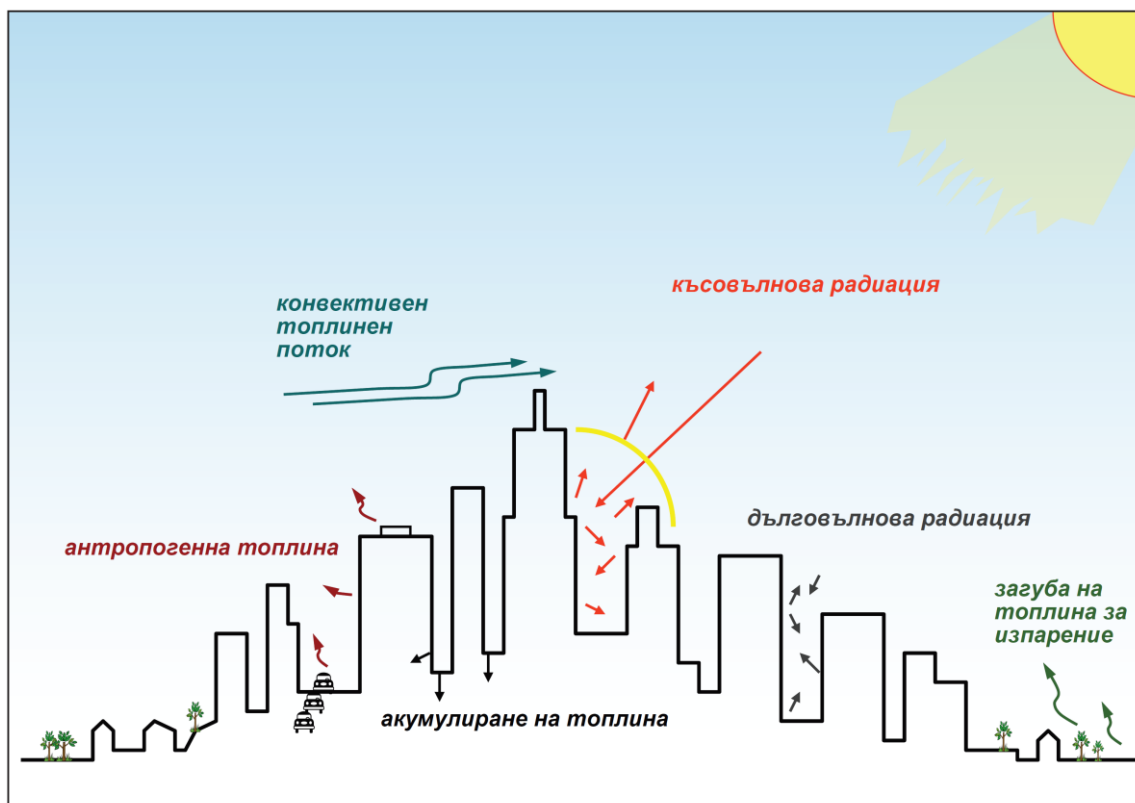
Ефективното смекчаване на ефекта на ГТО и възпрепятстването на неговата поява в локалитети с висок магнитуд става чрез **директно управление и индиректно въздействие** върху факторите, които го провокират (систематизирането на значимите фактори на въздействие е извършено по EPA - U.S. Environmental Protection Agency. 2008. Reducing urban heat islands: Compendium of strategies⁷⁸). По важните от тях са:

- **Висок дял на изкуствените материали, които формират структурата на градските ландшафти, ограничена по обхват или отсъстваща растителност.** Подобни градски структури са лишени от естествения охлаждащ ефект от растителната покривка - чрез евопотранспирационните процеси и засенчването. В силно развитите градски райони на София, характеризиращи се с над 70% „запечатани“ повърхности, има по-малко повърхностна влага за изпаряване, отколкото естественото почвено покритие, което има по-малко от 10% непроницаемо покритие. Тази характеристика допринася за по-висока температура на повърхността и въздуха в градските райони;
- **Наличие и висока плътност на изкуствени (антропогенни) обекти, които се отличават със значителен топлинен капацитет.** Свойствата на използваните фасадни и покривни материали, и по-специално – отражателна способност (албедо), топлинната излъчваемост (емисии обратно към атмосферата) и

⁷⁸ U.S. Environmental Protection Agency. 2008. Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. Draft. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.

топлинния капацитет (абсорбиране), са преки предпоставки за зараждането и поддържането на ефекта на градския топлинен остров с висок магнитуд;

- **Пространствената структура и геометрията на градската територия/повърхност - конфигурацията и плътността на застрояване, установените размери на обектите и разстоянието между сградите.** Тези параметри пряко влияят върху: посоката и скоростта на въздушните течения, способстващи охлаждането; бързото оттичане на валежни води, също способстващи охлаждането при изпарение; абсорбирането на енергия и емитирането на дълговълнова радиация от земната повърхност обратно в атмосферата (Фиг. 8.1.).



Фиг. 8.1. Енергиен бюджет на земната повърхност в урбанизирани територии

- **Естествените характеристики на територията, формиращи местният климат** – Сред значимите фактори за влияние тук могат да бъдат открити: надморска височина на терена, наклони и общи експозиции; характер на релефа, в който е разположен градът; степента на орографска затвореност по отношение на териториална близост с планински системи; близост на голям воден басейн, смекчаващ температурните амплитуди; степен на естественост на прилежащите на града ландшафти и характер на земеползване; доминиращ атмосферен пренос; присъщ за географската зона баланс на температура и валежи; характер на естествената растителност; наличие на площни и линейни водни тела в близост или в рамките на градската структура.

Стратегии и решения за смекчаване на ефектите от проявата на ГТО

В науката и практиката са разработвани и прилагани различни стратегии и конкретни решения за намаляване/смекчаване на негативните ефекти от ГТО, които са разработват на базата на интеграцията на знания и технологии, взаймствани от различни предметни области: градско планиране, архитектура, транспортно планиране и строителство, ландшафтна архитектура, информационни технологии и др. Тези стратегии и мерки имат конкретни приложения и потенциално позитивно климатично влияние както в локален, така и в глобален план. За да постигнат обаче значим и забележим ефект върху урбанизираната територия на гр. София, е необходимо същите от една страна да са информационно осигурени с ефективна, качествена и пространствено обусловена информация за градската среда и нейните климатични характеристики, а от друга - същите да бъдат интегрирани в основните планови и програмни документи, на чиято основа да се планира и управлява територията на града.

Този раздел от настоящият доклад представя различни по характер стратегии, които могат да послужат като инструменти за смекчаване на ефекта от проявата на ГТО в гр. София. За всяко едно от посочените и описани тук решения е представена конкретна техническа информация по отношение на неговата ефективност за „охлаждане“ на градската среда, която се основава на задълбочено проучване на различни литературни източници.

С оглед характера на отделните видове стратегии и технически решения, същите са класифицирани в четири основни направления:

- Стратегически мерки и решения, насочени към зелената градска инфраструктура;
- Решения и мерки, свързани с градската среда и прилежащата инфраструктура (архитектура, устройствено и пространствено планиране);
- Решения и мерки за ограничаване на „запечатването“ на територията с материали с ниска отражателна способност и висок термичен капацитет;
- Мерки за намаляване на топлината, генерирана от антропогенни източници.

А. Градска растителност и зелена инфраструктура

Редица изследвания доказват голямото значение на растителността и необходимостта от разширяване на съществуващите зелени площи и вътрешноградски горски пространства за противодействие на ефекта от градския топлинен остров (Heisler

et al., 1994⁷⁹; Taha et al., 1996⁸⁰; McPherson et al., 2005^{81, 82}; Solecki et al., 2005⁸³). Естествената растителност осигурява охлаждащ ефект върху урбанизираните пространства чрез различни процеси и най-вече:

- Като осъществява засенчване на запечатани територии и инфраструктурни съоръжения;
- Чрез процесите на евапотранспирация;
- Чрез принос за минимизиране на разликите между различните части на урбанизираното пространство, което води до общо понижение на интензитета на ГТО.

Растителността предоставя и други полезни и допълващи се ползи в градските райони, включително:

- Подобряване на качеството на въздуха чрез производство на кислород, улавяне на CO₂, филтриране на суспендирани частици и намаляване на потреблението на енергия за климатизация;
- Подобряване на качеството на водата чрез задържане на дъждовна вода и чрез подобряване на условията за контрол на ерозията в рамките на урбанизираното пространство;
- ползи за здравето на населението, включително защита от ултравиолетова (UV) радиация, намаляване на топлинния стрес и осигуряване на пространства за рекреация на открито (Sundseth and Raeymaekers, 2006⁸⁴; Chiesura, 2004⁸⁵; Health Scotland et al., 2008⁸⁶; Rowntree and Nowak, 1991⁸⁷).

Градската среда се отличава с висока степен на динамика на своето развитие, което предполага висока степен на изменчивост на плановата основа, обуславя и обосновава това развитие. Тази изменчивост и непрекъснатост на плановия процес осигурява нови възможности за интеграция на нови стратегически инструменти в основните планови и програмни документи, насочени към подобряване на качеството на

⁷⁹ Heisler, G.M., Grimmond, S., Grant, R.H., Souch, C. (1994) Investigation of the influence of Chicago's urban forests on and air temperature within residential neighborhoods, *Northeast Forest Experiment*, Vol. 186, pp. 19-40.

⁸⁰ Taha, H. (1995) Modeling the impacts of large-scale albedo changes on ozone air quality in the south coast air basin, *Atmospheric Environment*, Vol. 31, No. 11, pp. 1667-1676.

⁸¹ McPherson, G., Simpson, J.R., Peper, P.J., McO, S.E., Siao, Q. (2005) Municipal forest benefits and costs in Five US Cities, *Journal of Forestry*, Vol. 103, No. 8, pp. 411-416.

⁸² McPherson, E. G., Muchnick, J. (2005) Effect of street tree shade on asphalt concrete pavement performance, *Journal of arboriculture*, Vol. 31, No. 6, pp. 303-310.

⁸³ Solecki, W.D., Rosenzweig, C., Parshall, L., Pope, G., Clark, M., Cox, J., Wiencke, M. (2005) Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey, *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, Vol. 6, No. 1, pp. 39-49.

⁸⁴ Sundseth, K., Raeymaekers, G. (2006) Biodiversity and natura 2000 in urban areas, nature in cities across Europe: a review of key issues and experiences. IBGE/BIM, Bruxelles, 70 p.

⁸⁵ Chiesura, A. (2004) The role of urban parks for the sustainable city, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 68, No. 1, pp. 129-138.

⁸⁶ Health Scotland, greenspace scotland, Scottish Natural Heritage and Institute of Occupational Medicine (2008) Health impact assessment of greenspace: a guide. Greenspace Scotland, Stirling, 74 p.

⁸⁷ Rowntree, R.A., Nowak, D.J. (1991) Quantifying the role of urban forests in removing atmospheric carbon dioxide, *J. Arboric.*, Vol. 17, pp. 269-275.

зелената инфраструктура на гр. София. По конкретно, възможни решения в това отношение са:

➤ **Разработване на целева стратегия за подобряване състоянието и разширяване на обхвата на зелената инфраструктура в гр. София с оглед смекчаване на ефекта на ГТО**

Целта на разработването на такъв стратегически документ е да се способства за увеличение на общия растителен индекс на града. За тази цел растителната покривка може да бъде увеличена не само като площ, но и съществено да се подобри структурата на зелените територии в рамките на урбанизираното пространство на града, включително чрез увеличение на тяхната гъстота в многобройните открити пространства, като например:

- По протежение на транспортните коридори в града (около основните транспортни артерии, железопътни линии и др.);
- Около детски и спортни площадки, игрища и др.;
- Около жилищни, търговски сгради и др. (Conseil régional de l'environnement de Montréal, 2007⁸⁸).

Охлаждането, осигурено от растителността в рамките на такива пространства може да има и допълнителни ползи за градското пространство, включително да се повиши използваемостта някои от тези пространства от обществеността за рекреационни цели (Health Scotland et al., 2008⁸⁹).

Ефект спрямо ГТО:

Според Dimoudi и Nikolopoulou (2003)⁹⁰ добавянето на растителност към градските райони с малко растителна покривка осигурява значителни ползи за тяхното охлаждане и смекчаване на ефекта на ГТО. Разполагането на редица от дървесна растителност около запечатано пространство (например улица или булевард) намалява температурата на околния въздух средно с 1°C. Същевременно създаването на парк в центъра на силно застроена зона би намалило температурата на околния въздух средно от 2°C до повече от 6°C.

Екипът на Akbari и Taha (1992)⁹¹ използва моделиране, за да проучи потенциала на разполагане на растителност и използване на материали с висока отражателна способност в четири канадски града, включително Монреал, за смекчаване на ефекта от топлинните острови и минимизиране на разходите за климатизация и отопление. Резултатите от тяхното проучване показват, че увеличаването на растителната покривка

⁸⁸ Conseil régional de l'environnement de Montréal (2007) Lutte aux îlots de chaleur urbains. Le Conseil, Montréal, 54 p.

⁸⁹ Health Scotland, greenspace scotland, Scottish Natural Heritage and Institute of Occupational Medicine (2008) Health impact assessment of greenspace: a guide. Greenspace Scotland, Stirling, 74 p.

⁹⁰ Dimoudi, A., Nikolopoulou, M. (2003) Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits, Energy and Buildings, Vol. 35, No. 1, pp. 69-76.

⁹¹ Akbari, H., Taha, H. (1992) The impact of trees and white surfaces on residential heating and cooling energy use in four canadian cities, Energy, Vol. 17, No. 2, pp. 141-149.

с 30% (което съответства на около три дървета на къща) и увеличаването на влагането на строителни материали с висока отражателна способност с 20%, може да генерира икономия на енергия за отопление и климатизация от 10% до 35 %.

➤ **Селективно засаждане на дървесна растителност около обекти с висок интензитет на ГТО**

Една от възможните мерки за справяне с отрицателните последици от ГТО, е разполагането на дървесни коридори, непосредствено около запечатани територии или други зони с висок интензитет на ГТО. За да може дървесната растителност да осигури ефективно охлаждане около зона с висок интензитет на ГТО, с най-голямо значение е осигуряването на условия за оптимален растеж, който зависи от фактори като качество на почвата, наличие на вода и достатъчно пространство за развитие на кореновата система. Дърво, което заема ограничено пространство в земята, няма да постигне максималния си размер и животът му ще бъде съкратен (McPherson, 1994⁹²). Оптималният растеж на дърветата, засадени по протежение на пътни артерии, е възможен с използването на системи от клетъчни структури, които осигуряват необходимото пространство за пълно развитие на корен под частично асфалтово покритие. Също така, отводняването на дъждовната вода се улеснява от наличието на качествена почва. Цената на клетъчната структура е приблизително пет пъти по-висока от засаждането на дърво директно в земята (Urban, 2008⁹³), но за сметка на това осигурява възможности за оптимално развитие на дървесната растителност, респективно на по-голям ефект върху интензитета на ГТО (Urban, 2008).

➤ **Озеленяване на паркинги**

Паркингите, изградени на основата на асфалтово покритие, което е с ниско алbedo и висок топлинен капацитет, са един от вторичните фактори, допринасящи в най-голяма степен за ефекта на градския топлинен остров (Rosenzweig et al., 2005⁹⁴). За да се намали топлината, съхранявана в тези повърхности и в паркираните там автомобили, се препоръчва използването на растителни „пояси“, които да се изградят около периферията на паркинг пространството (растителни ивици) и в рамките на самото съоръжение (растителни медиани). Целта е да се създадат възможности за формиране на засенчване върху възможно най-голям дял от павираните повърхности. Сянката от дърветата също ще предпази настилката от значителни топлинни вариации в хода на денонощието и годината и ще удължи живота ѝ (McPherson and Muchnick, 2005⁹⁵). Друг

⁹² McPherson, E.G. (1994) Cooling urban heat islands with sustainable landscapes. In: The ecological city: preserving and restoring urban biodiversity, Rowntree, R.A., Platt, R.H., Muick, P.C., The University of Massachusetts Press, Amherst, pp. 151-171.

⁹³ Urban, J. (2008) Growing the urban forest. In : City of Toronto, Tree Symposium: healthy trees for a beautiful city, 20 p.

⁹⁴ Rosenzweig, C., Solecki, W.D., Parshall, L., Chopping, M., Pope, G., Goldberg, R. (2005) Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey, Environmental Hazards, Vol. 6, pp. 51-62.

⁹⁵ McPherson, E. G., Muchnick, J. (2005) Effect of street tree shade on asphalt concrete pavement performance, Journal of arboriculture, Vol. 31, No. 6, pp. 303-310.

възможен подход за намаляване на температурата на повърхността е вместо плътно асфалтово покритие, да се ползват помощта на различни модулни системи, съставени от бетон, PVC или други материали, които позволяват разполагането на растителност в рамките на тяхната структура. Тези модули са инсталирани върху пропусклив почвен слой, който насърчава естественото просмукване на дъждовна вода в земята и който поддържа товари до 376 тона на квадратен метър, което съпротивление позволява да се паркират автомобили пряко върху растителни повърхности (Communauté urbaine de Lyon, 2008⁹⁶).

В хода на настоящото изследване беше установено, че разликата в температурата на повърхността между асфалтово покритие и модулно покритие на открит паркинг след залез слънце възлиза на стойност от порядъка на 6-7°C, както е показано на фиг.2.2.

Ефект спрямо ГТО

Изследване от McPherson et al. (2001)⁹⁷ показва, че температурата на автомобил, засенчен от растителност, е приблизително 7°C по-ниска от кола, паркирана на слънце, докато засенчената асфалтова настилка ще бъде по-хладна от 2°C до 4°C.

➤ Разполагане на растителни пояси около сградите

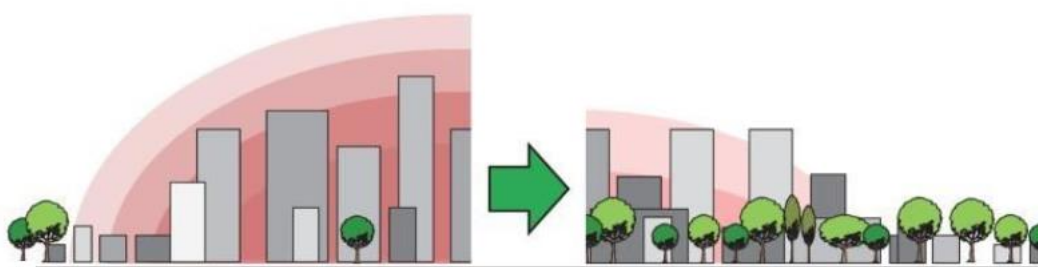
За оптимално охлаждане растителността, засадена около сградата, трябва да предпазва сградата от слънчева радиация. Всъщност текстурата и състава на земята около сградата частично определят вътрешната и външната температура на сградата. Растителността поддържа почвата по-хладна и спомага за предотвратяване на пряка, отразена и дифузна слънчева радиация, която може да повлияе на охлаждането на сградата (фиг.8.2.) (Akbari et al., 2001⁹⁸). За да се увеличи максимално сянката на сградата, дърветата трябва да бъдат разположени източните, югоизточните, югозападните и западните фасади и в идеалния случай да бъдат достатъчно големи, за да засенчат целия или част от покрива. Възможно е също така да се монтират решетки, перголи, зелени стени и зелени покриви, които осигуряват по-хладна вътрешна температура (Oliva and Courgey, 2006⁹⁹).

⁹⁶ Communauté urbaine de Lyon (2008) Aménagement et eaux pluviales sur le territoire du grand Lyon : guide à l'usage des professionnels Lyon. Grand Lyon, communauté urbaine, 51 p.

⁹⁷ McPherson, G.E., James, R., Simpson, J.R., Scott, K.I. (2001) Actualizing microclimate and air quality benefits with parking lot shade ordinances, Wetter und Leben, Vol. 4, pp. 98.

⁹⁸ Akbari, H., Pomerantz, M., Taha, H. (2001) Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas, Solar energy, Vol. 70, pp. 95-310.

⁹⁹ Oliva, J.P., Courgey, S. (2006) La conception bioclimatique : des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation. Terre vivante, 240 p.



Фиг. 8. 1. Разполагане на растителни пояси около сградите

Ефект спрямо ГТО

Изследователите Akbari et al. (1997¹⁰⁰) в продължение на няколко месеца през лятото проучват максималната повърхностна температура на стени и покриви на две съседни сгради, разположени в щата Калифорния, САЩ. Едната от сградите е засенчена с растителност, разположена във формата на пояс около сградата, а другата няма изградена подобна зелена инфраструктура. Максималната измерена разлика между повърхностна температура на двете сгради варира от 11°C до 25°C в рамките на изследвания период.

➤ Зелени покриви

Зелените покриви са иновативен елемент на зелената инфраструктура в урбанизираните територии, който все по-често се използва и като мярка срещу ефекта на ГТО. Те намаляват количеството топлина, пренасяна от покрива във вътрешността на сградата в резултат на изпаряване, както и чрез засенчването, което се създава от растенията. Те също така охлаждат външния околна въздух (McPherson, 1994¹⁰¹), като:

- спомагат за повишаване на топлоизолацията през зимата, както и през лятото, поради други фактори, които спомагат за охлаждането на въздуха вътре в сградата, като топлинната инерция на растителното покритие и вода в почвата или растежната среда;

¹⁰⁰ Akbari, H., Kurn, D., Bretz, S., Hanford, J. (1997) Peak power and cooling energy savings of shade trees, Energy and Buildings, Vol. 25, pp. 139-148.

¹⁰¹ McPherson, E.G. (1994) Cooling urban heat islands with sustainable landscapes. In: The ecological city: preserving and restoring urban biodiversity, Rowntree, R.A., Platt, R.H., Muick, P.C., The University of Massachusetts Press, Amherst, pp. 151-171.

- допринасят за естетичната интеграция на сградите в ландшафта;
- предоставят възможности за градско земеделие;
- спомагат за подобряване на качеството на въздуха; растенията на зелени покриви улавят прах и различни атмосферни замърсители;
- способстват за подобряване на качеството на водата, тъй като растителността на покрива компенсира непромокаемостта и загубата на растителна покривка, причинена от отпечатъка на сградата;
- спомагат за удължаване на живота на покрива, поради факта, че зелените покриви осигуряват защита от лошо време, излагане на UV радиация и температурни колебания и от други фактори на средата, които причиняват деградация на покрива (Déoux, 2004¹⁰²; NRC, 2002¹⁰³; Oberndorfer et al., 2007¹⁰⁴).

Зелените покриви са решение, което е подходящо главно за плоски покриви или покриви с наклон 20% или по-малък (Déoux, 2004¹⁰⁵), въпреки че могат да бъдат преоборудвани на всеки тип покрив, при условие че техните конструкции могат да поддържат теглото. В някои случаи инсталирането на зелен покрив може да изисква големи ремонти (Fischetti, 2008¹⁰⁶). Освен това зелените покриви са по-евтини за инсталиране в случай на ново строителство (Lawlor и Canada Mortgage and Housing Corporation, 2006¹⁰⁷).

Стандартният зелен покрив се състои от няколко компонента, включително носеща конструкция, слой от изолация (ако покривът не е вентилиран), водоустойчив слой, мембрана за защита на корените, дренажна и филтрационна секция, геотекстилна мембрана за задържане на почвата „растяща“ среда и вегетационен слой или „растящ“ среден слой (фиг. 8.3.).

¹⁰² Déoux, S., Déoux, P. (2004) Guide de l'Habitat Sain. Medieco Editions, 537 p.

¹⁰³ Conseil national de recherches du Canada (CNRC) (2002) Le gouvernement du Canada annonce que la multiplication des toitures-jardins réduirait grandement les gaz à effet de serre et améliorerait la qualité de l'air, Communiqués de presse, 9 octobre 2002, Ottawa. Accessible au : <http://www.reno.nrc-cnrc.gc.ca/fra/actualites/cnrc/2002/10/09/toituresjardins>. html. Consulté le 11 février 2009.

¹⁰⁴ Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R.R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K.K.Y., Rowe, B. (2007) Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions and services, BioScience, Vol. 57, No. 10, pp. 823-833.

¹⁰⁵ Вж. 98

¹⁰⁶ Fischetti, M. (2008) Green roofs, living cover, Scientific American, Vol. 298, pp. 104-105.

¹⁰⁷ Lawlor, G., Société canadienne d'hypothèques et de logement (2006) Toits verts : manuel de ressources destiné aux décideurs municipaux. Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), Ottawa, 146 p.



Фиг. 8. 2. Примерна структура на зелен покрив¹⁰⁸

Растителният слой се използва, ако се желае засенчен или затревен вид, докато растящият среден слой дава възможност да се засаждат растения, устойчиви към климатичните промени и не изискващи сериозни грижи, като например тлъстиката (Miller, 2009¹⁰⁹; Lalonde, 2009¹¹⁰). Фигура 8.4. дава примери за различни типове зелени покриви:



Фиг. 8. 3. Примери за различни типове зелени покриви

¹⁰⁸ <https://www.epa.gov/heat-islands/using-green-roofs-reduce-heat-islands>

¹⁰⁹ Miller, R. (2009) Spécialiste horticole. Conférence sur les toitures végétales lors du Salon toits verts et jardins de ville. Entretien téléphonique le 9 avril 2009.

¹¹⁰ Lalonde, G. (2009) Directeur technique, Association des Maîtres Couvreur du Québec (AMCQ). Entretien téléphonique le 13 mai 2009.

Ефектът от зелените покриви личи от фиг. 8.5.



Фиг. 8.5. Пример за температурни разлики от около 40°C при конвенционален и зелен покрив¹¹¹

Като цяло са възможни две решения за зелен покрив - **екстензивно** (лека конструкция) и **интензивно** (тежка конструкция, позволяваща по сложна и мултикомпонентна растителна среда). В таблицата по-долу е представено сравнение между двата вида зелени покриви:

Табл. 8. 1. Сравнение между екстензивен и интензивен тип зелени покриви¹¹²

Характеристика	Тип зелен покрив	
	Екстензивен	Интензивен
Тегло	Лек- обикновено 30-100 кг/кв.м	Тежък-обикновено 120-350 кг/кв.м
Цена за изграждане и експлоатация	Ниска 150-250 лв/кв.м	Висока- 1500-2500 лв/кв.м
Предназначение	Преди всичко екологично, включително за постигане на охлаждащ ефект	Екологично и рекреационно- позволява изпълнението на допълнителни функции, включително за отдых и рекреация
Тип на средата за развитие/растеж	Лека, пориозна, лека органична материя	Лека до тежка, пориозна, различни органични материи
Дебелина	2 до 20 см	30+ см
Тип растителност	Растителност, издръжлива на тежки климатични условия (например тлъстига)	Без ограничения, включително дървесна растителност
Поддръжка	Ограничена, евтина	Значителна, изисква разходи подобни на

¹¹¹ U.S. Environmental Protection Agency. 2008. "Heat Island Reduction Activities." In: Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Draft. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.

¹¹² Lawlor and Canada Mortgage and Housing Corporation, 2006; Boucher, 2006; Laplace, 2009; Oberndorfer et al., 2007

		конвенционалните зелени площи
--	--	----------------------------------

Ефект спрямо ГТО

От всички видове покривни покрития, зелените покриви осигуряват най-големите предимства по отношение на охлаждането. В слънчев ден, 26 ° C, тъмният покрив може да достигне температура до 80°C, бял покрив, 45°C а зелен покрив не надвишава 29°C (Fischetti, 2008¹¹³; Liu and Bass, 2005¹¹⁴). Няколко проучвания са изследвали ефективността на охлаждане на зелените покриви. В Чикаго зелен покрив, развит като интензивна конструкция, инсталиран върху кметството, има средна годишна температура, която е със 7°C по-ниска от околните конвенционални покриви, а разликата може да достигне повече от 30°C през най-горещите периоди на лятото (Daley, 2008).

В Отава, група изследователи Лиу и др. (2002 г.)¹¹⁵ стигнат до подобни изводи на базата на целеви експеримент: единичен покрив е разделен на две еднакви по размер части. Едната му половина е покрита с растителност, а другата половина с конвенционално асфалтово покритие. Средната разлика в температурата на повърхността през лятото се колебае около 45°C.

➤ Зелени стени

Зелените стени са вертикални зелени системи, които създава микроклимат, който значително понижава температурата на сградната обвивка и подобрява нейната енергийна ефективност (Kingsbury and Dunnett, 2008¹¹⁶). Тези стени спомагат за намаляване на големите температурни разлики чрез увеличаване на топлинната маса на сградата (Jour de la Terre Québec, 2008¹¹⁷), като имат и други предимства, като защита на сградната обвивка от UV радиация, улавяне на суспендирани частици и защита на стените от графити. В технологично отношение те могат да бъдат инсталирани на всички видове сгради и дори върху огради, електрически стълбове и други елементи на градската инфраструктура. Трябва обаче да се вземат предпазни мерки по отношение на състоянието на структурата-приемник, която трябва да може да поддържа теглото на растителността, както и да се осигурят съответните условия за поддържане на виталността на използваната растителност (Kingsbury and Dunnett, 2008¹¹⁸). Има два вида зелени стени (Фиг. 8.6.):

- Първият вид е т.нар. зелена фасада, представляваща стена, покрита с пълзящи растения, засадени в земята и които могат да се изкачат до 30 м. На земята е

¹¹³ Fischetti, M. (2008) Green roofs, living cover, Scientific American, Vol. 298, pp. 104-105.

¹¹⁴ Liu, K., Bass, B. (2005) Performance of green roof systems. National Research Council Canada, Ottawa, 18 p.

¹¹⁵ Liu, K.K.Y. (2002) Energy efficiency and environmental benefits of rooftop gardens. National Research Council Canada, Ottawa, 12 p.

¹¹⁶ Kingsbury, N., Dunnett, N. (2008) Planting green roofs and living walls. 2nd Ed., Timber Press, 336 p.

¹¹⁷ Jour de la Terre Québec (2008) Fiche technique du mur végétal de l'espace fraîcheur. 2 p. Accessible au : http://www.jourdelaterre.org/DATA/ARTICLE/208_132.pdf. Consulté le 13 décembre 2008.

¹¹⁸ Бж.109

необходимо минимално пространство (от 15 см х 15 см), за да се засадят растенията. Някои растения могат да растат директно върху лицето на стената или да бъдат позиционирани върху метална носеща конструкция;

- Вторият вид е живата стена, която е съставена от растения, вкоренени в среда, прикрепена към стената. Тази инсталация е по-сложна и изисква специални непромокаеми мембрани, за да се предотврати увреждане на стенната конструкция (Kingsbury and Dunnett, 2008¹¹⁹).



Фиг. 8. 6. Зелени фасади

Ефект спрямо ГТО

Максималната температура на зелените стени, която се отчита в умерено континентални климатични условия не надвишава 30°C, докато конвенционалните стени могат да достигнат температура от и над 60°C в зависимост от вида на покритието (Kingsbury and Dunnett, 2008¹²⁰).

Sandifer и Givoni (2002)¹²¹ са изследвали охлаждащия ефект на пълзящия бръшлян по стената. Те наблюдават понижение на температурата до 20°C в сравнение пряко изложена на слънчево греене стена.

Б. Градска структура и инфраструктура

Б1. Сгради

Сградите са основен компонент на градската среда, който сериозно влияе върху особеностите на градския климат и ефекта на ГТО. Смекчаването на неговият ефект и

¹¹⁹ Пак там

¹²⁰ Пак там

¹²¹ Sandifer, S., Givoni, B. (2002) Thermal effects of vines on wall temperatures, comparing laboratory and field collected data. Proceedings of the annual conference of the American Solar Energy Society, Reno, NV., June 15-20, 6 p.

интензитет чрез сградния фонд може да се постигне чрез различни технически решения, по съществени от които са:

➤ **Използване на силно-отражателни материали**

Колкото по-висока е отразяващата способност (алbedo) и излъчваемостта на даден материал, толкова по-малка е вероятността той да съхранява топлина и да я излъчва обратно в атмосферата или в сградата през стените и покрива (Paroli and Gallagher, 2008¹²²; Synnefa, 2007¹²³). Отражателната способност (алbedo) на дадена повърхност определя способността ѝ да отразява слънчевата радиация обикновено се представя в скала от 0 до 1. Високото алbedo, например 0.70, означава, че повърхността отразява голямо количество слънчева радиация. Емисионният коефициент параметризира свойството на материала да излъчва топлинна енергията, която акумулира в неговата структура в резултат на пряката слънчева радиация върху неговата повърхност. Емисионният коефициент на материала е функция от състоянието на повърхността. Този коефициент се изразява и със стойност между 0 и 1 (табл. 8.2.).

Табл. 8. 2. Алbedo и коефициенти на излъчване на различни материали

Материал	Емисионен коефициент	Алbedo
Полиран алуминий	0.1	0.9
Бетон	0.9	0.2
Тъмно дърво	0.95	0.15
Червени тухли	0.9	0.3
Мед	0.4	0.4
Бял мрамор	0.9	0.6
Бяла фасадна боя	0.9	0.8
Гипс	0.9	0.9

Ефект спрямо ГТО

Тъмното покривно покритие (с ниско алbedo) може да достигне температура с 50°C по-висока от температурата на околния въздух, докато според Akbari et al. (2001)¹²⁴, покривът с висока височина на дъното достига максимална температура с 10°C по-висока от температурата на околния въздух. Тази повърхност може значително да допринесе за намаляване на изискванията за климатизация (ENERGY STAR, 2009¹²⁵).

¹²² Paroli, R.M., Gallagher, J. (2008) Les toits verts, les toits blancs et les toits haute performance : distinguer les faits de la fiction, Canadian Property Management : B.C./Alberta Edition, Vol. 16, No. 1, pp. 1-4.

¹²³ Synnefa, A., Santamouris, M., Apostolakis, K. (2007) On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment, Solar Energy, Vol. 81, No. 4, pp. 488-497.

¹²⁴ Akbari, H., Pomerantz, M., Taha, H. (2001) Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas, Solar energy, Vol. 70, pp. 95-310.

¹²⁵ Ressources naturelles Canada (2009) Guide d'achat ENERGY STAR. Accessible au : <http://oee.nrcan.gc.ca/publications/equipement/m27-01-2227f.cfm?attr=12>. Consulté le 1er avril 2009.

Американските проучвания показват, че разходите за климатизация могат да бъдат намалени с 13% до 40% при използването на строителни материали с по-висока отражателна способност (Konopacki et al., 1998)¹²⁶.

Проучване в Калифорния установи, че добавянето на силно отражателни цветни пигменти при производството на покривни покрития може да намали разходите за климатизация с 10%, а ефекта на покрива върху околната температура да се изразява в намаление от 1°C до 1,5°C (Akbari и Miller, 2006)¹²⁷.

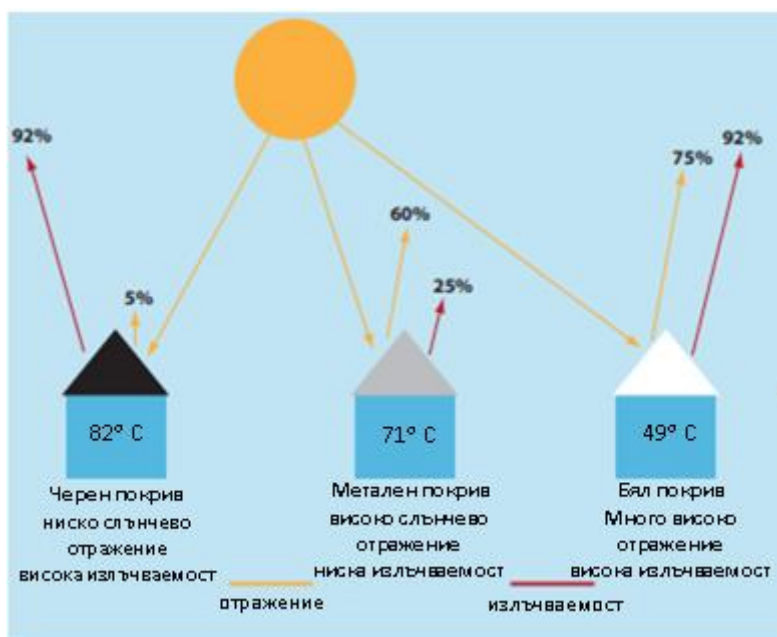
➤ „Охладени“ покривни конструкции

Това е технология за разработване на покривни конструкции от материали и покрития, които в значителна степен отразяват слънчевата светлина и редуцират излъчването на топлина от сградите. Подобна конструкция отчетливо снижава нагряването на покривите, увеличава комфорта на обитателите и понижава потреблението на енергия. Покривните продукти са изработени от силно отразяващи и излъчващи материали, които могат да останат приблизително от 28 до 33°C¹²⁸ по-хладни от традиционните материали през най-горещите летни периоди. Това включва както покривни плоскости, чийто охлаждащ ефект е резултат от стратифицирането и характеристиките на специализираните материали на неговия пълнеж, така и използване на отражателната способност на светли пигменти в състава на покривни бои и фасадни материали (фиг. 8.7.). Подобни покривни продукти са доказали своята полезност в практиката и се прилагат повече от 20 години.

¹²⁶ Konopacki, S., Gartland, L., Akbari, H., Rainer, I. (1998) Demonstration of energy savings of cool roofs. Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, LBNL-40673.

¹²⁷ Akbari, H., Miller, W. (2006) Cool-color roofing material: pier final project report. California Energy Commission, Berkeley, CA., 61 p.

¹²⁸ U.S. Environmental Protection Agency. 2008. "Cool Roofs." In: Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Available at: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>



Фиг. 8. 7. Пример за комбиниран ефект на слънчевото отражение и топлинното излъчване върху температурата на повърхността на покрива¹²⁹

В горещ слънчев ден черният покрив отразява 5 % от енергията на слънцето и излъчва повече от 90 % от топлината, която поглъща, температурата може да достигне до 82°C. Металният покрив ще отразява по-голямата част от енергията на слънцето, като освобождава около 1/4 от топлината, която поглъща и може да се загрее до 71°C. Хладният покрив ще отразява и излъчва по-голямата част от слънчевата енергия и ще достигне максимална температура от 49°C.

Факт е, че „охладените“ покриви могат да имат потенциално неблагоприятно влияние през зимния период (табл. 8.3.), когато възпрепятстват акумулирането на слънчева енергия и затоплянето на сградата. Независимо от това практическите ползи от приложението им в урбанизирани територии с висока интензивност на застрояване надвишават възможните негативи. В допълнение – те са най-подходящи за проекти с ограничени бюджети и с основен акцент върху икономията на енергия.

Табл. 8. 3. Анализ разходи/ползи в подкрепа на технологията „охладени покриви“ като стратегическо решение за потискане на ефекта на ГТО

Ползи	Разходи
Редуциране на общата консумация на енергия	Годишно увеличение на отоплителната електроенергия и / или газ
Годишно намаляване на потреблението на електроенергия за охлаждане и ограничено потребление в пикови часове	Предпроектно проучване на конкретните условия – обща площ на покривната конструкция и подбор на подходящ за географския локалитет материал
Подобряване на човешкото здраве и комфорт	Закупуване и инсталация на „охладен“ покрив
Редуциране на съдържанието на парникови газове и замърсители във въздуха	Монтаж и поддръжка на „охладен“ покрив

¹²⁹ https://www.epa.gov/sites/production/files/201705/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_4.pdf

Спестяване от намаляване на разходи за охлаждащо оборудване	
Намалени разходи за материали и труд във времето, дължащи се на удължения живот на „охладени“ покрив в сравнение с традиционния	

➤ „Охладени“ настилки

Това са настилки за тротоари, паркинги и улици, които остават по-хладни от конвенционалните настилки чрез отразяване на повече слънчева енергия и засилване на изпарението на вода. Постигането на този ефект се постига чрез използване на настилки, притежаващи качествата светлоотражателност и пропускливост. Наред с охлаждането на повърхността и на прилежащия приземен въздух, те спомагат за подобряването на видимостта през нощта (във връзка с използването на светли пигменти в настилките с по-висока отражателна способност) и за снижаването на загубата на дъждовната вода при повърхностно оттичане – този резултат се свързва с ограничаване на количествата повърхностни води, постъпващи в канализацията и насочването им към почвената покривка за поддържане на естествения влагооборот и резултатно редуциране на температурните амплитуди. Други производни ползи са представени в Табл. 8.4.¹³⁰

Конвенционалните настилки могат да достигнат пикови стойности на нагряване от 48-67 °C през лятото и по този начин да генерират повишено отдаване на топлина към приземния въздух. Поради голямото плочно покритие на запечатаните терени в градовете (30-45% от покритието¹³¹) те са приемани за важен фактор, който следва да фокусира вниманието в стратегиите и програмите, насочени към потискане възникването на ГТО. По същество конвенционалните настилки могат да придобият качествата на „охладени“ настилки посредством нововъведение в съществуващите технологии – главно чрез включването на примеси и светли пигменти с висок коефициент на алbedo в строителните материали. В практиката с успех се използват и проницаеми покрития, каквито са популярните паркинг-елементи.

Табл. 8.4. Анализ разходи/ползи в подкрепа на технологията „охладени настилки“ като стратегическо решение за потискане на ефекта на ГТО

Ползи	Разходи
Редуциране на температурните амплитуди	Предпроектно проучване на конкретните условия – обща площ на настилната и подбор на подходящ за географския локалитет материал – светлоотражателен или водопроницаем
Редуциране на съдържанието на парникови газове и замърсители във въздуха	Закупуване и инсталация на охлаждащите повърхности

¹³⁰ U.S. Environmental Protection Agency. 2012. "Cool Pavements." In: Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Draft. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>

¹³¹ Пак там

Намалени разходи за материали и труд във времето, дължащи се на удължения живот на „охладените“ настилки в сравнение с традиционните	Поддръжка и разходи за амортизация - замърсяване и износване на повърхността поради ежедневния трафик
Подобряване на човешкото здраве и комфорт	
Редуциране на загубите на дъждовни води в повърхностен отток – пропускливите настилки позволяват на дъждовната вода да се просмуква в настилка и почвата като намалява повърхностния отток	
Подобряване на качеството на водите – филтриране на замърсителите от почвата и тревите (в пропускливите настилки)	
Понижаване на температурата на водите и ограничаване на топлинното замърсяване в прилежащите водни течения, приемащи оттичащите се от настилките води	
Намаляване на нивата на шум от гуми с 2 до 8 децибела, както и ограничаване на общите нива на шум под 75 децибела	
Пропускливите материали увеличават сцеплението на гумите с настилка като редуцират наличието на води върху повърхността	
По-добра видимост през нощта: Светоотразителните настилки могат да подобрят видимостта през нощта, потенциално да намалят изискванията за осветление и да спестят както пари, така и енергия	

Технологиите за охлаждане на градските настилки не са толкова напреднали, колкото другите стратегии за смекчаване на ГТО. За разлика от „охладените“ покривни конструкции, тук се отчита нагряване, протичащо под влиянието едновременно на слънчева радиация и на топлинно излъчване от земната повърхност. Допълнително усложняващо обстоятелство е, че градските настилки се използват с разнообразни функции (улицы, тротоари, паркинги, площади) и съответно – поемат различна степен на трафик и натоварване на подстилащите материали. Именно на това основание сравняването на разходите за „охладени“ – светоотразяващи и водопроницаеми настилки, с тези на конвенционалните настилки е трудно. Цената на всеки конкретен случай на приложение варира в зависимост от географските условия, избраните материали, достъпността на обекта, размера на проекта, очаквания трафик и търсената продължителност на експлоатация на обекта.

Усилено се работи в подкрепа на създаването на стандарти за подобни материали, осигуряващи бърза адаптация на промените в градския климат.

Ефект спрямо ГТО

Изследване на групата Heat Island изчислява, че преминаването към високоалбедни настилки в комбинация със стратегия за екологизиране може да намали температурата на околната среда в град Лос Анджелис с 0,6°C (Rosenfeld et al., 1998¹³²). Според сравнително проучване на състоянието на тротоарите в няколко американски града топлината на града оказва пряко влияние върху скоростта на влошаване на асфалтовите съединения. Следователно изглежда, че по-леките настилки имат по-дълъг живот (Pomerantz, 1999)¹³³.

➤ Комплексни и интегрирани решения

Под това наименование се обединяват интегрирани решения и практики, насочени към опазване на природните елементи в урбанизирана среда, където търсения екологичен ефект не е самоцелен, а ориентиран в подкрепа на благоприятна социална среда и устойчивост на икономическите функции на града, т.е. към увеличаване на жизнеспособността на цялата градска система. В контекста на анализирания тематика (ГТО), интегрираните решения могат да се разглеждат като система от практически стъпки, насочени към оптимизиране на градския дизайн – структура, конфигурация, функционално зониране и специализация, техническа инфраструктура, плътност на застрояване, проективно покритие на запечатани територии и други, чрез разнообразяване на естествените елементи (зелена инфраструктура) и активизиране на благоприятни за условията на града природни баланси и динамика на естествени природни процеси (циркулация на въздух и води, биопродуциране). Търсеният ефект е адаптация към екстремни явления, смекчаване на производния им негативен ефект върху здравето на хората и функциите на града и възпрепятстване на условията за възникването на подобни нежелани явления и процеси.

Интегрираното развитие следва да се разбира като обща рамка за развитието на града, в която разрешаването на проблемите следва да е резултат на съгласувани усилия и синергия на политики, стратегии и планове за действие – предпоставки за ефективна и устойчива мултифункционална градска структура.

В практиката¹³⁴ са се наложили десет основни принципа, които спомагат за постигането на устойчив интелигентен растеж в рамките на урбанизираните територии:

- Мултифункционалност на градската среда – напр. използването на терените едновременно за жилищни, търговски и рекреационни цели;
- Компактен дизайн на сградите;

¹³² Rosenfeld, A.H., Romm, J.J., Akbari, H., Pomerantz, M. (1998) Cool communities: strategies for heat islands mitigation and smog reduction, Energy and Buildings, Vol. 28, pp. 51-62.

¹³³ Pomerantz, M. (1999) Benefits of cooler pavements. Heat Island Group. Accessible au: <http://eetd.lbl.gov/HeatIsland/Pavements/Overview/>. Consulté le 17 novembre 200

¹³⁴ Smart Growth Network <https://www.epa.gov/smartgrowth/smart-growth-network>

- Създаване на разнообразие от жилищни условия и предоставяне на правото на избор на жилище;
- Създаване на повече пешеходни пространства в обхвата на жилищните квартали, както и на пешеходен достъп между кварталите;
- Поощряване на чувството за принадлежност на жителите към населеното място чрез целенасочени действия за подкрепа на отличителните черти на града, вкл. неповторимост/уникалност на територията в географски контекст;
- Съхраняване в общата структура на града и на прилежащите ландшафти на естествени открити пространства, обработваеми земи, обекти на природното наследство или застрашени в екологично отношение обекти;
- Насочване на развитието на града изцяло към и в подкрепа на развитието на местните общности;
- Осигуряване на разнообразен транспорт;
- Прилагане на практически решения за развитието на града, които са прозрачни и контролируеми, справедливи и финансово оправдани;
- Насърчаване на взаимодействията и сътрудничеството между местните общности и заинтересованите страни при формулирането и изпълнението на практически мерки за развитието на града.

Стратегиите за противодействие на ефекта на ГТО по същество отговарят на тези принципи постановки – така например, увеличаването на парковите пространства и увеличаването на покритието с растителност създава предпоставки за мултифункционално използване на териториите, където рекреационните услуги се съчетават с благоприятен ефект по редуциране на екстремните екологични явления и стимулиране на енергийната ефективност.

Мотивацията на местните общности и на заинтересованите лица от местния бизнес са безспорно и необходимо условие за ефективното прилагане на практическите мерки за адаптация към ГТО. Успехът на подобни инициативи насърчава чувството за общност и принадлежност.

Сравнителният анализ¹³⁵ (табл. 8.5.) на коментираните дотук стратегии, технологии и добри практики ни дава основание да посочим, че от гледна точка на функционалните характеристики на град София, структурните ѝ особености (размери, площи, форма, застрояване) и значими демографски показатели (в условията на свръхконцентрация на население), адаптационната политика на града по отношение противодействията на ГТО може бързо, ефективно и с разумен разход на средства успешно да се възползва от предимствата на вариантите „зелена инфраструктура“, „охладени покриви“ и „охладени настилки“.

¹³⁵ U.S. Environmental Protection Agency. 2008. "Green Roofs." In: Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Available at: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>

Табл. 8. 5. Сравнителен анализ на стратегии и технологии за смекчаване на ефекта от ГТО

Ползи	Стратегии и технологии за смекчаване на ефекта от ГТО			
	Растителност	Зелени покриви	Охладени покриви	Охладени настилки
Подобряване на качеството на въздуха	✓	✓	✓	✓
Ефективно енергопотребление	✓	✓	✓	✓
Редуциране на емисии на парникови газове	✓	✓	✓	✓
Подобрена видимост през нощта				✓
Управление на дъждовните води	✓	✓		
Редукция на шума от гуми				✓
Подобрено качество на водите	✓	✓		
Човешко здраве и комфорт	✓	✓	✓	✓
Качество на живот	✓	✓		
Сигурност				✓

Анализът на географските и екологични условия в Софийската котловина ни дават допълнителни основания за подобно допускане. От гледна точка на адаптацията към екстремни климатични явления и конкретно – ГТО, можем да отчетем като:

- **БЛАГОПРИЯТНИ** предпоставки за ефективното реализиране на смекчаващи мерки в град София: съхранена естествена широколистна растителност и добър опит в парковото устройство; обилие на водни обекти - естествени речни артерии, минерални извори, карстови води; относително добра проветривост в направление СЗ-ЮИ (за котловината), както и в направление Ю-С за терените, прилежащи на Витоша и Люлин; непосредствена териториална близост до естествени ландшафти, вкл. защитени обекти;
- Като **НЕБЛАГОПРИЯТНИ** предпоставки бихме отчели: континенталният режим на климата в условията на относително висока надморска височина и котловинен характер на релефа – предпоставки за високи температурни амплитуди, екстремни температури, инверсии, летни засушавания; силно антропогенизиран характер на прилежащите ландшафти с редуцирана естествена растителност в рамките на полето

На същите основания намираме „зелените покриви“ за финансово скъп вариант и необоснован от гледна точка на географски хидро-климатични условия. Независимо от това препоръчваме на Софийска община организирането на експериментални площадки с експертизата на изследователските звена на институциите на СУ „Св. Климент Охридски“ и УАСГ.

В обобщение - предложените по-долу мерки са съобразени с функциите на град София и водещите характеристики на съвременната градска пространствена структура и с присъщите за Софийската котловина географски и ландшафтно екологични условия.

След разширен преглед на ефективни стратегически решения за смекчаване на влиянието на ГТО в света, в Европа¹³⁶ и на добри практики¹³⁷, доказани в условията на европейски градове¹³⁸, съизмерими по географски предпоставки и функционалност с град София, вкл. текущи инициативи¹³⁹, за целите на настоящия проект са формулирани следните предложения:

Предлагаме на местните власти на град София да се ориентират към два **ОСНОВНИ СТРАТЕГИЧЕСКИ ПОДХОДА** за противодействие на ефекта на ГТО:

1. Използването на предимствата на новите технологии - Ориентация към въвеждането на доказали ефективността си иновативни покривни конструкции, фасадни материали, светлоотражателни и пропускливи настилки, които ефективно контролират топлообмена и подпомагат охлаждането на земната повърхност и сградните повърхности

2. Ефективно използване на естествени природни механизми и процеси (природно-базирани решения, екосистемни услуги) - процеси на охлаждане чрез поддържане и стимулиране на циркулацията на води, въздух, евапотранспирация, биологично дишане. Това се изразява основно в действия по поддържане на наличната зелена инфраструктура и допълнително:

- прецизиране на нейните композиция и конфигурация, вкл. увеличаване на степента на свързаност;
- обогатяване с нови елементи (зелени фасади, покривни градини, озеленяване на тераси в обществени и офис сгради);
- съгласуване на пропорциите на зелената и на синята инфраструктура и засилване на ролята на наличните водни тела - площи (изкуствени водни огледала), линейни (реки) и точкови обекти (извори, каптажи) чрез целенасочени мерки по поддържането им в добро екологично състояние.

¹³⁶ European Commission (Directorate for Climate Action and Resource Efficiency) Climate Action, Environment, Resource Efficiency and Raw Materials
<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/climate-action-environment-resource-efficiency-and-raw-materials>

¹³⁷ European Investment Bank - Urban climate adaptation. Part of the series "Climate Solutions"
<https://www.eib.org/en/essays/urban-climate-adaptation>

¹³⁸ Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on 'Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities'. European Union, 2015. ISBN 978-92-79-46051-7. doi: 10.2777/765301. Available at:
<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/towards-eu-research-and-innovation-policy-agenda-nature-based-solutions-re-naturing-cities>

¹³⁹ Програма за междурегионално сътрудничество на Европейския Съюз „УРБАКТ“ <https://urbact.eu/urbact-in-bulgaria>

От гледна точка на търсения устойчив резултат предлаганите тук **МЕРКИ** могат да бъдат групирани както следва:

АДАПТАЦИЯ КЪМ ЕФЕКТА

Тази група мерки са насочени основно към административната подготовка - добра стратегия, инициативност в посока актуализиране на необходимата нормативна база, както и особено важните мерки за повишаване на осведомеността на населението, готовността му за реакция и мотивацията му. Тя включва:

- **Административна готовност:** формиране на стратегия, преглед на актуалността на наличната документална база, синхронизиране на дейности и проекти, инициране разработването на необходимите програми, мониторинг на данни и планове за реакция;
- Организиране на целенасочени **разяснителни кампании**, отпечатване и разпространение на информационни брошури и материали, вкл. чрез водещи информационни платформи на Общината, с указания за реакция в случай на трайно задържане на екстремно високи температури - насочени към уязвимите групи население като деца, възрастни и хронично болни;
- Включване на информация за ефекта на „топлинния градски остров“ и за необходимата подготовка за адаптация в **образователните системи** на всички нива;
- Стимулиране на кампании сред населението за съпричастност и **доброволно участие** в грижата, поддържането и увеличаването на общата площ на елементите на **зелената инфраструктура** на града (особено в жилищни зони с преобладаващо високостажно застрояване) и в крайградските пространства;
- Стимулиране на кампании сред населението за **ограничаване разходването и замърсяването на пресните, вкл. минерални води**, в пределите на града и крайградските територии;
- Ефективно работеща система за **ранно предупреждение** за задържане на екстремно високи температури;
- При налични условия – система за **гъвкаво пренасочване** на транспортен трафик за избягване на засегнати от ГТО райони.

СМЕКЧАВАНЕ НА ЕФЕКТА

Тази група мерки са насочени към използване на наличните благоприятни природни фактори на средата в град София за редуциране и пространствено ограничаване на ефекта на ГТО. Под „благоприятни фактори“ следва да се вземат предвид както зелената (вкл. синята) инфраструктура на града, така и предпоставки, произтичащи от изкуствените елементи в пространствената структура на града (структурни характеристики на сивата инфраструктура) – проветривост и коридорни ветрове, засенчване от по-високи сгради, локални отклонения в стойностите на валежите, контакт с естествени крайградски пространства и др.

Тук се изискват интегрирани мерки, пряко насочени към опазване и поддържане на зелената инфраструктура на градския ландшафт и на обществените ползи (екосистемните услуги), които тя осигурява, а именно:

- Контрол върху **здравословното състояние на растителността** в зелената система на града за гарантиране на дълготрайния ѝ ефект за регулацията на климата на локално ниво чрез евапотранспирация и филтрация на замърсители;
- Увеличаване на степента на **свързаност на елементите на зелената инфраструктура**, вкл. с естествените елементи в прилежащите на града аграрни ландшафти и с оконтуряващите Софийската котловина планински ландшафти – за увеличаване на площния обхват на позитивното ѝ влияние върху температурата на въздуха и редуциране на съдържанието на прахови частици;
- Стимулиране разрастването на **зелените алеи** край речните течения, пресичащи града;
- Увеличаване на броя на **водните огледала**, и други паркови съоръжения, използващи оборотни води, за охлаждане на въздуха;
- Поддържане на **зелените коридори** около линейна техническа инфраструктура (напр. железопътна) за осигуряване на сянка и предотвратяване на нежелани деформации от екстремно нагряване.

ОГРАНИЧАВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ВЪЗНИКВАНЕТО МУ

Тази група мерки следва да са част от дългосрочна програма за действие.

Възможни мерки:

По отношение решения в **ГРАДСКОТО ПЛАНИРАНЕ**:

- Задаване на **критични прагове на запечатване на почвата** в районите на София, където е регистрирано явлението;
- Трайно **увеличаване** на степента на **свързаност в зелената инфраструктура** на града и подчертано внимание към елементите с линеен характер в нея, напр. осигуряване на непрекъснатост на зелените коридори от дървесна растителност, оконтуряващи трасетата на първостепенната и второстепенната улична мрежа – Мярката е насочена едновременно към:
 - ✓ Равномерно засенчване и ограничаване на възможността от структурни деформации и разрушаване на настилка под влияние на диференцирано нагряване
 - ✓ Създаване на ефекта на коридорни ветрове и условия, способстващи за естествено охлаждане на настилка
 - ✓ Мярката ще има допълнителен позитивен ефект върху намаляване на концентрациите на фини прахови частици във въздуха

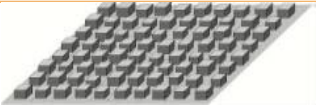
- Стимулиране поддържането на **зелени стени** в старата градска част и създаването на **озеленени фасади** в устройствени зони с обществено-обслужващи дейности, особено в близост до локалитети с интензивно ежедневно преминаване / съсредоточаване на хора;
- Стимулиране на инвестиционни предложения, включващи изграждането на **покривни градини, озеленени тераси и зелени фасади**;
- Съобразяване на предстоящи решения в планирането за увеличаване на **високата растителност около сградни пространства** – с подчертано внимание върху прилежащи терени със западна, югозападна и източна експозиция на сградите;
- Съобразяване на предстоящи решения в планирането за прецизиране на отстоянията между новостроящи се обществени и офис сгради и комплекси, насочено към формиране на нови линейни елементи в конфигурацията на застояванията, принудително **провокиране на коридорни въздушни течения**, увеличаване на проветривостта и охлаждане на земната повърхност;
- Предприемане на процедурни постъпки в посока завишаване на изискуемия **минимален процент на зелените елементи в нормативните изисквания** за устройство на територията на Столична община - ново строителство в производствени устройствени зони и обекти от техническата инфраструктура (с подчертано внимание върху терените в София, където са налице условия за трайно формиране на ГТО.

По отношение **СТРОИТЕЛНИ** решения – разработване на целенасочени изисквания в посока на:

- При организацията на **паркинг зони** - Използване на пропускливи настилки, поддържаща топло, водо и въздухообмен с подземната част на ландшафта, както и наличието на тревна растителност с допълнителен охлаждащ ефект;
- При обновяване и поддържане на **пътната мрежа** - Използване на материали за улични настилки с подходяща светла пигментация за стимулиране на отражателната способност на покритието (албедо);
- Стимулиране използването на **вентилируеми фасади** за регулиране на топлообмена на сградите. Прецизиране/редуциране използването на емитиращи панели или фасадни конструкции на обществени и офис сгради и комплекси, които увеличават интензивността на нагряването в хоризонтална плоскост (между сградите) и водят до прегряването на въздушните приземни пластове;
- Използване на специализирани материали - **функционални фасадни мазилки**, частично отразяващи слънчево лъчение и оставящи фасадата на сградата по-студена, отколкото би била при използване на конвенционално покритие – мярката е приложима при еднофамилно строителство и особено в старата градска част на София;
- Използване на **покривни конструкции** с високо албедо и позволяващи бързо топлоотдаване през студената част от денонощието, напр. изолационни **сандвич**

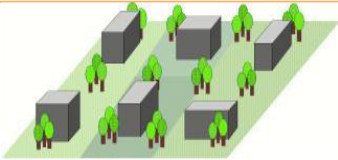
панели (или други строителни материали със сходни характеристики) за изграждане на съвременни метални сгради – складове, магазини, халета, промишлени, селскостопански и други с обслужващи функции.

Табл. 8. 6. Локални климатични зони, обособени на територията на гр. София и възможни мерки за смекчаване на ефекта ГТО и противодействие

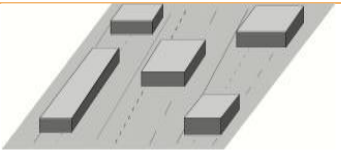
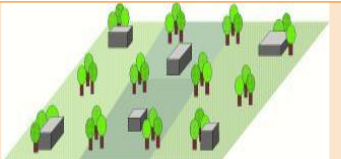
Локални климатични зони ¹⁴⁰	Предпоставки за екстремно нагряване на повърхността ¹⁴¹	Възможни мерки за смекчаване на ефекта и противодействие
 3. Компактно ниско застрояване	✓ Нисък процент на растителност ✓ Висока плътност на застрояване ✓ Безструктурно (хаотично) застрояване ✓ Тип настилка на транспортната мрежа ✓ Материал на покривните конструкции	➤ Създаване на предпоставки за засаждане на дървесна растителност ➤ Формиране на нови линейни елементи в конфигурацията на застояванията, принудително провокиране на коридорни въздушни течения ➤ „Охладени“ настилки - Използване на материали за улични настилки с подходяща светла пигментация ➤ Стимулиране използването в строителството (строеж и реновиране) на вентилируеми фасади и светлоотражателни фасадни покрития ➤ „Охладени“ покриви - Използване на покривни материали и конструкции с високо алbedo и позволяващи бързо топлоотдаване през студената част от денонощието ➤ Създаване и поддържане на зелени коридори около линейна транспортна инфраструктура
 4. Високо застрояване с отворени пространства	✓ Многобройни повърхнини на нагряване (фасади, калкани, равни покриви, кантони, площадки, улична мрежа) ✓ Тип на материалите, изграждащи инфраструктурата и сградния фонд ✓ Отстояние между сградите, поддържащо емитирането на	➤ Стимулиране използването в строителството (строеж и реновиране) на вентилируеми фасади и светлоотражателни фасадни покрития ➤ При организацията на паркинг зони, оконтуряващи алеи и площадки - използване на пропускливи настилки ➤ „Охладени“ настилки - Използване на материали за улични настилки с подходяща светла пигментация

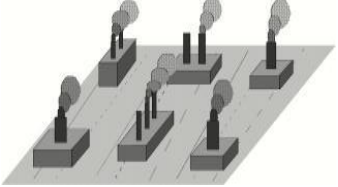
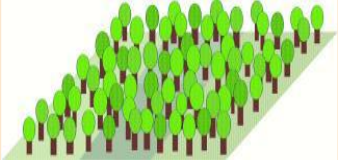
¹⁴⁰ В червен цвят са подадени локалните климатични зони с потенциална възможност от възникване на ГТО

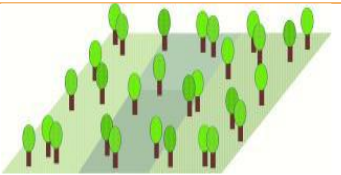
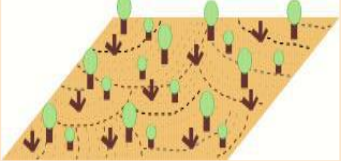
¹⁴¹ Предпоставките са подредени в низходящ ред по степента за влиянието им

		топлина между тях (по хоризонталата) ✓ Паркинг зони, пряко съседстващи многоетажни жилищни сгради ✓ Голямо проективно покритие на запечатани повърхности ✓ Цвят на материалите на фасадните конструкции (вкл. такива с търсен декоративен ефект)	➤ „Охладени“ покриви - Използване на покривни материали и конструкции с високо албедо и позволяващи бързо топлоотдаване през студената част от денонощието ➤ Съобразяване на предстоящи решения в планирането за увеличаване на високата растителност около сградни пространства – с подчертано внимание върху прилежащи терени със западна, югозападна и източна експозиция на сградите ➤ Контрол върху здравословното състояние на растителността в зелената система на града ➤ Увеличаване на степента на свързаност на елементите на зелената инфраструктура ➤ Поддържане на зелени коридори около линейна транспортна инфраструктура
	5. Средно високо застрояване с отворени пространства	✓ Тип на материалите, изграждащи инфраструктурата и сградния фонд ✓ Многобройни повърхнини на нагряване (фасади, калкани, равни покриви, кантони, площадки, улична мрежа) ✓ Голямо проективно покритие на запечатани повърхности ✓ Експозиция на открити фасади ✓ Голямо проективно покритие на покривни конструкции ✓ Паркинг зони, пряко съседстващи многоетажни жилищни сгради	➤ „Охладени“ покриви - Използване на покривни материали и конструкции с високо албедо и позволяващи бързо топлоотдаване през студената част от денонощието ➤ Стимулиране използването в строителството (строеж и реновиране) на вентилируеми фасади и светлоотражателни фасадни покрития ➤ При организацията на паркинг зони - Използване на пропускливи настилки ➤ „Охладени“ настилки - Използване на материали за улични настилки с подходяща светла пигментация ➤ Съобразяване на предстоящи решения в планирането за увеличаване на високата растителност около сградни пространства – с подчертано внимание върху прилежащи терени със западна, югозападна и източна експозиция на сградите

			➤ Стимулиране поддържането на зелени стени и създаването на озеленени фасади ➤ Контрол върху здравословното състояние на растителността в зелената система на града ➤ Увеличаване на степента на свързаност на елементите на зелената инфраструктура ➤ Поддържане на зелени коридори около линейна транспортна инфраструктура
	6. Ниско застрояване с отворени пространства	✓ Проективно покритие и тип настилки на улици и транспортни артерии ✓ Пространствена структура на улици и транспортни артерии ✓ Експозиция на открити фасади	➤ „Охладени“ настилки - Използване на материали за улични настилки с подходяща светла пигментация ➤ При организацията на паркинг зони - Използване на пропускливи настилки ➤ Стимулиране поддържането на зелени стени и създаването на озеленени фасади ➤ „Охладени“ покриви - Използване на покривни материали и конструкции с високо албедо и позволяващи бързо топлоотдаване през студената част от денонощието ➤ Съобразяване на предстоящи решения в планирането за увеличаване на високата растителност около сградни пространства – с подчертано внимание върху прилежащи терени със западна, югозападна и източна експозиция на сградите ➤ Стимулиране използването в строителството (строеж и реновиране) на вентилируеми фасади и светлоотражателни фасадни покрития ➤ Контрол върху здравословното състояние на растителността в зелената система на града ➤ Увеличаване на степента на свързаност на елементите на зелената инфраструктура ➤ Поддържане на зелени коридори около линейна транспортна инфраструктура

	8. Широко площно ниско застрояване	✓ Голямо проективно покритие на запечатани повърхности ✓ Материал на покривните конструкции ✓ Нисък процент на растителност ✓ Проективно покритие и тип настилки на улици и транспортни артерии	➤ „Охладени“ покриви - Използване на покривни материали и конструкции с високо албедо и позволяващи бързо топлоотдаване през студената част от денонощието ➤ Стимулиране използването в строителството (строеж и реновиране) на вентилируеми фасади и светлоотражателни фасадни покрития ➤ Създаване и поддържане на зелени коридори около линейна транспортна инфраструктура ➤ „Охладени“ настилки - Използване на материали за улични настилки с подходяща светла пигментация ➤ Създаване на трайни предпоставки за увеличаване на естествени елементи – разнообразни форми на озеленяване (вкл. потенциално експериментиране със зелени покриви) ➤ Съобразяване на предстоящи решения в планирането за увеличаване на високата растителност около сградни пространства – с подчертано внимание върху прилежащи терени със западна, югозападна и източна експозиция на сградите ➤ Формиране на нови линейни елементи в конфигурацията на застояванията, принудително провокиране на коридорни въздушни течения ➤ При организацията на паркинг зони - Използване на пропускливи настилки
	9 Застрояване с ниска гъстота	✓ Проективно покритие и тип настилки на улици и транспортни артерии ✓ Материал на покривните конструкции ✓ Пространствена структура на улици и транспортни артерии	➤ „Охладени“ настилки - Използване на материали за улични настилки с подходяща светла пигментация ➤ Контрол върху здравословното състояние на растителността в зелената система на града ➤ Увеличаване на степента на свързаност на елементите на зелената инфраструктура ➤ Поддържане на зелени коридори около линейна транспортна инфраструктура

			➤ Стимулиране поддържането на зелени стени и създаването на озеленени фасади
	10. Тежка промишленост	✓ Голямо проективно покритие на запечатани повърхности ✓ Обемни тела, мащабни повърхности и материали, изграждащи специализирана техническа инфраструктура (напр. коминни тела) ✓ Материал на покривните конструкции ✓ Експозиции на сградите ✓ Проективно покритие и тип настилки на транспортни артерии ✓ Нисък процент на растителност	➤ „Охладени“ покриви - Използване на покривни материали и конструкции с високо алbedo и позволяващи бързо топлоотдаване през студения част от денонощието ➤ Стимулиране използването в строителството (строеж и реновиране) на вентилируеми фасади и светлоотражателни фасадни покрития ➤ Създаване и поддържане на зелени коридори около линейна техническа инфраструктура ➤ Формиране на нови линейни елементи в конфигурацията на застояванията, принудително провокиране на коридорни въздушни течения ➤ При организацията на паркинг зони - Използване на пропускливи настилки ➤ „Охладени“ настилки - Използване на материали за улични настилки с подходяща светла пигментация ➤ Създаване на трайни предпоставки за увеличаване на естествени елементи – разнообразни форми на озеленяване (вкл. потенциално експериментиране със зелени покриви)
	А. Гъста дървовидна растителност	✓ Проективно покритие и тип настилки на алеи, улици и транспортни артерии	➤ Използване на материали за улични настилки с подходяща светла пигментация

	В. Рядка дървесна растителност	✓ Проективно покритие и тип настилки на алеи, улици и транспортни артерии ✓ Открита почвена покривка ✓ Изоставени, деградирани терени, утъпкани повърхнини	➤ „Охладени“ настилки - Използване на материали за улични настилки с подходяща светла пигментация ➤ Увеличаване присъствието на дървесна растителност и разнообразяване на настоящата структура на растителността
	С. Храстовидна растителност	✓ Открита почвена покривка ✓ Изоставени, деградирани терени, утъпкани повърхнини ✓ Проективно покритие и тип настилки на алеи, улици и транспортни артерии ✓ Отсъствие на дървесна растителност	➤ „Охладени“ настилки - Използване на материали за улични настилки с подходяща светла пигментация ➤ Увеличаване присъствието на дървесна растителност и разнообразяване на настоящата структура на растителността
	Д. Ниска растителност	✓ Отсъствие на дървесна растителност ✓ Открита почвена покривка ✓ Изоставени, деградирани терени, утъпкани повърхнини ✓ Проективно покритие и тип настилки на алеи, улици и транспортни артерии	➤ Създаване на предпоставки за засаждане на дървесна растителност и разнообразяване на настоящата структура на растителността ➤ „Охладени“ настилки - Използване на материали за улични настилки с подходяща светла пигментация
	Е. Запечатани повърхности	✓ Проективно покритие и тип настилки на транспортни артерии ✓ Емисии от транспортен трафик ✓ Голямо проективно покритие на запечатани повърхности ✓ Нисък процент на растителност	➤ „Охладени“ настилки - Използване на материали за улични настилки с подходяща светла пигментация ➤ Създаване и поддържане на зелени коридори около линейна транспортна инфраструктура ➤ Използване на покривни материали и конструкции с високо алbedo и позволяващи бързо топлоотдаване през студената част от денонощието ➤ Създаване на трайни предпоставки за увеличаване на естествени елементи – разнообразни форми на озеленяване

	G. Водни площи	✓ Изоставени, деградирали терени, утъпкани повърхнини в оконтуряващите земи ✓ Нисък процент на растителност ✓ Проективно покритие и тип настилки на транспортни артерии	➤ Създаване и поддържане на озеленяване по крайбрежията ➤ „Охладени“ настилки - Използване на материали за улични настилки с подходяща светла пигментация
---	---------------------------	---	--

