

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ЗА КОСМИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ
СЕКЦИЯ: "Аерокосмическа информация"

Адлин Робертова Данчева

**МОНИТОРИНГ НА ТОПЛИННОТО ЗАМЪРСЯВАНЕ
ОТ ДЕПА ЗА БИТОВИ ОТПАДЪЦИ
НА БАЗА АЕРОКОСМИЧЕСКИ ДАННИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

За получаване на образователна и научна степен
„Доктор“

В област на висшето образование
4. „Природни науки, математика и информатика“
професионално направление 4.4. „Науки за Земята“
научна специалност „Дистанционни изследвания на Земята и планетите“,
шифър 01.04.12

Научен ръководител:
доц. д-р Ива Иванова

Научно жури
проф. д.т.н. Гаро Мардиросян – ИКИТ-БАН
доц. д-р Ива Иванова – ИКИТ-БАН
проф. доц. д-р Георги Железов – НИГГГ-БАН
проф. д-р инж. Никола Колев – Русенски Университет
доц. д-р Евгения Сарафова – СУ „Климент Охридски“

София
2025

ВЪВЕДЕНИЕ

Още от зората на човешката цивилизация генерирането на отпадъци е неотменна част от човешката дейност, като обществата непрестанно търсят ефективни решения за управлението им. Депата за отпадъци представляват една от най-старите и широко използвани форми за обезвреждане на отпадъци, които не подлежат на повторна употреба, рециклиране или термично третиране.

Генерирането на отпадъци е пряко свързано с антропогенната дейност. Значителна част от общия обем отпадъци се формира от битовите отпадъци, произтичащи от нарастващото ниво на потребление във всяко домакинство в съвременния свят. С всяка изминала година техният обем и типологично разнообразие продължават да нарастват. Наред с тях съществува и друга значима група отпадъци – производствени, генерирани в резултат от индустриалната и стопанската дейност на предприятията.

Бързата урбанизация, нарастването на населението и икономическото развитие представляват основни двигатели за увеличаването на обемите от генерирани отпадъци в глобален мащаб. Според прогнози, ако тези тенденции се запазят, количеството на твърдите битови отпадъци ще нарасне с приблизително 70% през следващите 30 години. В настоящия момент световното годишно производство на твърди битови отпадъци надхвърля 2 милиарда тона, като тази стойност се очаква да продължи да расте в резултат на нарастващото потребление, урбанистичната експанзия и промяната в моделите на потребителско поведение.

Депата за отпадъци представляват също и значителен антропогенен източник на топлина, като формират собствено топлинно поле, което се отличава от естествения термичен фон на заобикалящата ги среда. Това води до възникване на т.нар. топлинно замърсяване, което е резултат от биохимичните процеси на разграждане на органичните фракции в отпадъците [1]. Натрупаната топлина в резултат на тези процеси води до формиране на локализирани топлинни аномалии, известни като „топлинни острови“, които могат да окажат влияние върху микроклимата в околните територии.

Приложението на дистанционни изследователски методи при извършването на мониторинг на депа за отпадъци – както регламентирани, така и нерегламентирани, представлява съвременен и високо ефективен подход за проследяване на тяхното състояние, топлинно замърсяване и динамика. Дистанционните изследвания (ДИ) предлагат редица съществени предимства, които значително повишават качеството и обективността на мониторинга. В условията на нарастващ натиск от климатичните промени, светът изпитва нарастваща необходимост от ефективен контрол и прилагане на политики за управление на отпадъците. Тези политики играят ключова роля не само за опазването на околната среда, но и за адаптацията към променящите се климатични условия през XXI век.

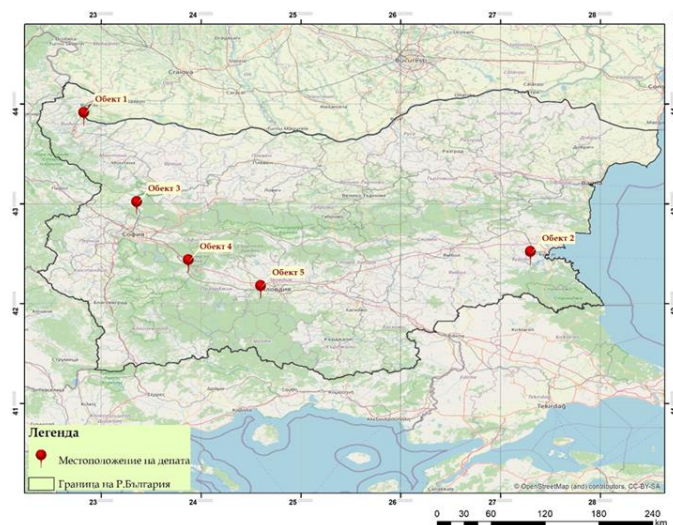
ГЛАВА I. ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО, ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

1.1. Обект и предмет на изследването

Обект на настоящото изследване са територии, характеризиращи се с топлинно замърсяване, разположени както в рамките на регламентирани депа за битови отпадъци, така и на нерегламентирани сметища на територията на Република България. Изборът на тези антропогенни обекти се обуславя от тяхното значимо екологично въздействие, свързано с проследяване на условията за нормален живот на населението, динамиката на природните процеси, въздействието върху природни бедствия и последиците от натрупването на различни

типове отпадъци. Особено внимание се отделя на формирането на т.нар. „топлинни острови“, които възникват в резултат на биохимичните процеси, протичащи в телата на отпадъчните депа

Актуалността на данните, информационната достоверност и пространственият обхват на наблюдаваните обекти обуславят високата надеждност на аерокосмическата информация, данните от безпилотни летателни апарати (БЛА) и теренните наблюдения. Тези източници минимизират влиянието на субективни фактори при изготвянето на прогнози за потенциални природни бедствия, както и при осъществяването на ежегоден или ежедневен мониторинг. В настоящата работа са изследвани обекти само от територията на Р. България, а именно: рекултивирано депо за битови отпадъци „Видин“ (обект 1), депо за битови отпадъци „Бургас“ (обект 2), нерегламентирано сметище „Своге“ (обект 3), депо за битови отпадъци „Ихтиман“ (обект 4) и депо за битови отпадъци „Цалапица (обект 5).



Фиг. 1. Местоположение на изследваните обекти

Предмет на изследването е проследяването на динамиката в наблюдаваните територии (обекти на изследване) и степента на тяхното топлинно замърсяване преди, по време и след настъпването на конкретно събитие, свързано със замърсяване, включително топлинно. Анализът се базира на използването на спътникови данни, регистрирани в различни спектрални диапазони, с цел обективна оценка на измененията в пространствено-временен аспект.

1.2. Цел и задачи на дисертационния труд

Основната *цел* на настоящия дисертационен труд е разработването на автоматизиран модел за мониторинг на динамиката на топлинното замърсяване в регламентирани и нерегламентирани депа за битови отпадъци, чрез изчисляване на повърхностната температура. За реализацията на тази цел е приложен комплексен методологичен подход, включващ подбор на подходящи изходни данни и разработване на интегрирана методика за анализ. Методологичната рамка се основава на съвместно използване на спътникови данни от различни спектрални диапазони, наземни (in situ) измервания и данни, получени посредством безпилотни летателни апарати (БЛА).

Основните *задачи* за постигане на поставената цел при изследване на всеки от обектите включват:

1. Идентифициране и подбор на подходящи събития, обекти и тестови участъци (обект на изследване) за целите на изследването;
2. Избор на подходящи спътникови данни с различни спектрални и времеви характеристики, съчетани с наземни (in situ) измервания и данни от безпилотни летателни апарати (БЛА), за наблюдение на избраните обекти;
3. Прилагане на комплексен подход за обработка и интеграция на данните с цел анализ на пространственото и времевото разпределение на регламентирани и нерегламентирани депа за битови отпадъци, както и на формираните топлинни острови;
4. Интерпретация на резултатите и извършване на сравнителен анализ между различните изследвани обекти;
5. Разработване на хибриден модел на методика за изследване на пространствено-времевата динамика на различни типове депа/сметища и свързаното с тях топлинно замърсяване;
6. Създаване на база данни за изследваните обекти с цел предоставяне на информация за нуждите на гражданското общество, бизнеса и административните структури.

ГЛАВА II. СЪВРЕМЕННО СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА, СВЪРЗАН С ДЕПОНИРАНЕТО НА БИТОВИ ОТПАДЪЦИ

2.1. Депа за отпадъци

Процесът на обезвреждане на отпадъци в депа е известен като депониране. Това е най-разпространения метод, използван в крайния жизнен цикъл на изхвърлените продукти. Депонирането е антропогенна дейност, която може да причини дегредация на земята и да доведе до замърсяване или дегредация на почвата/ водата [2].

Депата за отпадъци се делят на регламентирани и нерегламентирани.

Регламентираните представляват площадки, където контролирано и регламентирано се съхраняват отпадъци и материали за изхвърляне. Те са управлявани обекти със собствен набор от разпоредби и предпазни мерки, които са въведени по време на строителството и експлоатацията [3].

На световно ниво голям проблем са нерегламентираните сметища. Нерегламентираните сметища представляват места за изхвърляне на отпадъци, които не са официално одобрени или контролирани от съответните институции и често възникват спонтанно в резултат на незаконна дейност. Рисковете за човешкото здраве, свързани с подобен тип депа, са значителни. Тези зони могат да бъдат лесно достъпни за местното население, включително деца, което увеличава вероятността от директен контакт с опасни химикали (в течно или прахообразно състояние). Освен това, в нерегламентираните сметища често се срещат строителни и битови отпадъци, съдържащи пирони, остри ръбове и други потенциално травмиращи материали, които създават сериозни физически заплахи. Нерегламентираните сметища привличат и гризачи и насекоми. Например незаконно изхвърлени автомобилни гуми осигуряват идеално място за размножаване на комари [4].

2.1.1. Нормативната рамка на проблема, свързан с депонирането на битови отпадъци

Нормативната рамка в България, която определя основните документи, които се използват по темата за отпадъците и местата за тяхното съхранение, е следната [5]:

Закон за управление на отпадъците и подзаконовите му нормативни актове, включително:

- Наредба № Н-4 от 2 юни 2023 г. за условията и изискванията, на които трябва да отговарят местата за съхраняване или третиране на отпадъци, за разполагане на съоръжения за третиране на отпадъци и за транспортиране на производствени и опасни отпадъци;
- Наредба № 1 от 4 юни 2014 г. за реда и образците за предоставяне на информация за дейностите с отпадъци, както и реда за водене на публични регистри (посл. изм. 10 април 2023 г.);
- Наредба № 2 от юли 2014 г. 23 от 2014 г. за класификация на отпадъците (последно изменение на 8 юли 2022 г.);
- Наредба № 6 от 27 август 2013 г. за условията и изискванията към строителството и експлоатацията на депа и други съоръжения и инсталации за оползотворяване и обезвреждане на отпадъци; и други.

Европейските и международни документи, политики и разпоредби играят съществени роли в ефективното управление на отпадъците и контрола на замърсяването. Те обхващат широк спектър от въпроси, включително минимизиране на отпадъците, рециклиране, управление на депа и предотвратяване на замърсяването.

Европейски документи:

- Директива за отпадъците (2008/98/ЕО): Ключов документ, който определя рамката за управление на отпадъците в ЕС. Тя насърчава предотвратяването на образуването на отпадъци, рециклирането и използването на отпадъците като ресурс, както и принципа замърсителят плаща.
- Директива за депонирането на отпадъци (1999/31/ЕО): Регламентира управлението на депата за отпадъци в ЕС, включително технически изисквания и мерки за предотвратяване на замърсяването.
- Директива 2010/75/ЕС относно индустриалните емисии (СЕЕД) – Тази директива регулира емисиите от индустриални източници, като част от усилията за намаляване на замърсяването и предотвратяване на вредни въздействия върху околната среда и човешкото здраве. Тя включва специфични изисквания за управление на опасни отпадъци и замърсяване на води и въздух.
- Рамкова директива за водите (2000/60/ЕО) – Макар основно насочена към защитата на водните ресурси, тази директива също така включва разпоредби за предотвратяване на замърсяването на водоемите от отпадъци, което играе важна роля в предотвратяването на водно замърсяване.
- Директива за опаковките и отпадъците от опаковки (94/62/ЕО) - занимава се с намаляване на въздействието на опаковките върху околната среда чрез рециклиране и други форми на оползотворяване.

Глобални документи и инициативи:

- Базелска конвенция: Международен договор, който регулира трансграничното движение на опасни отпадъци и тяхното обезвреждане с цел защита на човешкото здраве и околната среда от вредните въздействия на опасните отпадъци.
- Стокхолмска конвенция за устойчивите органични замърсители (УОЗ): има за цел да премахне или ограничава на производството, използването и изпускането на определени устойчиви органични замърсители. Целите на ООН за устойчиво развитие включват няколко цели, а свързани с устойчивото управление на отпадъците и

намаляването на замърсяването е цел 12 за отговорно потребление и производство, която насърчава намаляването на отпадъците чрез рециклиране и намаляване на отпадъците в сметищата. Тези документи се актуализират редовно, за да отразяват новите научни открития и тенденции в управлението на отпадъците и опазването на околната среда. Те служат като основа за национално законодателство и политики, насочени към намаляване и подобряване на замърсяването [4].

Според Директива 1999/31/ЕО депата за отпадъци се разделят на три категории [6]:

- **Депата за опасни отпадъци** – Съдържат отпадъци, които в състава си включват едно или повече от опасните свойства, които могат да окажат вредно въздействие върху човешкото здраве или околната среда [7].
- **Депата за неопасни отпадъци** – включват всякакви отпадъци- опаковки, мебели, домакински хранителни отпадъци, които нямат характеристиките на опасните отпадъци (експлозивни, запалими, дразнещи, токсични и др.)
- **Депата за инертни отпадъци** – „инертни отпадъци“ са отпадъците, които не претърпяват никакви важни физични, химични или биологични преобразувания; инертните отпадъци не се разграждат, не горят и не участват в други физични или химични реакции, не са биоразграждащи се или с неблагоприятно въздействие върху други вещества, с които са в контакт, по начин, който води до увеличаване замърсяването на околната среда или увреждане на човешкото здраве [8].

2.2. Класификация на отпадъците

Съществуват множество подходи за класификация на отпадъците в зависимост от различни критерии. Те могат да бъдат категоризирани според техния произход (в зависимост от източника на генериране), състав (химичен и физичен състав), степен на токсичност (нивото на опасност за здравето и околната среда) и начина на управление (методи за събиране, третиране и обезвреждане).

2.3. Екологични проблеми, свързани с депата за отпадъци

Експлоатацията на депата най - често е свързана със замърсяване на подпочвените води чрез изтичане на инфилтрат от самото депо (ако то няма подходящи облицовъчни материали), емисии на биоаерозоли; летливи органични съединения и др. [9, 10].

Функционирането на депата за твърди отпадъци често е съпътствана от редица екологични рискове, сред които особено значимо е замърсяването на подпочвените води вследствие на изтичане на инфилтрат от самото депо, особено при отсъствие на подходящи хидроизолационни и облицовъчни материали. Освен това, в хода на експлоатацията се отделят емисии на биоаерозоли, летливи органични съединения и други замърсители, които могат да окажат неблагоприятно въздействие върху околната среда и човешкото здраве [9, 10].

Инфилтратът се дефинира като водата, която е встъпила в контакт с отпадъците, съхранявани в депо. Получава се главно в резултат на проникването на дъждовна вода в тялото на депото, но и от съдържащата се в самите отпадъци влага. Инфилтратът се улавя от дренажна система и постъпва в пречиствателна станция, където се подлага на специални процеси. Технологиите за третирането му трябва да бъде избрана на база съдържащите се в него вещества [11].

Екологичните проблеми, произтичащи от депонирането на битови отпадъци са следните:

- **Замърсяване на почвата и подпочвените води чрез инфилтрат**

При неадекватна конструкция или поддръжка на депото, включително отсъствие на ефективни хидроизолационни системи, инфилтратът може да проникне в почвата и подпочвените води, водейки до тяхното замърсяване с органични съединения, тежки метали и други токсични вещества, което създава сериозни екологични и здравни рискове. Въпреки че практиките за ТБО за депониране на отпадъци са напреднали, генерирането и управлението на инфилтрат остават един от най-важните проблеми, свързани с депата. Този инфилтрат може да причини замърсяване на околната почва, повърхностни и подземни води. Друго въздействие на сметищата е, че те водят до запечатване и/или деградация на почвите, които са от значение за разбирането на функционирането на Земната система, тъй като определят биологичните, ерозионните, хидрологичните и геохимичните земни цикли [12, 13].

- **Замърсяване на водни обекти – реки, езера и морета**

Подпочвените и повърхностните води представляват двата основни източника на водоснабдяване, като водата е ключов ресурс с широко приложение в редица сектори – битов, селскостопански, индустриален, транспортен и здравен. В развиващите се страни малките домакинства и общности обикновено разчитат на подпочвени води, докато големите населени места и урбанизирани райони използват предимно повърхностни водоизточници като реки и езера, които подлежат на третиране в пречиствателни станции. Замърсяването на тези водни ресурси значително намалява тяхната годност за питейни и битови нужди, като влошава качеството на водата и повишава разходите и сложността на процесите по пречистване. Това създава сериозни предизвикателства пред опазването на общественото здраве и устойчивото управление на водните ресурси. [14]. Водните обекти могат да бъдат замърсени от голямо разнообразие от вещества, включително патогенни микроорганизми, разлагащи се органични отпадъци, торове и хранителни вещества за растенията, токсични химикали, утайки, нефт и радиоактивни вещества. Неправилното изхвърляне на ТБО е основен източник на замърсяване на водата. Проблемът е особено широко разпространен в развиващите се страни, които може да нямат инфраструктура за правилно изхвърляне на твърди отпадъци или които може да разполагат с недостатъчни ресурси или регулация за ограничаване на неправилното изхвърляне. На някои места твърдите отпадъци се изхвърлят умишлено във водни басейни [15].

- **Замърсяване на атмосферата**

Депата за битови отпадъци представляват значителен източник на емисии на парникови газове (ПГ) в глобален мащаб. В резултат на анаеробното разграждане на органичната материя от депонираните отпадъци в сметищата се отделят основно метан (CH_4) и въглероден диоксид (CO_2) – два от най-важните парникови газове, допринасящи за климатичните промени. [16]. Факторите, които влияят върху страничния продукт или емисиите от депата, включват вида и количеството на депонираните отпадъци, възрастта на депото и климатичните условия на депата. Сложните биохимични и микробиологични реакции в рамките на депото често водят до образуването на няколко газообразни замърсители - устойчиви органични замърсители (като диоксини, полициклични ароматни въглеводороди), тежки метали и прахови частици [17, 18, 19]. ТБО се подлагат на микробно анаеробно разграждане и отделят биогенни въглеводородни газове като PCDD, PCB и др. Тези газове навлизат в атмосферата и ултравиолетовото лъчение действа като катализатор и се превръщат в газообразни замърсители, включително H_2S , O_3 , въглероден оксид CO, азотни оксиди, въглероден CO_2 и серен диоксид SO_2 . ФПЧ, които също са замърсители на въздуха са известни като атмосферни

аерозолни частици или суспендирани прахови частици. Те представляват малки частици течна или твърда материя, суспендирани във въздуха чиито източници могат да бъдат антропогенни или естествени. Прахови частици се генерират в сметищата в резултат на човешки действия чрез механични процеси, които включват сортиране, преобръщане и уплътняване на отпадъци от булдозери, натрупване на почва, движение на превозни средства и колички за прах върху депонирани отпадъци. ФПЧ се генерират и когато материали от променени и разложени отпадъци се разпръснат от вятъра [20]. Киселинните газове, като азотен диоксид, серен диоксид и халогениди, имат вредно въздействие върху здравето и околната среда. Когато тези киселинни газове достигнат атмосферата, те са склонни да подкиселяват влагата в атмосферата и да падат под формата на киселинен дъжд [21, 22]. H₂S е безцветен и силно запалим газ. Той има миризма на развалено яйце и допринася значително за емисиите на миризми от депата за отпадъци [23].

2.4. Топлинни острови и температура на земната повърхност (HI и LST)

Урбанизацията оказва отрицателно въздействие върху околната среда главно чрез генериране на замърсяване, промяна на физичните и химичните свойства на атмосферата и покриване на почвената повърхност [24]. Топлинната енергия е друг страничен ефект, която се получава в резултат от разлагането на ТБО. Топлинните условия са мярка за скоростта на разлагане на отпадъците, заедно с химията на инфилтратата и газовете, изпускани в съоръжението за изхвърляне на ТБО. Генерирането на топлина от депата за битови отпадъци също е отговорно за образуването на микроклиматична зона около сметището, което води до последици за околната среда в близост до сметището. В известен смисъл, генерирането на топлина от депата може да се разглежда като аналогично на феномена на градските топлинни острови (Urban Heat Island - UHI), при които се наблюдава повишаване на температурите в урбанизираните зони, поради натрупването на топлина в резултат от човешката дейност и строителни материали [25].

По-задълбоченото познаване на температурата на земната повърхност (Land Surface Temperature, LST) може съществено да допринесе за по-доброто разбиране на процесите на обмен между земната повърхност и атмосферата както в глобален, така и в регионален мащаб. Освен това, LST представлява важен индикатор за състоянието на повърхността и намира широко приложение в редица области, включително климатология, управление на водните ресурси, земеползване и мониторинг на екологични промени. Поради това LST е признат за ключов параметър на земната повърхност от NASA (Националната аеронавтика и Космическа администрация), Научната програма за изменението на климата на Съединените щати и като една от 10-те съществени климатични променливи в земната биосфера, определени от Глобалната система за наблюдение на климата [26].

ГЛАВА III. МЕТОДИКА ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ТОПЛИННОТО ЗАМЪРСЯВАНЕ ОТ ДЕПА ЗА БИТОВИ ОТПАДЪЦИ

3.1 Структура на приложената методика за мониторинг на топлинното замърсяване от депата за битови отпадъци

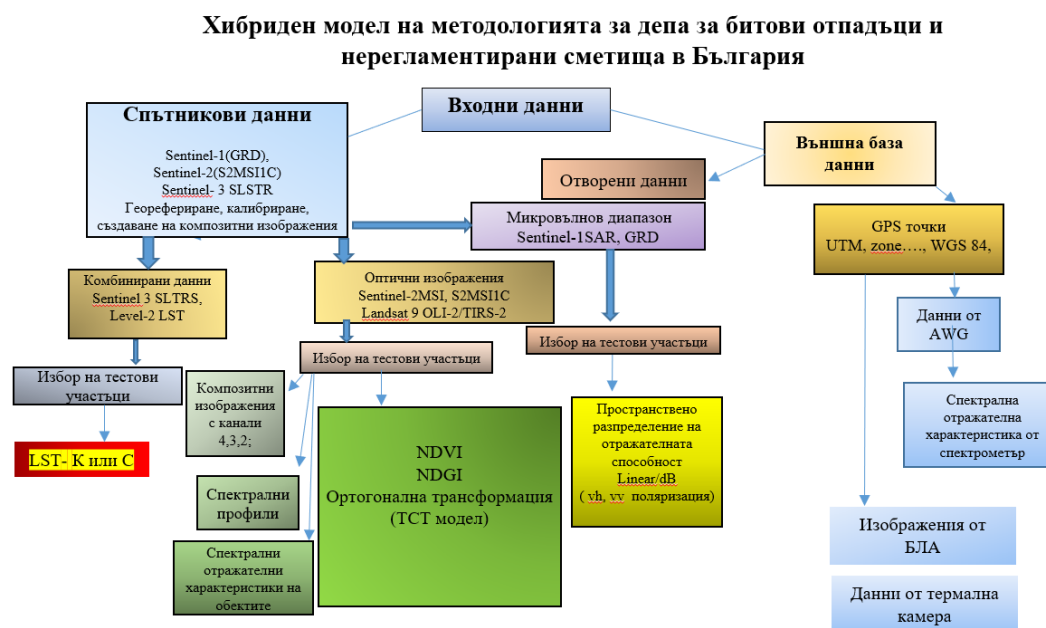
Предложената методика за мониторинг на повърхностната температура в зони, заети от депата за битови отпадъци, представлява цялостна интегрирана система, базирана на комбинирано използване на аерокосмически дистанционни изследвания, данни, събрани посредством безпилотни летателни апарати (БЛА), както и резултати от теренни (in situ)

измервания. Методиката е структурирана така, че да осигури точността, необходимата за извършването на оценка на динамиката на температурните аномалии, характерни за този тип обекти.

Чрез използването на мултифункционални сензори, обхващащи различни диапазони от електромагнитния спектър — включително видимата, инфрачервената и топлинната области — се реализира многоспектрален подход към наблюдение и анализ на топлинното замърсяване. Този подход позволява не само точно локализиране на зони с повишена температура, но и идентифициране на потенциални рискове.

Комбинирането на данни с различна пространствена и времева разделителна способност, събрани от спътникови данни, БЛА и наземни уреди, осигурява възможност за създаване на динамични температурни карти, които могат да служат като инструмент за дългосрочно наблюдение, оценка на екологичното състояние и планиране на мерки за опазване на околната среда в районите, засегнати от депониране на отпадъци.

На следващата фигура 2 е представен създадения хибридният модел, на който се базира настоящата методика.



Фиг. 2. Хибриден модел, базиран на настоящата методика

3.2. Входни данни, съобразени с целите и задачите на изследването

В настоящата работа са използвани са мултиспектрални и радарни данни от спътниците Sentinel-1 SAR, Sentinel-2 MSI, Sentinel-3 SLSTR, Landsat 5 и Landsat 8.

Таблица 1. Използвани спътникови данни за регионалното депо във Видин (обект 1)

Дата	Сензор	Дата	Сензор
20.07.1999	Landsat – 5 TM	06.12.2018	Landsat – 8 OLI
16.03.2000	Landsat – 5 TM	22.02.2019	Landsat – 8 OLI
18.07.2010	Landsat – 5 TM	18.07.2019	Landsat – 8 OLI

14.11.2010	Landsat – 5 TM	31.08.2015	Sentinel-2 MSI
11.02.2011	Landsat – 5 TM	08.06.2018	Sentinel-2 MSI
22.08.2011	Landsat – 5 TM	01.05.2019	Sentinel-1
16.08.2018	Landsat – 8 OLI		

Таблица 2. Използвани спътникови данни за регионалното депо до Бургас (обект 2)

Дата	Сензор	Дата	Сензор
19.06.2013	Landsat – 8 OLI	12.08.2019	Landsat – 8 OLI
27.07.2015	Landsat – 8 OLI	05.08.2021	Sentinel-2 MSI
07.08.2019	Landsat – 8 OLI	14.08.2021	Sentinel-1 (SAR)
10.10.2019	Landsat – 8 OLI		

Таблица 3. Използвани спътникови данни за нерегламентирано сметище до Своге (обект 3)

Дата	Сензор
18.07.2010	Landsat – 5 ETM
08.05.2022	Landsat – 9 OLI
28.08.2015	Sentinel-2 MSI
13.04.2022	Sentinel-2 MSI
15.08.2015	Sentinel-1 SAR

Таблица 4. Използвани спътникови данни за депата около Цалапица (обект 4) и Ихтиман (обект 5)

Дата	Сензор	Дата	Сензор
05.07.2017	Landsat – 8 OLI	25.05.2019	Landsat – 7 ETM +
06.07.2017	Landsat – 7 ETM +	13.08.2019	Landsat – 7 ETM +
14.07.2017	Landsat – 8 OLI	19.12.2019	Landsat – 7 ETM +
05.10.2018	Landsat – 8 OLI	17.12.2019	Sentinel-2 MSI
12.10.2018	Landsat – 8 OLI	15.12.2019	Sentinel-1
06.11.2018	Landsat – 8 OLI	29.07.2023	Sentinel-3
22.04.2019	Landsat – 8 OLI	24.07.2023	Sentinel-2

3.3. Първична обработка на данните

3.3.1. Георефериране на входните данни

Извършено е георефериране на входните данни. Геореферирането представлява съвместяване на растерното изображение със земната повърхност в съответна координатна система. Всички растерни изображения са геореферирани в единна координатна система UTM (WGS 84), зона според разграфката и мястото, което съответства еднозначно на територията на изследвания район. За целта са използвани преобразования в среда на ГИС, т.е. изображенията са геореферирани в други координатни системи. Освен това са извършени геометрични корекции на ротация и трансляция на радарните изображения, тъй като при тях има определено изместване спрямо оптичните, което се дължи на принципа на получаване на данните от сензора [29].

3.3.2. Създаване на композитни растерни изображения в оптичен диапазон

За всички изследвани обекти са създадени композитни растерни изображения в оптичния диапазон от спътника Sentinel-2, по-конкретно продуктът S2MSI1C (Level-1C). Този продукт представлява TOA (Top-Of-Atmosphere) отражение, като всяка гранула съдържа 13 спектрални канала, покриващи области от видимия, близкия и кратковълновия инфрачервен спектър (VIS, NIR, SWIR). Пространствената разделителна способност на спектралните канали варира – 10 m,

20 m и 60 m в зависимост от конкретната дължина на вълната. В софтуера Erdas Imagine 2014 [30], инструментът Layer Stack (или Layer Stack Tool) се използва за комбиниране на множество еднолентови растерни изображения (каналы) в едно многоспектрално изображение. Това е основна стъпка в предварителната обработка на спътникови данни, като тези от Sentinel-2 и Landsat. Основната функция на този инструмент е да комбинира няколко отделни еднолентови изображения (напр. B1, B2, B3...) в едно многолентово (многоканално) изображение. За визуализация на сцените от Sentinel-2 е използвана RGB композиция от различни спектрални канали (B4, B3, B2), създадена чрез функцията Layer Selection в софтуерния продукт Erdas Imagine. RGB моделът представлява цветова схема, при която три избрани спектрални канала се присвояват съответно към червен, зелен и син цвят за визуализация на мултиспектрални спътникови изображения. Използването на истински (B4, B3, B2) или фалшиви цветови комбинации (напр. B8, B4, B3) позволява подобрена интерпретация на земната повърхност и идентифициране на различни обекти и процеси [31]. За обект 2 е използвана композиция на растерни изображения в късовълновия инфрачервен диапазон на ЕМС, където използваната комбинация е SWIR (B12), NIR (B8A), и red (B4).

3.3.3. Създаване на векторни слоеве, необходими за пространствен анализ и визуализация на изследваните процеси

За целите на дисертационния труд са създадени няколко типа векторни слоеве. Първият тип са полигони, които очертават границите на всеки изследван обект. Благодарение на отворени пространствени данни, предоставени от INSPIRE и M3X, които са добавени като WMS (web map service) в каталога на ArcGIS 10.3, е използвано ортофотоизображение като основа, с пространствена разделителна способност от 4 cm. Благодарение на използвана основа могат ясно да се създаде векторен слой с границите на изследваните обекта. В настоящата дисертация са използвани общо шест пространствени граници на изследваните обекти, които представляват конкретни депа за битови отпадъци. За Обект 1 са приложени две отделни граници, поради особеностите на неговата структура и развитие във времето. В този случай депото е разделено на две части - стара част, използвана до 2015 г., и нова (рекултивирана) част, въведена в експлоатация след 2015 г. Втория тип създадени векторни данни са генерирани на база растерни изображения, при които е изчислена температура на земната повърхност за всяка от изследваните дати от Landsat. Отново в ArcGIS среда растерното изображение се преобразува в точков слой, към който се добавят координатите на всеки пиксел. Следващата стъпка е точковият слой да се преобразува в растерен слой, от който да се генерират изотермални линии с интервал от 0,5°C, което е последния тип генериран векторен слой. Общо за целите на анализа на температурното поле чрез изотермални линии са създадени 21 векторни слоя. Аналогичен брой векторни слоя – общо 21 – е създаден и за останалите типове векторни данни, включително границите на обектите на изследване (AOI).

3.4. Вторична обработка на данните

За всяко от използваните спътникови изображения е избрана конкретен обект на изследване (Area of Interest – AOI), който представлява пространствената основа за извършване на последващите анализи. С цел осигуряване на съвместимост и коректно наслагване на данните, всеки от обектите на изследване е избран да бъде идентичен както за оптичните, така и за радарните аерокосмически данни.

3.4.1. Приложение на индекси и индикатори за оценка на състоянието и динамиката на обектите

За количествена оценка на растителното покритие в изследваните зони е приложен нормиран разликов вегетационен индекс – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), който е показател за състоянието и виталитета на растителността (листната маса). Той е приложен в един от посочените примери, с цел проследяване на състоянието на растителността, разположена в непосредствена близост до изследваното депо за отпадъци. Индексът се основава на различията в отражателната способност на зелената растителност в две ключови области от електромагнитния спектър (EMC) – червената (Red: 0.6–0.7 μm) и близката инфрачервена (NIR: 0.7–0.9 μm). Зелената растителност има способността да поглъща интензивно червената светлина поради наличието на хлорофил и едновременно с това да отразява значително количество от близката инфрачервена радиация. Тази спектрална разлика е количествено изразена чрез формулата: [32, 33].

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (1)$$

където ρ_{NIR} е отражението на лъчистата E в близкия инфрачервен диапазон на спектъра, а ρ_{RED} е отражението в червената част във видимия диапазон на спектъра.

В работата е приложен и **нормализиран индекс на зелеността** - Normalized Differential Greenness Index (NDGI) индекс, който използва спектралната Greenness компонента. NDGI позволява оценка на вегетационната динамика чрез проследяване както на положителни, така и на отрицателни стойности, свързани с процесите на растеж, развитие или деградация на растителната покривка. Формулата, използвана за изчисление на NDGI, е следната:

$$NDGI = \frac{GR_n(t_2) - GR_n(t_1)}{|GR_n(t_2)| + |GR_n(t_1)|} \quad (2)$$

където: $GR_n(t_1)$ and $GR_n(t_2)$ – са съответно нормираните стойности на Greenness компонентите в моментите t_1 и t_2 , а $|GR_n(t_2)|$ и $|GR_n(t_1)|$ са абсолютните стойности на същите компоненти.

$$GR_n(t) = \frac{GR(t) - E\{GR(t)\}}{St.Dev[GR(t)]} \quad (3)$$

В този случай за нормираните стойности се получава $E\{GR_n(t)\} = 0$ и $St.Dev.[E\{GR_n(t)\}] = 1$, което означава от една страна, че стойностите на $GR_n(t)$ са абсолютно съизмерими (стандартизирани), независимо от сензора и времето на заснемане на спътниковите изображения. От друга страна значително се намалява грешката, която се получава от влиянието на външните фактори при заснемане на спътниковите изображения.

Стойностите на индекса се изменят в границите от -1 до +1, където стойностите, които са по – малки от нула показват, че е постъпил негативен процес на изменение при растителността. При стойности по – високи от нула се наблюдава положително изменение. При стойности – 1 означава, че има пълна деградация на растителността, а при стойности + 1 – поява на растителност [34].

За постигането на основната задача на изследването е извършено проследяване на температурните изменения, свързани със собственото топлинно излъчване от депата за отпадъци в различни времеви периоди. За постигане на тази цел са използвани спътникови данни от мисиите Landsat 4–8, изчислени въз основа на термалните инфрачервени данни чрез прилагането на следната формула:

$$T_{[K]} = a * \ln^{-1} \left(\frac{b}{c*Q+d} + 1 \right) \quad (4)$$

където a,b,c,d са константите за различните типове изображения на Landsat, T е температурата на пиксела (K), Q е коефициентът на спектрална яркост на повърхността в термалния канал Landsat (4-8). Спътниковите изображения са достъпни от уеб страницата: <https://earthexplorer.usgs.gov/> [35] . След извършване на процедурата по георефериране на изображенията в топлинния диапазон, е приложен процес на пространствено изрязване на правоъгълни участъци от всяко изображение. Тези участъци са избрани така, че да покриват околностите на зададените географски координати, съответстващи на районите около изследваните депа за отпадъци. Времеви ред {Q1, Q2, . . . , Qn} от спътникови изображения в топлинния (термален) канал за всяко едно от изследваните депа за отпадъци се извлича с цел анализ на температурната динамика във времето. Данните от изображението се преобразуват в повърхностна температура {T1, T2, . . . , Tn} с помощта на трансформация:

$$T_{[^{\circ}C]} = a * \ln^{-1} \left(\frac{b}{c*Q+d} + 1 \right) - 273.15 \quad (5)$$

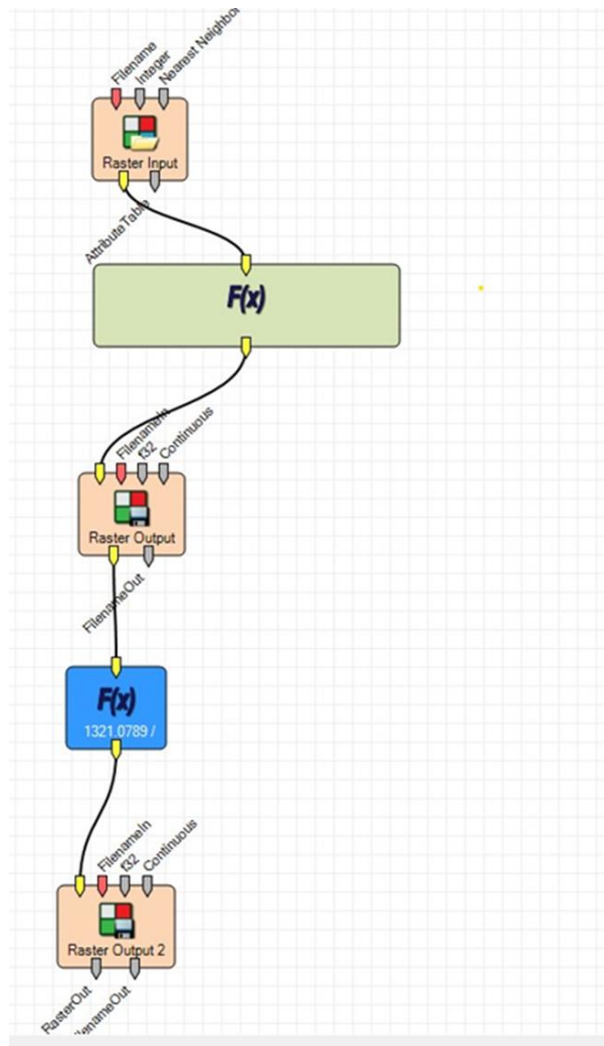
3.4.2. Създаване и приложение на модел за извличане и генериране на повърхностната температура на депата за отпадъци

Като основен елемент на настоящата дисертация е разработен автоматизиран модел за извличане и генериране на повърхностната температура на депата за отпадъци, внедрен в софтуерната среда ERDAS IMAGINE (версия 2014) чрез инструмента SPATIAL MODEL EDITOR. Този модел е специално създаден да работи с топлинните канали на спътниковите данни от мисията Landsat, което осигурява висока пространствена и спектрална разделителна способност, подходяща за по-точни температурни изчисления.

Основния принос на настоящата работа се състои в трансформацията и автоматизирането на обработката на спътникови топлинни данни, така че резултатите да бъдат изчислявани и представяни в абсолютни температурни стойности, изразени в градуси по Целзий. Това се реализира чрез прилагането на горните формули (формули 4 и 5), които преобразуват цифровите стойности от топлинните канали в топлинните величини с висока точност.

Разработеният модел не само улеснява ефективната обработка на големи обеми от спътникова информация, но и предоставя надеждна основа за количествен анализ на температурните характеристики на депата. Той играе съществена роля в осъществяването на целите на дисертацията, свързани с мониторинга на топлинните аномалии и оценката.

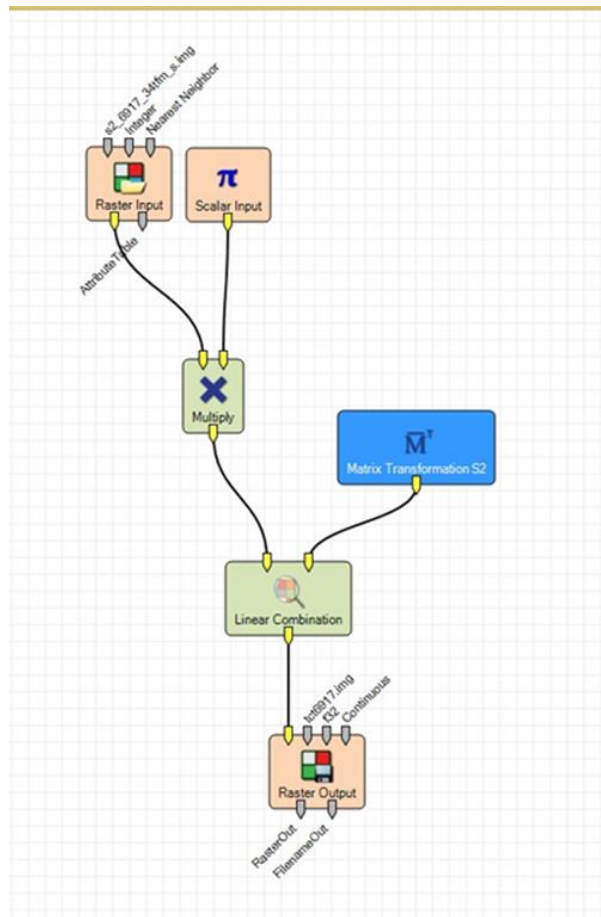
Автоматизираният модел е приложен за всички изследвани обекти в дисертационния труд.



Фиг. 3. Автоматизиран модел по данни от Landsat с генериране на температурни стойности

3.4.3. Прилагане на трансформацията Tasseled Cap Transformation (TCT) върху оптичните изображения от Sentinel-2

Най-често използваният метод за анализ и разпознаване на депата за битови отпадъци е този на ортогоналната трансформация, който позволява ефективно извличане на основните спектрални характеристики и подобрява разделянето на обектите в пространството на изображението. Този метод допринася за повишаване точността на идентификация и картографиране на депата. Приложен е отново автоматизиран модел на софтуерния продукт ERDAS IMAGINE за TCT, като е използвана унитарната матрица, създадена от проф. дтн. Румен Недков.



Фиг. 4. Автоматизиран модел на данни от Sentinel за генериране на TCT

3.5. Съвместяване на оптични и радарни изображения

Комбинацията от SAR и оптични изображения предоставя възможност за по-пълна и комплексна оценка на състоянието на депата за отпадъци, като позволява едновременно изследване както на тяхната структура, така и на състава на повърхността. Този интегриран подход е приложен в изследването на обекти 1, 2 и 5, където съвместният анализ на данните от двата спектрални диапазона осигурява по-добро разбиране на процесите, протичащи в депата.

Този интегриран метод позволява съчетаването на съществени предимства, характерни за двата спектрални диапазона. От една страна, SAR данните осигуряват надеждна информация, която е независима от атмосферни условия и осветеност. От друга страна, оптичните изображения предоставят висока спектрална разделителна способност и позволяват детайлна класификация на земната повърхност въз основа на спектралните характеристики на различните обекти.

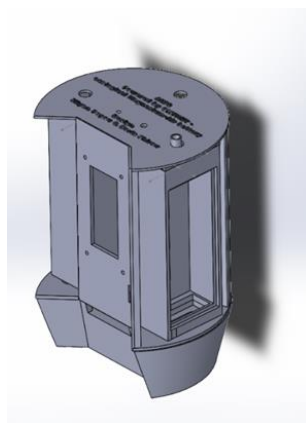
3.6. Наземни данни

Наземни данни са събрани за Обект 5 (Цалапица) от дата 29.07.2023 г. Събирането на геолокационна информация е осъществено с помощта на мобилното приложение Orix Maps, което е съвместимо както с операционните системи Android, така и с iOS. Отклонението на GPS данните е около 50 cm. Предимството на приложението Orix Maps се състои в неговия свободен достъп и възможността за работа с разнообразни видове карти, включително офлайн и онлайн карти. Приложението позволява точно маркиране на конкретни географски местоположения, като предоставя възможност за добавяне на допълнителни атрибути към

всяка точка, включително снимки, текстови бележки, аудио и видео файлове. Събраната информация се организира под формата на точков слой, който впоследствие може лесно да бъде прехвърлен във формат KMZ. Това значително улеснява последващата обработка на теренните данни в ГИС среда.

3.6.1. Данни от автоматизирана автономна метеорологична станция (AWG) или климатични данни от отворени източници;

Автоматичната записваща метеостанция (AWG) измерва и записва температура на въздуха, осветеност, УВ лъчение и барометрично налягане. Освен посочените климатични параметри, метеостанцията записва навигационните координати и надморска височина на местоположението, на което е разположена (фиг. 5).



Фиг. 5. Автоматична автономна станция за събиране на данни (AWG)

3.6.2. Температурни измервания чрез термална камера (FLIR)

По време на теренните изследвания от 29.07.2023 г. за обект 5 е използвана термална камера FLIR [36], която предоставя възможност за високопрецизно засичане на топлинни аномалии и визуализация на температурни разлики в наблюдавани обекти и повърхности (фиг. 80). Благодарение на вградената технология VividIR, се постига усъвършенствана обработка на изображението, което води до по-ясни и детайлни термографски визуализации, дори при ниска разделителна способност.

3.6.3. Спектрални измервания чрез мобилен спектрометър Sekonic C-800

За целите на теренните изследвания е използван мобилен спектрометър Sekonic C-800-U (обект 5), който предлага широк спектър от измервания на светлинни характеристики в диапазона от 380 до 780 nm. Устройството е проектирано за прецизно измерване както на естествена, така и на изкуствена (светкавица) светлина и се отличава с висока точност и богата функционалност, което го прави особено подходящо за научни и приложни изследвания в областта на фотометрията, визуализацията, екологията и архитектурното осветление [37].

3.6.4. Създаване на изображения чрез безпилотен летателен апарат (БЛА), създаване на ортофотокарти и цифрови модели на повърхността (DSM) с висока пространствена разделителна способност

В рамките на настоящото изследване данни, събрани с безпилотен летателен апарат (БЛА), са използвани за верификация на обстановката и анализ на изследваните обекти. Кадрите са заснети с дрон DJI Mavic Air 2. На база получените данни е генерирано ортофотоизображение, както и цифров модел на повърхността (Digital Surface Model – DSM) за един от изследваните

обекти (обект 5). За допълнителна геопространствена идентификация е използвано приложението OruxMaps, което позволява точното геолокализиране на по-малки нерегламентирани сметища в непосредствена близост до основните обекти на изследване

3.6.5. Включване на публично достъпни и отворени данни, където е приложимо.

Благодарение на отворените данни, предоставени от програмата INSPIRE и Министерството на земеделието и храните (МЗХ), в работната среда на ArcGIS е интегрирана услуга тип WMS (Web Map Service), която осигурява достъп до ортофотоизображения с висока пространствена разделителна способност. Тези изображения са използвани като база за създаването на векторни данни, представящи границите на изследваните обекти.

3.7. Генериране на тематични карти

Генерирани са тематични карти, показващи пространственото разпределение, интензитет и динамика на топлинното замърсяване в изследваните депа за битови отпадъци. То е реализирано въз основа на получените топлинни изображения от Landsat, в комбинация с пространствени данни в среда на ГИС. За създаването на тематични карти е използван софтуерният продукт ArcGIS 10.3. Получените резултати под формата на карти позволяват създаването на тематични слоеве, които визуализират зоните с повишена температура, посочени като топлинни острови.

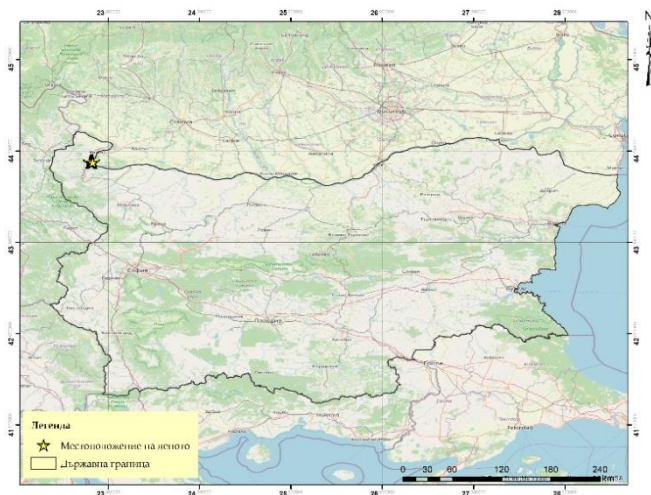
3.8. Интерпретация и верификация на получените резултати

Интерпретацията на резултатите, получени чрез интегрирания подход, обхваща както качествен, така и количествен анализ на пространствените и спектрални данни. Този анализ комбинира информация от данни от топлинния диапазон на електромагнитния спектър, географски информационни системи (ГИС) и спътникови данни. Основната цел на анализа е идентифициране на аномалии и повтарящи се модели, свързани с топлинно замърсяване, пространствен обхват, както и времеви изменения в границите на депата за битови отпадъци.

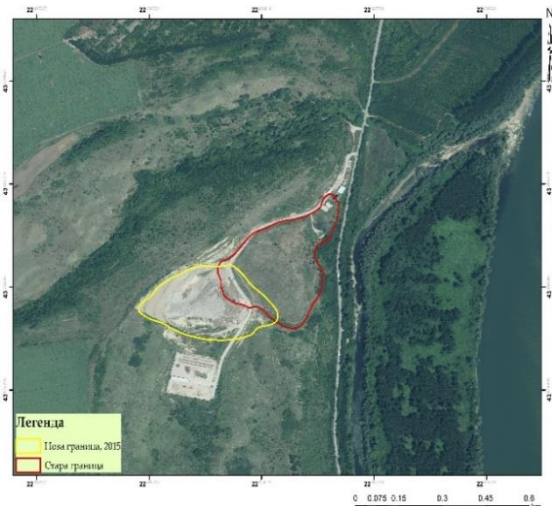
ГЛАВА IV. АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

4.1. Анализ на получените резултати от регионално депо за битови отпадъци „Видин“ (обект 1)

Настоящият пример разглежда регионалното депо за битови отпадъци, обслужващо Видинския регион. Съоръжението е разположено в териториалния обхват на село Жеглица, в местността „Рамова ливада“, на приблизително 1 км западно от течението на река Дунав. Общата площ на депото възлиза на около 221.020 хектара. Структурата на обекта е изцяло реконструирана и модернизирана, като новото регионално депо, което е официално въведено в експлоатация през 2015 г.



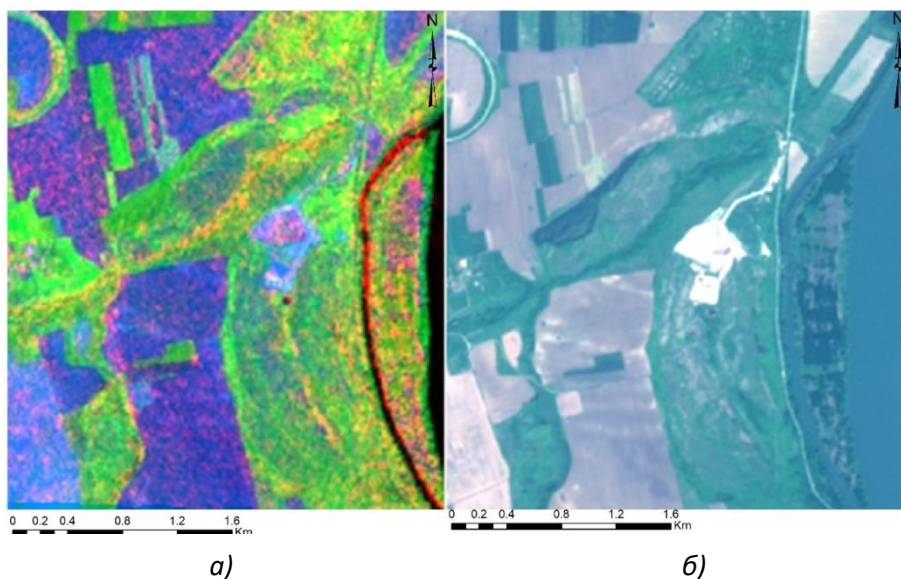
а)



б)

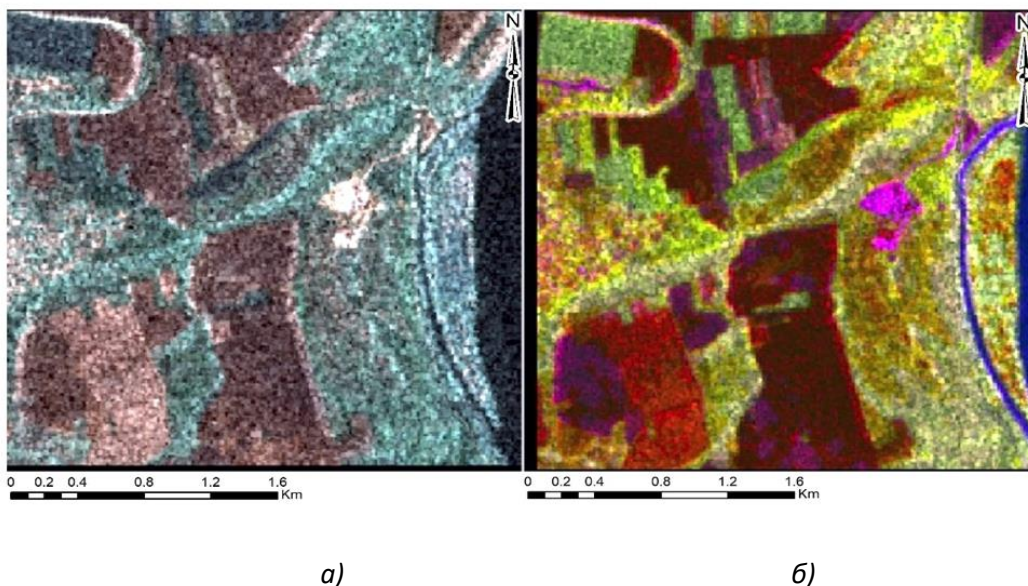
Фиг. 6. Географско положение на депото за отпадъци във Видин, а) местоположение на изследвания обект, Esri OpenStreetMap; б) ортофотото изображение, 2021 г. от МЗХ

В рамките на изследването е извършено изчисление на повърхностната температура на регионалното депо за битови отпадъци във Видин за различни сезони и години. Анализът включва сравнение между температурните стойности, измерени в рамките на самото депо, и тези на прилежащата околна среда за пет различни години. С цел идентификация и разграничаване на депото за битови отпадъци от останалите елементи на земната повърхност е генерирано изображение по метода Tasseled Cap Transformation (ТСТ), което позволява по-ефективно разграничаване на типове покритие чрез анализ на отражателните характеристики в оптичния спектър. За допълнителна прецизност при интерпретацията на данните е извършено съвместяване между оптични и радарни спътникови изображения. Комбинираният анализ на данните от различни сензори предоставя по-пълна и надеждна картина на изследваната територия. В резултат е създадено композитно изображение, съчетаващо както радарна, така и оптична информация, което осигурява подобрена визуализация на структурните и термични характеристики на депото и неговото обкръжение.



Фиг. 7. а) Композитно изображение от Sentinel-2 и Sentinel-1 – VV поляризация от 08.06.2019 г. и 01.05.2019 г., б) Композитно изображение от Sentinel-2 във видим диапазон с канали 4-3-2 от 08.06.2019

Съвместяването между радарно и оптично изображение е представено на фигура 8 а). На фигура 8 а) е показана комбинацията от tasseled cap transformation на оптично изображение и радарно изображение. Целта е да се покаже потенциала на комбинацията между SAR и оптично изображение. Използвани са данни от Sentinel-1 (SAR) и Sentinel-2 MSI, а на фиг. 8 б) е изобразен ТСТ на обекта на изследване.

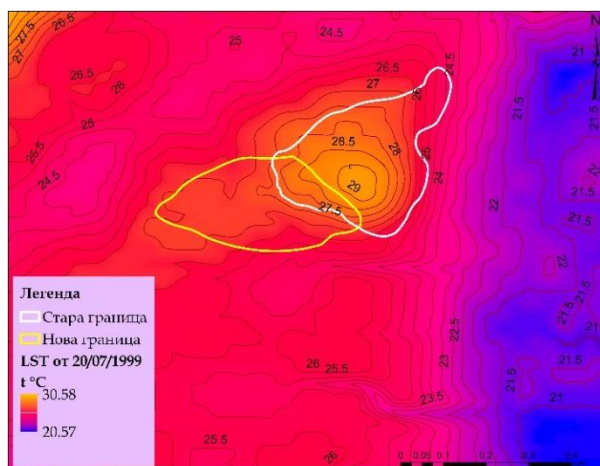


Фиг. 8. а) Съвместяване между Sentinel -1 SAR и оптично изображение Sentinel-2; б) ТСТ 08.06.2019 г. и 01.05.2019 г.

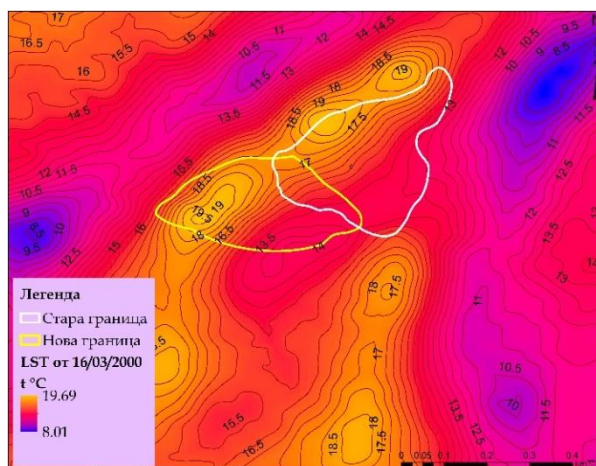
Изчислената повърхностна температура (LST) за 20.07.1999 г. в района около сметището във Видин е представена на фигура 9, като за целта е използвано спътниково изображение от сензора Landsat 5 TM. Най-високите температурни стойности са регистрирани в

североизточната част извън границите на съвременното сметище. Това се обяснява с факта, че до 2015 г. на това място се е намирало старото сметище, преди обектът да бъде изцяло обновен и частично преместен на югозапад спрямо първоначалната си локация.

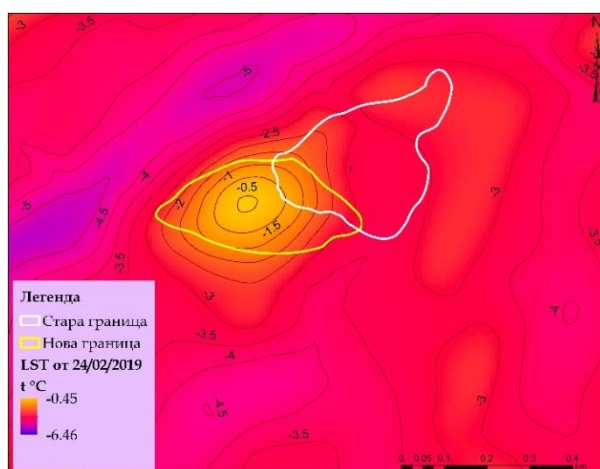
Фигура 10 показва повърхностната температура за 16.03.2000 г., отново на базата на данни от Landsat 5 TM. Наблюдава се увеличение на температурата, не само в границите на депото, но и на север и на юг от него. В този случай се наблюдава повишение на температурните стойности както в границите на самото депо, така и в прилежащите зони на север и на юг от него.



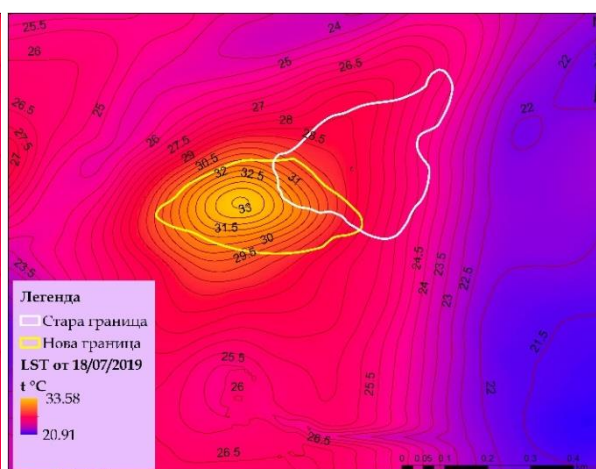
Фиг. 9. LST, Landsat 5 TM – 20.07.1999 г.



Фиг. 10. LST 5TM, Landsat – 16.03.2000 г.

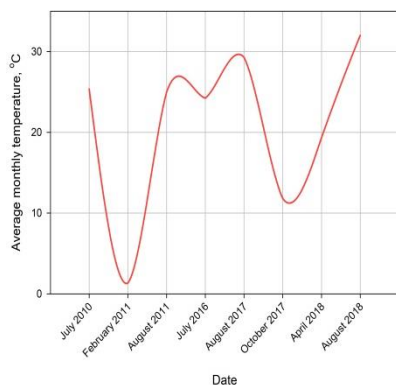


Фиг. 11. LST, Landsat 8 OLI/TIRS – 24.02.2019 г.



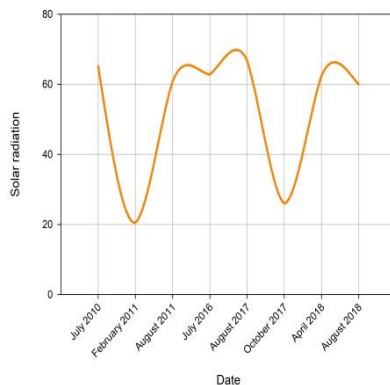
Фиг. 12 LST, Landsat 8 OLI/TIRS – 18.07.2019 г.

На фигура 11 е представено пространственото разпределение на повърхностната температура за дата 24.02.2019 г., а на фигура 12 за 18.07.2019 г. И при двете фигури най-високи стойности на температурата са регистрирани в центъра на границите на сметището. За дата 18.07.2019 г. се наблюдава така нареченото „разливане“ на температурата извън границите на депото.



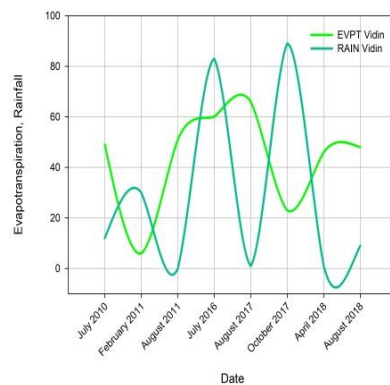
Фиг. 13

а) Средна месечна температура



Фиг.13

б) Слънчева радиация



Фиг.13

в) Разпределение на евапотранспирацията и количество паднали дъждове

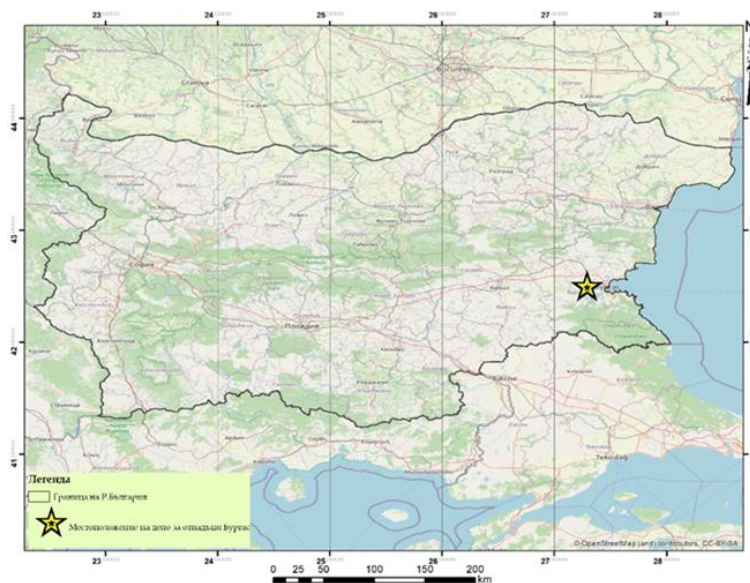
Фигура 13 а) представя средната месечна температура на въздуха около Видин. През август 2011 година температурата на въздуха е малко над +25°C, температурата на земната повърхност е +33.2°C. Слънчевата радиация за същия изследван период е показана на фиг. 13 б), а на фигура 13 в) са изобразени евапотранспирацията и количеството паднали дъждове.

Изводи към обект 1

В настоящото изследване са представени резултати от анализ на повърхностната температура на регионалното депо за битови отпадъци във Видинска област, базирани на данни от пет различни години и два различни сезона — лято и зима. Обектът е обновен и реконструиран през 2015 година, като се отчита значително влияние на тези промени върху термичния режим на депото и околностите му. След 2015 г. горещите петна се наблюдават предимно в границите на новоизграденото депо, което говори за подобрен контрол и ограничаване на топлинното замърсяване. Комбинацията от повишена влажност и протичащите биохимични процеси в самото депо обяснява наблюдаваното разпространение на по-високи температури през зимния сезон, не само в рамките на депото, но и в прилежащите северни и южни територии. Това показва, че топлинният ефект от разграждането на отпадъците се простира извън непосредствените граници на сметището, особено при по-ниски външни температури.

4.2. Анализ на получените резултати от регионално депо за битови отпадъци „Бургас“ (обект 2)

В настоящия пример е анализирано регионалното депо за битови отпадъци в района на град Бургас (фиг. 14). Обектът се намира в непосредствена близост до село Братово и екопарк „Вая“. Сметището е въведено в експлоатация през 1982 г. и е функционирало до 2015 г., когато официално е закрито. В момента на територията на обекта се извършват дейности по рекултивация, насочени към възстановяване и екологично стабилизиране на засегнатата площ. Процесът на рекултивация е планиран да се осъществи на два етапа, като включва както технически, така и биологични мерки



Фиг. 14 .Местоположение на депо за битови отпадъци Бургас, Esri OpenStreetMap

Целта на настоящия пример е да се демонстрират различни подходи за визуализация и разпознаване на сметища чрез прилагане на съвременни методи за дистанционно изследване.



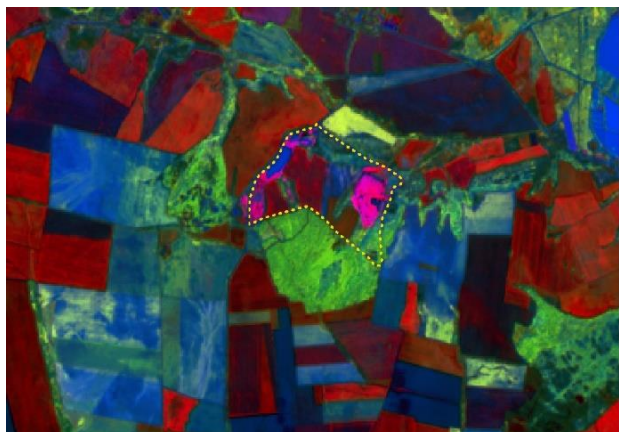
Фиг. 15. Композитно изображение от Sentinel-2 MSI от 05.08.2021 г. със спектрални канали 4-3-2



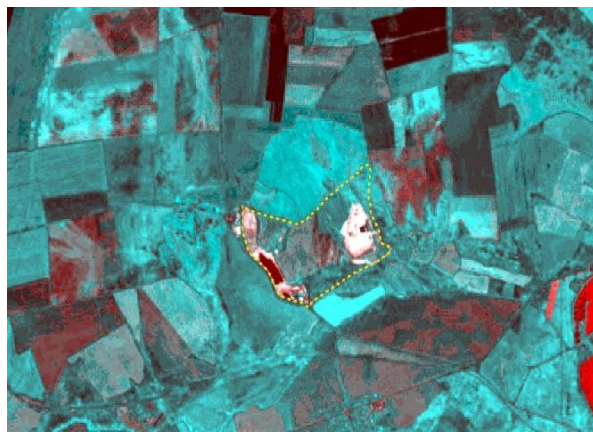
Фиг. 16. Композитно изображение от Sentinel-2 MSI от 05.08.2021 г. със спектрални канали 12-8-4

На фигура 15 е представено композитно изображение от Sentinel-2 MSI със спектрални канали R-4, G-3, B-2 във видимия диапазон. На фигура 16 отново е представено композитно изображение от платформата Sentinel-2 MSI, но този път със спектрални канали R-12, G-8, B-4. Тази композиция е най-подходяща при първично разпознаване на депа за битови отпадъци или нерегламентирани сметища, тъй като те ясно могат да се различат от останалата повърхност. За да се верифицира първоначалната идентификация е направена ортогонална трансформация на изображенията или ТСТ трансформация, която е представена на фигура 17. При нея отделните компоненти от земната повърхност, се разделят на влажност, зеленост и яркост, както вече бе споменато. При направената ТСТ трансформация, депо за отпадъци се оцветява в тъмно розово и може да се види как се откроява от заобикалящата го среда. На фигура 18 е представено съвместяване на оптично изображение от сензора Sentinel-2, получено чрез трансформация по метода Tasseled Cap Transformation (TCT), и радарно изображение от Sentinel-1 SAR, датирано от 14.08.2021 г. Чрез тази интегрирана визуализация се демонстрира алтернативен метод за интерпретация на изображения, който позволява

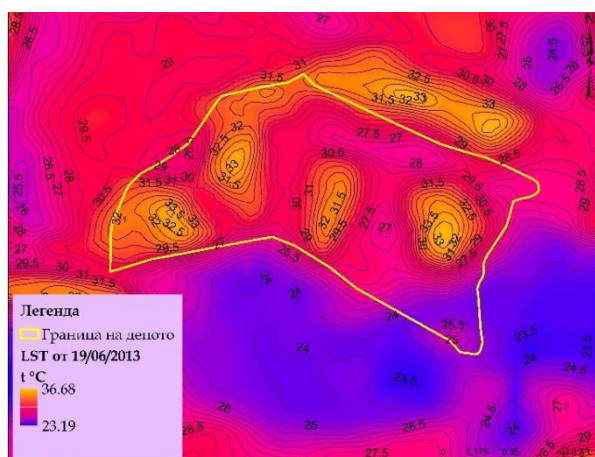
ефективно разпознаване на обекти от антропогенен произход – в конкретния случай депа за битови отпадъци.



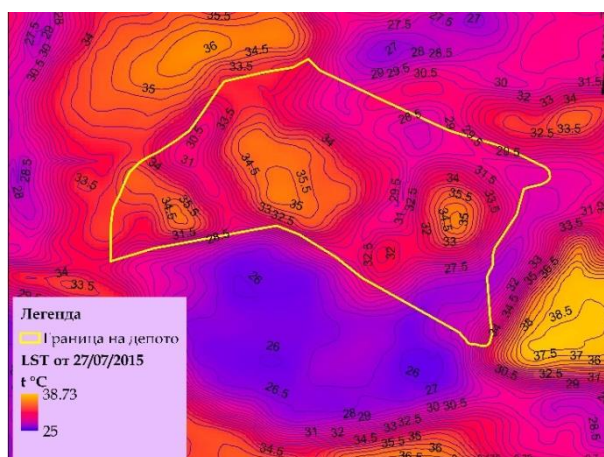
Фиг. 17. TCT – Sentinel-2 MSI 05.08.2021 г.



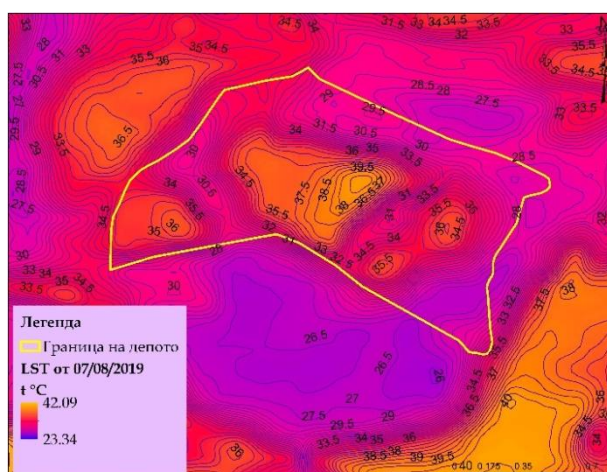
Фиг. 18. Съвместяване между SAR и TCT – 05.08.2021 г. – 14.08.2021 г.



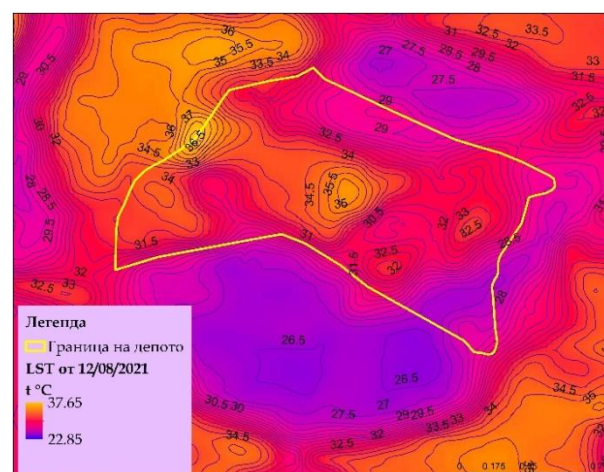
Фиг. 19. LST om Landsat 8 OLI/TIRS за 19.06.2013 г.



Фиг. 20. LST om Landsat 8 OLI/TIRS за 27.07.2015 г.



Фиг. 21. LST om Landsat 8 OLI/TIRS за 07.08.2019 г.



Фиг. 22. LST om Landsat 8 OLI/TIRS за 12.08.2021 г.

По отношение на данните, получени от сензора Landsat и изчислената повърхностна температура (LST) за изследвания обект, се наблюдава ясно изразено повишаване на температурните стойности в периода от 2013 г. до 2015 г. В този интервал температурата на повърхността нараства от приблизително 31–32°C през 2013 г. до 34–35.5°C през 2015 г. В

началните етапи от наблюдавания период се формират няколко по-малки, изолирани топлинни острова, които с времето се разширяват и пространствено се обединяват, образувайки един по-голям топлинен участък (фиг. 19–20).

През 2015 г. се наблюдават подобни на 2013 г. стойности, като през 2019 г. също се наблюдава повишаване на стойностите от 39,5°C в средата на топлинния остров, който очевидно вече заема по-голяма територия (фиг. 21). През 2021 г. стойностите намаляват до 35°C, но площта на топлинния остров не намалява, а се увеличава, като се наблюдава излизане от границата на сметището в западната му част.

Изводи към обект 2

Урбанизацията има отрицателно въздействие върху околната среда главно чрез генериране на замърсяване, промяна на физичните и химичните свойства на атмосферата и покриване на почвената повърхност. Топлинната енергия е друг страничен ефект, който е резултат от разграждането на твърди битови отпадъци. Генерирането на топлина от депата за битови отпадъци също е отговорно за формирането на микроклиматична зона около депото, което има последствия за околната среда в близост до депото. Тази генерирана топлина е донякъде подобна на градските топлинни острови (Urban Heat Island – UHI).

4.3. Анализ на получените резултати от нерегламентирано сметище „Своге“ (обект 3)

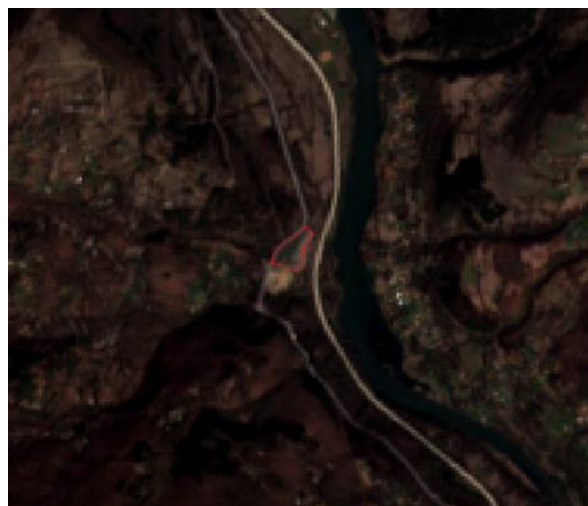
Изследваният обект се намира в непосредствена близост до една от природните забележителности на Република България – Искърското дефиле. От там минава и най-дългата река на територията на държавата - река Искър. Депото е разположено на западния склон, който е със стръмен откос между гр. Своге и с. Церово. Обекта съществува от поне 20 години и може да се впише в графа нерегламентирано до ден днешен. През януари 2021 година, сметището създава голяма опасност от екологична катастрофа, тъй като голяма част от боклука попада в река Искър, което води до задръстване и трудното почистване на коритото (фиг. 23).



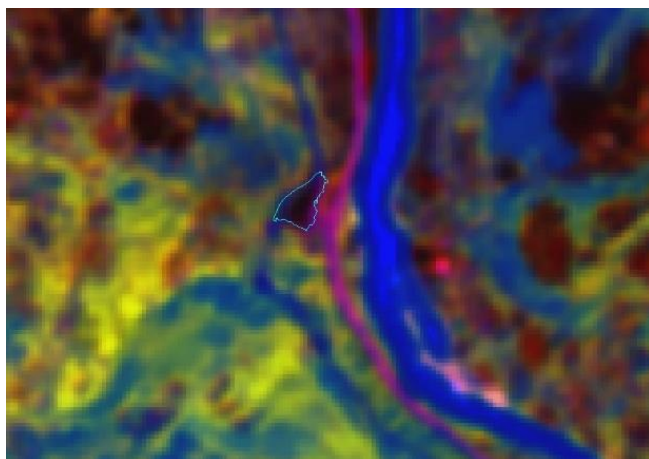
Фиг. 23. Местоположение на нерегламентираното депо „Своге“, Esri OpenStreetMap



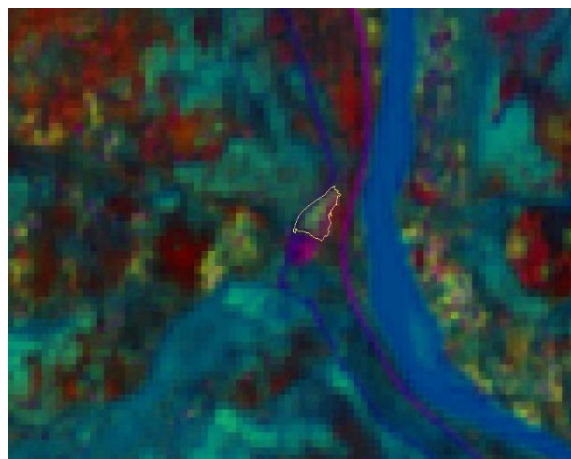
Фиг. 24. Композитно изображение от Sentinel-2 MSI от 28.08.2015 г. със спектрални канали 4-3-2



Фиг. 25. Композитно изображение от Sentinel-2 13.04.2022 г. със спектрални канали 4-3-2



Фиг. 26. TCT от Sentinel-2 MSI 28.08.2015 г.

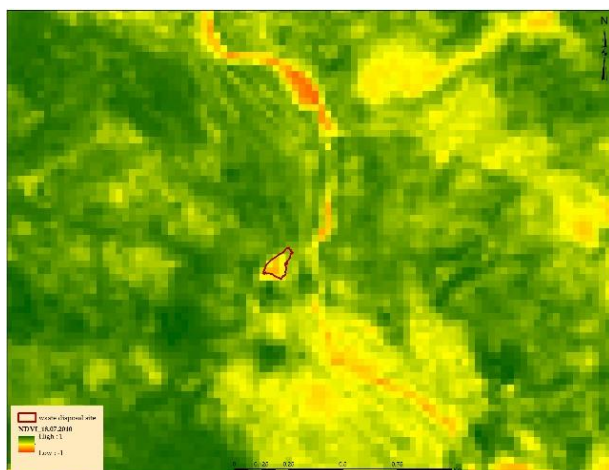


Фиг. 27. TCT от Sentinel-2 от 13.04.2022 г.

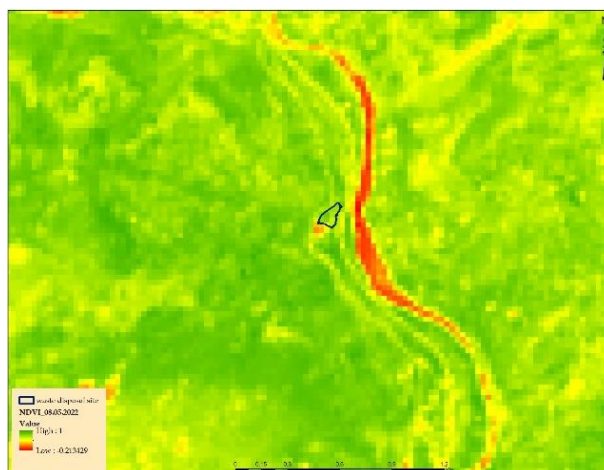
На фигурите 24 и 25 са представени композитни изображения от мултиспектралния инструмент Sentinel-2 MSI във видимия диапазон. На фигура 24 изображението е от 28.08.2015 г. на която ясно могат да се видят границите на сметището. ТСТ трансформацията (фиг. 26 и фиг. 27) се утвърждава като един от най-надеждните методи за разпознаване и визуализация на депа за битови отпадъци чрез дистанционни изследвания. Благодарение на спектралната си чувствителност към влага, растителност и оголена почва, методът позволява ясно разграничаване на очертанията на сметищата от околните територии. На спътниковите изображения от 2022 г. (фиг. 25 и фиг. 27) се наблюдава изместване на активната част на сметището в южна посока спрямо предходните граници, както и забележимо намаляване на обема на депонираните отпадъци. Въпреки това, наличието на остатъчна активност в обекта показва, че процесът на извеждане на отпадъците до гр. Костинброд не е напълно приключен, както е споменато в доклад от 2017 г. на община Своге и проблемът остава нерешен.

За целите на анализа е използван NDVI индексът (Normalized Difference Vegetation Index), който служи като надежден индикатор за състоянието на растителната покривка (фиг. 28 и фиг. 29). Чрез неговото приложение се проследяват въздействията на депото върху околната

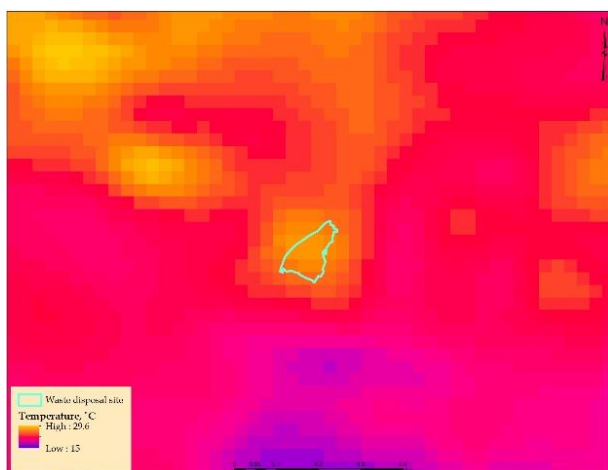
растителност, както и евентуални промени в здравословното състояние на екосистемите в периферните зони.



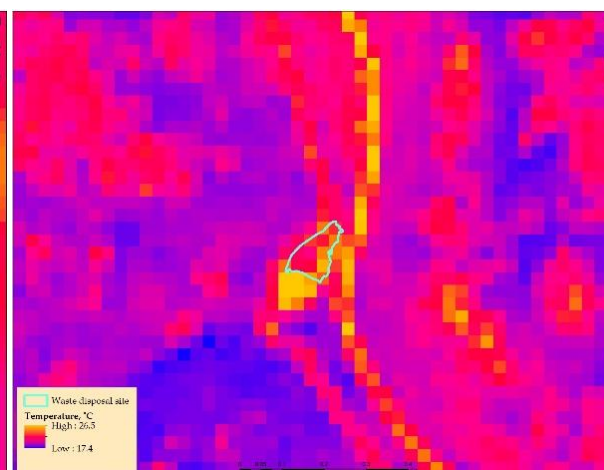
Фиг. 28. NDVI om Sentinel-2 MSI om 18.07.2010 г.



Фиг. 29. NDVI om Sentinel-2 MSI om 08.05.2022 г.



Фиг. 30. LST om Landsat 5 TM om деномo за 08.07.2010 г.



Фиг. 31. LST om Landsat 9 OLI/TIRS за 13.04.2022 г.

На фигура 30 е представено пространственото разпределение на повърхностната температура, изчислено на базата на спътникови данни от Landsat 5 TM за дата 08.07.2010 г. Ясно се забелязва повишение на температурата в границата на сметището, като тя достига до +29.6 °C в центъра на обекта, което е характерно при всички изследвани депа за отпадъци в настоящата работа. На следващата фигура (фиг. 31) е представена повърхностната температура от дата 13.04.2022 г. И тук продължава тенденцията, както при TCT и NDVI от 2022 година. Сметището е изместено директно на юг от границите му, като най-висока температура се регистрира в новообразуваното депо +26.5 °C. То продължава да излъчва топлина и в района на старата си граница

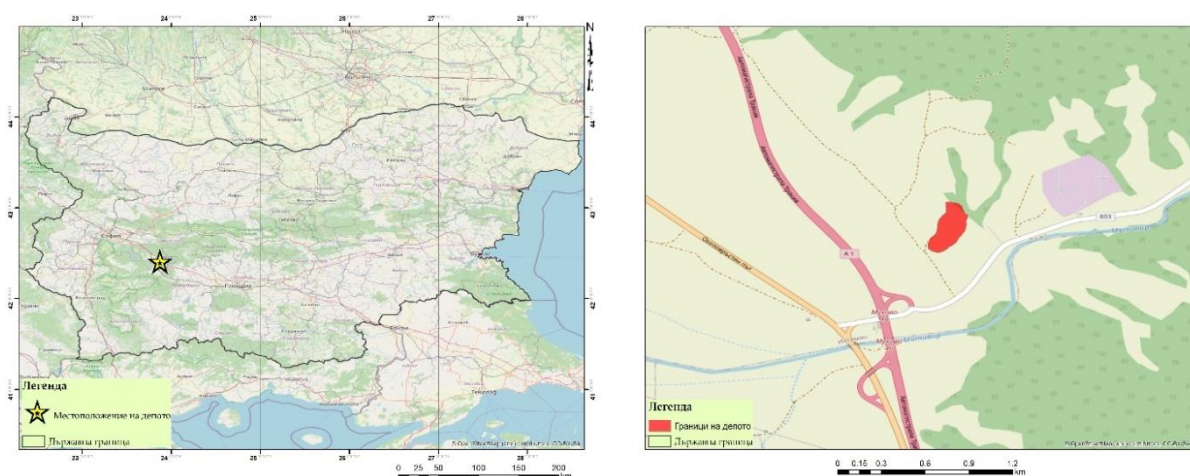
Изводи към обект 3

Анализът на обекта разкрива сериозна необходимост от спешни мерки за отстраняване на отпадъците и последващо почистване и рекултивация на засегнатата територия. Необходимо е своевременно уведомяване на компетентните институции, тъй като продължаващото нерегламентирано депониране в района създава предпоставки за сериозна екологична заплаха, включително замърсяване на почвата, въздуха и водните ресурси. Налице са ясно

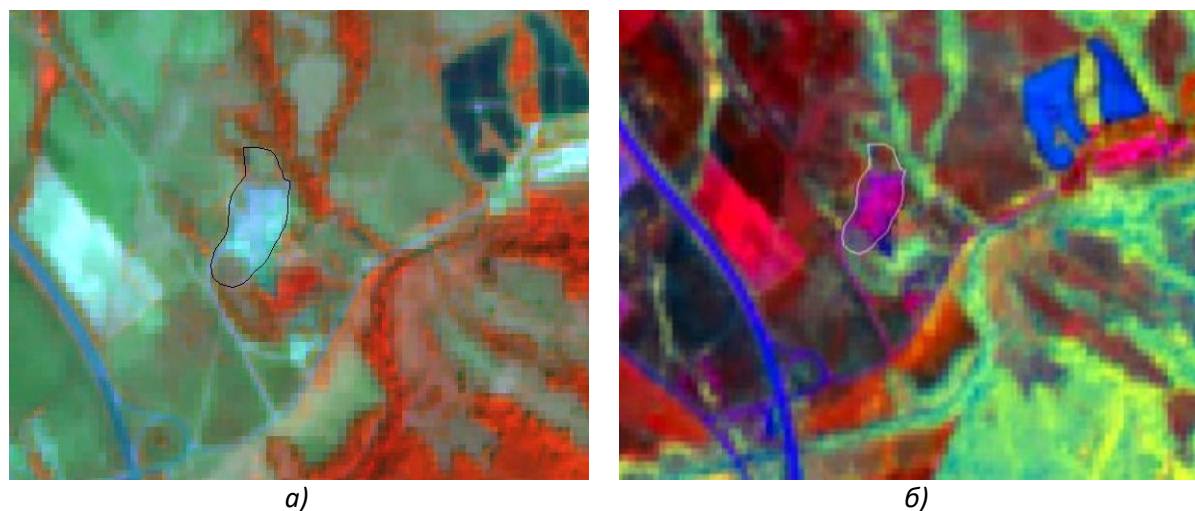
измерими промени в локалните температурни стойности, установени чрез дистанционно наблюдение, което свидетелства за формирането на локални топлинни аномалии.

4.4. Анализа на получените резултатите от депо за битови отпадъци „Ихтиман“ (обект 4)

В настоящия пример, обект на анализ е депото за битови отпадъци в близост до град Ихтиман. При изследването на този обект е установено собствено възпламеняване, дължащо се на протичащи вътрешни биохимични и термохимични процеси. Депото се намира в непосредствена близост до АМ „Тракия“ (международен път Е-80, фиг. 67). Честото възпламеняване и тлеене води до намалена видимост по магистралата и създава предпоставки за ПТП (фиг. 32).

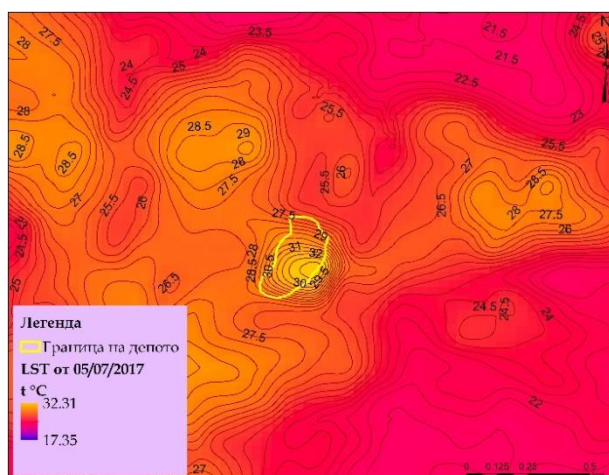


Фиг. 32. Местоположение на депо за отпадъци „Ихтиман“, Esri OpenStreetMap

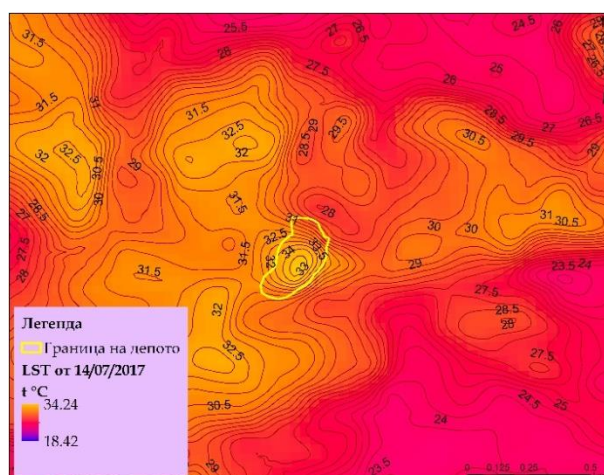


Фиг. 33. а) Композитно изображение от Sentinel-2 MSI – 17.12.2019 г., канали 9-13-4;
б) ТСТ от 17.12.2019 г.

На фигура 33 а) е представено композитно изображение на сметището в Ихтиман от платформата Sentinel-2 със спектрални канали 9-12-4. Фигура 33 б) представя резултатите от приложената ортогонална трансформация за депото в района на Ихтиман. Наблюдава се ясно изразено оцветяване на сметището в лилав цвят, аналогично на резултатите от предходните анализирани обекти в настоящото изследване.

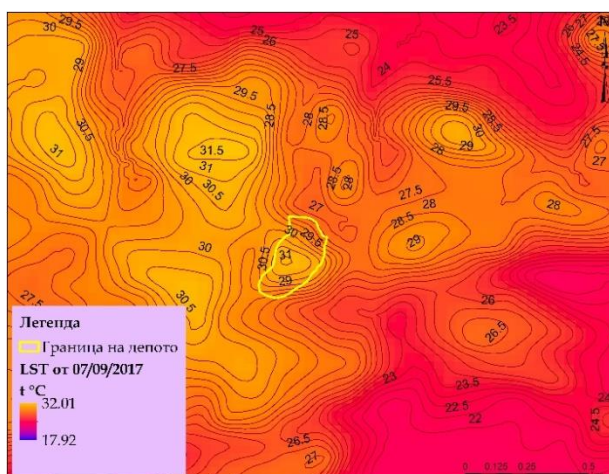


Фиг.34. LST om Landsat 8 OLI/TIRS – 05.07.2017 г.

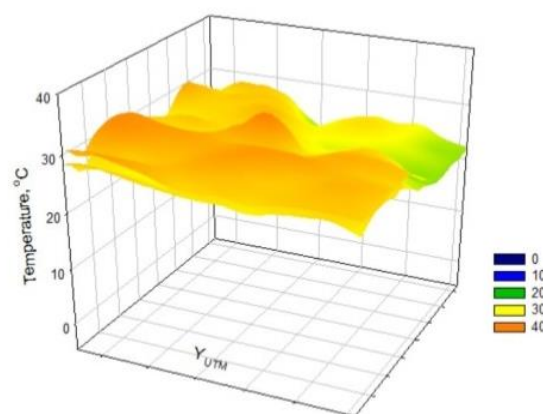


Фиг.35. LST om Landsat 8 OLI/TIRS – 14.07.2017 г.

На фигура 34 е представено пространственото разпределение на повърхностната температура в района на сметището към дата 05.07.2017 г., ден преди регистрираното явление на самовъзпламеняване. Максималните температурни стойности са локализиращи в централната част на депото, достигайки до +32 °C, Повърхностната температура на околната среда, близо до изследвания обект варира между +27 °C и достига до +29 °C. На фигура 35 е представена повърхностната температура, получена от спътникови данни от Landsat 8 OLI/TIRS, седмица след пожара – 14.07.2017 г. Анализът показва, че най-високите температурни стойности отново са концентрирани в рамките на самото депо за битови отпадъци. Температурата в центъра на изследвания обект се е повишила с 2 °C и достига до +34 °C, като отново се наблюдава разсейване на повърхностната температура върху зоните извън депото за отпадъци и достигат до +32 °C. Това води до извода, в зоната на депото вероятно продължават тлеещи процеси които предполага, че пожарът не е напълно овладян.



Фиг. 36. LST om Landsat 8 OLI/TIRS– 07.09.2017г.



Фиг. 37. Пространствено разпределение на t°C в депото – 05.07.2017 г. – 07.09.2017 г.

На фигура 37 е представено пространствено разпределение на температурата на околната среда между две дати: преди и след пожара – 05.07.2017 и 07.09.2017 г. Ясно се наблюдава, че разпределението на повърхностната температура не показва значителни промени между разглежданите периоди. В същото време се наблюдава понижение на температурата, източно

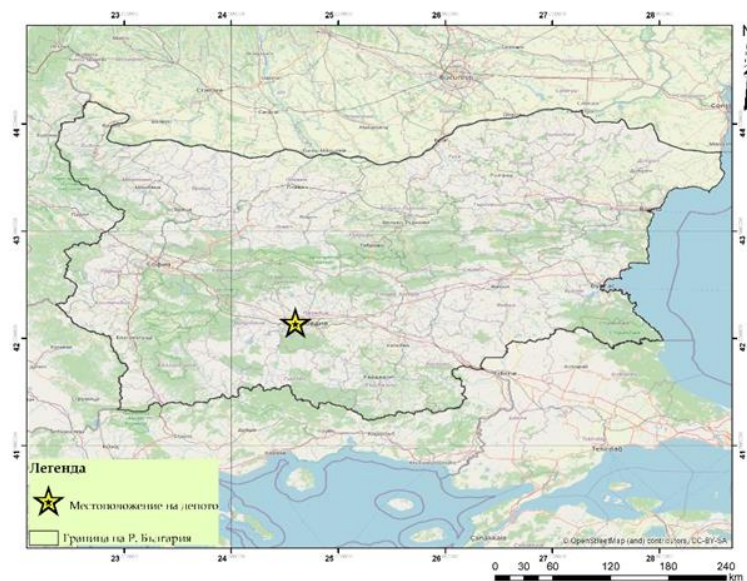
от обекта на изследване. Това би могло да се дължи на факта, че в близост има гора, която не е засегната от пожара.

Изводи към обект 4

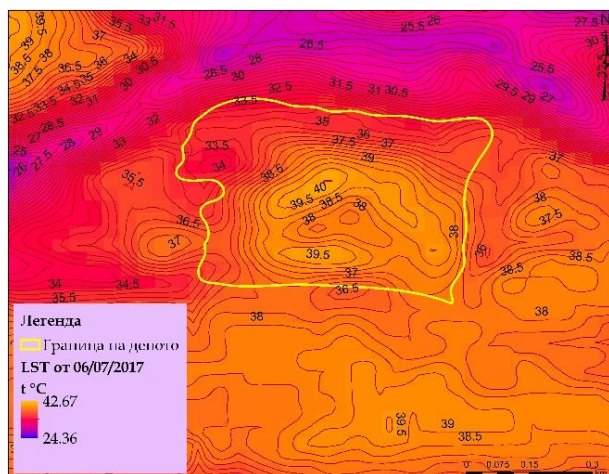
Необходимо е да се предприемат спешни мерки за контрол и безопасно управление на депото, като се осигури непрекъснат мониторинг на неговото състояние. Възпламеняването на отпадъците представлява сериозен екологичен риск, който може да доведе до значителни последици за околната среда и здравето на населението в региона. От друга страна задимяването, причинено от samozапалването, е сериозна предпоставка за пътнотранспортни произшествия, тъй като депото се намира в непосредствена близост до ключова пътна артерия – Паневропейски коридор N8. Този коридор е с интензивен трафик на пътници и товари, а ограничената видимост в следствие на дима увеличава риска от пътнотранспортни произшествия. Поради това е препоръчително да се разработят и прилагат конкретни превантивни мерки за ограничаване на въздействието на пожара върху пътната мрежа и да се осигури бърза реакция при възникване на инциденти.

4.5. Анализ на получените резултати от депо за битови отпадъци „Цалапица“ (обект 5)

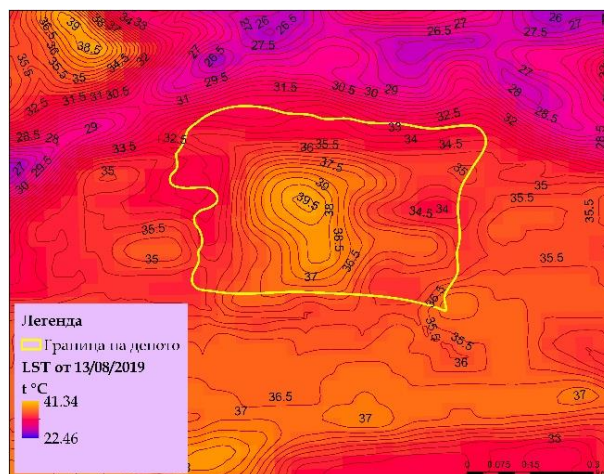
В настоящия пример е разгледан случаят с депо за битови отпадъци, разположено в близост до село Цалапица, област Пловдив. Сметището се намира в непосредствена близост до река Марица — една от главните речни артерии на територията на Република България, което налага повишено внимание по отношение на екологичния контрол и мониторинг. Депото е достигнало пълния си капацитет още през 2017 година, но въпреки това все още продължава да функционира. По налични данни, обектът е създаден през 1991 година, което означава, че функционира вече над три десетилетия. Тази продължителна експлоатация и надвишаване на капацитета поставят сериозни предизвикателства. Депото обслужва всички населени места от регионалното сдружение за управление на отпадъците. В близост е до няколко населени места – Кадиево, Оризари и Цалапица (фиг.38).



Фиг. 38. Местоположение на депо Цалапица, Esri OpenStreetMap

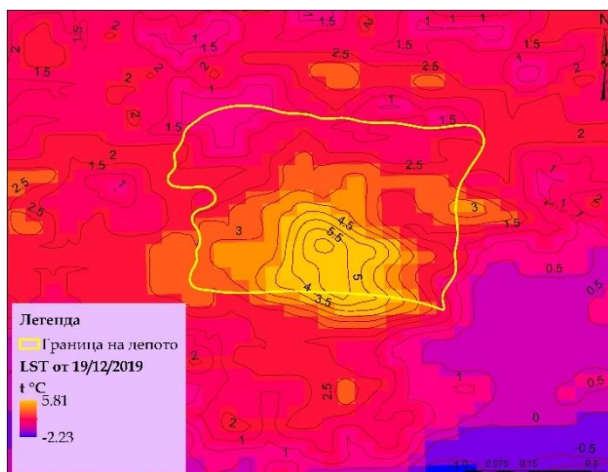


Фиг. 39. LST om Landsat 7 ETM+ om 06.07.2017 г.

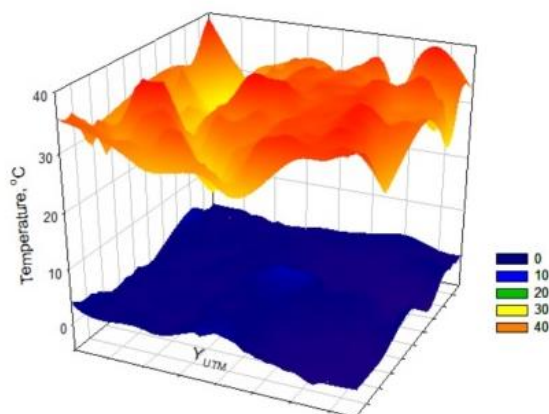


Фиг. 40. LST om Landsat 7 ETM+ om 13.08.2019 г.

По-различното в този пример е проследяването преди и след собствено възпламеняване на депото за отпадъци, причинено от биохимичните процеси, протичащи вътре в него. На фигура 39 е представена повърхностната температура на сметището в Цалапица за 06.07.2017 г. по данни на Landsat. Регистрирана е най-висока стойност от +40 °C в центъра на сметището, а също така и южно от изследвания обект. По-ниски са стойностите около река Марица и по цялата ѝ дължина, което не е изключение за обекти с вода и влага. От температурата на 13.08.2019 г. (фиг. 40) се забелязва, че в центъра на сметището тя достига до +39°C. И при двете фигури се наблюдава приблизително еднакво разпределение на повърхностната температура вътре в самия изследван обект и около него.



Фиг. 41. LST от Landsat 7 ETM+ от 19.12.2019 г.

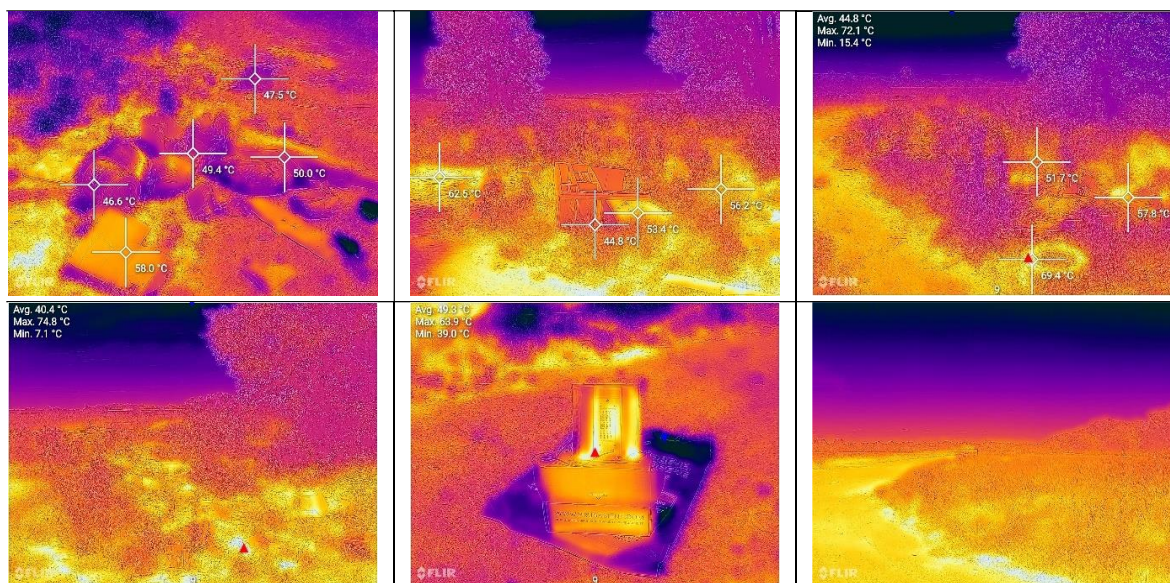


Фиг. 42. LST от 13.08.2019-19.12.2019 г.

Данни за регистриран пожар има от 13.12.2019 г. За съжаление не са открити качествени изображения дни преди явлението, тъй като има наличие на облачност. Използвано е изображение от 19.12.2019 г., което е 6 дни след събитието с пожара. Изчислена е повърхностната температура, която в района на сметището в Цалапица е $+5.5^{\circ}\text{C}$ (фиг.41). Наблюдават се по-високи стойности изцяло върху територията на изследвания обект. На фигура 41 е представено пространственото разпределение на повърхностната температура на депото за битови отпадъци в Цалапица. Получените резултати показват, че пожара от 13.12.2019 г. не оказва съществено влияние върху останалата повърхност през по-студените месеци на годината.

От проведените теренни проучвания през юли 2023 г. се установява наличието на няколко по-малки, разпръснати нерегламентирани сметища, разположени в непосредствена близост до основното депо, в района на обработваеми земеделски площи. Наличието на тези нерегламентирани площадки допринася за разширяване на топлинните острови в южна посока спрямо основното депо. Част от теренните изследвания са извършени именно в тези зони.

По време на теренните изследвания е използвана термална камера FLIR, която позволява заснемането на детайлни термални изображения. Благодарение на високата чувствителност и разделителна способност на уреда, е възможно да се получи прецизна информация за температурното разпределение на повърхността, което подпомага интерпретацията на топлинните аномалии и оценката на потенциални рискове в изследвания район.



Фиг. 43. Данни от нерегламентирано сметище в Цалапица, Термална камера FLIR



Фиг. 44. Ортофото, заснето с помощта на БЛА

За целите на изследването е използван безпилотен летателен апарат (БЛА) с цел създаване на високопрецизен фотограметричен модел на депото за отпадъци. Полученото ортофото изображение има пространствена разделителна способност от 3 cm и е представено на фигура 44.

Друг източник на данни, използван в настоящото изследване, са измерванията, получени от автоматичната метеорологична станция за регистриране на данни (AWG – фиг. 45), която е представена подробно в таблица 5. Данните са генерирани от теренно (in situ) проучване.



Фиг. 45. AWG с екологична батерия

Таблица 5. Сурови данни от AWG

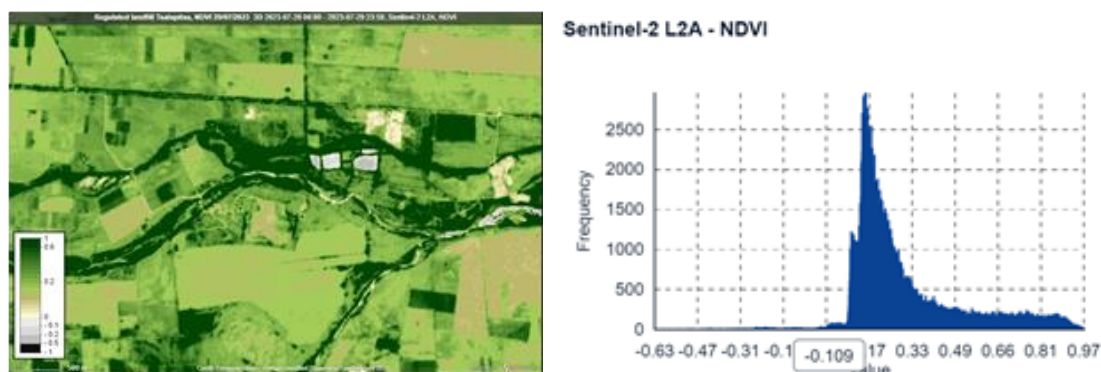
	Date	Time UTC	GPS Lat	GPS Long	GPS Alt	Sattelite	Luminanc	UV Ir	Barrometric	Temp	Altitude	Atitud	Humid
2	7/29/2023	10:56:33 AM	42.14873	24.586339	172.5	12	96	0	1008.33	27	41.04	3.73	33.1
3	7/29/2023	10:56:54 AM	42.14873	24.586336	172.8	12	96	0	1008.81	28	37.03	6.76	33.2
4	7/29/2023	10:57:15 AM	42.14873	24.586338	172.2	12	95	0	1008.72	29	37.78	9.58	33.3
5	7/29/2023	10:57:36 AM	42.14873	24.586338	172.1	12	95	0	1008.7	29	37.95	12.16	33.4
6	7/29/2023	10:57:57 AM	42.14873	24.586336	173.5	12	95	0	1008.67	28	38.2	14.53	33.5
7	7/29/2023	10:58:18 AM	42.14872	24.58633	174	12	94	0	1008.67	27	38.2	16.68	33.5
8	7/29/2023	10:58:39 AM	42.14872	24.586336	174.7	12	95	0	1008.66	28	38.29	18.64	33.6
9	7/29/2023	10:59:00 AM	42.14871	24.586339	176.2	12	96	0	1008.67	27	38.2	20.42	33.6
10	7/29/2023	10:59:21 AM	42.14871	24.586341	176.8	12	95	0	1008.67	28	38.2	22.04	33.6
11	7/29/2023	10:59:42 AM	42.14871	24.586341	175.9	12	91	0	1008.66	28	38.29	23.51	33.7
12	7/29/2023	11:00:03 AM	42.14875	24.586481	176.6	12	95	0	1008.61	29	38.7	24.9	33.8
13	7/29/2023	11:00:24 AM	42.14874	24.586328	175.6	12	95	0	1008.69	28	38.04	26.09	33.9
14	7/29/2023	11:00:45 AM	42.14861	24.586172	176.9	12	96	0	1009.04	26	35.11	26.91	33.9
15	7/29/2023	11:01:06 AM	42.1486	24.586154	176.6	12	99	0	1009.24	27	33.44	27.5	33.9
16	7/29/2023	11:01:27 AM	42.1486	24.586158	176.6	12	99	5	1009.13	27	34.36	28.13	34.2
17	7/29/2023	11:01:48 AM	42.14861	24.586164	175.8	12	99	2	1008.84	27	36.78	28.91	34.4
18	7/29/2023	11:02:09 AM	42.1486	24.586166	176	12	99	4	1008.42	27	40.29	29.95	34.8
19	7/29/2023	11:02:30 AM	42.1486	24.586168	175.1	12	99	4	1008.14	26	42.63	31.1	35.1
20	7/29/2023	11:02:51 AM	42.14861	24.586177	175.1	12	99	4	1007.66	26	46.64	32.51	35.6
21	7/29/2023	11:03:12 AM	42.14862	24.586177	176.7	12	99	4	1007.21	26	50.41	34.14	36
22	7/29/2023	11:03:33 AM	42.14862	24.58617	176.3	12	99	4	1006.6	26	55.51	36.08	36.5
23	7/29/2023	11:03:54 AM	42.14862	24.586183	174	12	96	4	1006.18	25	59.03	38.17	37

В рамките на настоящото изследване са изчислени два основни спектрални индекса – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и NDGI (Normalized Difference Green Index).

NDVI е най-широко използваният спектрален индекс за мониторинг на растителността и оценка на фотосинтетичната активност на културите. NDVI съответства на диференциалния отговор на абсорбцията на хлорофил и отражението на вътрешния гъбест мезофилен слой от листата на растенията във видимата червена и NIR област. Установено е, че колебанията на NDVI във времето са силно свързани с климатичните промени и могат да служат като ефективна мярка за свързаните с климата промени в растителността.

Освен това промените в стойностите на NDVI корелират с модела NDGI и ТСТ, които са избрани за това проучване.

NDGI Normalized Differential Greenness Index (NDGI) е индекс за оценка на динамиката на растителността. Индексът NDGI се извлича от компонента Greenness от ортогонална трансформация на изображението (ТСТ). Използвани са спътникови изображения от Sentinel-2. Подходът за определяне на NDGI, се основава на ортогонализацията на спътникови изображения. помощта на компонента Greenness се основава на характеристиките на спектралното отражение на растителността. NDGI показва динамиката на промяната в състоянието на растителността с помощта на различни периоди от време. NDGI варира от +1 до -1 и е приложим за оценка на развитието на вегетационния процес (фиг. 88).



Фиг. 46. Нормиран разликов вегетационен индекс

Стойностите на NDVI около нула (0) от Sentinel 3 са типични за територията на депото в Цалапица. На места стойността достига под нулата (0). От стойностите на NDVI за депо „Цалапица“ (фиг. 46) от 29.07.2023 г., когато е извършено и теренно проучване (in situ), стойностите са около 0 (нула) и близки до 1 (единица).

Изводи към обект 5

Изследването предоставя възможност за успешно валидиране на текущото състояние на наблюдаваните обекти чрез интеграция на различни видове данни в рамките на създадения модел и методика за мониторинг. Комплексният подход се оказва ефективен и достатъчно прецизен, поради включването на разнообразни източници на информация и получените резултати. Данните от полеви изследвания, включително мобилен спектрометър и термална камера, се съпоставят успешно със спътниковите наблюдения от Sentinel-1 SAR. Изчислената повърхностна температура (LST) осигурява точна оценка на температурните аномалии и вариациите в амплитудата на разглеждания обект, което позволява проследяване на динамиката на различните процеси и оценка на въздействието върху околната среда.

Въпреки физико-географското разположение на депото в Цалапица, анализите доказват значително по-високи стойности на влагосъдържание в тази зона в сравнение със съседните територии. Разбира се, това не се дължи на природни климатични фактори, а на факта, че депото редовно се овлажнява и преовлажнява (често) с вода и употребата на различни препарати.

Не на последно място, се установява, че независимо от географското и физико-географското местоположение на депото, разработеният методологичен модел е универсално приложим и осигурява надеждна и актуална информация, която може да се използва за информирани управленски решения в сферата на мониторинга и опазването на околната

среда. Целта на методологията не е да се използват дълги редове от статистически данни, а данни, които могат да се използват от експерти и неексперти, учени и администрация.

Наличието на теренни проучвания чрез иновативна автоматична метеорологична станция е възможност за по-подробна информация на място, тъй като данните често се интерполират. Този тип станция е иновация, защото използва възобновяеми енергийни източници като солена вода и магнезий. Тя може да работи независимо от географското местоположение, тъй като вече е тестван и в полярни условия през 2022г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За всеки от разгледаните примери в глава 4 е изведено конкретно заключение, което подчертава значението на системното наблюдение на депата за отпадъци. Ненавременното вземане на мерки по отношение на възникващите проблеми, свързани с функционирането на тези обекти, представлява сериозна заплаха за общественото здраве, опазването на околната среда и устойчивото управление на природните ресурси.

Сред ключовите причини за необходимостта от редовен и междувременен мониторинг на депата за битови отпадъци се открояват следните:

- **Ограничаване на риска за човешкото здраве** - Отделените токсични вещества и газове влияят отрицателно върху здравето на хората, живеещи в близост до депото, като могат да доведат до дихателни проблеми и други заболявания. Конкретен пример, свързан с този проблем е наскоро самозапалилото се депо за битови отпадъци, в близост до Цаланица (обект 5). Установено е сериозно обгазяване, като то достига освен до населените места, които са в близост до депото, но и в някои квартали в гр. Пловдив. От друга страна неправилното управление на депата привлича насекоми, птици и гризачи, които са сериозен разпространител на заболявания, свързани с бактериални инфекции.
- **Провеждане на контрол на разпространение на вредни вещества** – все по-често в депата за отпадъци могат да попаднат опасни материали като тежки метали, химикали и електронни отпадъци, които крият опасност, ако не се контролират на време.
- **Предотвратяване на замърсяване на почвата и водите** – неправилното третиране на отпадъците може да доведе до отделяне на токсични вещества, които могат да проникнат в почвата. С течение на времето тези токсини водят до замърсяване на подпочвените и повърхностните води, които са източници на питейна вода, селскостопански нужди и екосистеми. Редовното провеждане на наблюдение на депата могат да предотвратят такива замърсявания.
- **Контрол върху разпространението на топлинните острови и биохимичните процеси, които могат да доведат до дългосрочни вреди върху почвата и околните водоизточници** – чрез биохимичните процеси, които протичат вътре в самите депа за отпадъци, се генерира метан и въглероден диоксид, които са парникови газове и допринасят за климатичните промени. Често около сметищата се образува локален микроклимат, който се отличава от останалата повърхност. Метанът например е основния причинител за собствено възпламеняване в сметищата. Следенето именно на тези емисии е необходимо, за да може да се контролира замърсяването на въздуха.
- **Подобряване на управлението на отпадъците чрез информирани и навременни решения, базирани на съвременни дистанционни и теренни данни**

На базата на спътниковите данни е разработен хибриден модел на методика за мониторинг на топлинното замърсяване от депа за битови отпадъци. За всеки един от

изследваните обекти в дисертационния труд е използван индивидуален подход, с цел да се проследи топлинните процеси, протичащи в сметищата на база данни от различни спектрални диапазони.

ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИ ТРУД

Научно-приложни:

1. В дисертационния труд е създаден и приложен за първи път иновативен аналитичен модел за изследване на пространствено-времето разпределение на повърхностната температура (Land Surface Temperature – LST) над обектите на изследване, чрез използване на мултиспектрални оптични спътникови данни от спътниците Landsat. Моделът е реализиран в среда на ERDAS IMAGINE и позволява количествена оценка на топлинното замърсяване и идентификация на топлинни острови в зоните около депата за отпадъци.

Приложни

2. Разработена е система от три хибридни модела за изследване и оценка на топлинното замърсяване в регламентирани депа и потенциални топлинни острови, изградена на базата на предложена методика. Всеки модел отчита специфичните характеристики на обектите чрез прилагане на комплексен подход с комбинация от данни.

3. Получени са резултати от мониторинг на термичните характеристики на депата за битови отпадъци (както регламентирани, така и нерегламентирани) чрез прилагане на комплексен подход, базиран на радарни (SAR) и оптични спътникови изображения, данни от безпилотни летателни апарати (БЛА), както и наземни измервания. Това осигурява по-висока точност в идентифицирането и проследяването на термални аномалии.

4. Създадена е геопространствена база данни, обединяваща спътникови изображения в оптичен и микровълнов спектър, с различна честота на повторяемост за всеки от анализирания обекти. Тази база данни представлява ценен ресурс за бъдещи анализи и може да бъде използвана от различни заинтересовани страни — включително научната общност, държавната и местна администрация, частния сектор и гражданското общество — за цели, свързани с устойчиво управление на отпадъците и оценка на екологичните рискове.

ПУБЛИКАЦИИ НА АВТОРА, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Adlin Dancheva, Roumen Nedkov, Denitsa Borisova, Temenuzhka Spasova, and Nikolay Georgiev "Using optical and radar images to study the thermal pollution from the waste disposal site around Vidin area", Proc. SPIE 11149, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XXI, 1114928 (21 October 2019); <https://doi.org/10.1117/12.2538116>

2. Adlin Dancheva "Differential estimation of temperature changes in landfills through the use of satellite data", Proc. SPIE 11534, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications XI, 115340J (20 September 2020); <https://doi.org/10.1117/12.2574057>

3. Dancheva, A., Spasova, T., "Use of Open, Spatial and Satellite Data for the Purpose of Researching Landfills for Municipal," January 2023 Aerospace Research in Bulgaria, 35 41 –51 <https://doi.org/10.3897/arb.v35.e05>

4. Dancheva, A, "Methods for identification and visualization of municipal waste disposal sites using aerospace data," Ecological Engineering and Environment Protection, (2), 56 –60 (2021). <https://doi.org/10.32006/eeep>

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

1. Richter, A., M. Kazaryan, M. Shakhramanyan, R. Nedkov, D. Borisova, N. Stankova, I. Ivanova, and M. Zaharinova, "Estimation of thermal characteristics of Waste disposal sites using Landsat satellite images," *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences*, 70(2), (2017).
2. Magdalena Daria Vaverková, Alžbeta Maxianová, Jan Winkler, Dana Adamcová, Anna Podlasek, Environmental consequences and the role of illegal waste dumps and their impact on land degradation, *Land Use Policy*, Volume 89, 2019, 104234, ISSN 0264-8377, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104234>.
3. <https://marti-trans.com/%D0%B4%D0%B5%D0%BF%D0%BE-%D0%B7%D0%B0-%D0%BE%D1%82%D0%BF%D0%B0%D0%B4%D1%8A%D1%86%D0%B8/>
4. https://www.brecksville.oh.us/Engineering/engineering_pdf/IllegalDumping%20-%20A%20Serious%20Issue.pdf
5. Spasova, T, Ivanova, I., Avetisyan, D., Dancheva, A, "Spectral analysis and mapping of unregulated and regulated landfills in Bulgaria", *Proc. SPIE 13212, Tenth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2024)*, 132121M (13 September 2024); <https://doi.org/10.1117/12.3038626>
6. Директива 1999/31/ЕО на Съвета от 26 април 1999 година относно депонирането на отпадъци ОВ L 182, 16.7.1999г., стр. 1—19 (ES, DA, DE, EL, EN, FR, IT, NL, PT, FI, SV) специално българско издание: глава 15 том 005 стр. 94 – 112
7. <https://www.epa.gov/hw/learn-basics-hazardous-waste>
8. https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/mining-waste_en
9. Garrod G., Willis K. Estimating lost amenity due to landfill waste disposal. *Resour. Conserv. Recycl.* 1998;22:83–95. doi: 10.1016/S0921-3449(97)00046-3
10. Sakawi Z., Sharifah S.A., Jaafar O., Mahmud M. Community perception of odour pollution from the landfill. *Res. J. Environ. Earth Sci.* 2011;3:142–145.
11. <https://www.ecology-and-infrastructure.bg/bg/prechistvane-na-infiltrat-ot-depa-za-otpadaci/2/308/>
12. Daria Vaverková, M., Zloch, J., Radziemska, M., & Adamcová, D. (n.d.). ENVIRONMENTAL IMPACT OF LANDFILL ON SOILS-THE EXAMPLE OF THE CZECH REPUBLIC. <https://doi.org/10.17951/pjss/2017.50.1.93>
13. Yahya Kooch, Azam Nouraei, Katayoun Haghverdi, Steffen Kolb, Rosa Francaviglia, Landfill leachate has multiple negative impacts on soil health indicators in Hyrcanian forest, northern Iran, *Science of The Total Environment*, Volume 896, 2023, 166341, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166341>.
14. Amano, K.O.A., Danso-Boateng, E., Adom, E., Kwame Nkansah, D., Amoamah, E.S. and Appiah-Danquah, E. (2021), Effect of waste landfill site on surface and ground water drinking quality. *Water Environ. J.*, 35: 715-729. <https://doi.org/10.1111/wej.12664>
15. Nathanson, Jerry A.. "water pollution". *Encyclopedia Britannica*, 28 May. 2024, <https://www.britannica.com/science/water-pollution>. Accessed 2 June 2024.
16. Kumar S., Gaikwad S.A., Shekdar A.V., Kshirsagar P.S., Singh R.N. Estimation method for national methane emission from solid waste landfills. *Atmos. Environ.* 2004;38:3481–3487. doi: 10.1016/j.atmosenv.2004.02.057.

17. Palmiotto M., Fattore E., Paiano V., Celeste G., Colombo A., Davoli E. Influence of a municipal solid waste landfill in the surrounding environment: Toxicological risk and odour nuisance effects. *Environ. Int.* 2014;68:16–24. doi: 10.1016/j.envint.2014.03.004.
18. Liphoto L. Master's Thesis. School of Life and Environmental Sciences, University of Kwazulu Natal; Durban, South Africa: Dec, 2001. The Estimation of Landfill Gas Emissions in the Durban Metropolitan Area (DMA) Using the Landgem Model.
19. Okeke C.U., Armour A. Post-landfill siting perceptions of nearby residents: A case study of Halton landfill. *Appl. Geogr.* 2000;20:137–154. doi: 10.1016/S0143-6228(00)00003-5.
20. Salami L, Popoola LT. A Comprehensive Review of Atmospheric Air Pollutants Assessment Around Landfill Sites. *Air, Soil and Water Research.* 2023;16. doi:10.1177/11786221221145379
21. Boningari, T., & Smirniotis, P. G. (2016). Impact of nitrogen oxides on the environment and human health: Mn-based materials for the NO_x abatement. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 13, 133–141. <https://doi.org/10.1016/J.COCH.2016.09.004>
22. Padhi S.K., Dash M., Swain S.C. Effect of sulphur dioxide on growth, chlorophyll and sulphur contents of tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) *Eur.Sci.J.* 2013;9 doi:10.19044/esj.2013.v9n36p%p.
23. Li L, Moore PK. Putative biological roles of hydrogen sulfide in health and disease: a breath of not so fresh air? *Trends Pharmacol Sci.* 2008 Feb;29(2):84-90. doi: 10.1016/j.tips.2007.11.003. Epub 2008 Jan 3. PMID: 18180046.
24. <https://www.urbanheatislands.com/home>
25. Mahmood, Khalid & Batool, Syeda & Faizi, Fiza & Nawaz Chaudhry, Muhammad & ul haq, Zia & Rana, Asim & Tariq, Salman. (2017). Bio-thermal effects of open dumps on surroundings detected by remote sensing—Influence of geographical conditions. *Ecological Indicators.* 82. 10.1016/j.ecolind.2017.06.042.
26. Li, Z.-L., Wu, H., Duan, S.-B., Zhao, W., Ren, H., Liu, X., et al. (2023). Satellite remote sensing of global land surface temperature: Definition, methods, products, and applications. *Reviews of Geophysics*, 61, e2022RG000777. <https://doi.org/10.1029/2022RG000777>
27. Gilbertson, J.K.; van Niekerk, A. Value of dimensionality reduction for crop differentiation with multi-temporal imagery and machine learning. *Comput. Electron. Agric.* 2017, 142, 50–58.
28. Hu, X.; Xu, H. A new remote sensing index for assessing the spatial heterogeneity in urban ecological quality: A case from Fuzhou City, China. *Ecol. Indic.* 2018, 89, 11–21.
29. Спасова, Т., „Диференциран подход при мониторинг на наводнени площи, повърхностни водни обекти и мокра снежна покривка на база Дистанционни методи и ГИС“, 2019, София, стр. 18–20.
30. <https://hexagon.com/products/erdas-imagine>
31. Kior, A.; Yudina, L.; Zolin, Y.; Sukhov, V.; Sukhova, E. RGB Imaging as a Tool for Remote Sensing of Characteristics of Terrestrial Plants: A Review. *Plants* 2024, 13, 1262. <https://doi.org/10.3390/plants13091262>
32. C. J. TUCKER & P. J. SELLERS (1986) Satellite remote sensing of primary production, *International Journal of Remote Sensing*, 7:11, 1395-1416, DOI: 10.1080/01431168608948944
33. Avetisyan, D., Nedkov, R., 2018, “Modification in landscape horizontal structure, induced by changing environmental conditions: a case study of Haskovo region (Southeastern Bulgaria)”, *Proc. SPIE 10790, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications IX, 107901K* (9 October 2018); doi: 10.1117/12.2325398, p. 7.

34. Nedkov R., 2017, Normalized Differential Greenness Index for Vegetation Dynamics Assessment. Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences, 70, 8, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2017, ISSN:1310–1331, 1143-1146.
35. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
36. <https://www.flir.eu/browse/professional-tools/thermography-cameras/>
37. <https://sekonic.com>