



DOI: [10.71167/uaceg.2025.58S105](https://doi.org/10.71167/uaceg.2025.58S105)

Получена: 05.08.2025 г.

Приета: 13.08.2025 г.

## АНАЛИЗ НА НЕЗАКОННО ДЕПО ЗА ТЕКСТИЛНИ ОТПАДЪЦИ ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДИСТАНЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ, ГИС И СПЕКТРАЛЕН АНАЛИЗ

Е. Стоянова<sup>1</sup>, В. Витов<sup>2</sup>

*Ключови думи:* дистанционни изследвания, спектрален индекс, отворени данни, ГИС, депо за отпадъци, откриване на промени

### РЕЗЮМЕ

Бързото развитие на модната индустрия за масова консумация (“fast fashion”) води до рязко увеличаване на текстилните отпадъци, които често попадат в нерегламентирани сметища. Това изследване се фокусира върху незаконно депо за дрехи край Икике, в пустинята Атакама (Чили), като използва дистанционни изследвания и ГИС за проследяване на пространственото му разширяване между 2016 и 2024 г. Чрез сателитни изображения и спектрален анализ са идентифицирани текстилни отпадъци, базирани на своите специфични спектрални характеристики. Времевият анализ разкрива нарастването на сметището и очертава тенденции в натрупването на отпадъци. Изследването използва изцяло отворени данни и софтуер с отворен код, с цел осигуряване на достъпност и възпроизводимост. Методологията демонстрира, че дистанционните изследвания и ГИС са ефективни и достъпни инструменти за мониторинг на незаконни депа, с възможност за прилагане в глобален мащаб.

<sup>1</sup> Елия Стоянова, инж., кат. „Фотограметрия и картография“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: [stoyanova.elia@gmail.com](mailto:stoyanova.elia@gmail.com)

<sup>2</sup> Виктор Витов, инж., кат. „Инженерна геоecология“, МГУ, ул. „проф. Боян Каменов“ 1, 1700 София, e-mail: [vvitov@abv.bg](mailto:vvitov@abv.bg)

## 1. Въведение

През последните години геопространствените технологии откриват нови възможности за наблюдение и анализ на различни екологични проблеми. С помощта на дистанционни изследвания и Географски информационни системи (ГИС) могат ефективно да се локализируют и картографират зони с натрупване на текстилни отпадъци, да се оцени тяхното въздействие и да се проследят измененията им във времето. Чрез обработка на сателитни изображения, пространствен и спектрален анализ става възможно да се добие по-пълна картина за мащаба и разпространението на „бързата мода“ в околната среда.

Бързото развитие на модната индустрия, ориентирана към масово и краткосрочно потребление, доведе до значително увеличение на текстилните отпадъци, които често попадат на сметища по целия свят. Тези депа причиняват сериозни екологични щети, замърсяване на почвите и водите, емисии на парникови газове и дългосрочна деградация на природната среда.

Въпреки че темата за текстилните отпадъци привлича все по-голямо внимание, недостигът на систематизирани данни относно местоположението, обема и екологичното въздействие на незаконните депа продължава да възпрепятства ефективното управление и вземането на информирани решения.

Настоящото изследване разглежда използването на дистанционни изследвания, спектрален анализ и ГИС за откриване и анализ на нерегламентирани сметища за дрехи, като фокусът е върху незаконно депо в района на Икике, пустинята Атакама (Чили). В рамките на осемгодишен период (от ноември 2016 г. до ноември 2024 г.) са изследвани пространственото разширяване и развитието на депото. Проучването има за цел да запълни празнините в съществуващите данни и да създаде основа за по-ефективни стратегии за управление на текстилните отпадъци. Освен това подчертава необходимостта от устойчиви практики в модната индустрия и важната роля на геопространствения анализ в борбата с това нарастващо предизвикателство.

## 2. Основен проблем

В съвременното общество удобството се е превърнало в стандарт. Забързаното ежедневие и технологичният напредък улесняват достъпа до стоки и услуги – само няколко клика делят всеки от притежанието на почти всичко, което пожелае. Зад това обаче се крият невидими разходи – вложен труд, ресурси, материали, транспорт и кратък жизнен цикъл на продуктите. По тази причина е необходимо да се обърне внимание на това, къде ще попаднат всички продукти, след като вече не са необходими.

Настоящото проучване разглежда влиянието на т.нар. „бърза мода“ – концепция, възникнала през 90-те години, когато в статия на New York Times се подчертава колко кратко време е необходимо (само две седмици) за създаването и пускането в продажба на нова дреха. Макар и икономически ефективен, този модел на производство поражда редица екологични и социални проблеми.

Отрицателните последици от текстилната индустрия са многопластови и включват: въздействие върху климата, прекомерно използване на прясна вода, замърсяване с химикали, загуба на биологично разнообразие и социални и трудови нарушения.

## 2.1. Въздействие върху климата

Доклад на Quantis International от 2018 г. [1] показва, че през 2016 г. модната и обувната индустрия заедно са допринесли за между 5 и 10 % от общото глобално замърсяване. Фигура 1 илюстрира емисиите на въглероден диоксид (в милиони метрични тонове CO<sub>2</sub>), отделени от сектора през тази година.

	%	MILLION METRIC TONS CO <sub>2</sub> eq
Apparel	6.7%	3,290
Footwear	1.4%	700
<b>Total apparel &amp; footwear impacts</b>	<b>8.1%</b>	<b>3,990</b>
Compared to:		
Total global CO <sub>2</sub> eq impacts	100%	49,300

**Фиг. 1. Общо въздействие на производството на облекло и обувки в сравнение с общото глобално въздействие през 2016 г. [1]**

Производственият цикъл на облеклото преминава през седем основни етапа:

1. Производство на влакна.
2. Подготовка на прежда.
3. Обработка на тъкани.
4. Боядисване и довършителни процеси.
5. Сглобяване (шивашка изработка).
6. Дистрибуция.
7. Изхвърляне и обезвреждане.

Най-значителният дял в замърсяването, свързано с текстилната индустрия, според същия доклад, се дължи на боядисването и довършителните обработки (36 %), подготовката на прежда (28 %) и производството на влакна (15 %). Допълнително, Рамковата конвенция на ООН по изменение на климата предупреждава, че емисиите от текстилното производство могат да нараснат с 60 % до 2030 г., ако не бъдат взети сериозни мерки [2].

## 2.2. Прекомерно използване на прясна вода и замърсяване на водите

Екологичното въздействие на бързата мода се проявява чрез интензивното изчерпване на невъзобновяеми ресурси, високото потребление на енергия и вода, както и значителните емисии на парникови газове, генерирани в процеса на производство. Един от най-критичните етапи по отношение на замърсяването е текстилното багрене, което се счита за втория по мащаб замърсител на водни ресурси в глобален план. Причината се крие в това, че отпадъчните води от този процес често се изхвърлят директно в околната среда – в реки, потоци и отводнителни системи – без предварително третиране. За изработването на стандартен чифт дънки са необходими приблизително 7570 литра вода, а за еднократното производство на памучна тениска – около 757 литра, което подчертава значителното водно натоварване, свързано с текстилната индустрия.

## 2.3. Замърсяване с химикали

Синтетичните влакна, като полиестер, найлон и акрил, се характеризират с изключително дълъг период на разграждане, често отнемащ стотици години. Според доклад на Международния съюз за опазване на природата (IUCN) от 2017 г., около 35 % от микропластмасите, открити в световния океан, произхождат от прането на синтетични текстилни изделия, основно полиестерни тъкани.

Производството на естествена кожа също има значителен екологичен отпечатък. Отглеждането на добитък изисква значителни ресурси – храна, обработваема земя, вода и изкопаеми горива. Освен това, дъбилният процес (щавене), използван в обработката на кожа, се смята за един от най-токсичните етапи във веригата на модното производство. Прилаганите химикали – включително минерални соли, формалдехид, производни на каменовъглен катран, различни масла и багрила – не се разграждат в природата и сериозно замърсяват водните ресурси.

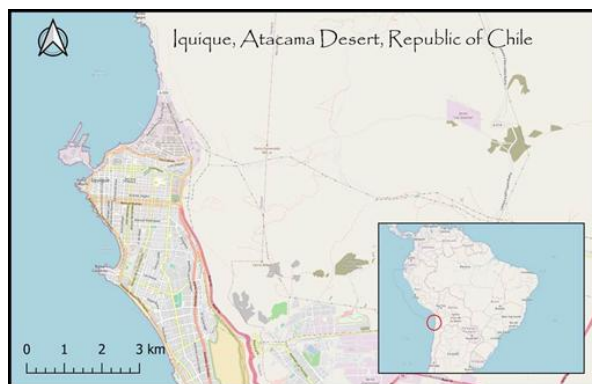
## 2.4. Загуба на биологично разнообразие и социални фактори

Поради географското разположение на депото биоразнообразието на флората и фауната в тази конкретна област е ограничено, което минимизира директното екологично въздействие върху местните екосистеми. По-значим обаче е социалният аспект на проблема – ежедневно се депонира или изгаря количество текстилни отпадъци, еквивалентно на един камион във всеки един момент. Тази практика води до неефективно използване на земеделски и природни площи, замърсяване на почвите с микропластмаси и превръщането на икономически слабо развити региони с недостатъчен регулаторен контрол в нерегламентирани сметища, което подчертава значителните социални и екологични предизвикателства, свързани с управлението на текстилните отпадъци.

## 3. Област на интерес и набор от данни

### 3.1. Област на интерес

Настоящото изследване се фокусира върху незаконно сметище за текстилни отпадъци, разположено в близост до град Икике, Атакама, Република Чили (фиг. 2).



Фиг. 2. Област на интерес: Икике, Република Чили

Изборът на този обект е продиктуван от значимите му екологични, социални и икономически последици. Пустинята Атакама, считана за един от най-сухите региони на планетата, е особено податлива на замърсяване, а изхвърлените текстилни материали – главно синтетични влакна с бавно разпадане – допринасят за натрупване на микропластмаси и деградация на почвения слой. Големият мащаб на депото го прави ясно разпознаваем от сателитни снимки, което осигурява значително предимство при прилагането на дистанционни методи за наблюдение. Тези технологии позволяват проследяване на пространственото разрастване и динамиката на сметището във времето, предоставяйки ценна информация за неговото развитие.

Зоната за свободна търговия в Икике (*Zona Franca de Iquique*, ZOFRI) ежегодно внася големи количества дрехи втора употреба, което я превръща във възлово място в глобалната верига на текстилните отпадъци. Архивна сателитна снимка от Google Earth от 13 юни 2004 г., показва, че нерегламентираното изхвърляне на текстилни отпадъци в този район е започнало преди повече от две десетилетия (фиг. 3).



**Фиг. 3.** Началото на незаконното сметище **Фиг. 4.** Въздушен изглед на изхвърлените дрехи

Географските информационни системи (ГИС) предоставят възможност за детайлно и прецизно картографиране на засегнатите територии, което подпомага разпознаването на модели при незаконното изхвърляне на отпадъци и осигурява основа за формулиране на ефективни стратегии за управлението им. Благоприятните климатични условия в пустинята Атакама, характеризиращи се с ясно небе и оскъдна растителност, създават оптимална среда за непрекъснато сателитно наблюдение, което позволява проследяване на пространствено-временните промени през годините.

Настоящото изследване обхваща период от над осем години, от ноември 2016 до ноември 2024 г., като анализира динамиката и тенденциите в развитието на незаконното сметище. На фигура 4 е представена въздушна снимка от 2021 г. (© Martin Bernetti/Getty Images), илюстрираща част от натрупаните текстилни отпадъци в разглежданата територия.

### **3.2. Набор от данни**

В настоящото изследване са използвани изображения от сателита Sentinel-2, които са свободно достъпни чрез Европейската космическа агенция (ESA) в рамките на програмата Copernicus. Всички данни са извлечени от платформата Copernicus Browser [3]. За целите на изследването са подбрани Level-2A продукти на Sentinel-2, тъй като те отговарят на необходимите критерии за наблюдение на изследвания район. Тези оптични многоканални изображения се характеризират със средна пространствена разделителна способност и честота на повторно заснемане е от няколко дни, което

гарантира регулярна и надеждна информация. Освен това спектралният диапазон на изображенията обхваща необходимите части на електромагнитния спектър, съобразени с целите на изследването. Според разграфката на покритие на света на Sentinel-2, регионът на Икике попада в сцена 19KCT.

За проследяване на динамиката на незаконното сметище са анализирани общо 25 многоканални изображения от Sentinel-2, заснети в различни периоди между ноември 2016 и ноември 2024 г. За всяка година са избрани по три снимки – от месеците март, юли и ноември, с цел осигуряване на изчерпателен времеви анализ.

Въпреки че базираният на сателитни изображения анализ демонстрира голям потенциал, важно е да се признаят някои ограничения. Пространствената разделителна способност на Sentinel-2 от 10 – 20 m позволява откриване на по-големи купчини отпадъци и промени в околната земна покривка, но ще бъде недостатъчна за идентифициране на малки или разпръснати текстилни сметища. Факторите като облачност, пространствена и времева разделителна способност на сензора могат да повлияят на наличието на подходящи изображения и на качеството на данните, особено във видимите и късовълновите инфрачервени ленти, които са най-подходящи за разграничаването на отделните повърхности. Все още за валидирането ще е необходимо наличие на допълнителни контролни данни или полеви проучвания, за да се гарантира надеждността на резултатите.

## 4. Методи на работа

### 4.1. Технологична схема

За провеждането на изследвания, базирани на дистанционни методи и ГИС при анализа на текстилни сметища, е от съществено значение да се приложи структурирана технологична схема. Тя гарантира прецизност, последователност и надеждност при събирането, обработката и интерпретацията на данните. Поради спецификите на сателитните изображения и геопространствения анализ, правилно дефинираната и систематична технологична схема е необходима, за да се постигнат валидни и възпроизводимы резултати.



Фиг. 5. Технологична схема

Изследванията, базирани на дистанционни заснемания, разчитат на изображения, регистрирани в различни моменти от времето, поради което стандартизиран избор и предварителна обработка на данните са много важни за поддържане на еднородност на информацията. Процедури като създаване на подмножества (subsetting) и ресемплиране (resampling) минимизират възможните грешки и осигуряват съпоставимост между различни набори от данни. Освен това, структурираната технологична схема оптимизира процесите по обработка на изображения, позволявайки ефективно управление на големи обеми данни. Систематичният подход подобрява качеството на пространствено-временния анализ, като дава възможност за оценка на промените в размерите на сметището при стандартизирани условия. За нуждите на настоящото изследване бе приложена технологична схема, представена на фигура 5.

## 4.2. Предварителна обработка

В рамките на настоящото изследване са изтеглени и обработени общо 25 многоканални оптични сателитни изображения. Критериите за подбор на изображенията включват както датата на заснемане, така и степента на облачност в момента на събиране на данните. От първоначалния набор от данни е извлечено подмножество, дефинирано на базата на географски координати, с цел очертаване на изследвания район. Тази стъпка позволява оптимизация на времето за обработка и фокусиране само върху зоната на интерес. Подмножеството запазва цялата оригинална мета информация, включително данни за сензора, параметрите на заснемане и пространствената референтна система, което гарантира запазване на целостта на данните. Този подход подобрява ефективността на изчислителните ресурси и улеснява извличането на специфична информация, необходима за анализа на незаконното сметище.

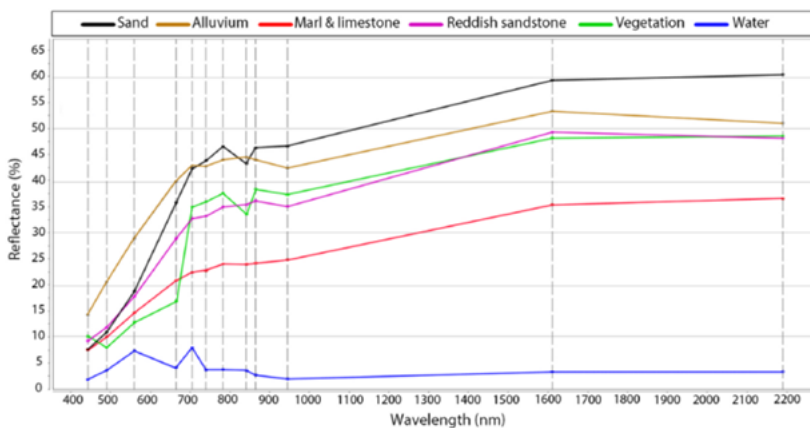
Процедурата по ресемплиране на продуктите от дистанционните изследвания представлява изменение на честотата на дискретизация чрез промяна на размера на пикселите, което води до трансформация на пикселната решетка на оригиналното изображение в друга решетка с различна пространствена разделителна способност. По този начин се изравняват размерите на пикселите, което позволява сравнение между изображения или спектрални канали с различни пространствени разделителни способности. В изследването бе приложен методът „Най-близък съсед“ (Nearest Neighbour), при който стойността на пиксела в новото изображение се взема от най-близкия пиксел в изходното изображение. За референтен канал беше избран В2 поради високата си пространствена разделителна способност от 10 m, като всички останали канали са ресемплирани спрямо нея.

## 4.3. Спектрален анализ

Спектралният анализ представлява ефективен метод за пространствено изследване на сметища, като позволява идентификация, класификация и проследяване на текстилни отпадъци чрез интегрирано използване на дистанционни изследвания и ГИС технологии. Предвид нарастващото екологично въздействие от неправилно изхвърляни текстилни продукти, прилагането на този аналитичен подход осигурява важна информация относно разширяването на депата във времето. Използването на спектрални данни подпомага създаването на по-ефективни мерки за ограничаване на замърсяването и е в подкрепа на усилията за устойчиво управление на ресурсите на глобално ниво.

Едно от основните предимства на спектралния анализ е неговата способност да различава текстилни отпадъци от естествени земни покрития. Текстилните материали притежават уникални спектрални характеристики, които се отличават от отражателните свойства на повърхности като почва, растителност, пясък и водни тела (фиг. 6). Синтетичните тъкани (напр. полиестер, найлон) и естествените влакна (напр. памук, вълна) показват различия в отразяването на електромагнитно излъчване в обхватите на видимата, близката инфрачервена (NIR) и късовълновата инфрачервена (SWIR) светлина. Тези спектрални различия позволяват надеждно картографиране на текстилните отпадъци в наблюдаваните територии.

Текстилните отпадъци се характеризират със специфични спектрални свойства, които ги отличават от типичните компоненти на заобикалящата среда. Това ги прави подходящ обект за анализ и класификация чрез техники за дистанционни изследвания. В рамките на настоящото изследване обектът на наблюдение се намира в пустинен район, където доминиращото земно покритие е пясък.



Фиг. 6. Отражателна крива на различни повърхности [4]

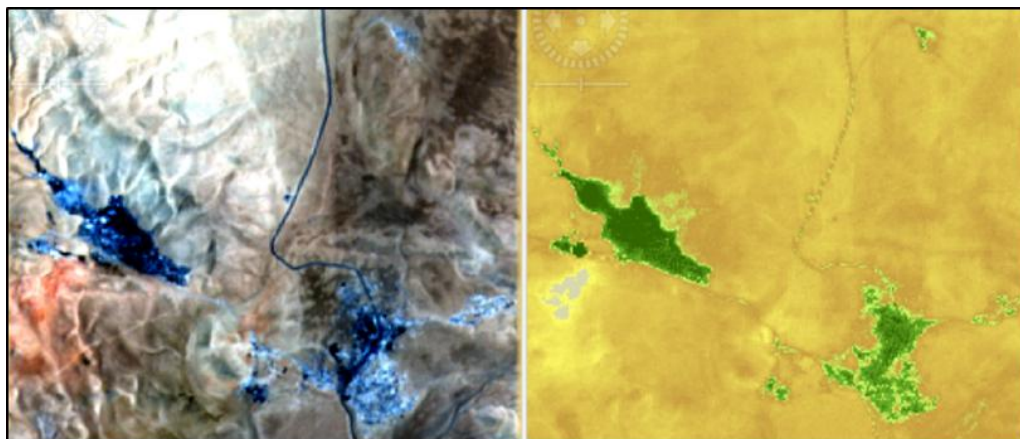
С оглед на отчетливите спектрални разлики между текстилните материали и пясъчливия терен възниква необходимост от прилагане на целенасочен спектрален индекс. Използването на такъв индекс позволява повишаване на контраста между обектите от интерес и фоновата среда, като улеснява точната идентификация и пространствения анализ на текстилните отпадъци. За целите на изследването е приложен Индексът на нормализирана разлика за подобро разпознаване на пясъчни повърхности (NDESI) [4], който представлява основен инструмент за спектрален анализ. Този индекс е създаден с цел повишаване на чувствителността при засичане на пясъчни терени, което го прави особено подходящ за разграничаване на непясъчливи елементи – като текстилни отпадъци – в рамките на пустинни райони. Чрез използване на различията в спектралните отражателни способности на пясъка и текстилните материали в отделните части на електромагнитния спектър, индексът NDESI (форм. 1) позволява по-прецизна класификация и картографиране на зони с нерегламентирано натрупване на отпадъци в аридни терени.

$$NDESI = \frac{(B4 - B2)}{(B4 + B2)} - \frac{(B12 - B11)}{(B12 + B11)}, \quad (1)$$

където B2 е син спектрален диапазон в изображенията от спътник Sentinel-2;

- B4 – червен спектрален диапазон в изображенията от спътник Sentinel-2;
- B11 – късовълнов инфрачервен диапазон в изображенията от спътник Sentinel-2;
- B12 – късовълнов инфрачервен диапазон в изображенията от спътник Sentinel-2.

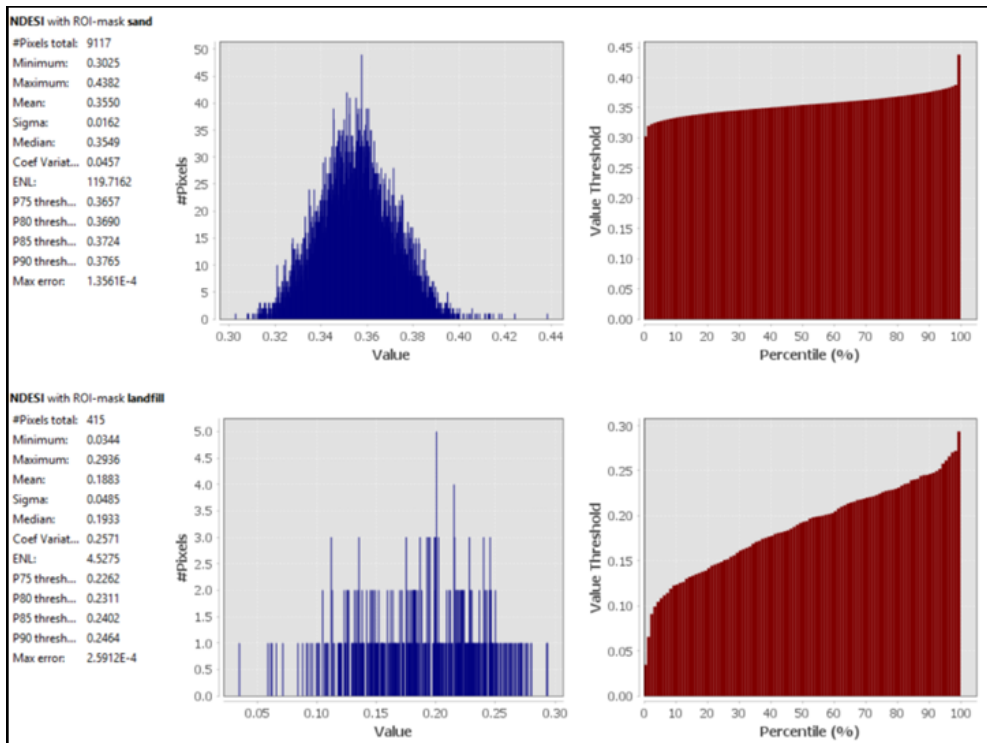
Фигура 7 илюстрира практическото приложение на индекса при картографирането на изследвания участък, като ясно се откроява неговата ефективност при разграничаването на текстилни отпадъци от околната среда. С цел подобряване на визуалния анализ, в лявата част е представено изображение в естествени цветове (RGB), докато вдясно е показан резултатът след прилагането на индекса NDESI, подчертаващ зони с наличие на отпадъци.



Фиг. 7. Резултат от NDESI (23 ноември, 2016 г.)

#### 4.4. Установяване на незаконните депа за отпадъци

Най-съществената част от настоящото изследване е свързана с прецизното локализиране на зони, съдържащи текстилни отпадъци в рамките на нерегламентираното депо. За целта се налага дефиниране на прагова стойност въз основа на резултатите от изчисленията на спектралния индекс NDESI. Marzouki и Dridri (2022) предлагат използване на специфичен коефициент за извеждане на прагови стойности, подходящи за разграничаване на различни видове пясък. Но целите на настоящото изследване изискват установяване на единна стойност, позволяваща ефективно разграничаване между пясъчната повърхност и текстилните натрупвания. Затова е извършен статистически анализ на стойностите на пикселите от изображението, получено след прилагането на индекса NDESI. Върху RGB изображение са избрани няколко полигона, представляващи обекти от двата основни класа – пясъчни участъци и зони с текстилни отпадъци. Тези данни служат като база за съпоставка на спектралните характеристики между двата класа. Въз основа на пространственото разпределение на стойностите на индекса в рамките на тези класове е изготвена статистическа визуализация (фиг. 8). Анализът показва, че за конкретните условия на изследването стойностите на NDESI над 0,30 са характерни за пясъчни повърхности, докато над 95 % от пикселите, асоциирани с текстилни отпадъци, регистрират стойности под 0,25. На тази основа бе приет праг от 0,25, под който се счита, че вероятността за наличие на текстилни материали е висока. По този начин е възможно надеждно картографиране на замърсените участъци.



**Фиг. 8. Пикселна статистика за NDESI (пясък и сметища)**

Използването на многоканални сателитни изображения в съчетание със спектрален анализ дава възможност за провеждане на задълбочено времево изследване, насочено към идентифициране на динамиката в натрупването на отпадъци и тенденциите при нерегламентираното изхвърляне. Чрез проследяване на спектралните изменения във времето е установено разширяване на депото. Данните за пространственото разпределение на отпадъците са интегрирани в ГИС среда за създаване на тематични карти, визуализиращи „развитието“ на незаконно сметище в рамките на изследвания период.

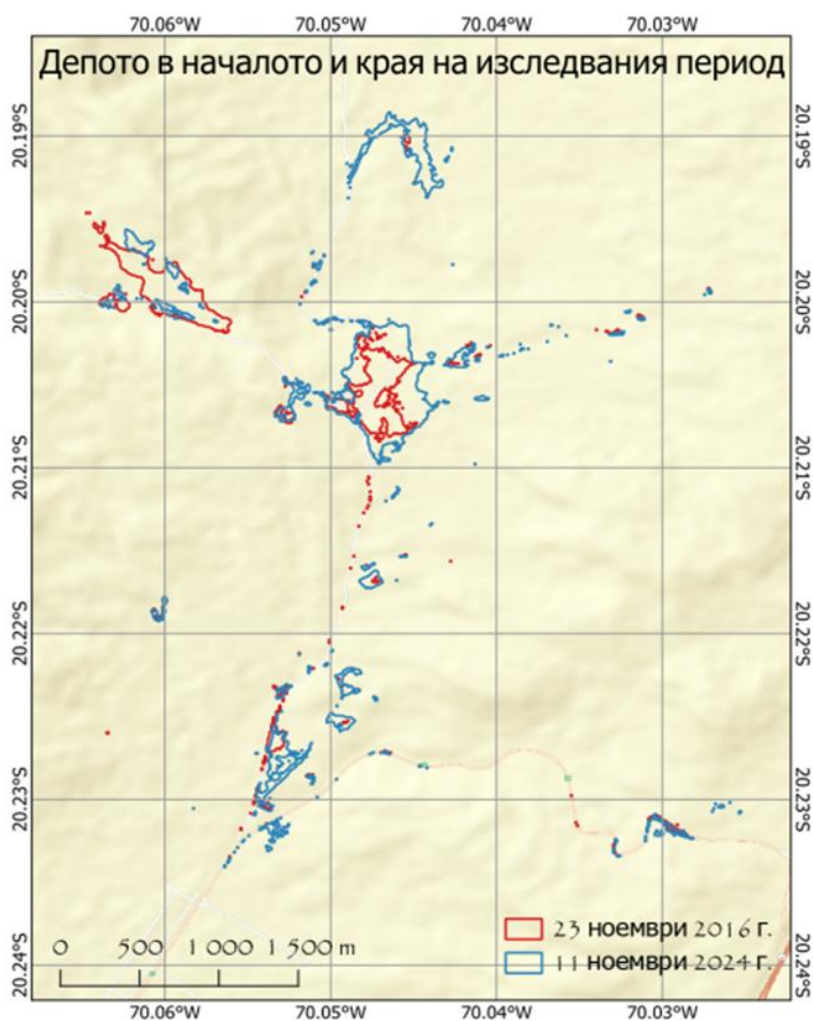
#### **4.5. Интегриране на резултатите в ГИС**

Интегрирането на резултатите в географски информационни системи (ГИС) играе ключова роля в това изследване. ГИС служи като мощен инструмент за организиране, анализ и визуализиране на данни от дистанционно наблюдение, улеснявайки цялостната пространствена оценка на натрупването на текстилни отпадъци и разширяването на депата. Чрез включването на спектрални индекси и анализ на времеви серии, ГИС подобрява интерпретацията на динамиката на депата и подкрепя вземането на решения, основани на данни, в управлението на околната среда. Освен визуализацията, ГИС позволява пространствено-времеви анализ чрез проследяване на промените в натрупването на текстилни отпадъци във времето. Чрез анализа на многовременни набори от данни проучването идентифицира модели на растеж, промени в пространственото разпределение и развитието на незаконните дейности по изхвърляне на отпадъци, предоставяйки критична информация за тенденциите в разширяването на депата.

## 5. Резултати и анализи

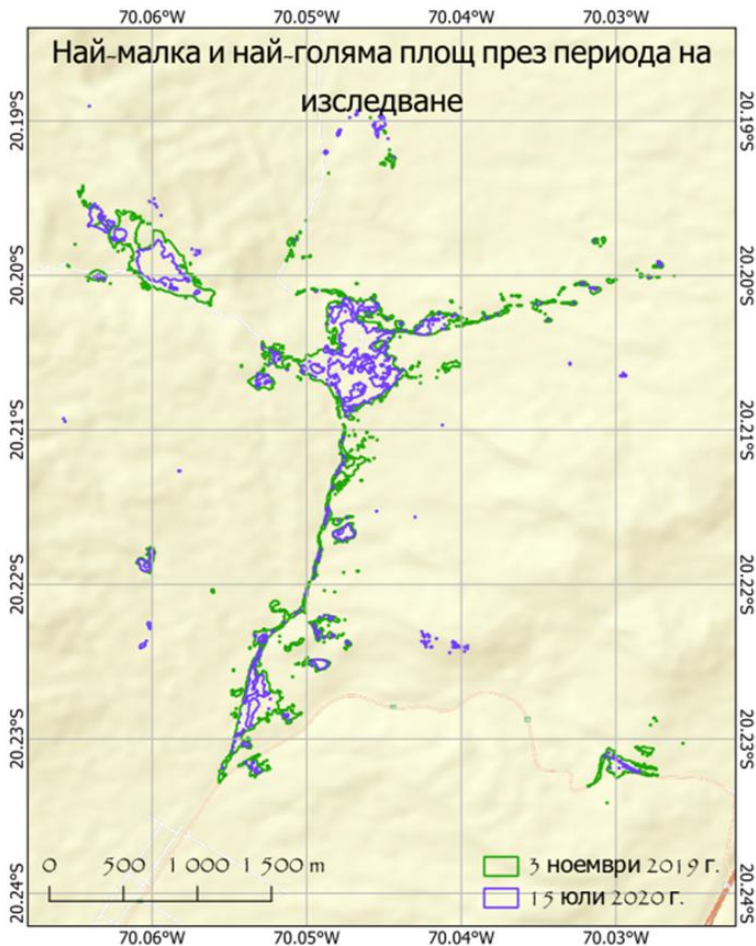
В рамките на настоящото изследване, след прилагане на предварително дефинираната технологична схема, е извършено пространствено картиране на нерегламентираното текстилно депо на 25 различни дати. Въз основа на извлечените от сателитни изображения данни са изчислени площите, заети от изхвърлените текстилни отпадъци, което позволява създаването на серия от тематични карти и провеждането на задълбочен пространствено-времеви анализ.

Фигура 9 визуализира географското разположение на депото в два ключови момента от изследвания период – началния (23 ноември 2016 г., отбелязан с червен цвят) и крайния етап (11 ноември 2024 г., отбелязан със син цвят). Представената визуализация ясно илюстрира процеса на териториално разрастване и натрупване на текстилни отпадъци в продължение на осем години, като акцентира върху динамиката и мащаба на незаконното депониране.



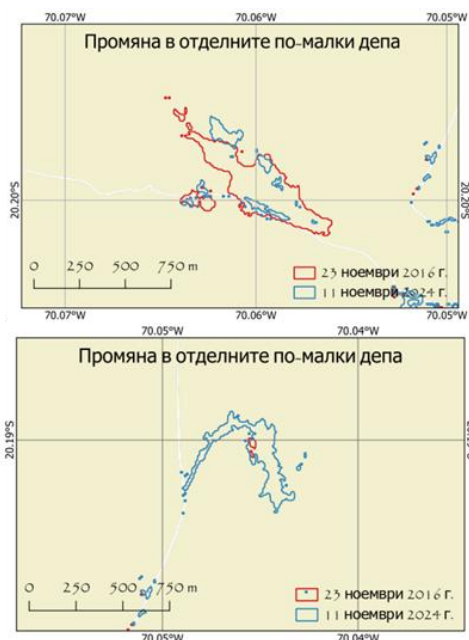
Фиг. 9. Начало и край на изследването на депото

Фигура 10 представя пространственото разпределение на нерегламентираното депо в двата момента от изследвания период, когато то достига съответно своите максимални и минимални размери. По-конкретно, на 3 ноември 2019 г. (обозначено със зелен цвят), площта на депото достига приблизително 87,8 хектара. В контраст, на 15 юли 2020 г. (отбелязано с лилав цвят), територията, заета от отпадъци, намалява до около 32,7 хектара. Тези данни илюстрират значителни колебания в обхвата на депото, отразяващи както динамиката на текстилното натрупване, така и евентуални процеси на преместване, частично почистване или покритие на отпадъците с пясъчни наноси.

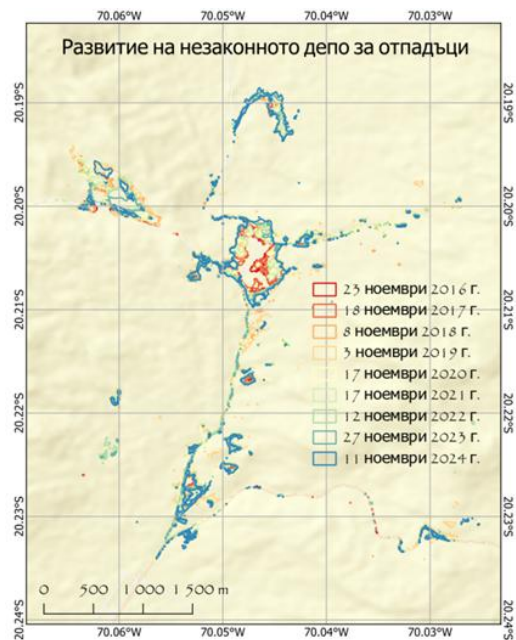


**Фиг. 10.** Депото в минимален и максимален размер

Фигура 11 представя детайлиран анализ на два участъка от нерегламентираното депо, които демонстрират най-съществени трансформации през разглеждания период. Горната част на изображението акцентира върху зона, която още през 2004 г. е била заета от отпадъци, но впоследствие претърпява значително намаление на площта си до 2024 г., вероятно в резултат на предприети възстановителни или рекултивационни дейности. За разлика от това, долната част на фигурата илюстрира новообразуван се участък, чиято поява датира от 2016 г. и който показва значително териториално разрастване до края на периода на изследване през 2024 г.



Фиг. 11. Промени в отделните депа



Фиг. 12. „Развитие“ на депото за изследвания период

Фигура 12 визуализира пространственото разпределение на нерегламентираното депо за текстилни отпадъци за всеки месец ноември в периода на изследването, като различните години са обозначени с различни цветове. Развитието на депото е проследено чрез градиентна скала – от червено (началото на периода) през оранжево, жълто и зелено, до синьо (края на периода). Анализът показва известно редуциране на площта в западната част на обекта, докато останалите зони демонстрират отчетливо териториално разрастване.



Фиг. 13. Промени в площта на незаконните депа за текстилни отпадъци

Фигура 13 представя обобщена графична интерпретация на динамиката в площта на незаконното депо за текстилни отпадъци за целия осемгодишен времеви диапазон. Получените стойности за площта са изчислени, като са взети под внимание и са умножени големината/площта на един пиксел и броят на пикселите под определената прагова стойност, изведена по-рано. Данните ясно очертават тенденция на постоянно увеличаване на заетата площ, като най-големите размери на депото са отчетени през ноември 2019 г. Допълнителният времеви анализ показва, че месец март се характеризира с най-интензивно натрупване на отпадъци, докато през юли се наблюдава намаление на площта, което предполага наличие на сезонни колебания в интензитета на изхвърляне. Тези резултати подчертават както прогресивния характер на разрастване на депото, така и цикличността в неговото развитие.

## 6. Заключение

Чрез използването на пространствените и времевите възможности на сателитните сензори е осигурена информация относно развитието на незаконно депо за текстилни отпадъци в района на Икике, Чили. Получените резултати потвърждават, че чрез внимателен подбор на данни от дистанционни изследвания и прилагане на цифрови методи за обработка е възможно ефективно картиране на пространственото разпределение на депата. Внедрената технологична схема гарантира надеждност, висока ефективност и бързина при изготвянето на пространствени оценки, необходими за точното проследяване на подобни обекти.

Настоящото изследване демонстрира ефективността на дистанционните изследвания, спектралния анализ и ГИС като основни инструменти за идентифициране и анализ на нерегламентирани депа, породени от свръхпроизводството и потреблението на т.нар. „бърза мода“. Чрез използване на свободно достъпни сателитни изображения и софтуери с отворен код се предлага икономически изгоден и мащабируем подход за дългосрочно наблюдение на пространствените характеристики и динамика на разширяване на незаконните депа за отпадъци.

Получените резултати подчертават ключовата роля на дистанционните изследвания и ГИС в справянето с нарастващия проблем на текстилното замърсяване. Методологията, разработена в рамките на това проучване, предлага практична и адаптивна основа за бъдещи изследвания, политически инициативи и устойчиво управление на отпадъците. Допълнително, задълбоченото разбиране на мащаба и екологичното въздействие на подобни нерегламентирани сметища съдейства за разработването на по-ефективни политики, системи за управление на отпадъци и стратегии за рециклиране. Това от своя страна има потенциала да подобри качеството на живот в засегнатите региони и да подпомогне глобалните усилия за опазване на околната среда.

Настоящото изследване също така е в съответствие с три от Целите за устойчиво развитие (ЦУР), формулирани в рамката на Програмата на ООН за устойчиво развитие до 2030 г. [5]:

- **Цел 9** – изграждане на устойчива инфраструктура, насърчаване на устойчива индустриализация и подкрепа на иновациите: Подпомага развитието на вътрешен капацитет за научноизследователска дейност и технологични иновации чрез създаване на благоприятна среда за индустриална диверсификация и добавена стойност.
- **Цел 12** – осигуряване на устойчиви модели на потребление и производство. Съдейства за намаляване на отпадъчното генериране чрез политики за предотвратяване, минимизиране, рециклиране и повторна употреба.

- **Цел 13** – предприемане на спешни действия за справяне с климатичните промени и техните последици. Подкрепя механизми за повишаване на капацитета за планиране и управление на процесите, свързани с климатичните изменения, с особен акцент върху уязвими групи, включително жени, младежи и маргинализирани общности.

## Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор № Д-170/2025 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Quantis. Measuring Fashion: Insights from the Environmental Impact of the Global Apparel and Footwear Industries. Quantis & ClimateWorks Foundation, 2018.
2. United Nations Environment Programme. Sustainability and Circularity in the Textile Value Chain: A Global Roadmap. UNEP, 2023.
3. Copernicus Browser. <https://browser.dataspace.copernicus.eu>.
4. Marzouki, A., Dridri, A. Normalized Difference Enhanced Sand Index for desert sand dunes detection using Sentinel-2 and Landsat 8 OLI data, application to the north of Figuig, Morocco. // Journal of Arid Environments 198 (2022) 104693. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104693>.
5. United Nations. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations, 2015.

## REMOTE SENSING, GIS, AND SPECTRAL ANALYSIS FOR INVESTIGATING AN ILLEGAL TEXTILE WASTE SITE

E. Stoyanova<sup>1</sup>, V. Vitov<sup>2</sup>

**Keywords:** remote sensing, spectral index, open data, GIS, landfill, change detection

### ABSTRACT

The rapid expansion of the fast fashion industry has led to a sharp increase in textile waste, much of which ends up in unregulated landfills. This study focuses on an illegal clothing dump near Iquique, in the Atacama Desert (Chile), using remote sensing and GIS to

---

<sup>1</sup> Elia Stoyanova, Eng., Dept. “Photogrammetry and Cartography”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: [stoyanova.elia@gmail.com](mailto:stoyanova.elia@gmail.com)

<sup>2</sup> Viktor Vitov, Eng., Dept. “Engineering Geoecology”, UMG, 1 Prof. Boyan Kamenov St., Sofia 1700, e-mail: [vvitov@abv.bg](mailto:vvitov@abv.bg)

track its spatial growth between 2016 and 2024. Satellite imagery and spectral analysis were used to identify textile waste based on its distinctive spectral characteristics. Temporal analysis revealed the landfill's expansion and highlighted trends in waste accumulation. The research relies entirely on open-source data and software to ensure accessibility and reproducibility. The methodology demonstrates that remote sensing and GIS are effective and affordable tools for monitoring illegal dumping sites, with potential for global application.