

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2019.01.062>

УДК 504.064:528.8

Н. А. Шевякіна¹, О. М. Трофимчук¹, Г. Я. Красовський², В. І. Клименко¹

¹ Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України, Київ, Україна

² Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського,
Харків, Україна

МЕТОДИ І МОДЕЛІ КОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЗОН ВПЛИВУ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ НА ДОВКІЛЛЯ

Пропонується технологія космічного моніторингу полігонів твердих побутових відходів (ТПВ). Представлено характеристики полігонів побутових відходів за різними класами та дані еталонних об'єктів — паспортизованих полігонів ТПВ, які мають систему моніторингу. Пропонується модель автоматизованого виділення полігону звалища, яку було розроблено за критеріями «середнє, дисперсія, асиметрія та ексцес» з додатковим застосуванням методики дешифрування зимових знімків. Для ефективного контролю за станом навколишнього природного середовища у зоні впливу сміттєзвалищ запропоновано вирішувати питання, виділені у такі блоки: ідентифікація джерела впливу та обстеження місцевості; визначення напрямку поширення впливу, шляху міграції забруднювальних елементів; обґрунтування негативного впливу на рецептори. З метою просторового моделювання особливостей розташування сміттєзвалищ, напрямку поширення впливу, шляху міграції забруднювальних елементів залучено геоінформаційні системи. Технологія може бути інформаційною основою створення національного реєстру ТПВ як санкціонованих, чинних відповідно до вимог законодавства, так і несанкціонованих — стихійних звалищ. Ця основа забезпечить науково-економічне підґрунтя прийняття рішень щодо перспективи поводження з побутовими відходами на регіональному рівні, яка має альтернативу: або будівництво сміттєспалювальних заводів, або подальше вилучення земельного фонду держави. Ще один аспект проблеми, який вирішує запропонована в статті технологія, полягає в інформаційній підтримці рішень з питань управління екологічною безпекою на регіональному рівні як складової планування заходів для сталого розвитку регіонів.

Ключові слова: тверді побутові відходи, місця видалення відходів, сміттєзвалища, державний облік, база даних, космічний моніторинг, методи дистанційного зондування Землі, космічні знімки.

ВСТУП

Полігони твердих побутових відходів (ТПВ) відносяться до екологічно небезпечних об'єктів. В останні роки, особливо після надзвичайної ситуації на Львівському полігоні біля села Грибовичі, увага громадських організацій природоохоронного спрямування, органів місцевих само-

врядування до проблеми поводження з відходами суттєво зросла. Згідно з чинним законодавством України об'єкти, які негативно впливають на стан довкілля, підлягають державному обліку (Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», стаття 24). Включенню до реєстру таких об'єктів і їхній паспортизації підлягають також місця видалення відходів як діючі, закриті, законсервовані, постійні або тимчасові. До первинної інформації, яка необхідна для такої паспортизації, доцільно залучати мате-

© Н. А. ШЕВЯКІНА, О. М. ТРОФИМЧУК,
Г. Я. КРАСОВСЬКИЙ, В. І. КЛИМЕНКО, 2019

ріали тематичного дешифрування космічних знімків як самих полігонів, так і прилеглої території до їхньої локалізації. Отримані при цьому матеріали у формі картографічних моделей заданого масштабу дозволяють отримати об'єктивну і достовірну інформацію про просторово-часові характеристики впливу на довкілля процесів деградації накопичених відходів.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Основне завдання космічного моніторингу полігонів ТПВ полягає в інформаційній підтримці рішень з питань мінімізації їхніх негативних впливів на довкілля і поліпшення санітарно-екологічних показників прилеглих територій. Для вирішення цього завдання необхідно:

- виконати ідентифікацію топогеодезичних параметрів полігонів з метою визначення їхньої динаміки на визначену глибину ретроспективи;
- визначити основні напрями переносу продуктів горіння сміття у приземному шарі атмосфери і межі ділянок їхнього осідання на земну поверхню;
- визначити напрями міграції продуктів деградації накопичених відходів із водами першого водоносного горизонту і поверхневого стоку.

Зазначені завдання достатньо ефективно можна реалізувати на основі методів тематичного дешифрування космічних знімків і технологій геоінформаційних систем (ГІС). Використання космічних знімків і векторних електронних карт дозволяє проаналізувати індивідуальні особливості розміщення полігонів ТПВ відносно населених пунктів і природно-техногенних систем. Ці особливості визначають умови, у яких відбувається складування відходів і їхню взаємодію з навколишнім середовищем, а саме умови міграції забруднювальних речовин, які утворюються в процесі експлуатації звалищ.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Методика моніторингу полігонів ТПВ включає підбір космічних знімків з необхідними показниками періодичності зйомок заданих ділянок місцевості та розрізнення, та подальше їхнє тематичне дешифрування. Результати дешифру-

вання у формі векторних карт і масивів атрибутивних даних є основою для ідентифікації багаторічної динаміки меж площ сміттєзвалищ, зокрема несанкціонованих, масштабів і рівнів впливу на поточний санітарно-екологічний стан земельних і водних ресурсів, повітря приземного шару атмосфери прилеглих територій. Отримані дані є інформаційною основою підтримки рішень з питань планування стратегічних і тактичних заходів поводження з відходами на регіональних рівнях.

Для успішного виконання зазначених завдань доцільно залучати космічні знімки надвисокого розрізнення (0.5...15 м) у спектральному діапазоні 0.4...1.1 мкм з борту КА «QuickBird», «WorldView», «GeoEye», «Pleiades», «Ikonos» та ін. Ці знімки дозволяють, зокрема, ідентифікувати координати локалізації звалищ, проводити вимірювання їхніх площ, що зручно виконувати засобами програмного комплексу ERDAS IMAGINE (Model Maker).

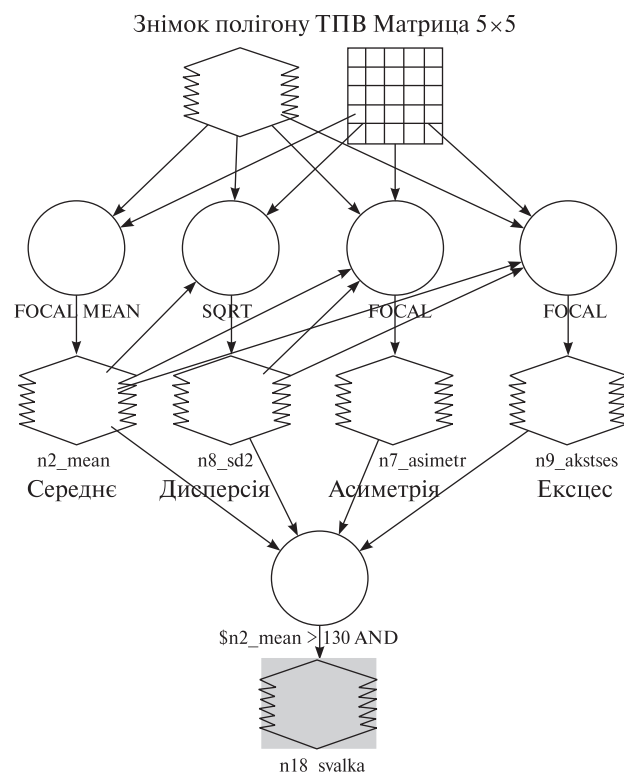


Рис. 1. Схема моделі автоматизованого розпізнавання полігону звалища

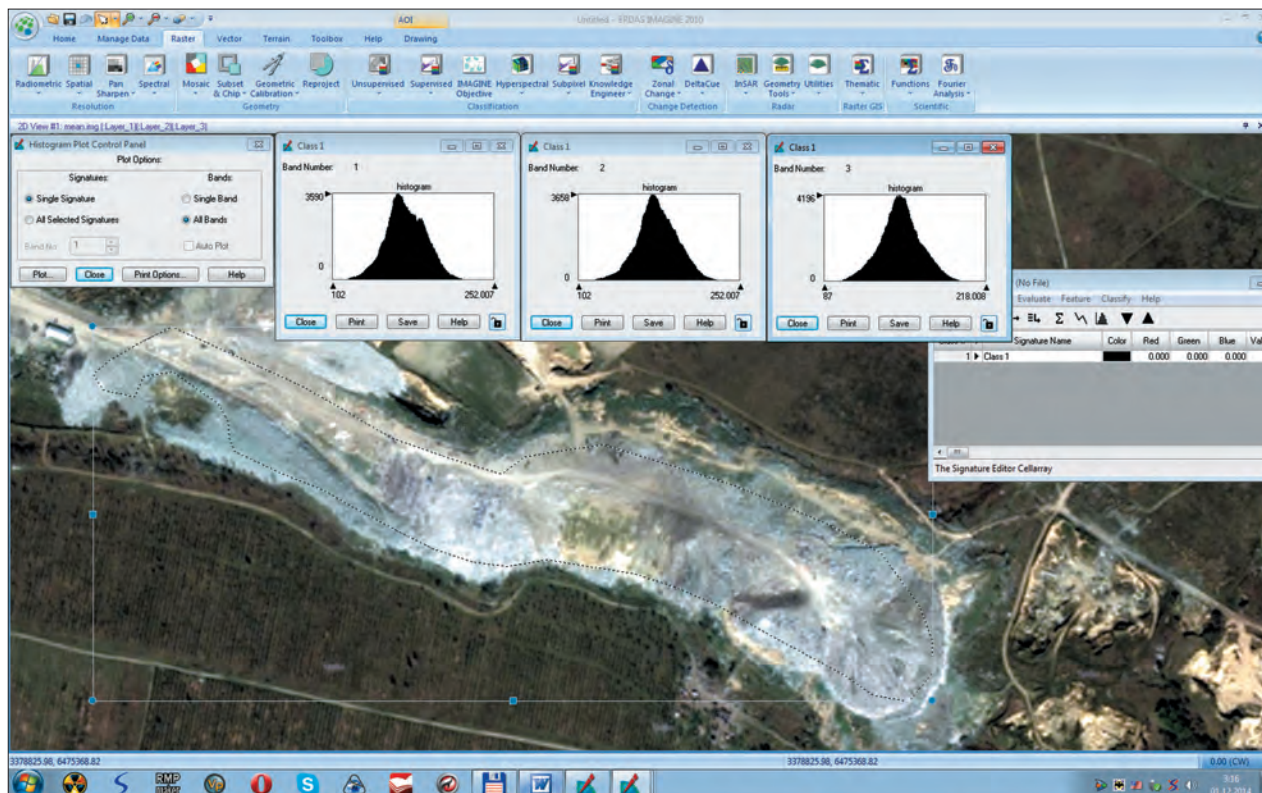


Рис. 2. Процес дешифрування космічного знімка території розташування полігону твердих побутових відходів в середовищі Erdas Model Maker

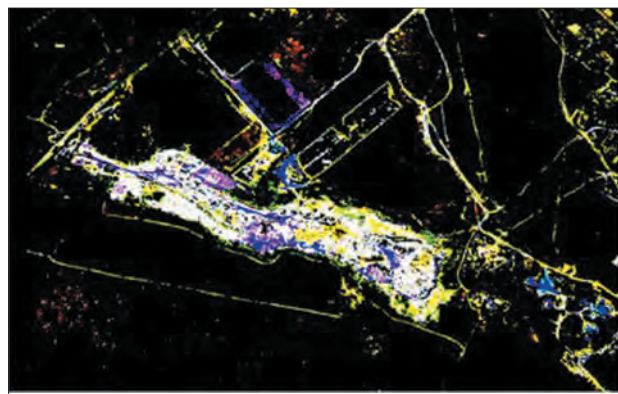


Рис. 3. Результат автоматичного дешифрування космічного знімка території розташування полігону твердих побутових відходів



Рис. 4. Ділянки, забруднені викидами полігону твердих побутових відходів на знімку Aster

На рис. 1 наведено схему послідовності операцій побудови критеріїв розрізнення на знімку з залученням сканувального вікна. Матриця вікна вибирається з розрахунку суперпозиції двох факторів. Що більша матриця, то більша досто-

вірність побудови ознак, що менша матриця, то точніша класифікація складових довілля. У більшості практично цікавих випадків достатньо обирати матрицю сканувального вікна розміром 5×5 . Побудова зони полігону ТПВ на

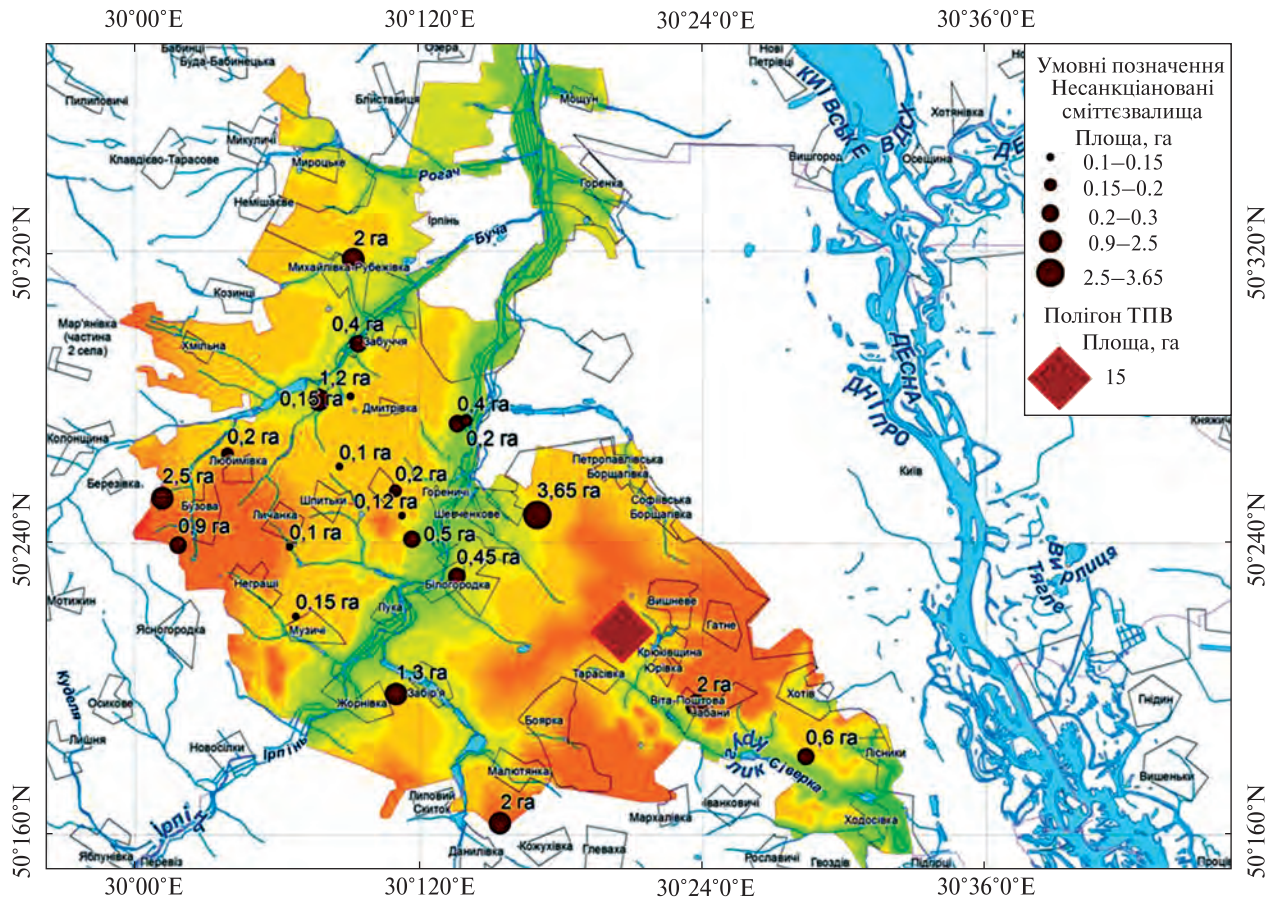


Рис. 5. Картографічна модель інвентаризації сміттєзвалищ Києво-Святошинського району Київської області

знімку та розрахунок гістограм зональних яскравостей їхнього зображення дозволяє створити діапазон значень пікселів, які належать звалищу.


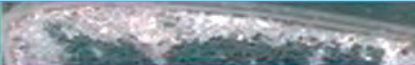


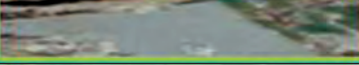




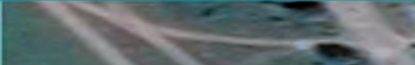

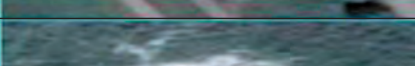
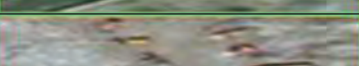

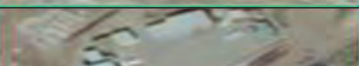
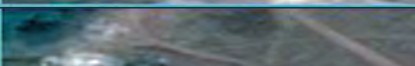

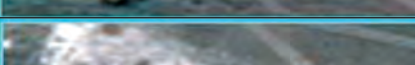
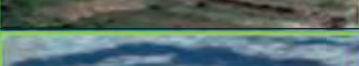

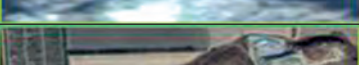



Виявлення та розпізнавання сміттєзвалищ доцільно проводити у два етапи: виділення об'єкта на зображенні та розпізнавання його класу. На етапі виділення полігону ТПВ на карті місцевості, як апіорна інформація, просторово поєднана із зображенням на космічному знімку, формується вектор ознак для кожного пікселя на зображенні. На етапі розпізнавання класу об'єкта формується вектор ознак для кожного об'єкта та безпосередньо виконується розпізнавання класу об'єкта на зображенні [2].

Для ідентифікації сміттєзвалища та обстеження місцевості враховуються прямі дешифрувальні ознаки, які характеризують властивості об'єкта

та містять безпосереднє відображення на знімках. Це такі ознаки, як геометричні (форма, тінь, розмір), яскравісні (фототон, рівень яскравості, колір, спектральний образ), структурні (текстура, структура).

Оскільки спектральна яскравість часто залежить від впливу зовнішніх факторів, то при дешифруванні космічних знімків і пошуку змін на місцевості у доповнення до алгоритмів, основаних на перетворенні спектральної яскравості, додатково використовують алгоритми, що ґрунтуються на структурних ознаках. За яскравісні ознаки об'єктів, які включають у себе деяку множину елементів зображення, пропонується використовувати характеристики, що описують форму гістограми яскравості — середнє значення яскравості m , дисперсію D , коефіцієнт асиметрії S , ексцес Kr :

Дешифрувальні ознаки санкціонованих та несанкціонованих звалищ твердих побутових відходів

Ознаки	Санкціоновані звалища	Несанкціоновані звалища	Приклад санкціонованого звалища	Приклад несанкціонованого звалища
Межа	Чітка	Розмита, розтянута		
Форма	Однорідна округла	Неоднорідна		
Захисне покриття	Є	Відсутнє		
Рослинність території	Відсутня	Є		
Головна під'їзна дорога	Є	Відсутня		
Огорожа	Є	Відсутня		
Робоча техніка	Є	Відсутня		
КПП та адмін. будівлі	Є	Відсутні		
Водовідвідна канава	Є	Відсутня		
Тінь	Є	Відсутня		
Віддаленість н/п	Велика	У межах н/п		
Структура	Зерниста, заповнена в основному білими та сірими плямами			
Колір	Переважно білий, біло-сірий, сірий, темно-сірий, майже чорний			

$$m = \frac{1}{n-1} \sum_{i,j} I_{i,j}, \quad D = \frac{\sum_{i,j} (I_{i,j} - m)^2}{n-1},$$

$$S = \frac{\sum_{i,j} (I_{i,j} - m)^3}{(n-1)D^{3/2}}, \quad K_r = \frac{\sum_{i,j} (I_{i,j} - m)^4}{(n-1)D^4},$$

де I — значення яскравості пікселя; i, j, n — координати та кількість пікселів у сканувальному вікні.

Надзвичайно ефективною для обстеження місцевості поблизу полігону ТПВ, оцінки забруднення та визначення реципієнта виявилася методика дешифрування зимових знімків, яка

передбачає за доповнювальну структурну дешифрувальну ознаку використання величини модуля градієнта яскравості. Для його обчислення спочатку виконується просторове диференціювання зображення, тобто обчислюються похідні $\frac{\partial F}{\partial x}$ та $\frac{\partial F}{\partial y}$, де F — яскравість зображення. Обчислення просторових похідних провадиться шляхом згортки з масками оператора Собела H_x та H_y :

$$H_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad H_y = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}.$$



Рис. 6. Єлихівське звалище твердих побутових відходів станом на 7 жовтня 2006 р.



Рис. 7. Єлихівське звалище твердих побутових відходів станом на 9 вересня 2013 р.

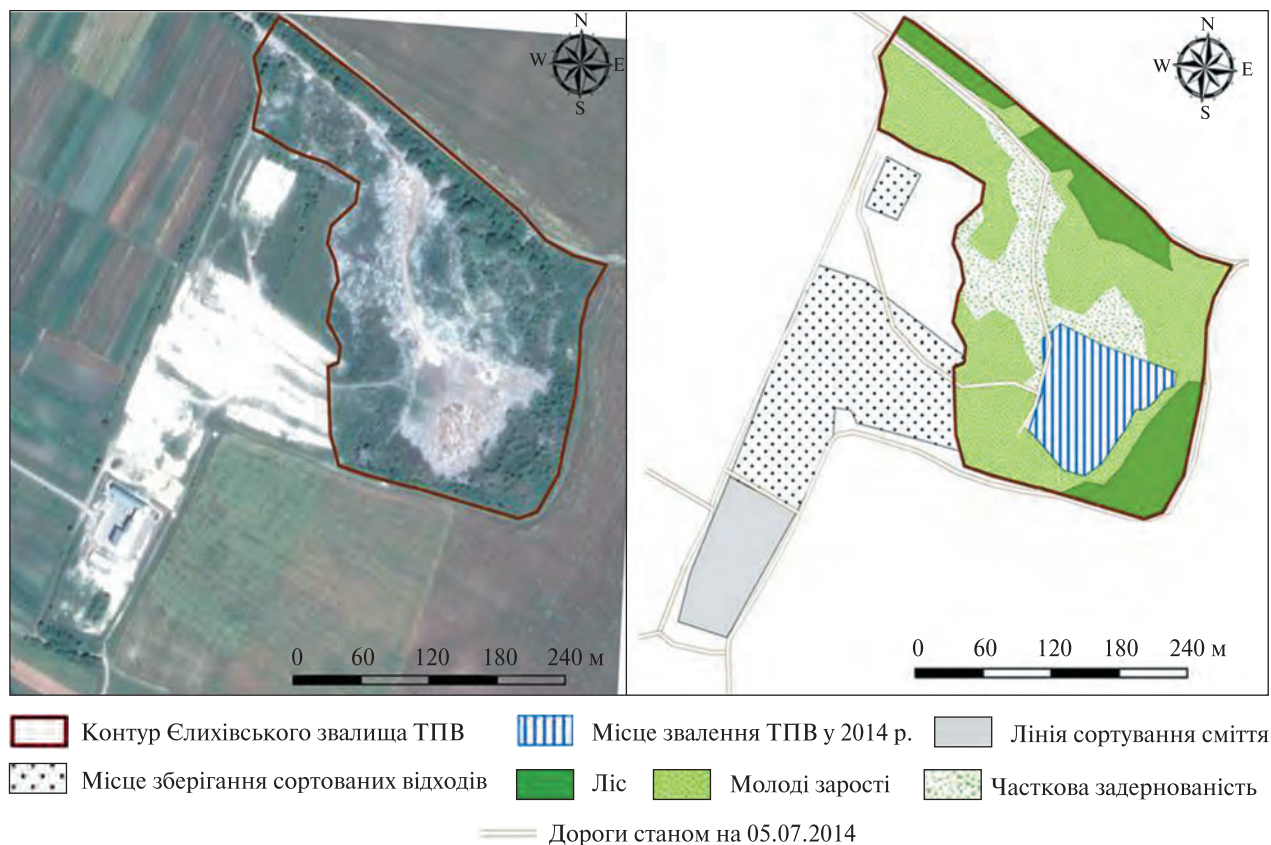


Рис. 8. Єлихівське звалище твердих побутових відходів станом на 5 липня 2014 р.

Модуль градієнта обчислюється як

$$G = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2}.$$

Припускається, що для лісу значення величини G повинне бути нижчим, ніж для забрудненого снігу, бо у межах лісових масивів яскравість зображення змінюється лише внаслідок флуктуацій, а у межах ділянок забрудненого снігового покриву має спостерігатися збільшення яскравості з віддаленням від джерела забруднення до периферії забруднення. При виконанні останнього етапу виявлення та розпізнавання сміттезвалищ враховують апріорну інформацію (цифрова карта місцевості) та характерні значення ознак, що містяться у базі даних еталонних об'єктів. База даних еталонних об'єктів створюється з тих полігонів, які паспортизовані та мають систему моніторингу. Один з них, на якому

продемонструємо технологію космічного моніторингу полігонів ТПВ, розташований на землях між селами Тарасівка та Крюківщина, поблизу м. Васильків Києво-Святошинського району Київської області.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вибраний для ілюстрації полігон ТПВ — конкретний приклад з типовою організацією складування відходів та проявами факторів впливу продуктів їхньої деструкції на складові навколишнього природного середовища. Це забруднення прилеглих земель продуктами вивітрювання і горіння видалених відходів та забруднення фільтратом. Для виділення на знімку меж полігону ТПВ розраховуються гістограми діапазонів значень пікселів, що належать зображенню звалища. При цьому достатньо використовувати багатозональні зображення, наприклад з супутника «QuickBird».

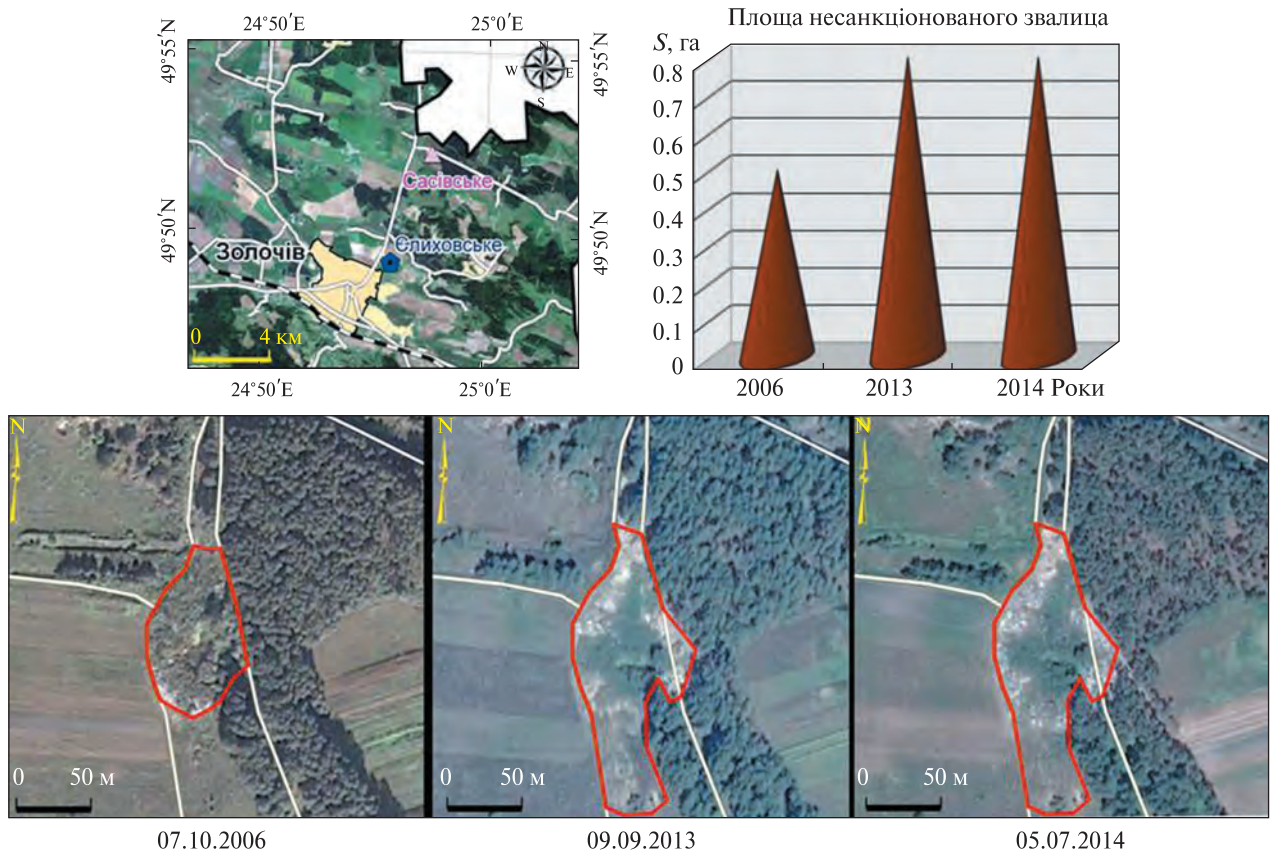


Рис. 9. Динаміка зміни площі несанкціонованого сміттєзвалища поблизу с. Сасів з 2006 по 2014 рр.

На рис. 2 зображено полігон звалища та гістограми дешифрування космічного знімку в середовищі Erdas Model Maker. За діаграмами обрано такі діапазони об'єкту «звалище»: середнє — 130...195 мкм, дисперсія — 6...30 мкм, асиметрія — 0...4 мкм, ексцес — 0...14 мкм.

Запрограмовані в рамках Model Maker характеристики ознак об'єднуються при обробці еталонного полігону ТПВ (рис. 3).

Перевірка моделі проводиться на об'єктах, розташованих поблизу еталона. Отримані результати дають можливість виявляти та розпізнавати несанкціоновані сміттєзвалища. Так, при обробці космічних знімків території Києво-Святошинського району Київської області виявлено 21 несанкціоноване сміттєзвалище загальною площею 19.12 га, похибка складає від 1...10 %.

Методику дешифрування зимових знімків застосовано до території місця видалення відходів

поблизу м. Васильків Київської області [3]. Для визначення зони забруднення навкруги МВВ були використані зимові космічні знімки «Aster» (рис. 4), на яких достатньо надійно ідентифікується балка, де розташоване сміттєзвалище та забруднення, що поширюється навкруги.

При цьому враховувалися як роза вітрів, так і вплив маскувальних факторів, обумовлених сусідніми джерелами викидів у атмосферу (ВАТ Саливонківський цукровий завод, КП Васильківська шкіряна фірма, АТ Васильківський завод). На дату зимового космічного знімка «Aster» викидів у атмосферу цукрового заводу практично не було через сезонний характер виробництва цукру. Вплив останніх двох джерел викидів можна було вважати фоном, оскільки безпосередньо поблизу полігону ТПВ, принаймні на відстань до трьох кілометрів у напрямку переносу, вплив продуктів вивітрювання і горіння складованих

відходів був найбільшим. Підраховано площу забруднених ґрунтів від дії впливу місця видалення відходів у м. Василькові внаслідок вивітрювання та горіння речовин та отримано площу в 11 км² забруднених земель.

Для Києво-Святошинського району Київської області по космічних знімках були ідентифіковані наявні сміттєзвалища, проведено виміри їхніх площ та обчислено загальну площу полігонів ТПВ, проаналізовано їхній вплив на прилеглі природно-техногенні системи. На космічних знімках достатньо надійно ідентифікується наявність стоків із території звалища, їхні напрями, об'єкт розвантаження, пошкодження трав'яного покриву та іншої рослинності, факт горіння відходів. Наявну інформацію інтерпретовано в картографічну модель і електронний реєстр сміттєзвалищ для Києво-Святошинського району Київської області (рис. 5). Сформований реєстр виявлених несанкціонованих стихійних сміттєзвалищ аналізувався з гідрологічними особливостями і з шаром картографічної моделі природної захищеності підземних вод Київської області. Аналіз побудованої просторової моделі показує, що більшість звалищ лежать у безпосередній близькості до критичної зони, де підземні води природно незахищені.

Практичний досвід тематичної обробки космічних знімків дав підстави для визначення дешифрувальних ознак санкціонованих і несанкціонованих звалищ сміття (таблиця).

Так, для несанкціонованих звалищ ТПВ характерна неправильна форма, витягування вздовж лінійних об'єктів (автодоріг, залізничних колій, ярів, балок і т. д.). Матеріали та предмети, з яких складаються ТПВ на звалищах, мають високий коефіцієнт відбивання. Різко підвищують яскравість такі відтінки: червоний, білий, світло-жовтий, світло-голубий, синій та ін. Важлива ознака — дрібнозерниста текстура, яка утворюється за рахунок нерівностей поверхні звалища. Ці ознаки склали базу даних для подальшої автоматизації виділення об'єкту «звалище» [4].

З метою встановлення фактів скорочення або збільшення площі звалищ та для контролю виконання заходів з їхньої рекультивациі доцільно порівнювати різночасові знімки на одну і ту ж саму територію, що гарантує безпомилковий та

маловитратний моніторинг досліджуваної території. Автори порівняли знімки для проведення екологічного моніторингу сміттєзвалищ території Золочівського району Львівської області.

У процесі дешифрування було ідентифіковано два сміттєзвалища. Одне з них санкціоноване — Єлихівське поблизу м. Золочів, та несанкціоноване — на західній околиці с. Сасів. Обробка знімків Єлихівського сміттєзвалища з 2006 по 2014 рр. показала поступове збільшення площі полігону ТПВ до 2013 р., що видно на рис. 6—9. Після спорудження лінії сортування сміття у 2013 р. площа звалища не збільшувалася. Аналіз знімків території сміттєзвалища поблизу с. Сасів показав збільшення площі несанкціонованого звалища ТПВ з 2006 по 2013 рр. на 58 %.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень розроблено метод виявлення та розпізнавання сміттєзвалищ, який ґрунтується на дистанційному зондуванні Землі з космосу. Модель автоматизованого виділення полігону звалища розроблено у середовищі Erdas (Model Maker) за критеріями середнього, дисперсії, асиметрії та експесу. В дослідженні додатково застосовано методику дешифрування зимових знімків. З тих полігонів ТПВ, які паспортизовані та мають систему моніторингу, створено базу даних характеристик полігонів побутових відходів за різними класами та базу даних еталонних об'єктів. В результаті обробки знімків території Києво-Святошинського району Київської області виявлено 21 несанкціоноване сміттєзвалище загальною площею 19.12 га, похибка складає від 1 до 10 %. Інтерпретована в ГІС інформація склала основу для формування бази даних; в результаті було побудовано електронний реєстр сміттєзвалищ для Києво-Святошинського району Київської області.

Досліджено динаміку зміни площ двох сміттєзвалищ на території Золочівського району Львівської області — Єлихівського санкціонованого сміттєзвалища поблизу м. Золочів та несанкціонованого на західній околиці с. Сасів, збільшення площі якого з 2006 по 2013 рр. становить 58 %.

Представлена в запропонованій формі інформація надає можливість місцевим органам самоврядування своєчасно реагувати та приймати ефективні рішення щодо санітарної очистки та ліквідації несанкціонованих сміттєзвалищ із мінімальними фінансовими, людськими та часовими затратами.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування* / В. І. Лялько, М. О. Попов та ін. — К.: Наук. думка, 2006. — 358 с.
2. *Інформатизація аерокосмічного землезнавства* / С. О. Довгий, В. І. Лялько, О. М. Трофимчук, О. Д. Федоровський та ін. — К.: Наук. думка, 2001. — 606 с.
3. *Космічний моніторинг забруднення земель техногенним пилом* / Л. Д. Греков, Г. Я. Красовский, О. М. Трофимчук. — К.: Наук. думка, 2007. — 123 с.
4. *Новохацька Н. А., Трофимчук О. М.* Технологія інвентаризації місць видалення відходів методами дистанційного зондування Землі // *Екологічна безпека та природокористування*. — 2014. — № 14. — С. 31—40.
5. *Орешкина Л. В.* Обнаружение и распознавание класса объектов на многозональных изображениях дистанционного зондирования // *Информатика*. — 2005. — № 2. — С. 79—85.
6. *Cui S. Y., Yan Q., Liu Z. J., Li M.* Building detection and recognition from high resolution remotely sensed imagery // *Proceedings of XXI ISPRS Congress*. — Beijing, China, 2008. — Vol. 37. — P. 411—416.
7. *Jensen J. R.* Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective. — Prentice Hall, 2000. — 544 p.
8. *Trofymchuk O., Trysnyuk V., Novokhatska N., Radchuk I.* Geoinformation technologies in decision issues of municipal solid waste // *J. Environmental Sci. and Engineering*. — 2014. — A 3. — P. 183—187.

Стаття надійшла до редакції 17.09.2018

REFERENCES

1. Lialko V. I., Popov M. O. Multispectral methods of remote sensing of the Earth in the problems of nature use. 358 p. (Kyiv: Nauk. Dumka, 2006) [in Ukrainian].
2. Dovhyi S. O., Lialko V. I., Trofymchuk O. M., Fedorovskiy O. D. Informatization of aerospace geography. 606 p. (Kyiv: Nauk. Dumka, 2001) [in Ukrainian].
3. Hrekov L. D., Krasovskiy H. Ia., Trofymchuk O. M. Space monitoring of land pollution caused by man-made dust. 123 p. (Kyiv: Nauk. Dumka, 2007) [in Ukrainian].
4. Novokhatska N. A., Trofymchuk O. M. Technology inventory of landfills for solid waste by remote sensing of the Earth. *Environmental safety and Natural Resources*. N 14, 31—40 (2014) [in Ukrainian].

5. *Oreshkina L. V.* Detection and recognition of a class of objects in multizone remote sensing images. *Informatics*. N 2. 79—85 (Minsk, 2005) [in Russian].
6. *Cui S. Y., Yan Q., Liu Z. J., Li M.* Building detection and Recognition from High Resolution Remotely Sensed Imagery. *Proceedings of XXI ISPRS Congress*. XXXVII, 411—416 (2008) [in English].
7. *Jensen J. R.* Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective. Prentice Hall (2000) [in English].
8. *Trofymchuk O., Trysnyuk V., Novokhatska N., Radchuk I.* Geoinformation Technologies in decision issues of municipal solid waste. *Journal of Environmental Science and Engineering*, A 3, 183—187 (2014) [in English].

Received 17.09.2018

*А. Шевякина*¹, *А. Н. Трофимчук*¹,
*Г. Я. Красовский*², *В. И. Клименко*¹

¹ Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства
Национальной академии наук Украины,
Киев, Украина

² Национальный аэрокосмический университет
им. М. Е. Жуковского, Харьков, Украина

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗОН ВЛИЯНИЯ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Предлагается технология космического мониторинга полигонов твердых бытовых отходов (ТБО). Представлены характеристики полигонов бытовых отходов по разным классам, а также данные эталонных объектов — паспортизованных полигонов ТБО, которые имеют систему мониторинга. Предлагается модель автоматизированного выделения полигона свалки, которая была разработана по критериям «среднее, дисперсия, асимметрия и эксцесс» с дополнительным применением методики дешифровки зимних снимков. Для эффективного контроля состояния окружающей природной среды в зоне влияния свалок предложено решать вопросы, выделенные в следующие блоки: идентификация источника воздействия и обследование местности; определение направления распространения влияния, пути миграции загрязняющих элементов; обоснование негативного воздействия на рецепторы. С целью пространственного моделирования особенностей расположения свалок, направления распространения влияния, пути миграции загрязняющих веществ привлечены геоинформационные системы. Технология способна быть информационной основой для создания национального реестра ТБО как санкционированных, действующих в соответствии с требованиями действующего законодательства, так и несанкционированных — стихийных свалок. Эта основа обеспечит научно экономиче-

ское обоснование принятия решений о перспективах обращения с бытовыми отходами на региональном уровне, которая имеет альтернативу: или строительство мусоросжигающих заводов, или последующее извлечение земельного фонда. Еще один аспект проблемы, который решает предложенная в статье технология, заключается в информационной поддержке решений по управлению экологической безопасностью на региональном уровне как составляющей планирования мероприятий для устойчивого развития регионов.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, места складирования отходов, государственный учет, база данных, космический мониторинг, методы дистанционного зондирования Земли, космические снимки.

*N. A. Sheviakina*¹, *O. M. Trofymchuk*¹,
*G. Y. Krasovsky*², *V. I. Klimenko*¹

¹ Institute of Telecommunications
and Global Information Space National Academy
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² National Aerospace University
named after M. Zhukovsky
Kharkiv Aviation Institute

METHODS AND MODELS OF SPACE MONITORING OF ZONES OF EFFECT OF SOLID DOMESTIC WASTE LANDFILL ON THE ENVIRONMENT

In the article, we propose the technology of space monitoring of solid waste landfills. The characteristics of landfills of different classes are presented, as well as the data of reference

objects — landfills for municipal solid waste, which are certified and have a monitoring system. The authors proposed a model of automated allocation of the landfill site. This model is developed by criteria of mean, variance, asymmetry and kurtosis. Additionally, the method of decoding winter images was applied. For effective control of the state of the environment in the zone of influence of landfills, it was proposed to solve the issues outlined in the following blocks: identification of the source of impact and survey of the area; determining the direction of propagation of influence, migration paths of pollutants; the rationale for the negative effects on the receptor. For the purpose of spatial modeling of the features of the location of landfills, the direction of propagation of influence, the migration route of pollutants, geographic information systems are involved. The technology is capable of being an information basis for creating a national register of municipal solid waste, both authorized, acting in accordance with the requirements of current legislation, and unauthorized — spontaneous landfills. This framework will provide a scientific and economic rationale for making decisions about the prospects for the management of household waste at the regional level, offering an alternative of building waste incineration plants versus the subsequent extraction of land resources. Another aspect of the problem, which is solved by the technology proposed in the article, is information support for environmental safety management solutions at the regional level, as a part of planning activities for the sustainable development of regions.

Keywords: municipal solid waste, waste storage site, landfills, state records, database, space monitoring, methods of remote sensing, satellite imagery.