

УДК 528.92;55:504

## КРИТЕРІЇ ТА МЕТОДИ ОЦІНЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ З ЗАСТОСУВАННЯМ АЕРОКОСМІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Людмила Ліщенко, Володимир Філіпович, Антон Мичак,  
Наталія Пазинич, Олександр Терemenко

*Центр аерокосмічних досліджень Землі  
Інституту Геологічних наук НАН України,  
вул. О. Гончара, 55-б, 01601 м. Київ, Україна*

Розглянуто критерії та методи оцінення екологічного стану міських територій за дистанційними матеріалами. Використано цифрове оброблення спектральних характеристик ландшафтно-функціональних зон міста на космічних зображеннях. Результатом дослідження стало районування урбанізованої території за рівнями екологічного стану. Пропонуємо виділяти шість таких рівнів: комфортний, оптимальний, задовільний, незадовільний, передкризовий та кризовий.

*Ключові слова:* дистанційні дослідження, багатозональні космічні знімки, урболандшафти, екологічний стан, міська територія.

**Постановка проблеми.** При вивченні екологічного стану урбанізованих територій виникає складна методологічна та технічна задача – за допомогою яких показників можна достовірно визначити стан системи, виявити та спрогнозувати небезпечні екологічні ситуації. Проблема полягає у тому, що екологічний стан урбанізованої території характеризує велика кількість показників, і практично неможливо одночасно одержати достовірну інформацію про весь масив характеристик, за якими визначають стан та динаміку функціонування природних систем та комплексів. Окрім того, в реальному масштабі часу велику кількість показників складно впорядкувати, проаналізувати і визначити взаємозв'язки між характеристиками природної системи та чинниками, що впливають на зміну цих характеристик. Реакція природних ландшафтів на техногенний вплив визначається складними індивідуальними властивостями ландшафту й окремих його компонентів, а також швидкоплинністю змін урбосистем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У методологічних підходах до виділення і класифікації міських ландшафтів, в оцінках ролі і значення технічних об'єктів і інженерних споруд різними дослідниками (Ф. Мільков, В. Пашенко, Ф. Тарасов, Ю. Тютюнник, Г. Денисик, Ф. Стольберг, І. Круглов, В. Гуцуляк, О. Дмитрук, Л. Сорокіна) ідентифікують і класифікують їх не завжди однаковими способами. Але в оціненні екологічного стану та техногенного навантаження (впливу, тиску) загалом наявні ідентичні методичні прийоми, репрезентовані оціненими коефіцієнтами, умовними балами, якісними шкалами та різним математичним апаратом обрахунку цих показників.

**Постановка завдання.** Використовуючи методи дистанційного зондування, можливо адекватно відображати особливості природної та антропогенно-техногенної складової міської території і мати змогу оперативно спостерігати і контролювати стан навколишнього середовища. Серед інших основних переваг використання матеріалів дистанційного зондування – об'єктивність, оперативність, вірогідність і точність.

Результати дешифрування багатоспектральних космічних зйомок дають можливість: а) оцінити ландшафтно-функціональне організування урботериторії (відповідно до прийнятої класифікації ландшафтів урбанізованих територій); б) визначити території та ділянки несприятливих геоекологічних процесів та явищ, які впливають на екологічний стан урботериторії; в) отримати 3D дистанційну інформацію (тривимірні моделі рельєфу міської інфраструктури) для дальшої геоекологічної інтерпретації та оцінення екологічного стану; г) виявити джерела та зони забруднення ґрунтово-рослинного покриву, рік і водойм; д) проаналізувати техногенне навантаження та екологічно оцінити урботериторію.

Для оцінення екостану урбанізованих територій за допомогою космічної інформації потрібно районувати територію на основі ландшафтно-функціональних ознак її використання (промисловість, транспорт, селитебна зона, рівень озеленення, водні об'єкти, рекреаційний потенціал тощо). Зазвичай усі показники нормують щодо загальної площі або кількості населення в межах одиниці адміністративного поділу, тобто вони залежать від соціофункціональних особливостей міста, в якому проводять дослідження, і вираховують у відносних одиницях. Другим критерієм оцінення є визначення сприятливості впливу тих чи інших показників навантаження. Методологічною основою для дослідження ландшафтно-різноманітності міських територій є концепція природно-техногенних систем, до яких, зокрема, відносять територіально-функціональні структури (зони) міста.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** При дистанційних дослідженнях сумарне техногенне навантаження, що характеризує екологічну ситуацію в урболандшафтах, розділяють та оцінюють за ступенями позитивного чи негативного впливу на територію та обчислюють у межах визначеної площі. Цей підхід до дослідження міських агломерацій з метою аналізу та оцінення їхнього екологічного стану дає можливість визначити співвідношення проблемних та несприятливих ландшафтних комплексів у системі (типів ландшафтно-функціональних зон), визначити їхні межі та закартографувати зони підвищеної геодинамічної напруги, з метою визначення та відстеження напрямків поширення та можливої міграції негативних явищ. Критерієм оцінення стає сам ландшафт, територіально організована ділянка, що має повний набір характеристик, які інтегрально передаються на дистанційних матеріалах у вигляді дистанційного образу. Характеризуються такі ділянки з точки зору комфортності існування біологічного виду, порушеності (збуреності) природного середовища, порівняно з тим, що існувало до процесу антропогенізації ландшафту.

Найбільш оптимальним параметром оцінення урбанізованої території при дистанційному вивченні є характеристика зовнішнього вигляду (описують спектральними яскравостями та текстурно-структурними особливостями) ландшафтних комплексів та їхнє територіальне розповсюдження (площа). Можливо, цей параметр не дає повну уяву про силу змін і перетворень території міста, тому що один і той же зовнішній образ може мати приховану внутрішню структуру, що не проявилась у його фізіономічних характеристиках. У такому разі застосовують експертний підхід та інтерпретують дані.

Тип функціонального використання може мати різну інтенсивність впливу на кожний окремий ландшафт або його компонент. Особливо це стосується забруднення літо- та гідросфери. Дистанційний образ уже несе інформацію про ступінь деструкції та мінливості території, тобто є змога теоретично побачити, які екологічні стани може мати той чи інший рисунок зображення ландшафтів. Тому для характеристики різногенетичних ландшафтних комплексів ми застосовуємо такий показник, як площа, яку вони займають, а точніше, відсоткове співвідношення всіх ландшафтів, що розміщені на оцінюваній території, а для врівноваження різних видів екологічного впливу пропонуємо застосовувати вагові коефіцієнти, визначені за допомогою експертних оцінень (табл. 1). Загальне оцінення стану міста залежить від певних комбінацій елементів системи, а саме: від типів і груп ландшафтно-функціональних комплексів, з яких вона складається [2].

Таблиця 1

Вагові коефіцієнти, використовувані  
 для оцінення екологічного впливу на міські території

Територіально-функціональні структури	Типи ландшафтних комплексів на урбанізованих територіях	Коефіцієнт впливу
1	2	3
Природні	Зелені зони – парки, сквери, лісові масиви	1
	Яружно-балкові ерозійні	2
	Схилів зсувонебезпечні	3
	Заплавні, заболочені	2
	Аквальні – річкові, озерні	1
	Рільничі	3
	Лісорегулюючі (фруктові сади, лісопосадки, лісосмуги)	2
	Рекреаційні (садово-паркові, пляжні, санаторно-оздоровчі)	2
	Водогосподарчі (меліоровані канали, ставки, водосховища)	2
Селитебні	Селитебні (міські з капітальною багатоповерховою забудовою, садибні, котеджні, дачні)	5
	Соціально-культурна інфраструктура міста – навчальні і наукові заклади, театри, торговельні центри, стадіони тощо	4
	Белігеративні (військові частини, полігони, укріплення)	6
Промислові	Промислові підприємства енергетичного комплексу	9
	Промислові підприємства машинобудування	8
	Гідротехнічні споруди	9
	Промислові підприємства важкої індустрії (металургійні, трубопрокатні, коксохімічні, хімічні, ТЕЦ.)	10
	Промислові підприємства обслуговуючих галузей (цехи, котельні, склади, АЗС)	8
Гірничо-добувні	Кар'єри, ями, шахти, рови, відвали	9
	Гірничо-промислові гідроспоруди – відстійники, шламо-сховища, гідровідвали	10

Закінчення табл. 1

1	2	3
Транспортні	Залізничні колії і споруди, автомагістралі з насипами та укосами, мости	5
	Комунікаційна мережа – трубопроводи, водоводи, лінії електромережі та зв'язку	7
Постпромислові	Смітники, звалища твердих і рідких відходів	9
	Постіндустріальні рекультивовані землі	5

Опишемо основні методичні підходи до визначення екологічного стану урбанізованих територій за дистанційними матеріалами:

- районування території за типами ландшафтно-функціонального використання, техногенним впливом, ландшафтно-індикаційними ознаками, визначення несприятливих геодинамічних зон (трасування лінементів, тектонічних порушень);
- складання еколого-географічних карт, які відображають геодинамічні, гідродинамічні, ландшафтно-геохімічні характеристики, а також карти стану забруднення ґрунтів, води, атмосфери, функціонального використання території та їхнє інтегральне оцінення;
- попіксельна та об'єктно-орієнтована класифікації космічних зображень з метою оцінення екологічного стану території за різноманітними критеріями, які обчислюють при автоматизованому обробленні багатозонального космічного зображення за допомогою розрахунків різних спектральних індексів (вегетаційного, ґрунтового, водного, пожежонебезпечності, транспірації, теплового поля тощо).

Сучасний варіант отримання інформації полягає у класифікуванні багатозонального або гіперспектрального космічного знімка за спектральними особливостями територіально-функціональних структур чи земних покривів, використовуючи вибірку з навчанням та один з прийомів класифікації за допомогою програмного забезпечення з оброблення знімків (ERDAS Imagine, ENVI) та комбінацією з структурно-текстурним аналізом території (eCognition, IDRISI). Проведення процедури посткласифікації з обчисленням статистики класів та визначення спектральної яскравості об'єктів зазвичай необхідне для усунення похибок.

Визначивши на знімку за допомогою дешифрування чи класифікації основні типи урболандшафтів з різноманітним техногенним впливом, вираховують площі, які вони займають та показники їхнього впливу у балах (від 1 до 10). Ці дані можна нормалізувати на загальну площу міста (або на число мешканців) для отримання розподіленої інформації на всю оцінювану територію за формулою

$$H = \sum \frac{kSp + kSc + kSg + kSx + kSt}{kSr + kSn}, \quad (1)$$

де  $H$  – інтегральне оцінення території,  $S$  – площі різних складових ландшафтних комплексів:  $p$  – промислові,  $c$  – селитебні,  $g$  – гірничопромислові,  $t$  – транспортні,  $x$  – постіндустріальні,  $r$  – рекреаційні,  $n$  – природні (ліси, водойми),  $k$  – значення вагового коефіцієнта навантаження на окремі типи ландшафтно-функціональних зон.

Отже, інтегральне оцінення екологічного стану території прямо пропорційне впливу основних техногенних чинників (екодеструктивні критерії) й обернено пропорційне природним незмінними об'єктам та рекреаційним зонам (екостабілізуючі критерії). Чим вищий показник, тим більш напружена ситуація на досліджуваній території.

У результаті комплексного аналізу оцінюють екологічний стан урботериторії за такими рівнями: комфортний, оптимальний, задовільний, незадовільний, передкризовий та кризовий. Такий підхід розглядають як експертне екологічне оцінення урботериторії на основі матеріалів багатозональних космічних зйомок, або дистанційний геоекологічний аудит. Перспективи дальших досліджень пов'язані з удосконаленням цифрового оброблення багатозональних дистанційних даних. Концептуально такий методичний підхід вперше в Україні було запропоновано при оцінюванні геоекологічної напруги І. Ковальчуком, М. Петровською [1], але без використання даних дистанційного зондування.

Для прикладу розглянемо дослідження ландшафтно-функціональної структури міста Маріуполь та порівняльного оцінення екологічного стану окремих його частин (рис. 1).

Застосувавши спектральне оброблення космічного знімка, достовірно виділимо техногенні і природні об'єкти Маріуполя: малоповерхову і багатоповерхову міську забудову, заводські цехи, склади, майстерні, залізниці, автомагістралі, зелені зони, річки, озера, морські акваторії, поля, городи, звалища, шламонакопичувачі тощо. Результати класифікації супутникових даних та їхній статистичний аналіз зображено на рисунку 2.

Щоб отримати інтегральну карту оцінення екологічного стану для підрахунку різних за природою показників, можуть бути використані підходи і методи статистичного оброблення



а

б

Рис. 1. Методика визначення екологічного стану урбанізованих територій за матеріалами космічної зйомки: а) вихідне космічне зображення м. Маріуполь (Landsat TM 07/07/2009), б) результат спектрального оброблення космічного знімка – класифікація за типами ландшафтно-функціональних зон міста

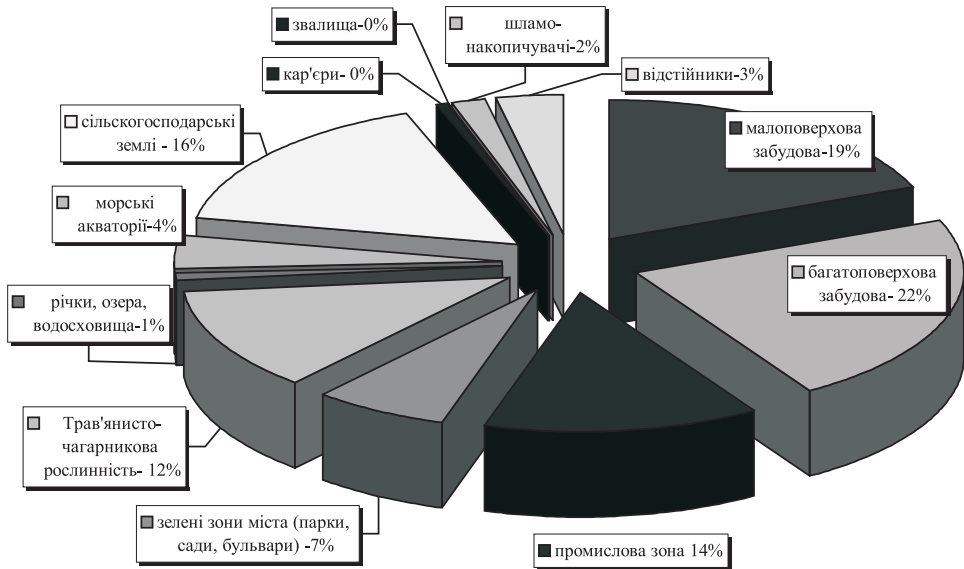


Рис. 2. Результат статистичного оброблення даних класифікації матеріалів космічної зйомки Landsat TM м. Маріуполя

результатів – метод багатокритеріальної оптимізації (нечітких множин), аналіз ієрархії, адаптивний баланс впливів, експертні оцінювання, суперпозиції та ін.

Аналогічні дані були отримані у чотирьох адміністративних районах міста: Ілчівському, Жовтневому, Орджонікідзенському та Приморському [3].

Головною метою нашого аналізу є отримання кількісних показників площинного розподілу і співвідношення у просторі основних типів ландшафтно-функціональних зон та розрахунок їхньої питомої ваги на одиницю населення. На основі зведених даних визначено умовне екологічне навантаження на одного мешканця м. Маріуполь та розподіл даних показників за районами (табл. 2).

Під умовним екологічним навантаженням у розрахунках вважатимемо площу екологічного чинника ( $m^2$ ), що припадає на одного мешканця міста (урбанізованої території). Кількісне оцінювання геоecологічного стану, як ми уже відзначали, вираховували на основі даних екостабілізуючих та екодеструктивних площ, або показника екологічного чинника за формулою 2:

$$E_{eco} = \sum_{i=1}^n K_i \quad (2),$$

де:  $K_i$  – показники в розрахунку на одного жителя.  $K_1 (+)$  – площа зелених територій;  $K_2 (+)$  – площа водних поверхонь;  $K_3 (-)$  – площа селитебних територій;  $K_4 (-)$  – площа промислових зон;  $K_5 (-)$  – щільність транспортної мережі;  $K_6 (-)$  – площа гірничодобувних територій;  $K_7 (-)$  – площа звалищ;  $K_8 (-)$  – площа потенційно небезпечних екзогенних геологічних процесів;  $K_9 (-)$  –



площа перезвожених територій;  $K_{10} (-)$  – площа сільгоспугідь;  $K_n (\pm)$  – площа інших ландшафтно-функціональних зон залежно від характеристик певної урбанізованої території.

Таблиця 2

Умвне екологічне навантаження на одного мешканця м. Маріуполь

Екологічні чинники		Од. виміру	Маріуполь	Райони м. Маріуполь			
				Ілчівський	Орджонікідзенський	Жовтневий	Приморський
Стабілізуючі	Рекреаційні, в т. ч.	м <sup>2</sup> /ч	87,23	107,86	39,17	74,66	175,49
	Зелена зона	м <sup>2</sup> /ч	69,93	103,54	27,18	72,66	90,19
	Водна поверхня	м <sup>2</sup> /ч	17,30	4,32	12,00	2,00	85,31
	Разом		87,23	107,86	39,17	74,66	175,49
Деструктивні	Селитебні	м <sup>2</sup> /ч	154,23	261,01	119,81	111,63	172,59
	Промислові	м <sup>2</sup> /ч	50,77	125,30	80,98	1,57	18,24
	Транспортна мережа	м/ч	0,57	1,01	0,59	0,41	0,14
	Сільськогосп. угіддя	м <sup>2</sup> /ч	61,58	2,03	19,12	34,55	3,72
	Гірничодобувні	м <sup>2</sup> /ч	2,01	9,40	0,11	0,00	0,00
	Інші (звалища, відстійники тощо)	м <sup>2</sup> /ч	1,87	19,41	40,53	0,34	26,47
<b>Разом (без транспорту)</b>			271,03	418,16	261,14	148,5	221,16
Різниця			183,8	310,3	221,97	73,84	45,67

Аналіз статистичних даних свідчить, що за ступенем екологічного навантаження у місті Маріуполь чітко вирізняються індустріальні райони, де деструктивні чинники мають велику питому вагу – Ілчівський (передкризовий стан) та Орджонікідзенський (незадовільний стан), і спальні, або рекреаційні, райони, де навпаки більший вплив стабілізуючих – Жовтневий (задовільний стан) та Приморський (оптимальний стан).

**Висновки.** Супутникова технологія оцінення екологічного стану урботериторій полягає у послідовному виявленні й аналізі компонентів природного та антропогенно-зміненого середовища за результатами тематичного та автоматизованого дешифрування багатоспектральних космічних знімків. Це дає змогу отримати загальну характеристику про ландшафтно-функціональні зони, відомості про ступінь порушеності геологічного середовища; місця розміщення екологічно несприятливих природних і техногенних систем, біометричні характеристики ландшафтних комплексів та інтегрально оцінити екологічний стан міських територій. Запропонована методика надає ексклюзивні можливості для оперативного (у моніторинговому режимі) і достовірного оцінення екологічного стану урбанізованих

територій та порівнювати екологічний стан окремих територій у просторі й часі. Така оперативна інформація може бути базовою для дослідження і вирішення екологічних проблем міських територій.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковальчук І. Геоекологія Розточчя / І. Ковальчук, М. Петровська. – Львів : Видав. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2003. – 192 с.
2. Ліщенко Л. П. Обґрунтування методики оцінки геоекологічного стану гірничопромислових територій на основі ландшафтної-системного підходу й аерокосмічної інформації : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геол. наук / Л. П. Ліщенко. – К., 2002. – 20 с.
3. Мичак А. Г. Експрес-контроль екологічного стану урботериторій за матеріалами багатозональної космічної зйомки / А. Г. Мичак, В. Є. Філіпович // Зб. наук. праць ІХ Міжнар. наук.-практ. конференції “Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях”. – К.; Харків; Сімферополь, 2010. – С. 210–221.

*Стаття надійшла до редакції 05.03.2014 р.*

*Доопрацьована 15.04.2014 р.*

*Прийнята до друку 26.06.2014 р.*

## EVALUATION CRITERIA AND METHODS OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS IN URBAN AREAS USING REMOTELY SENSED DATA

**Liudmila Lischenko, Volodimir Filipovich, Anton Mychak,  
Natalia Pazynych, Alexander Teremenko**

*State Institution & quot; Scientific Centre for Aerospace Research  
of the Earth of Institute  
of Geological Sciences, National Academy of Sciences of Ukraine,  
O. Honchar St., 55-в, UA – 01601 Kyiv, Ukraine*

Methodology of integral estimation of the ecological state of urban areas is examined with remote sensing data. The digital study of spectral descriptions of landscape-functional zones of city on space images is used. A result of their integrated analysis is the districting of urban area relation to the level of prosperity and environmental conditions. It is proposed to distinguish six levels as follows: comfortable, optimal, satisfactory, inadequate, pre-crisis and emergency.

*Key words:* remote sensing, multi spectral space images, urban landscape, municipal territory, environmental conditions.



## **КРИТЕРИИ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

**Людмила Лищенко, Владимир Филипович, Антон Мичак,  
Наталья Пазинич, Александр Теременко**

*Центр аэрокосмических исследований Земли  
Института геологических наук НАН Украины,  
ул. О. Гончара, 55-б, 01601 г. Киев, Украина*

Рассматривается выбор критериев и методы оценки экологического состояния городских территорий по дистанционным материалам. Используется цифровая обработка спектральных характеристик ландшафтно-функциональных зон города на космических изображениях. Результатом исследования является районирование урбанизированной территории по уровням экологического состояния. Предлагается выделять шесть таких уровней: комфортный, оптимальный, удовлетворительный, неудовлетворительный, предкризисный и кризисный.

*Ключевые слова:* дистанционные исследования, многозональные космические снимки, урболандшафты, экологическое состояние, городская территория.