



ISSN 1607–2855

Том 9 • № 1 • 2013 С. 54 – 58

УДК 528.8.04

Системні методи дослідження стану міських територій на основі космічної інформації ДЗЗ (на прикладі м. Києва)

А.В. Соколовська

Державна установа “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України”, Київ

Обґрунтовується можливість використання космічної інформації ДЗЗ для дослідження стану урбанізованих територій (на прикладі м. Києва), системного моделювання змін структури складових урболандшафту, та оцінки їхньої динаміки. Наводяться результати використання системних методів для оцінки екологічного стану антропогенно зміненої території, а саме методу адаптивного балансу впливів та багатокритеріальної оптимізації. Запропоновані підходи надають змогу не лише проводити на якісно новому рівні моніторинг впливу складових урболандшафту на стан території, але також з незначними похибками прогнозувати зміну екологічної ситуації та розробляти збалансований менеджмент і план дій державних служб.

СИСТЕМНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ (НА ПРИМЕРЕ Г. КИЕВА), Соколовская А.В. — Обосновывается возможность использования космической информации ДЗЗ для исследования состояния урбанизированных территорий (на примере г. Киева), а также для системного моделирования изменений структуры составляющих урболандшафта, и оценки их динамики. Приводятся результаты использования системных методов для оценки экологического состояния антропогенно измененной территории, а именно методов адаптивного баланса влияния и многокритериальной оптимизации. Показано, что предложенные подходы дают возможность не только проводить на качественно новом уровне мониторинг влияния составляющих урболандшафта на состояние территории, но также с незначительными погрешностями прогнозировать изменение экологической ситуации и разрабатывать сбалансированный менеджмент и план действий государственных служб. Ключевые слова: методы системного анализа, дистанционное зондирование, оценка экологического состояния урбанизированных территорий.

SYSTEM ANALYSIS METHODS FOR ESTIMATION OF THE CONDITION OF THE URBAN TERRITORY BY USING THE REMOTE SENSING SPACE INFORMATION (BY EXAMPLE OF KIEV), by Sokolovska A.V. — We substantiate the possibility to use the Earth remote sensing space information for estimation of the condition of the urban territory (the Kyiv city is used as an example) for system simulation of changes in the structure of urban landscape components and assessment of their dynamics. The use of system methods to assess the environmental condition of anthropogenically altered territory, namely the method of influences adaptive balance; multiobjective optimization was made. The proposed approach provides an opportunity not only to conduct a qualitatively new level of monitoring of the impact of urbolandscape elements on the territory state, but also to predict changes in the ecological situation with minor errors and develop a sustainable management plan and public services.

Ключевые слова: методы системного анализа; дистанционное зондирование; оценка экологического состояния городской территории.

Key words: system analysis methods; remote sensing; assessment ecological condition of urban territory.

В останні роки дистанційне зондування урбанізованих територій дало можливість не тільки покращити горизонтально-вертикальне міське планування, а ще й на досить високому рівні досліджувати екологічний стан мегаполісу. На сьогоднішній день дані супутникових систем спостереження прив'язані до місцевості і надають можливість збору інформації для міських та приміських територій у різних просторових, часових і спектральних діапазонах. Тому виникає необхідність створення якісно нових системних методів використання космічної інформації ДЗЗ, що підвищать ефективність дослідження урбанізованих територій на основі комплексних досліджень геосистеми [4].

На сьогодні відомо багато досліджень присвячених оцінці стану міських агломерацій, а саме: геолого-екологічне районування міських агломерацій, прогноз факторів геологічного ризику, оцінка техногенного навантаження, інвентаризація та контроль гідрографічної і гідротехнічної мережі, контроль забруднення водних об'єктів та атмосфери та інші [1, 7]. Однак, методи інтегральної оцінки екологічного стану міських територій на основі космічної інформації ДЗЗ ще розроблені недостатньо.

В основі роботи було оцінити поступові зміни, що відбуваються в урбанізованих середовищах з використанням багаторічних космічних зніманих супутника Landsat та змодельовати різні сценарії подальшого розвитку екологічного стану території.

Об'єктом дослідження є ділянка антропогенно змінених ландшафтів, на якій простежується посилення техногенного навантаження (територія м. Києва).

Сучасний розвиток великих міст багато в чому відбувається за рахунок перетворення і більш раціонального використання внутрішньої структури без розширення меж міської території. В результаті витісняється зелена зона, відбувається ущільнення території забудовою, збільшується чисельність населення і відповідно транспорту, що безумовно позначається на екологічному стані міського середовища. Урбанізація призводить до погіршення якості повітря, процесів міських екосистем та біорізноманіття в зв'язку з чим виникає необхідність вивчення міських територій як складної системи.

На основі дешифрування і аналізу КЗ м. Києва було отримано такі дані, як площа території під забудовою міста Києва, яка збільшилася більш ніж на 15% від загальної площі міста за період з 1984 р. по 2011 р. безпосередньо за рахунок зменшення зелених насаджень, а також площа забудови прибережної зони річки Дніпро. Разом зі збільшенням забудови збільшується загальний показник забруднення атмосферного повітря майже вдвічі, що показує безпосереднє збільшення автотранспорту, який є головним забруднювачем повітря (приблизно 83,4% усіх шкідливих викидів в атмосферу) [2]. Саме ці фактори і обумовлюють вибір міста Києва як об'єкта дослідження.

Для дешифрування було використано 24 «безхмарні» знімки території Києва отриманих з супутників Landsat 7/ETM+, Landsat 5 TM, Aqua (сенсор AIRS), за період 1984 по 2011 р.

В якості методичної основи досліджень стану міських територій використовується системний підхід, що всебічно враховує взаємозв'язок процесів в складній системі, включаючи технічні, екологічні, економічні та соціальні аспекти.

Дослідження проведені з використанням наступних методів:

Метод адаптивного балансу впливів — *Adaptive Balance of Causes* (для розробки моделі і системного моделювання екологічного стану міської території з використанням космічної інформації ДЗЗ).

Цей метод полягає в розробці концептуальної моделі і формуванні математичної моделі, яку складають математичні рівняння, що описують адаптивний баланс впливів у системі. Побудова моделі міської території була виконана, ґрунтуючись на експертних даних про причинно-наслідкові відношення в модельній системі з подальшим моделюванням та прогнозом оцінкою екологічного стану міської території.

Основне рівняння методу виражає баланс тенденцій у зміні значень процесу (x), обумовлених впливами на нього з боку інших процесів [9]:

$$\frac{dx_i}{dt} = 1 - 2F^{(+)}(a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n + x_i), \quad (1)$$

де a_{is} — коефіцієнти рівнянь моделі (надалі коефіцієнти), які враховують вплив складової s на складову i та зберігають постійне значення у вибраному інтервалі часу.

Рівняння (1) стає найбільш простим у разі вибору базової функції впливів $F^{(+)}$ у формі параболи, що асимптотичне наближається до одиниці. При цьому стає лінійним і набуває вигляду

$$\frac{dx_i}{dt} = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{i,i-1}x_{i-1} + \dots + a_{in}x_n - x_i, \quad (2)$$

де t — часовий або просторовий аргумент процесу.

Надаючи індексу i в останньому рівнянні значення $1, 2, \dots, n$, одержимо систему рівнянь математичної моделі, яку будемо використовувати у подальшому.

Коефіцієнти впливу a_{ij} в рівнянні моделі можуть бути ідентифіковані двома основними шляхами: за оцінками експертів і на основі статистичної обробки архівних даних.

Метод багатокритеріальної оптимізації (для оцінки динаміки змін складових урболандшафту, та техногенного навантаження).

Для оцінки динаміки складових урболандшафту, включно техногенне навантаження, були використані алгоритми методу багатокритеріальної оптимізації, що складаються з наступних етапів [8]: введення функції близькості порівнюваних величин a і b , обчислення оцінки для функції близькості — S та функції відповідності — F_1 . Ця функція описує ступінь збігу значень порівнюваних величин. Наприклад, порівнюються такі величини, як складові урболандшафту за всі досліджувані роки за період 1984–2011 рр. відносно їх стану в 1984 р. по кожному року.

$$F_1(B, A) = \sum_{j=1}^n \rho(b_j, a_j) \cdot [1 - S(b_j, a_j)], \quad (3)$$

де: $\rho(b_j, a_j)$ — вагові коефіцієнти, $j = 1 - n$.

Близькість значення параметру a до параметру b визначається за допомогою функції близькості $S_j(b_j, a_j)$ для наступних випадків:

$$S_j(b_j) = \frac{\bar{a}_j - b_j}{\bar{a}_j}, \quad \text{для випадку } b_j < \bar{a}_j;$$

$$S_j(b_j) = \frac{b_j - \bar{a}_j}{b_j}, \quad \text{для випадку } b_j > \bar{a}_j. \quad (4)$$

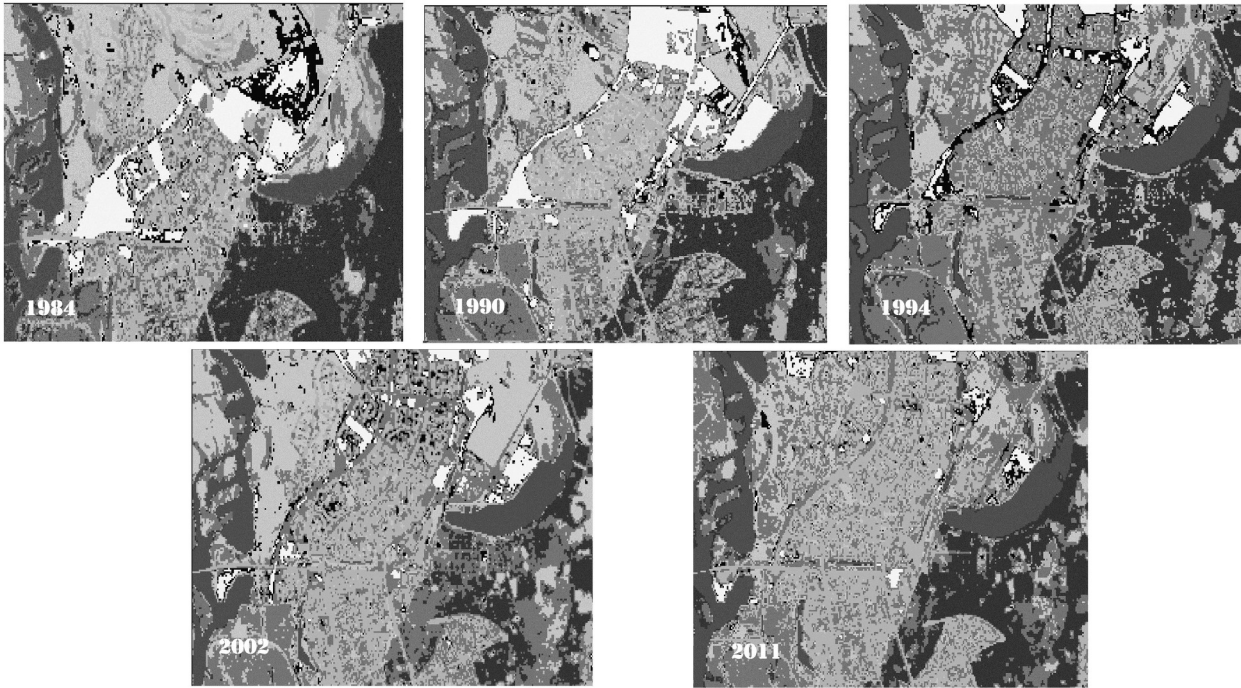


Рис. 1. Фрагменти зображень міста Києва, отримані в результаті дешифрування космічних знімків Landsat 5 TM за період 1984–2011 рр.

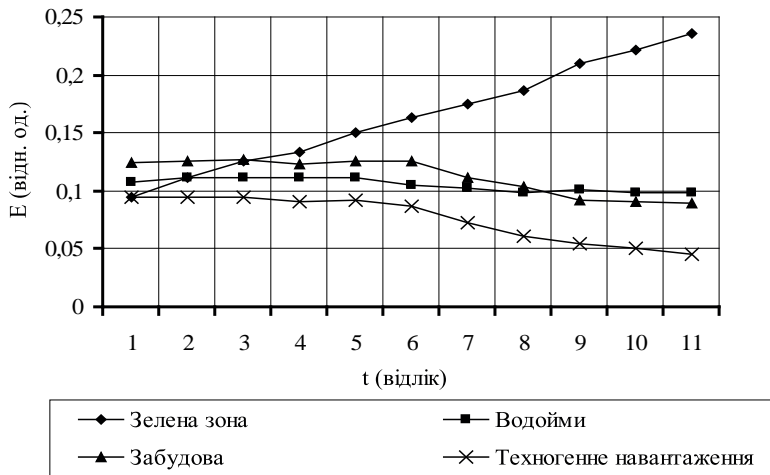


Рис. 2. Результати моделювання змін екологічного стану залежності від зміни площ зеленої зони, водойм, забудови та техногенного навантаження

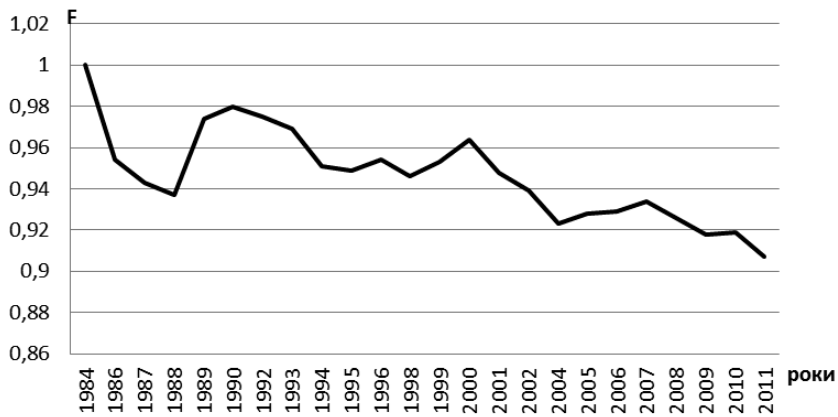


Рис. 3. Результат обчислення функції F_1 в умовних одиницях

Тоді класифікація процесів або об'єктів може бути формалізована як завдання багатокритеріальної оптимізації m критеріїв, кожний з яких виступає як функція відповідності характеристики b параметру a .

Для обробки та інтерпретації матеріалів ДЗЗ були використанні ПК Erdas Imagine та ArcGIS, а також спеціалізована програма для розрахунку отриманих статистичних даних, розроблена в ДУ ЦАКДЗ ІГН НАН України. Статистичні дані зміни площ досліджуваних ландшафтів отримані на основі автоматичної класифікації та розрахунків “спектральних індексів” (нормалізованого різницевого індексу рослинності $NDVI$ та нормованого водного індексу NWI) [7, 11]. Автоматична класифікація виконувалася методом неконтрольованої класифікації кластерів (*Iso Cluster Unsupervised Classification*), що базується на основі ітеративного процесу, який застосовується для обчислення мінімальної Евклідової відстані при віднесенні кожної найближчої комірки до певного кластеру [3].

Виходячи з параметрів вище перерахованих космічних знімків, для подальших досліджень були відібрані наступні складові урболандшафту м. Києва, а також деякі геоecологічні фактори, отримані на основі космічної інформації: техногенне навантаження, зелені насадження, водойма, забудована територія, пустирі і будівельні майданчики (рис. 1). Екологічний стан міста оцінювався на основі комплексного індексу забруднення атмосфери (K), значення якого отримані в ЦГО. В якості техногенного навантаження використовувалося значення CO_2 , отримані сенсором AIRS космічного апарату «Aqua» [10]. У зв'язку з відсутністю космічної інформації за весь період досліджень 1984–2011 рр., використовувалися значення CO , отримані на основі інформації наземних вимірювань ЦГО (коефіцієнт кореляції супутникових та наземних вимірювань становить порядку 0,9) [6].

Моделювання екологічного стану міської території, методом адаптивного балансу впливів — *Adaptive Balance of Causes*, виконувалось шляхом виявлення впливу на екологічний стан міста поступової зміни кожної складової урболандшафту (зеленої зони, водойм, забудови та техногенного навантаження) на 10% від номінального значення 1994 р.

З графіку (рис. 2) видно, що модель адекватно реагує на зміну складових урболандшафту. Так збільшення площ зеленої зони приводить до значного покращення екологічного стану території міста Києва, а підвищення техногенного навантаження викликає погіршення екологічного стану, зростання площ забудови і водойм незначно впливає на екологічний стан міської території.

Наступний етап полягав в розрахунку критерію, який характеризує структуру складових урболандшафту, а саме — з функцією відповідності F_1 методом багатокритеріальної оптимізації (для оцінки динаміки змін складових урболандшафту та техногенного навантаження).

Обчислення функції відповідності F_1 для складових міської території виконувалось за кожний рік досліджень (1986–2011 рр.) на основі рівняння (3) відносно складових за 1984 р., які були умовно прийняті за еталон.

Для обчислення F_1 відповідно до рівняння (3) необхідно врахування значень вагових коефіцієнтів $\rho(b_j, a_j)$ для кожної складової урболандшафту. Для цього була виконана експертна оцінка впливу кожної складової на екологічний стан міської території [9]. На рис. 3 приведено графік функції відповідності F по рокам.

Наступним етапом досліджень стали пошуки зв'язку екологічного стану міста з функцією відповідності F_1 . Для цього було проведено оцінку кореляції між значеннями функцією F_1 та екологічним станом міста — критерієм E (де $E = 1/K$) за період 1990–2011 рр. Результати обчислень показали, що функція відповідності F_1 характеризує екологічний стан міської території з ймовірністю $R = 0,85$.

Аналізуючи зміни значень E і F_1 , було простежено, що з 1988 р. відбувається плавне збільшення показників F_1 , а з 1990 р. значення E і F_1 починають зменшуватися. Враховуючи, що наприкінці минулого століття техногенне навантаження на міську територію стрімко зростало, тенденцію зменшення E і F_1 можна пояснити, як віддзеркалення погіршення екологічної ситуації у місті.

Розглянуті методи системного підходу до вирішення завдань природокористування на основі космічної інформації ДЗЗ нададуть змогу далі не лише проводити на якісно новому рівні моніторинг впливу складових ландшафтних комплексів, але також з незначними похибками прогнозувати, виходячи з реальних умов, зміну екологічного стану територій та розробляти збалансований менеджмент і план дій державних служб.

1. Глебова О.В. Становление и развитие учения о городских ландшафтах // Природный комплекс большого города. — М.: Наука, 2000. — С. 24–28.
2. Екологічний паспорт Київської області (2011 р.) / Державне управління охорони навколишнього природного середовища в Київській області. — Київ, 2011. — С.154.
3. Ермошин И.С. Современные средства автоматизированного дешифрирования космических снимков и их использование в процес се создания и обновления карт // ARCREVIEW. — 2009. — № 1. — С. 12–13.

4. *Лялько В.И., Федоровский А.Д., Попов М.А. и др.* Использование данных спутниковой съемки для изучения природоресурсных проблем // *Космічні дослідження в Україні 2002-2004.* — Київ, 2004. — С. 7-14.
5. *Методология и методы оценки состояния городской среды / отв. ред. Г.Л.Кофф, Э.А.Лихачёва, Д.А.Тимофеев.* — М.: Медиа-пресс, 2006. — 200 с.
6. *Праці Центральної геофізичної обсерваторії / під ред. О.О.Косовця.* — К.: Інтерпрес ЛТД, 2009. — Вип. 5(19). — 116 с.
7. *Сахацький О.І.* Досвід використання водних індексів супутникових зйомок TERRA/MODIS для моніторингу засухи південних районів України на прикладі вегетаційного періоду 2007 року // *Доповіді Національної академії наук України.* — 2008. — № 5.
8. *Федоровский А.Д., Даргейко Л.Ф., Зубко В.П., Якимчук В.Г.* Системный подход к оценке эффективности аппаратных комплексов дистанционного зондирования Земли // *Космічна наука і технологія.* — 2001. — 7, № 5-6. — С. 75-79.
9. *Федоровский А.Д., Боднар Е.Н., Козлов З.В.* Системная методология развития космического геоэкологического мониторинга // *Космічна наука і технологія.* — 2006. — 12, № 4. — С. 86-97.
10. *Engelen R.J., Serrar S., Chevallier F.* Four Dimensional Data Assimilation of Atmospheric CO₂ using AIRS Observations // *Journal of Geophysical Research* — 2009. — 114.
11. *Huete A., Justice C., van Leeuwen W.* Modis Vegetation Index (MOD13). Algorithm theoretical basis document. Verion 3. April, 1999.

Надійшла до редакції 20.06.2013