



## ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ СЕРВІС ОБРОБЛЕННЯ ДАНИХ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ РОСЛИННОСТІ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

*Описан целостный геоинформационный сервис обработки данных для количественного оценивания состояния растительности урбанизированных территорий с использованием многоспектральных спутниковых снимков среднего разрешения. Основными картографируемыми биофизическими параметрами являются листовой индекс LAI и экстремум первой производной спектрального отражения растительности в зоне красного края. Предложенный сервис может быть полезен для коммунальных служб при планировании и контроле мероприятий по озеленению городских территорий.*

*The holistic geoinformation data-processing service for quantitative assessment of vegetation condition in urban area using medium resolution multispectral satellite imagery is described. The leaf area index (LAI) and the extrema of first derivative of vegetation spectral reflectance within the red edge region are the main mapped biophysical parameters. The proposed technique may be useful for municipal service in planning and inspection of urban area greening activity.*

**Вступ.** Розвиток мегаполісів суттєво змінює навколишнє середовище мешкання людини. Рослинність є одним з тих факторів, які здатні пом'якшити негативний вплив на екологічні умови та покращити якість життя у містах. Нормативне оцінювання стану рослинності на урбанізованих територіях базується на підрахунку сумарної площі озелених територій у межах міста чи району з урахуванням типу та класу якості зелених насаджень [4].

Всі озеленені території міст мають пройти процедури кадастрового знімання та оформлення на це відповідного державного акта.

**Постановка проблеми.** Забезпеченість населення зеленими насадженнями розраховується відповідно до встановлених норм у квадратних метрах на людину (див. таблицю) (за [15]).

**Норми забезпеченості міського населення озеленими територіями**

| Території       | Міста за кількістю населення, тис. чол. | Площа озелених територій, м <sup>2</sup> /люд. |           |      |                       |
|-----------------|---|--|-----------|------|-----------------------|
|                 |   | Полісся, Прикарпаття, Закарпаття               | Лісо-степ | Степ | Південний берег Криму |
| Загально-міські | понад 100                               | 10   | 11        | 12   | 15                    |
|                 | 50-100                                  | 7  | 8         | 9    | 11                    |
|                 | до 50                                   | 8  | 9         | 10   | 12                    |
| Житлові райони  | понад 100                               | 6  | 6         | 7    | 8                     |
|                 | 50-100                                  | 6  | 6         | 7    | 8                     |

Основною проблемою при цьому є неврахування фактичної площі зелених насаджень, яка може суттєво відрізнятись, а також якісного стану рослинності. Наведені у таблиці показники забезпеченості населення міст озеленими територіями не повно характеризують внесок рослинності в інтегральну якість його життя.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оцінювання стану міських зелених насаджень комунальні служби здійснюють шляхом їх загальних оглядів, як правило, двічі на рік – навесні та восени [11]. Це потребує значних часових та матеріальних витрат. Використання дистанційних (спутникових або авіаційних) даних може суттєво підвищити оперативність та інформативність оцінюван-

ня стану рослинності урбанізованих територій [12]. За результатами спеціального оброблення багатоспектральних аерокосмічних зображень можна визначити загальну площу проективного покриття рослинністю, визначити її кількість та якісний стан [13]. Об'єктивне оцінювання стану рослинності – ефективний інструмент екологічної індикації природного міського середовища [3] та опису загальної якості життя в місті за допомогою інтегральних показників, як-то UQL (urban quality of life) [23].

Для оцінювання кількості рослинності за багатоспектральними аерокосмічними знімками зазвичай використовуються різні вегетаційні індекси – NDVI (normalized difference vegetation index), WDVI (weighted difference vegetation index), PVI (perpendicular vegetation index) [6] та їх похідні, пов'язані з фітометричними та біопродуктивними показниками – GPP (gross primary productivity), NPP (net primary productivity), FPAR (fraction of photosynthetically active radiation), LAI (leaf area index) [5].

Якість рослинності за багатоспектральними аерокосмічними зображеннями оцінюється в основному за вмістом важливих для життєдіяльності пігментів, передусім хлорофілу, а також каротиноїдів, антоціанів і флавоноїдів [1, 10]. Дистанційне оцінювання вмісту пігментів базується на аналізі спектральних характеристик відбиття живим листям рослин у видимому та ближньому інфрачервоному спектральних діапазонах [2]. Достовірність такого оцінювання залежить від точності відновлення спектральної кривої відбиття рослинністю та її похідних [8], вологовмісту рослинності, який визначається температурою та відбиттям рослинним покривом у середньому інфрачервоному діапазоні [16]; узагальнені показники здоров'я рослинності – фотосинтетична активність і стрес, які досліджуються, як правило, за спеціальними вегетаційними індексами – SIPI (structural independent pigment index) [26], PSRI (plant senescence reflectance index) [25], DSWI (disease water stress index) [20] та багатьма іншими, або особливими ортогональними перетвореннями, такими як КТТСТ (Kauth-Thomas tasseled cap transformation) [21].

**Постановка завдання дослідження.** Метою цього дослідження є розроблення підходу до кількісного



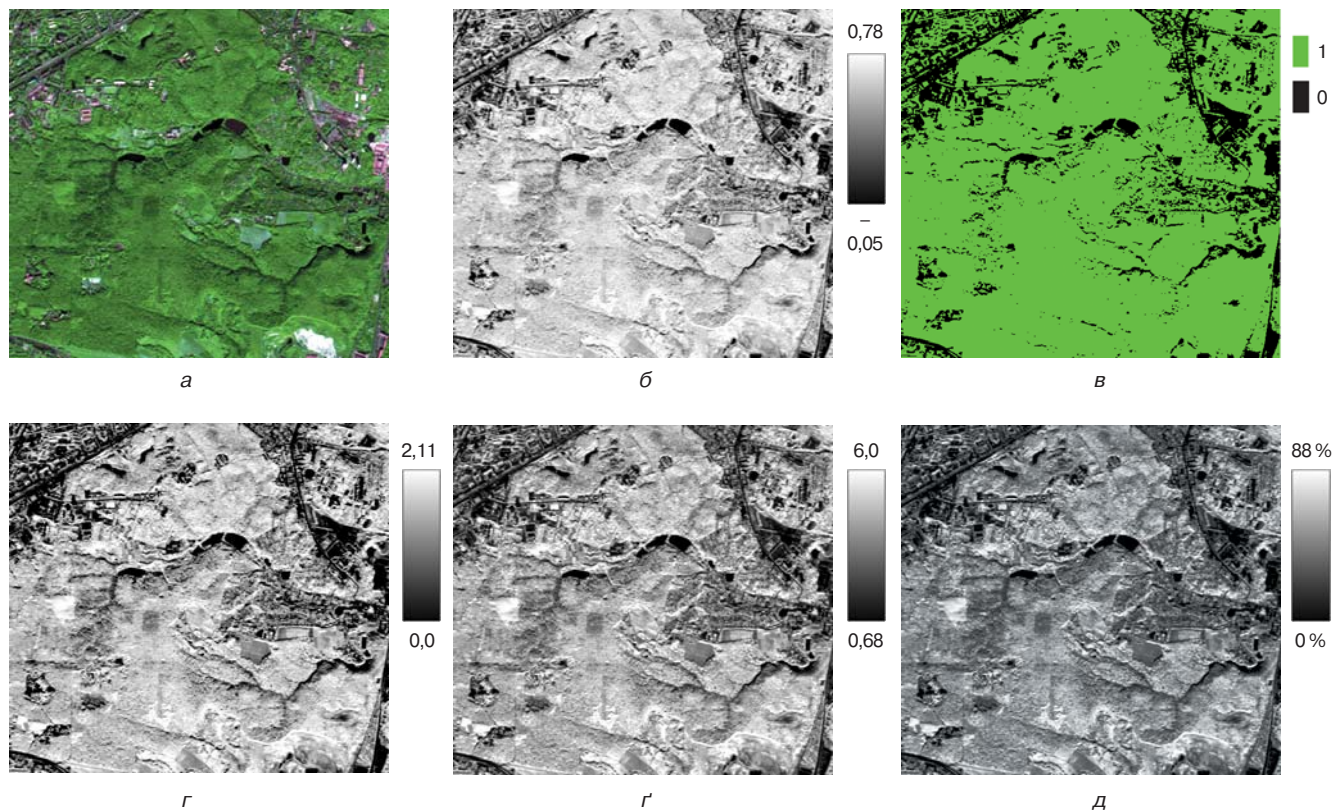
оцінювання рівня озеленення міських територій на основі даних багатоспектрального аерокосмічного знімання. Такий підхід має ґрунтуватися на більш інформативних кількісних показниках стану рослинності урбанізованих територій, передусім на листовому індексі LAI, який є важливою фітометричною характеристикою стану рослинності. Він визначає просторовий розподіл рослинних елементів та характеризує відношення сумарної площі поверхні листя фітоценозу до площі, яку він займає. LAI точніше передає всю площу зелених насаджень. Далі має бути запропоновано синтетичний показник, який дасть уявлення про стан рослинності урбанізованої території, бо враховуватиме не тільки всю площу фотосинтетично активної рослинності, а ще і її якість. Такий показник дозволить адекватно описати інтегральний стан рослинності урбанізованих територій.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження проводилося на прикладі Голосіївського лісопарку м. Києва із застосуванням фрагмента багатоспектрального супутникового зображення "Січ-2" (мал. 1, а) за 05.10.2011 р. Зображення радіометрично калібрувалося та перераховувалося на зональні коефіцієнти відбиття земної поверхні [14]. Далі розраховувався нормалізований вегетаційний індекс NDVI (мал. 1, б), і за допомогою порогового вирішального правила будувалася маска рослинності (мал. 1, в) досліджуваної території. За даними наземних вимірювань LAI на

тестових ділянках лісопарку було отримано регресійну залежність LAI від NDVI і відновлено розподіл індексу LAI (мал. 1, г) фрагмента супутникового знімка. Додаванням значень LAI у межах маски рослинності одержано величину всієї площі зелених насаджень території дослідження [17].

Якісні характеристики рослинності за багатоспектральними космічними знімками зазвичай оцінюються опосередковано – за спектральними ознаками зображення конкретної ділянки із завіркою за прямими наземними вимірюваннями [7]. При цьому враховується характер цих опосередкованих залежностей, як правило, нелінійний та різний для різних типів рослинних біотопів [22]. Тому для їх опису застосовуються нелінійні регресійні залежності, нечіткі функції або таблиці відповідності LUT (look-up table) [24].

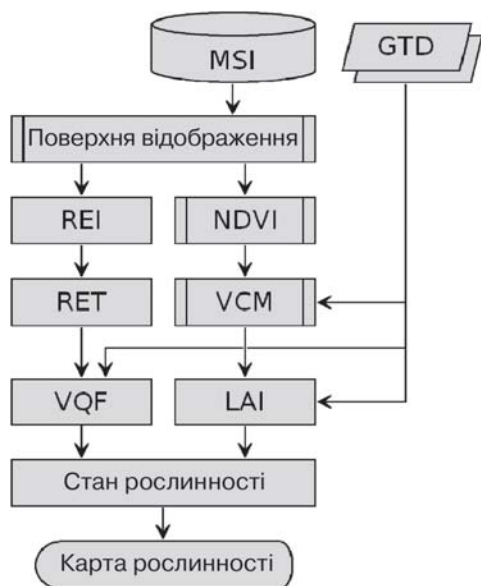
Концентрація хлорофілу та інших елементів у фотосинтетично активних зелених частинах рослин є непрямим показником актуального стану рослинності [19]. Її можна оцінити вимірюванням кількісних характеристик форми спектральних кривих [9]. У даній статті для цього обрано значення екстремуму першої похідної функції спектрального відбиття в зоні червоного краю рослинності: 0,68-0,76 мкм (мал. 1, г). За дистанційними вимірюваннями цієї величини сплайн-інтерполяцією зонального відбиття багатоспектрального зображення відновлено та відтарировано функцію її взаємної регресії з нормованою якістю рослинності на еталонних ділянках (мал. 1, д).



Мал. 1. Результати оброблення багатоспектрального зображення із супутника "Січ-2" Голосіївського лісопарку м. Києва: а – фрагмент каліброваного знімка "Січ-2"/МСУ 05.10.2011р. (просторова розрізненість 8 м); б – вегетаційний індекс NDVI; в – маска рослинності; г – листовий індекс LAI; г' – спектральна похідна в зоні червоного краю; д – нормована якість рослинності



Отже, в такий спосіб одержано геопросторові продукти, які є основою для інтегрального кількісно-якісного оцінювання рослинності урбанізованих територій. Послідовність технологічних операцій оброблення багатоспектральних аерокосмічних зображень передає мал. 2.



Мал. 2. Схема операцій оцінювання стану рослинності за багатоспектральним зображенням

Вхідне каліброване багатоспектральне зображення MSI (multispectral image) з урахуванням умов освітленості та поглинання атмосфери перераховувалося на спектральне відбиття земної поверхні (spectral reflectance). Далі оброблення проходило паралельно по двох лініях: кількісного оцінювання та якісного оцінювання. Продуктом першого був листовий індекс LAI, одержаний через вегетаційний індекс NDVI у межах маски рослинності VCM (vegetation cover mask), продуктом другого – нормована якість рослинності VQF (vegetation quality factor), одержана через екстремум похідної в зоні червоного краю RET (red-edge tangent), який у свою чергу розраховувався за інтерполяцією спектрального відбиття в зоні червоного краю REI (red-edge interpolation). Залежності LAI від NDVI та VQF від RET відновлювались за даними наземних вимірювань GTD (ground-truth data) на тестових ділянках території дослідження. Всі операції з оброблення супутникових зображень виконувалися в обчислювальному середовищі SciLab [18], але для реалізації описаної схеми придатні будь-які інші програмні засоби з відповідними можливостями.

Інтегральна оцінка стану рослинності (vegetation condition) всієї території обчислювалась як

$$\text{vegetation condition} = \sum_i \text{LAI}_i \cdot \text{VQF}_i. \quad (1)$$

Додавання здійснювалось за маскою рослинності. У результаті оброблення зображень мал. 1 для Голосіївського лісопарку отримано такі кількісні по-

казники стану рослинності: загальна площа зелених насаджень – 1661,70 га, повна площа з урахуванням LAI – 1730,72 га, інтегральна площа з урахуванням LAI та якісного стану рослинності – 1387,44 га. Перевищення площі зелених насаджень з урахуванням LAI пояснюється домінуванням деревної рослинності з LAI більше одиниці. Але, врахувавши показник якісного стану рослинності, одержуємо дефіцит інтегральної площі, що свідчить про потенційне завищення площі зелених насаджень при застосуванні нормативної методики підрахунків.

**Висновки та перспективи дослідження.** Таким чином, описаний геоінформаційний сервіс оброблення даних є ефективним інструментом оцінювання стану рослинності урбанізованих територій. Він може бути корисним для комунальних служб при плануванні і контролі заходів з озеленення міських територій, а також для муніципальних органів управління при оцінюванні якості життя в місті.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на кількісну валідацію розробленого сервісу на різних еталонних завіркових ділянках у межах території всієї Київської міської агломерації.

#### Література

1. Бранд, А.Б. Оптические параметры растительных организмов / А.Б. Бранд, С.В. Тагеева. – М.: Наука, 1967. – 302 с.
2. Выгодская, Н.Н. Теория и эксперимент в дистанционных исследованиях растительности / Н.Н. Выгодская, И.И. Горшкова. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 248 с.
3. Дідух, Я.П. Основи біоіндикації. – К.: Наук. думка, 2012. – 344 с.
4. Інструкція з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України [із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України № 8 від 16.01.2007] // Офіц. вісн. України. – 2007. – № 10. – С. 223-238.
5. Костюченко, Ю.В. Оцінка невизначеностей при визначенні продуктивності рослинного покриву та формуванні вуглецевого балансу територій за даними ДЗЗ / Ю.В. Костюченко, Д.М. Мовчан, І.Г. Артеменко, Ю.Г. Білоус // Геоінформатика. – 2013. – № 3. – С. 67-75.
6. Кохан, С.С. Дослідження динаміки вегетаційних індексів для оцінювання стану сільськогосподарських культур на основі даних IRS-1D LISS-III / С.С. Кохан // Вісн. геодез. та картогр. – 2011. – № 4. – С. 20-24.
7. Кохан, С.С. Аналіз земельних ресурсів за кількісними та якісними характеристиками їх екологічного стану (на прикладі Васильківського району Київської області) / С.С. Кохан, А.А. Москаленко // Вісн. геодез. та картогр. – 2012. – № 4. – С. 26-32.
8. Кочубей, С.М. Спектральные свойства растений как основа методов дистанционной диагностики / С.М. Кочубей, Н.И. Кобец, Т.М. Шадчина. – К.: Наук. думка, 1990. – 136 с.
9. Кочубей, С.М. Использование деривативных вегетационных индексов для оценки содержания хлорофилла в растительности по данным измерений из космоса /



С.М. Кочубей, Т.А. Казанцев // Космічна наука і технологія. – 2011. – Т. 17. – № 3. – С. 54-59.

10. Мовчан, Я.И. Фитоиндикация в дистанционных исследованиях / Я.И. Мовчан, В.А. Каневский, В.Д. Семичаевский [и др.]. – К.: Наук. думка, 1993. – 306 с.

11. Николаевский, В.С. Экологический мониторинг зеленых насаждений в крупном городе. Методы исследований / В.С. Николаевский, Х.Г. Якубов. – М.: МГУЛ, 2008. – 67 с.

12. Попов, М.О. Технічні аспекти визначення стану рослинності урбанізованих територій з використанням дистанційних методів / М.О. Попов, С.А. Станкевич, А.О. Козлова // Матер. доп. Першої Всеукр. конф. з запрошенням закордонних учасників "Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки України". – К.: Наук. думка, 2008. – С. 70-75.

13. Попов, М.О. До оперативного оцінювання забезпеченості міських територій зеленими насадженнями із застосуванням багатоспектральних аерокосмічних знімків / М.О. Попов, С.А. Станкевич, А.О. Козлова, І.О. Маркова // Наук. вісн. Нац. аграр. ун-ту. – Вип. 128. – К.: НАУУ, 2008. – С. 299-301.

14. Попов, М.А. Послестартовая калибровка многоспектральной съёмочной аппаратуры спутниковой системы "Сич-2" / М.А. Попов, С.А. Станкевич, С.В. Шкляр [и др.] // Abstracts of 13th Ukrainian Conference on Space Research. – Eupatoria: Space Research Institute, 2013. – 196 p.

15. Правила утримання зелених насаджень у населених пунктах України [Затв. Наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України № 105 від 10.04.2006] // Офіц. вісн. України. – 2006. – № 31. – С. 415-456.

16. Сахацький, О.І. До можливостей оцінювання зволоженості земного покриття за багатоспектральними космічними зображеннями оптичного діапазону на прикладі території України / О.І. Сахацький, С.А. Станкевич // Доп. НАН України. – 2007. – № 11. – С. 122-128.

17. Станкевич, С.А. Дистанційне оцінювання кількості рослинності в міських агломераціях / С.А. Станкевич,

І.О. Пестова // Матер. II Наук.-практ. конф. "Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій". – К.: Ун-т новітніх технологій, 2013. – С. 75-80.

18. Тропин, И.С. Численные и технические расчеты в среде SciLab / И.С. Тропин, О.И. Михайлова, А.В. Михайлов. – М.: Федер. агент. по образ., 2008. – 65 с.

19. Хандрига, П.А. Информационно-статистический метод оценивания содержания биохимических компонентов в растительности / П.А. Хандрига, В.А. Яценко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2006. – № 1. – С. 119-132.

20. Apan, A. Detecting sugarcane 'orange rust' disease using EO-1 Hyperion hyperspectral imagery / A. Apan, A. Held, S.R. Phinn, J. Markley // International Journal of Remote Sensing. – 2004. – Vol. 25. – № 2. – P. 489-498.

21. Crist, E.P. The tasseled cap de-mystified / E.P. Crist, R.J. Kauth // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1986. – Vol. 52. – № 1. – P. 81-86.

22. Domaç, A. Integration of environmental variables with satellite images in regional scale vegetation classification / A. Domaç, M.L. Süzen // International Journal of Remote Sensing. – 2006. – Vol. 27. – № 7. – P. 1329-1350.

23. Jensen, R. Using remote sensing and geographic information systems to study urban quality of life and urban forest amenities / R. Jensen, J. Gatrell, J. Boulton, B. Harper // Ecology and Society. – 2004. – Vol. 9. – № 5. – A. 5.

24. Landgrebe, D.A. Information extraction principles and methods for multispectral and hyperspectral image data / D.A. Landgrebe // Information Processing for Remote Sensing. – Hackensack: World Scientific Publishing, 2000. – P. 3-38.

25. Merzlyak, M.N. Nondestructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening / M.N. Merzlyak, A.A. Gitelson, O.B. Chivkunova, V.Y. Rikitin // Physiologia Plantarum. – 1999. – Vol. 106. – № 1. – P. 135-141.

26. Peñuelas, J. Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance / J. Peñuelas, F. Baret, I. Filella // Photosynthetica. – 1995. – Vol. 31. – № 2. – P. 221-230.

Надійшла 18.02.14

\* \* \*

УДК 553.982.239:53.082.5:519.853.62

О. В. Титаренко

## ВИКОРИСТАННЯ ГІС ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ ЗА ДИСТАНЦІЙНИМИ ТА ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИМИ ДАНИМИ

*Рассматриваются вопросы применения геоинформационных систем для комплексного использования разных по физической сущности информационных данных для прогнозирования залежей углеводородов. Основное внимание уделяется интегрированию геолого-геофизических данных и материалов ДЗЗ.*

*The questions of the use of the geographic information systems are examined for the complex use of concerning physical basis different informative data for mapping of hydrocarbons. Basic attention is spared to integration of geological and geophysical data and data of the remote sensing of the Earth.*

**Постановка проблеми.** Енергетичні потреби суспільства у значній мірі забезпечуються за рахунок

нафти і газу. У зв'язку з цим постійно актуальним є питання розвідування, пошуку та прогнозування нових родовищ. Для цього розробляються відповідні технології. Найперспективнішими вважаються

© О. В. Титаренко, 2014