

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ МІСТА

*Стаття присвячена застосуванню новітньої технології проведення екологічного моніторингу міста на основі ідентифікації та оцінки стану рослинних насаджень з використанням супутникових знімків. На основі застосування такої технології забезпечується розроблення інформаційних систем екологічного моніторингу в містах та в районах розташування потенційно екологічно небезпечних виробництв, що вимагає ведення постійного моніторингу довкілля. Сучасний стан вирішення проблем екологічного моніторингу міст з різних причин не можна вважати задовільним. Мета досліджень полягає у розробці методичних засад ідентифікації та оцінки стану зеленої маси рослинних насаджень із супутникових знімків мегаполісів для системи екологічного моніторингу.*

*Виходячи з того, що габарити рослин для супутникової зйомки замалі, екологічний моніторинг здійснювався на основі зеленої маси дерев, габарити яких достатні для їх ідентифікації та визначенні спектральних індексів рослин. Дослідження проводились із застосуванням цифрових фотознімків Оболонського району у м. Києві в оптичному та інфрачервоному діапазоні з космічних апаратів. Вибір дослідних ділянок здійснювався засобами Microsoft Picture Manager одночасно для обох діапазонів. Розглядалися ділянки, візуально визначені як крони дерев на сонці та в тіні, газони на сонці та в тіні, асфальтований паркінг та дах будівлі. Розміри ділянок: мінімальна сторона ділянки становила від 16 пікселів. Для наочності у відображенні визначених візуально дослідних зразків та кварталу забудови вводилися додаткові коефіцієнти для отримання єдиного порядку величин. Обробка даних здійснювалась засобами MathCad. Було запропоновано для проведення екологічного моніторингу спектральні індекси, за допомогою яких враховується кілька складових кольору, необхідних при оцінці стану рослин. Результати проведених досліджень показали, що спектральні індекси, запропоновані для інфрачервоної зйомки, забезпечують ідентифікацію зеленої маси, як в тіні від споруд, так і при прямому сонячному освітленні.*

*Ключові слова: екологічний моніторинг міста, спектральні індекси, супутникові знімки, оптичний та інфрачервоний діапазони.*

**Вступ та постановка проблеми.** Інформаційні системи екологічного моніторингу особливо необхідні в містах та в районах розташування потенційно екологічно небезпечних виробництв, що вимагає ведення постійного моніторингу довкілля. Сучасний стан вирішення проблем екологічного моніторингу міст з різних причин не можна вважати задовільним. Проблематика досліджень екологічного моніторингу навколишнього середовища потребує вивчення та удосконалення технічного обладнання екологічного контролю, яке в основному відпрацювало свій технічний ресурс, що вимагає створення нових засобів та систем моніторингу для дистанційного контролю довкілля. Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» (ст. 20, 22) передбачено створення системи моніторингу та проведення спостережень за станом навколишнього природного середовища, рівнем його забруднення. Вирішення пов'язаних із цим напрямів завдань повинно ґрунтуватись на використанні сучасних досягнень науки і техніки та новітніх інформаційно-вимірювальних технологій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз методів та засобів моніторингу навколишнього середовища [1-7] свідчить про необхідність пошуку нових ефективних технологій дистанційного вимірювання характеристик довкілля з використанням космічних апаратів, що дають можливість вирішувати задачі контролю, діагностики та прогнозу. В сучасних умовах актуальним є забезпечення постійного контролю характеристик довкілля, особливо в важкодоступних місцях, та за умов техногенної небезпеки. Одним із найбільш об'єктивних індикаторів екологічного стану міст є стан багаторічних насаджень, Steve M. Raciti et al (2014) [8], моніторинг яких дозволяє не лише оцінювати стан екології, а й інтерпретувати причини стресів.

Дистанційний моніторинг великої території можна здійснювати за допомогою атмосферних апаратів, насамперед БПЛА, а також супутників. БПЛА здатні давати зображення з високою здатністю розрізнення знімків, проте, є правові питання щодо їх використання в мегаполісах. Супутникові знімки з низькою розподільчою здатністю (від 10 м/піксель) можливо отримати безкоштовно від різноманітних сервісів, таких як USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Більш деталізовані знімки з розподільчою здатністю в 0.5 м/піксель можливо окремо замовити і в національних операторів (вартість біля 11 Євро/км<sup>2</sup>), проте, для оцінки динаміки змін дерев можливо використовувати і наявні архівні дані, вартість яких значно менша, тобто економічно дані супутникового моніторингу є доступними.

Проблеми державної системи екологічного моніторингу в Україні та шляхи їх подолання наведені в [9, 10]. Однак, сучасний стан вирішення проблем екологічного моніторингу міст з різних причин не можна вважати задовільним.

**Мета досліджень** полягає в розробці методичних засад ідентифікації та оцінки стану зеленої маси рослинних насаджень із супутникових знімків мегаполісів для системи екологічного моніторингу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для моніторингу стану дерев у мегаполісі використовувались цифрові фотознімки, створені оптичним та ІЧ об'єктивами Оболонського району м. Києва від 11 вересня 2018 (рис.1). Спектральні портери місцевості було використано в роботах [11-12], де було показано необхідність передбачення впливу тіні на спектральні показники об'єктів, що необхідно враховувати для супутникових знімків, оскільки на відміну від поля в місті завжди буде тінь від споруд.



Рисунок 1 – Супутникові фотознімки Оболонського району м. Києва, зроблені оптичним і ІЧ об'єктивами

Вибір дослідних ділянок здійснювали засобами Microsoft Picture Manager одночасно на обох знімках. Розглядалися ділянки, візуально визначені як крона дерев на сонці та в тіні, газон на сонці та в тіні, асфальтований паркінг та дах будівлі. Розміри ділянок: мінімальна сторона ділянки становила від 16 пікселів. Окремо розглядали квартал забудови, що розташований між вулицями Petra Pancha str., Polyarna str., Simi Kolzenkiv str., Petra Kalnyshevskoho str. Для наочності у відображенні визначених візуально дослідних зразків та кварталу забудови вводились додаткові коефіцієнти для отримання єдиного порядку величин. Обробка даних здійснювалась засобами MathCad.

**Отримані результати та обговорення. Оптичний діапазон спектру.** На рис. 2 представлено залежність складових кольору для дослідних об'єктів в оптичному діапазоні.

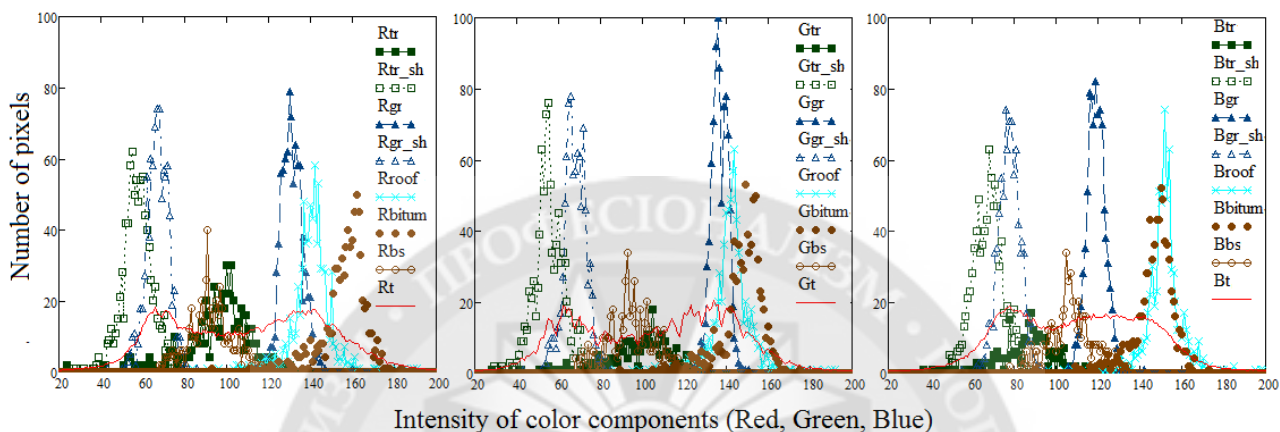


Рисунок 2 – Залежність для дослідних ділянок кількості пікселів від інтенсивності складової кольору: de tr - tree, tr\_sh - tree in the shade, gr - grass, gr\_sh - grass in the shade, roof - roof, bitum – asphalt, bs- asphalt in the shade, t - whole neighborhood

Для листя розглянутих дерев залежність кількості пікселів від величини інтенсивності складової кольору за RGB каналами відповідають таким діапазонам – 70..120, 80-120, 60-110, відповідно, за використання індексу  $MNVI = 2G - 2B - 2.4R$  усі пікселі будуть розпізнані як такі, що не відповідають рослині. Ймовірним поясненням цього є особливості забарвлення молодих рослин й листя дерев на початку вересня.

Використати фільтрацію за окремими монохромними каналами для ідентифікації рослин виявилось неефективним, оскільки для куполів дерев не вдалось виявити діапазон серед наявних каналів. Можливим рішенням ідентифікації рослинних насаджень є попіксельна фільтрація, коли для пікселя враховуються кілька складових кольору за принципом, закладеним в індекси типу MNVI. На рис. 3 наведені результати ідентифікації при використанні запропонованого авторами індексу GBtree (1)

$$GBtree = G - B + 100, \quad (1)$$

де G та B – зелена та синя складові кольору для адитивної моделі кольороутворення.

Збільшення величини індексу на 100 одиниць було здійснено щоб отримати позитивні величини для рослинних об'єктів, що перебувають в тіні, оскільки на супутникових знімках оптичного діапазону тінь від споруд є неодмінною складовою.



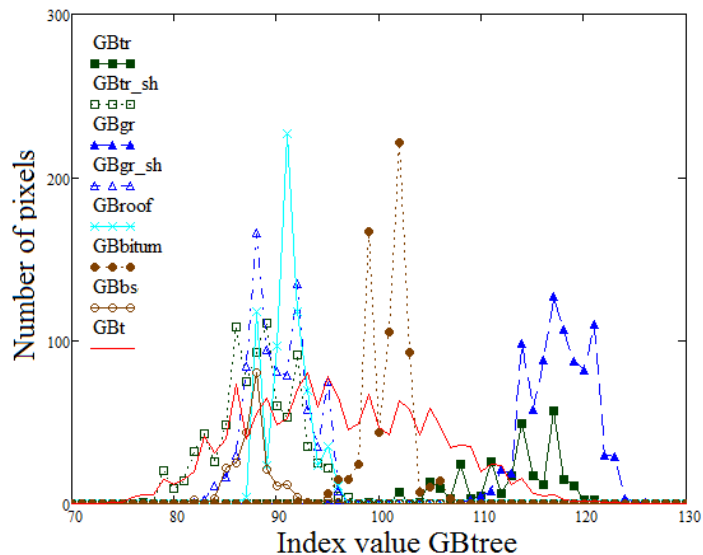


Рисунок 3 – Графік розподілу кількості пікселів для дослідних об'єктів для індексу GBtree, найменування ділянок аналогічно з рис. 2

Виходячи з отриманих результатів, при перебуванні під прямим сонячним промінням деревам відповідає діапазон 104..122, газонам – 108..124, без накладання сторонніх об'єктів. У випадку затінених ділянок відбулось накладання діапазонів для дерев, газонів та тротуарів. Виходячи з цього ідентифікація рослинних насаджень на супутникових знімках в оптичному діапазоні для запропонованого індексу GBtree матиме суттєву похибку стосовно ділянок, що перебувають в тіні від будинків.

**Зйомка з інфрачервоним об'єктивом.** Так само, як і в оптичному діапазоні, ІЧ знімок складається з даних трьох окремих каналів, що відповідають різним діапазонам спектру або їх комбінації. Оскільки для отримання зображення використовувались ІЧ спектри, для адитивної моделі кольороутворення канали позначали як C1, C2 та C3, подібно до RGB. Результати моніторингу у ІЧ спектрі наведені на рис. 4.

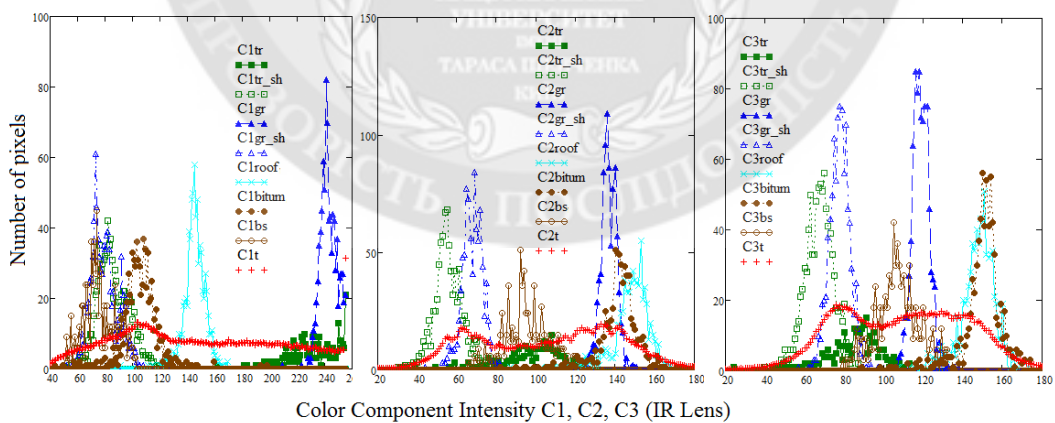


Рисунок 4 – Залежність для дослідних ділянок кількості пікселів від інтенсивності складової кольору за інфрачервоної зйомки, найменування ділянок аналогічно з рис. 2

Згідно отриманих результатів, за ІЧ супутникової зйомки вибіркова ідентифікація рослинних насаджень можлива і за окремими каналами. Так за першим каналом можна виділити копули дерев та траву, а за другим ідентифікувати ці об'єкти в тіні. Оскільки жоден з наявних каналів не виявився універсальним щодо ідентифікації рослин, як і для оптичного діапазону, використали попиксельну фільтрацію по 2-х каналах. Тому пропонується застосовувати індекс для ідентифікації рослин інфрачервоною зйомкою

$$IRtree = C1 - C2 + 100, \quad (2)$$

де C1 та C2 – 1 та 2 канали в адитивній моделі кольороутверення, які в оптичному діапазоні відповідають за R та G складові кольору.

Результати ідентифікації при використанні інфрачервоної зйомки представлено на рис. 5.

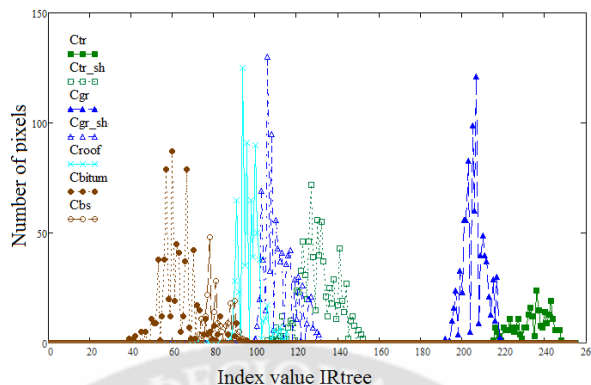


Рисунок 5 – Графік розподілу кількості пікселів для дослідних об'єктів у IR зйомці для індексу IRtree, найменування ділянок аналогічно з рис. 2

При використанні індексу IRtree вдалось виділити окремі діапазони, що належать саме кроні дерев та траві за прямого сонячного опромінення і певною мірою в тіні, чого не вдалось досягнути з індексом GBtree. Результати, що отримані при обчисленні площі листової поверхні дерев для дослідного кварталу міста, за прямого освітлення становили для індексів IRtree – 13,1 % та GBtree – 13,8 %, з урахуванням дерев у тіні – 20,5 % та 68 % відповідно. Така різниця в показниках для затінених ділянок для оптичного діапазону пояснюється фіксацією, поряд із кроною дерев і газонів, асфальтового покриття. Отже, інфрачервоні супутникові знімки показали більшу вибірковість, яка є важливою для оцінки стану насаджень.

**Напрямок подальших досліджень.** Можливість ідентифікації площі куполу дерев на ділянках за наявності позиціонування дозволить відстежувати динаміку змін їх стану і при аналізі карт виявляти можливі джерела стресу (біологічного, технологічного тощо). Наявність таких карт стресового стану рослин дозволить при використанні технологій машинного навчання відпрацьовувати методики ідентифікації характеру стресу з використанням БПЛА.

**Висновки.** Для побудови системи екологічного моніторингу розроблені методичні засади ідентифікації та оцінки стану зеленої маси рослинних насаджень зі супутникових знімків мегаполісів. Монохромні інфрачервоні та оптичні знімки виявились не придатними для ідентифікації рослин, оскільки при перебуванні об'єктів у тіні від споруд діапазони інтенсивності складових кольору рослин накладались на діапазони сторонніх об'єктів. Для інфрачервоних та оптичних супутникових знімків було запропоновано спектральні індекси, що враховують кілька складових кольору для оцінки стану рослинних насаджень. Для крон дерев під прямим сонячним освітленням для запропонованих індексів було отримано приблизно однакові результати. Проте індекси, які запропоновані для інфрачервоної зйомки, мають більшу вибірковість, оскільки для них вдалось ідентифікувати окремо крони дерев та рослин на газонах, як при прямому сонячному освітленні, так і в тіні від споруд.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Автоматизовані системи – екологічний моніторинг. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://ecomonitoring.hlr.ua/?gclid=Cj0KCQjwnJaKBhDgARIsAHmvz6fRYTR84hUJk4oM13hFFJbe9H7YqvAprtWWT7UdDhXRsnNS\\_8N0838aAn2AEALw\\_wcB](https://ecomonitoring.hlr.ua/?gclid=Cj0KCQjwnJaKBhDgARIsAHmvz6fRYTR84hUJk4oM13hFFJbe9H7YqvAprtWWT7UdDhXRsnNS_8N0838aAn2AEALw_wcB)
2. Бабак В.П., Канченко А.А., Ключников В.А., Краснов В.А., Чепур Н.Л. Беспилотные авиационные комплексы как средство радиационного мониторинга АЭС и окружающей среды. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля*. Київ. 2012. Вип.19. С. 60-69.

3. Захарова В. О. Парадигмальне оновлення природоохоронної діяльності в контексті євроінтеграції України як чинник змістовного формування системи екоправового виховання. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/paradigmалnoe-obnovlenie-prirodoohrannoy-deyatelnosti-v-kontekste-evrointegratsii-ukrainy-kak-faktor-soderzhatelnogo-formirovaniya>.

4. Належне екологічне врядування в країнах Східного Партнерства: роботи непочатий край. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://eu.prostir.ua/files/1331819362039/Environmentalgovernance\\_PB\\_15.03\\_ukr.pdf](https://eu.prostir.ua/files/1331819362039/Environmentalgovernance_PB_15.03_ukr.pdf).

5. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://menr.gov.ua/docs/activitydopovidi/NacDopovid2014.pdf>.

6. Концепція реформування системи державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього середовища в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://menr.gov.ua/presscenter/news/123-news1/5358-kontseptsiyareformuvannia-systemy-derzhavnoho-nahliadukontroliu-u-sferi-okhorony-navkolyshnohoseredovysycha-v-ukraini>

7. Федонюк М.А. До питання удосконалення системи державного екологічного моніторингу стану атмосферного повітря [Електронний ресурс] // Державне управління: удосконалення та розвиток: електронне наукове фахове видання – 2013. – № 2. – Режим доступу: <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=541>.

8. Steve M. Raciti (2014), "Mapping carbon storage in urban trees with multi-source remote sensing data: Relationships between biomass, land use, and demographics in Boston neighborhoods" / Steve M. Raciti, Lucy R. Hutyra, Jared D. Newell // Science of The Total Environment, Vol. 500–5011, pp. 72-83 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.070>

9. Потапенко В.Г., Шевчук І.В. Проблеми державної системи екологічного моніторингу в Україні та шляхи їх подолання. Аналітична записка, [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/1038/>.

10. Бахарев В.С., Журавська М.К., Маренич А.В. Аналіз адекватності діючої мережі та обґрунтування пропозицій щодо розміщення стаціонарних постів спостереження за станом атмосферного повітря у м. Кременчук // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2016. – Вип. 4 (99). – С. 80–87.

11. Pasichnyk, N. (2021), "Technologies for environmental monitoring of the city" / Pasichnyk, N., Komarchuk, D., Opryshko, O., Shvorov, S., Reshetiuk, V., Oksana, B. // 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems, CADSM 2021 - Proceedings, 2021, p. 40–43, 9385213

12. Shvorov, S. (2018), "UAV Navigation and Management System Based on the Spectral Portrait of Terrain" / Shvorov, S., Komarchuk, D., Pasichnyk, N., Opryshko, O., Gunchenko, Y., Kuznichenko S. // 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), – Proceedings., pp. 68-71 <http://dx.doi.org/10.1109/MSNMC.2018.8576304>

#### REFERENCES:

1. Automated systems - environmental monitoring. [Electronic resource]. Access mode: [https://ecomonitoring.hlr.ua/?gclid=Cj0KCQjwnJaKBhDgARIsAHmvz6fRYTR84hUJk4oM13hFFJbe9H7YqvAprtWWT7UdDhXRsNNS\\_8N0838aAn2AEALw\\_wcB](https://ecomonitoring.hlr.ua/?gclid=Cj0KCQjwnJaKBhDgARIsAHmvz6fRYTR84hUJk4oM13hFFJbe9H7YqvAprtWWT7UdDhXRsNNS_8N0838aAn2AEALw_wcB)

2. Babak, V.P., Kanchenko, A.A., Klyuchnikov, V.A., Krasnov, V.A., Chepur, N.L. (2012) "Unmanned aerial vehicles as a means of radiation monitoring of nuclear power plants and the environment. Safety issues of nuclear power plants and Chernoby", Kiev. Issue 19. Pp. 60-69.

3. Zakharova, V.O. (2011), "Paradigmал renewal of environmental activity in the context of European integration of Ukraine as a factor in the content formation of the system of ecological education", available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/paradigmалnoe-obnovlenie-prirodoohrannoy-deyatelnosti-v-kontekste-evrointegratsii-ukrainy-kak-faktor-soderzhatelnogo-formirovaniya> (Accessed 08 February 2017).

4. Humeniuk, V. and Mischuk, Z. (2012), "Good environmental governance in the Eastern Partnership countries: the work is endless", available at: [https://eu.prostir.ua/files/1331819362039/Environmentalgovernance\\_PB\\_15.03\\_ukr.pdf](https://eu.prostir.ua/files/1331819362039/Environmentalgovernance_PB_15.03_ukr.pdf) (Accessed 08 February 2017).

5. National Report on the State of Environment in Ukraine (2014), available at: <http://menr.gov.ua/docs/activity-dopovidi/NacDopovid2014.pdf> (accessed October 1, 2016).

6. The concept of reforming the system of state supervision (control) in the sphere of environmental protection in Ukraine, available at: <http://menr.gov.ua/press-center/news/123-news1/5358->

kontseptsiiareformuvannia-systemy-derzhavnoho-nahliadukontroliu-u-sferi-okhorony-navkolyshnohoseredovyshcha-v-ukraini (accessed October 10, 2016).

7. Fedonuk, M.A. (2013), "To the question of the improvement of the state environmental monitoring of air condition", Public administration, improvement and development, no. 2, available at: <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=541>.

8. Steve M. Raciti (2014), "Mapping carbon storage in urban trees with multi-source remote sensing data: Relationships between biomass, land use, and demographics in Boston neighborhoods" / Steve M. Raciti, Lucy R. Hutya, Jared D. Newell // Science of The Total Environment, Vol. 500–5011, pp. 72-83 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.070>

9. Potapenko, V.G., Shevchuk, I.V. (2007), "The problems of the state system of environmental monitoring in Ukraine and ways of their solution, Policy Brief. National Institute for Strategic Studies", available at: <http://www.niss.gov.ua/articles/1038/> (accessed October 20, 2016).

10. Bakharev, V.S., Marenych, A.V., Zhuravska, M.K. (2016), "The adequacy of the existing network and justification of proposals for the of stationary atmospheric air state observation posts location in Kremenchuk", Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, vol. 4, no. 99, pp. 80–87.

11. Pasichnyk, N. (2021), "Technologies for environmental monitoring of the city" / Pasichnyk, N., Komarchuk, D., Opryshko, O., Shvorov, S., Reshietiuk, V., Oksana, B. // 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems, CADSM 2021 - Proceedings, 2021, стр. 40–43, 9385213

12. Shvorov, S. (2018), "UAV Navigation and Management System Based on the Spectral Portrait of Terrain" / Shvorov, S., Komarchuk, D., Pasichnyk, N., Opryshko, O., Gunchenko, Y., Kuznichenko S. // 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), – Proceedings., pp. 68-71 <http://dx.doi.org/10.1109/MSNMC.2018.8576304>

**D.Sci. Tech., prof. Shvorov S.A., PhD Pasichnyk N.A.,  
PhD, prof. Opryshko O.O., Glugan F.V.**

#### **CITY ECOLOGICAL MONITORING INFORMATION SYSTEM**

*The article is devoted to the application of the latest technology of ecological monitoring of the city on the basis of identification and assessment of the condition of plantations with the use of satellite images. Based on the application of such technology, the development of information systems for environmental monitoring in cities and areas of potentially environmentally hazardous industries is provided, which requires constant environmental monitoring. The current state of solving the problems of environmental monitoring of cities for various reasons can not be considered satisfactory. The purpose of the research is to develop methodological bases for identification and assessment of the green mass of plantations from satellite images of megacities to build an environmental monitoring system. Based on the fact that the dimensions of plants for satellite imagery are too small, ecological monitoring was carried out on the basis of green mass of trees, the dimensions of which are sufficient for their identification and determination of spectral indices of plants. The research was conducted using digital photographs of the Obolon district in Kyiv in the optical and infrared range from spacecraft. The selection of research sites was carried out using Microsoft Picture Manager simultaneously for both ranges. Areas visually identified as tree canopies in the sun and shade, lawns in the sun and shade, asphalt parking lot and the roof of the building were considered. Plot sizes: The minimum side of the plot was 16 pixels. For clarity, additional coefficients were introduced in the display of certain visually experimental samples and the building quarter to obtain a single order of magnitude. Data processing was performed using MathCad. It was proposed to conduct spectral indices for environmental monitoring, which take into account several components of color needed to assess the condition of plants. The results of the research showed that the spectral indices proposed for infrared imaging provide identification of green mass, both in the shade from buildings and in direct sunlight.*

**Keywords:** ecological monitoring of the city, spectral indices, satellite images, optical and infrared ranges.