ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ СТАНУ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Д. І. БІДОЛАХ, кандидат сільськогосподарських наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0003-0248-3731>, e-mail: dimbid@ukr.net
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

Моніторинг зелених насаджень є важливим заходом, який передбачає регулярне спостереження за урболандшафтами з метою своєчасного виявлення негативних змін і прийняття обґрунтованих рішень щодо недопущення погіршення їхнього стану. В сучасних умовах цей процес доцільно покращувати шляхом використання методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), матеріали яких опрацьовують у геоінформаційних системах, що дає змогу налагодити автоматизовану систему моніторингу зелених насаджень.

Метою дослідження є обґрунтування доцільності проведення геоінформаційного моніторингу стану урболандшафтів із використанням методів ДЗЗ, у т. ч. безпілотних літальних апаратів. Для досягнення цієї мети запропоновано структурні схеми організації системи моніторингу стану зелених насаджень разом із наведенням можливостей використання ортофотопланів, які одержано за результатами дистанційної зйомки території для потреб регулярного дослідження урболандшафтів.

Повторний дистанційний моніторинг стану зелених насаджень дає змогу своєчасно виявляти зміни, які відбулись із деревною та кущовою рослинністю за певний проміжок часу в автоматизованому режимі. Матеріали ДЗЗ у цьому випадку можуть застосовувати як документальну базу для обґрунтування проведення заходів щодо впорядкування зелених насаджень. Зважаючи на досить значну вартість матеріалів високого просторового розрізнення, рекомендуємо залучення до процесу моніторингу урболандшафтів запропонованого нами підходу з виконанням регулярних зйомок із безпілотного літального апарата для об'єктів благоустрою.

На підставі проведених досліджень запропоновано мультифункціональну структуру системи моніторингу зелених насаджень та рекомендовано проведення цифрової трансформації процесу моніторингу стану урболандшафтів. Наведені дослідження свідчать про доцільність упровадження регулярного автома-

тизованого моніторингу стану зелених насаджень із залученням можливостей методів ДЗЗ, у т. ч. з використанням безпілотних літальних апаратів.

Ключові слова: геоінформаційні системи, дистанційне зондування Землі, безпілотний літальний апарат, виявлення змін урболандшафтів, спостереження за станом рослинності.

Актуальність та аналіз останніх досліджень. Забезпечення вимог сталого розвитку зелених насаджень у населених пунктах України можливе лише за наявності налагодженої системи регулярних спостережень за ними та інструментарію аналізу одержаних даних стосовно виявлених змін та інформативних способів представлення отриманих результатів. Така система спостережень для оцінки, вивчення динаміки і особливостей змін урболандшафтів, а також прогнозування їхнього стану з метою обґрунтування і прийняття рішень у сфері використання, охорони та захисту зелених насаджень для підвищення їхніх екологічних, естетичних та санітарно-гігієнічних функцій і є моніторингом зелених насаджень.

Моніторинг навколишнього природного середовища (зокрема стану урболандшафтів), згідно із Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» (1991) реалізують шляхом регулярного спостереження у часі за довкіллям. Цим самим законом визначено, що в Україні має функціонувати система державного моніторингу довкілля «з метою забезпечення збору, обробки, збереження та аналізу інформації про стан навколишнього природного середовища, прогнозування його змін та розробки науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття

ефективних управлінських рішень». Положення про державну систему моніторингу довкілля, яке затверджено постановою Кабінету Міністрів України № 391 ще в 1998 р., визначає, що система моніторингу є складовою національної інформаційної інфраструктури, яка має бути сумісною з аналогічними системами інших країн. Проте щодо моніторингу зелених насаджень наразі такий комплекс пов'язаних структур, які забезпечують основу функціонування системи спостережень за станом урболандшафтів, ще не напрацьовано, потрібна систематизація наявних методів для досягнення цієї мети.

Згідно зі звітом про роботу організації «ICP Forests» (2011), сьогодні у світі моніторинг стану насаджень регулярно проводять понад 40 розвинутих держав. Відповідно до резолюції «Sustainable Management of Forests» (1993) стосовно глобального моніторингу стану і стійкого керування всіма типами лісів (зокрема зеленими насадженнями) у рамках міжнародних зобов'язань розроблено такі критерії стійкого керування ними: підтримка і належне примноження лісових ресурсів та їх внеску у глобальний кругообіг вуглецю; підтримка стану та життєздатності екосистем, до складу яких входять деревні й кущові рослини; збереження функцій лісів і зелених насаджень; примноження біорізноманіття у відповідних екосистемах; під-

тримка та належне покращення захисних функцій насаджень.

Тому з метою стійкого керування насадженнями потрібно регулярно отримувати достовірну та актуальну інформацію щодо перелічених критеріїв (Buksha et al., 2014), яка відповідає міжнародній практиці. А це станом на сьогодні неможливо без даних аерокосмічного геоінформаційного моніторингу зелених насаджень та автоматичного оброблення даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) за допомогою сучасних геоінформаційних систем (ГІС). Усе більше науковців (Wood et al., 1999; Konstantinovskaya, 2010; Danilin et al., 2010; Dudek, 2012; Zhang, & Qiu, 2012; Buksha et al., 2014; Slobodyanyk, 2014; Obezinskaya et al., 2016) останнім часом звертають увагу на необхідність вдосконалення наявної методики інвентаризації зелених насаджень для потреб їх геоінформаційного моніторингу шляхом використання сучасних методів отримання, передання, оброблення та зберігання інформації. Водночас науковці (Slobodyanyk, 2014) рекомендують використовувати комплексний підхід до моніторингу урболандшафтів шляхом залучення як сучасних методів збирання, оброблення та аналізу інформації, так і традиційних наземних методів обстежень.

Найефективнішим рішенням для збирання різних даних про об'єкти дослідження, які потрібно раціонально організувати та представити у процесі моніторингу, є створення ГІС із базою даних за результатами інвентаризації зелених насаджень, яка дає змогу проводити аналіз змін ландшафту досліджуваної території та систематизацію отриманої інформації (Dudek, 2012, с. 10; Kuzmenko,

2017). Як свідчать результати окремих досліджень (Knizhnikov, 1997, с. 81), супутникові знімки, особливо високого просторового розрізнення, можуть слугувати важливим та достовірним джерелом інформації про стан зелених насаджень. Вони дають змогу отримувати оперативну інформацію про значні площі територій, у досить короткі терміни її опрацьовувати за допомогою ГІС та здійснювати актуалізацію лісівничо-таксаційних і картографічних матеріалів для оновлення реєстру зелених насаджень. Проте до недоліків такого підходу можна віднести досить високу вартість матеріалів ДЗЗ, особливо коли мова йде про невеликі території, залежність супутникової зйомки від хмарності та балістичних параметрів робочої орбіти супутників (Konstantinovskaya, 2010). Крім того, для дослідження параметрів зелених насаджень краще використовувати знімки з високим просторовим розрізненням, вартість яких у рази більша порівняно зі звичайними матеріалами супутникової зйомки.

Одним із способів подолання наведених недоліків є використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для здійснення регулярної дистанційної зйомки зелених насаджень. У практиці лісового господарства вже існують спроби щодо використання БПЛА для визначення вегетаційного індексу, підрахунку кількості порід, встановлення меж таксаційних виділів, а також інших польових досліджень та моніторингу (Galetskaya et al., 2015; Degerickx et al., 2017). Дослідження авторів (Krause et al., 2019) свідчать, що фотограмметричний підхід до вимірювання висоти дерев за допомогою

безпілотних літальних апаратів є досить практичним способом для інтенсивного моніторингу стану зелених насаджень та потребує уваги для подальшого вивчення і дослідження.

Тому питання дослідження можливостей дистанційної зйомки з використанням БПЛА для отримання інформації про стан зелених насаджень вирізняється актуальністю, має важливе практичне значення та потребує подальшого вивчення. Водночас для підтримки моніторингу урболандшафтів потрібна також система аналізу просторової інформації, яка здатна забезпечити введення, узгодження, опрацювання, аналіз та представлення результатів порівняння регулярних спостережень. За згаданих умов для організації такої системи актуальністю характеризується необхідність розроблення її концептуальних основ разом із дослідженням прикладних можливостей для відслідковування змін, аналізу напрямів і тенденцій стосовно стану, площ та показників зелених насаджень на об'єктах благоустрою.

Метою дослідження є обґрунтування доцільності проведення геоінформаційного моніторингу стану урболандшафтів із використанням методів ДЗЗ, в тому числі безпілотних літальних апаратів. Для досягнення цієї мети нами запропоновано структурні схеми організації системи моніторингу стану зелених насаджень разом із наведенням можливостей використання ортофотопланів, які одержані за результатами дистанційної зйомки території для потреб регулярного дослідження урболандшафтів.

Матеріали і методи дослідження. Об'єктом дослідження обрано

систему геоінформаційного моніторингу стану зелених насаджень. Предметом дослідження стали можливості вдосконалення процесу дослідження урболандшафтів із використанням дистанційних методів зондування Землі.

Дослідження проводили на території м. Бережани Тернопільської області та ботанічного саду Національного університету біоресурсів і природокористування України у м. Київ шляхом аналізу різночасових космічних знімків і матеріалів БПЛА-зйомки в геоінформаційній системі QGIS. Для моніторингу змін вуличних насаджень (вул. Лепких у м. Бережани Тернопільської області) використано матеріали ДЗЗ середнього просторового розрізнення, які перебувають у вільному доступі на платформі Google Earth для відповідної території (Image data: ©2020 CNES/Airbus, image recoding 10/1/2017; 7/5/14 ©2020 Maxar Technologies, image recoding 2/12/2016; ©2020 European Space Imaging, image recoding 7/19/2006). На ці космічні знімки наносили результати інвентаризації зелених насаджень для виявлення змін їхнього стану. Для моніторингу урболандшафтів проводили також регулярні обльоти території центральної частини м. Бережани та ботанічного саду НУБіП України за допомогою квадрокоптера DJI Phantom 4 із побудовою ортофотопланів та їх аналіз у ГІС для виявлення змін стану зелених насаджень.

Результати дослідження та їх обговорення. Повторні спостереження за станом зелених насаджень на території об'єктів дослідження дали змогу виявити зміни, які відбулись із деревно-кущовою рослинністю за певний проміжок

часу. Наприклад, для території центральної частини м. Бережани Тернопільської області за результатами повторної зйомки з квадрокоптера через 9 місяців (рис. 1) виявлено самовільне вилучення трьох дерев ялини європейської (*Picea abies* (L.) Karsten), що були обліковані у відомості інвентаризації зелених насаджень за 2018 рік під номерами 391, 392 і 395, діаметр яких становив відповідно 39, 22 і 25 см. Усі зазначені рослини були у доброму стані, їх вилучив у процесі виконання господарських робіт (укладання бруківки) підприємець, який орендує приміщення, яке розташоване у безпосередній близькості до цих дерев, без належного дозволу.

У процесі виконання моніторингу ботанічного саду НУБіП України на матеріалах БПЛА-зйомки від 2017 р. простежується всихання дерев ялини європейської (*Picea abies* (L.) Karsten), які через два роки вже вилучені з насадження (рис. 2, а), а також можна ідентифікувати місце вітровалу (рис. 2, б).

Матеріали ДЗЗ у цьому випадку можна використовувати як доку-

ментальну базу для обґрунтування проведення заходів щодо впорядкування зелених насаджень (зокрема санітарної вирубки сухоостою та ліквідації наслідків вітровалу). Аналогічні моніторингові дослідження можна виконувати і за матеріалами супутникової зйомки високого просторового розрізнення. Проте для проведення загальних регулярних спостережень за станом урболандшафтів прийнятними є також знімки середнього просторового розрізнення. Для підтвердження цього проведено перевірку можливості використання вищезгаданих безкоштовних космічних знімків для процесу моніторингу стану зелених насаджень. У цьому контексті виконано порівняння різночасових матеріалів ДЗЗ для виявлення змін деревної та кущової рослинності вздовж вул. Лепких у м. Бережани Тернопільської області (рис. 3). Під час дослідження використано різночасові матеріали ДЗЗ, що доступні для вільного використання на платформі Google Earth (для знімка № 1 дата виконання зйомки 1 жовтня 2017 р.;

Рис. 1. Результати моніторингу стану зелених насаджень м. Бережани за даними БПЛА-зйомки, що проведена: а) 11 червня 2019 р.; б) 6 червня 2020 р.

а

б

**Рис. 2. Результати БПЛА-зйомки території ботанічного саду
НУБіП України від 14 березня 2019 р.:**

а) виявлення місць викущення всохлих рослин; б) ідентифікація вітровалу

№ 2 – 12 лютого 2016 р.; № 3 – 5 липня 2014 р.; № 4 – 19 липня 2006 р.; № 5 – 1 жовтня 2017 р. з нанесенням результатів інвентаризації зелених насаджень 2017 р.).

Аналіз цих матеріалів дає змогу відстежувати зміни, які відбувались із зеленими насадженнями упродовж 10-річного періоду. Зокрема, можливо помітити появу нових рослин під номерами 31, 33, 35, 61, 63, 65, 67, які з'являються на знімках 2014 р., і зникнення рослин, що зростали поряд із номером 38 за даними інвентаризації 2017 р.

Крім того, за наведеними знімками можливо відстежити зміни площ поперечних проекцій крон, які збільшувались від 2006 до 2014 р. і зазнали різкого зменшення на матеріалах ДЗЗ 2017 р. через проведення у 2016 р. кронування. До того ж знімки у безлистяному стані (матеріали 2016 р.) дають змогу отримувати додаткові відомості про висоту штамбу та особливості гілкування рослин. Проте наявні у вільному доступі космічні знімки не здатні повною мірою забезпечити процес моніторингу зелених насаджень

картографічною інформацією. Зокрема, для цієї території немає безкоштовних знімків для періоду 2006–2014 рр., а також актуальних матеріалів останніх років, що обмежує використання такого підходу для регулярного обстеження урболандшафтів.

Для вирішення цієї проблеми потрібне замовлення регулярних аерофото- або космічних зйомок (не рідше ніж один раз на п'ять років) для територій населених пунктів. Зважаючи на досить високу вартість таких матеріалів високого просторового розрізнення, пропонуємо використання запропонованого нами підходу з виконанням регулярних БПЛА-зйомок територій населених пунктів. Такий підхід дасть змогу здешевити процес отримання матеріалів ДЗЗ, виконувати зйомки відповідно до запланованого часу і маршруту, а також отримувати картографічну інформацію у високій якості, точності та деталізації. На підставі проведених досліджень також запропоновано мультифункціональну структуру системи моніторингу зелених насаджень (рис. 4)

Рис. 3. Моніторинг вуличних насаджень за різночасовими супутниковими знімками

із означенням її територіальних і часових рівнів, способів і методів проведення, а також відповідальності за виконання та сфери застосування результатів.

Водночас сучасна система моніторингу зелених насаджень не може базуватись на наявних підходах із використанням великої частки ручної праці у процесі зіставлення та аналізу різночасових даних регулярних спостережень. Зважаючи на досить великі масиви вхідної інформації стосовно стану зелених насаджень, цей процес має підлягати обов'язковій автоматизації із максимальним опрацюванням виявлення змін показників, параметрів та якостей програмними засобами, підготовкою аналітичних даних комп'ютерними методами та формулюванням висновків ква-

ліфікованими фахівцями. Тому ми запропонували провести цифрову трансформацію системи моніторингу стану зелених насаджень шляхом її переведення в електронний формат та розробили структурну схему принципу її роботи (рис. 5).

Такий підхід дає змогу забезпечити виконання сучасних вимог щодо цифрової трансформації процесів дослідження природних ландшафтів, прискорити та покращити якість виконання моніторингу стану зелених насаджень. За такої умови забезпечуються також вимоги системного підходу до організації процесу впорядкування зелених насаджень, шляхом врахування результатів різночасових досліджень урболандшафтів, із метою покращення якості організаційних та господарських заходів, створення мож-

Рис. 4. Структура системи моніторингу зелених насаджень

Рис. 5. Структурна схема принципу роботи електронної системи моніторингу зелених насаджень (ЗН)

ливостей для прийняття своєчасних та обґрунтованих управлінських рішень та відстеження порушень стану рослинності.

Висновки і перспективи. Наведені дослідження свідчать про доцільність упровадження регулярного моніторингу урболандшафтів у комплексному поєднанні із системою їх інвентаризації та впорядкування. Водночас для удосконалення, прискорення та покращення якості цього процесу спостережень потрібне використання матеріалів ДЗЗ, зокрема отриманих за допомогою безпілотного літального апарата, які надалі опрацьовують в автоматизованій електронній системі геоінформаційного моніторингу урболандшафтів.

Запропонований підхід має забезпечити якісні зміни у процесі впорядкування зелених насаджень, а саме покращення якості організаційних та господарських заходів, завдяки регулярному моніторингу їхнього стану із дослідженням причин змін урболандшафтів, обґрунтуванням управлінських рішень та відстеженням порушень стану рослинності. Функціонування подібної системи моніторингу зелених насаджень на загальнодержавному рівні має забезпечити національну інформаційну систему даними щодо стану урболандшафтів, яка будуть сумісними з аналогічними структурами інших країн.

Список літератури

Bidolakh, D. I., Pavliv, O. V., & Zakharij, B. Y. (2010). Geoinformation monitoring of the environment as a component of sustainable development of society. *Scientific Bulletin of NULES of Ukraine*, 146, 41–45 [in Ukrainian].

Buksha, I. F., Pyvovar, T. S., Pasternak, V. P., Buksha, M. I., Solodovnyk, V. A., & Yarotskyj, V. Y. (2014). Determination of criteria and indicators of sustainable forest management on the basis of forest inventory and monitoring data. *Scientific Bulletin of NULES of Ukraine*, 198 (1), 14–23 [in Ukrainian].

Danilin, I. M., Danilin, A. I., & Svischew, D. A. (2010). Laser ranging and digital aerial photography are a subsatellite component in the information support system for inventory, monitoring and cadastre of forest lands. *Siberian Journal of Science and Technology*, 3, 55–59 [in Russian].

Degerickx, J., Hermy, M., & Somers, B. (2017). Mapping functional urban green types using hyperspectral remote sensing. *2017 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/JURSE.2017.7924553>

Dudek, T. (2012). A detailed inventory of greenery as a tool in studying landscape changes – Methodological basics. In *Practical applications of environmental research*. Rzeszow, Poland: Uniwersytet Rzeszowski.

Fischer, R., & Lorenz, M. (2011). *Forest condition in Europe*. Hamburg: ICP Forests.

Galetska, G. A., Vjunov, M. V., Zhelezova, S. V., & Zavalishin, S. I. (2015). Sensefly ebee's ultralight UAV processing and analysis capabilities in forestry. *Interexpo Geo-Siberia*, 4, 11–18 [in Russian].

Hernandez, J. G., Gonzalez-Ferreiro, E., Sarmiento, A., Silva, J., Nunes, A., Correia, A. C., Fontes, L., Tomé, M., & Diaz-Varela, R. (2016). Using high resolution UAV imagery to estimate tree variables in Pinus pinea plantation in Portugal. *Forest Systems*, 25 (2), 09. <https://doi.org/10.5424/fs/2016252-08895>

Herrero-Huerta, M., Lindenbergh, R., & Rodríguez-González, P. (2018). Automatic tree parameter extraction by a Mobile

- LiDAR System in an urban context. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196004>
- Knizhnikov, Y. F. (1997). *Aerospace sounding*. Moscow: MGU [in Russian].
- Konstantinovskaya, L. V. (2010). *Remote control methods*. Available at <http://www.astronom2000.info/%d0%b0%d1%8d%d1%80%d0%be-%d0%b8-%d0%ba%d0%be%d1%81%d0%bc%d0%be%d1%81%d1%8a%d0%b5%d0%bc%d0%ba%d0%b0/dmk/> [in Russian].
- Krause, S., Sanders, T. G. M., Mund, J.-P., & Greve, K. (2019). UAV-Based Photogrammetric Tree Height Measurement for Intensive Forest Monitoring. *Remote Sensing*, 11 (7), 758. <https://doi.org/10.3390/rs11070758>
- Kuzmenko, M. N. (2017). Development of a geographic information system for public green spaces. *Basic research*, 11, 35–40. Available at <http://novaum.ru/public/p1006> [in Russian].
- Obezinskaya, Y. V., Kebekbayev, A. E., Librik, A. A., & Krizhanovskaya, E. I. (2016). Monitoring of the state of green spaces in Astana city. *Actual problems of the forestry complex*, 46, 133–136 [in Russian].
- Raumonen, P., Kaasalainen, M., Åkerblom, M., Kaasalainen, S., Kaartinen, H., Vastaranta, M., Holopainen, M., Disney, M., & Lewis, P. (2013). Fast Automatic Precision Tree Models from Terrestrial Laser Scanner Data. *Remote Sensing*, 5 (2), 491–520. <https://doi.org/10.3390/rs5020491>
- Slobodyanyk, M. P. (2014). Use of remote sensing methods and GIS technologies for monitoring forest resources. *Bulletin of Geodesy and Cartography*, 1, 27–31 [in Ukrainian].
- Tiede, D., Hochleitner, G., & Blaschke, T. (2005). *A full GIS-based workflow for tree identification and tree crown delineation using laser scanning*, *Proceedings of CMRT 05. XXXVI (Part 3/W24)*, 29–30.
- Wood, J., Wm, D., Oderwald, R., & Wynne, R. (1999). *Tree Inventories and GIS in Urban Forestry*. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. Available at https://www.researchgate.net/publication/237369026_Tree_Inventories_and_GIS_in_Urban_Forestry.
- Zhang, C., & Qiu, F. (2012). Mapping Individual Tree Species in an Urban Forest Using Airborne Lidar Data and Hyperspectral Imagery. *Semantic Scholar*. <https://doi.org/10.14358/pers.78.10.1079>.

Bidolakh, D. I. (2020). Geoinformation monitoring of green stands using remote sensing methods. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 11 (2), 4–14. <https://doi.org/10.31548/forest2020.02.004>.

A green plantations monitoring is an important work, which includes regular monitoring of urban landscapes in order to identify negative timely changes and to prepare the informed decisions to prevent their degradation. In modern conditions, it is advisable to improve this process by using remote sensing methods, the materials of which are processed in geographic information systems, which allows to establish an automated monitoring system of green areas.

The purpose of the study is to substantiate the feasibility of geo-information monitoring of urban landscapes using remote sensing methods, including unmanned aerial vehicles. To achieve this goal, structural schemes of the monitoring system organization to get the information about green plantation conditions are proposed, together with the possibilities of using orthophotoplans, which are obtained by remote sensing methods for the needs of regular study of urban landscapes.

Repeated remote monitoring of the green plantations condition allows to detect the timely changes that have occurred with tree and shrub vegetation over a period in an automated mode. The use of remote sensing materials in this case can be used as a documentary basis to justify the implementation of measures for landscaping. Due to the expensive cost of high-resolution materials, we recommend to use in the process of urban landscape monitoring proposed approach with regular surveys of unmanned aerial vehicles for greenery facilities.

On the basis of the conducted researches the multifunctional structure of the green plantings monitoring system is offered and carrying out of digital transformation of monitoring process of urban landscapes condition is recommended. These studies indicate the feasibility of introducing regular automated monitoring of green areas with the involvement of remote sensing methods, including using unmanned aerial vehicles.

Keywords: *GIS, remote sensing, unmanned aerial vehicle, detection of changes in urban landscapes, observation of vegetation condition.*

Отримано: 2020-04-02