
Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

УДК 528.87

© М.О. Попов, д-р техн. наук, проф. ;
І.Д. Семко, аспірант

Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук НАН України, м. Київ

ОЦІНЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Запропоновано методику оцінювання характеристик зелених насаджень в умовах міських агломерацій і урбанізованих територій на основі даних ДЗЗ, а саме, лідарних даних та матеріалів багатоспектрального космічного знімання високої просторової розрізненості. Описано схему оброблення даних при дистанційному оцінюванні кількісно-якісних характеристик зелених насаджень, наводяться результати її застосування на полігоні міста Черкаси.

Ключові слова: ДЗЗ, зелені насадження, міські агломерації, космічні знімки

Вступ

Вплив на здоров'я людини несприятливих чинників міського життя суттєво знижується за рахунок зелених насаджень - деревно-чагарникової і трав'яної рослинності в парках, скверах, на вулицях, бульварах, алеях, тощо. Зелені насадження (ЗН) відіграють велику роль у боротьбі із запиленістю і загазованістю повітря, впливають на температуру і вологість середовища, роблять свій внесок у формування мікроклімату району, забезпечують захист від промислових і автотранспортних викидів, шуму, снігових заметів. Крім того, ЗН займають значне місце в архітектурі міста, допомагають організувати простір, додають містам індивідуальний і неповторний характер.

Численні наукові дослідження показують, що рівень впливу ЗН на міське середовище і його екологічний стан залежить від таких чинників, як порода, кількість дерев та їхній вік, висота, порядок розміщення і повнота насаджень тощо. Так, на листяних деревах добре осідають тверді частинки атмосферних аерозолів, пил найкраще затримують листя в'язів і бузку. Фітонциди, що активно виділяються, насамперед, деревами хвойних порід, вбивають деякі хвороботворні бактерії, зокрема бактерії дифтериту. Тому зрозуміло, що питання збе-

реження ЗН і озеленення міських територій є ключовими у справі забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов і якості життя населення в цілому.

Державні будівельні норми України "Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень" (ДБН 360-92) встановлюють, що на одну людину має бути від 10 до 15 кв. метрів площі ЗН загальноміського користування та 6-8 кв. метрів у житлових районах. У нашій країні оцінювання та здійснення контролю за станом озеленення та охороною ЗН, відповідністю нормам ДБН 360-92 регулюється низкою законів, зокрема Законом України "Про благоустрій населених пунктів". За наказом Державного комітету України по житлово-комунальному господарству "Про затвердження Правил утримання зелених насаджень міст та інших населених пунктів України" № 70 від 29 липня 1994 р., комунальними службами або уповноваженими організаціями періодично проводиться інвентаризація ЗН, мета якої – актуалізація даних щодо кількісних і якісних характеристик ЗН на території поселення.

За "Інструкцією з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України" від 16.01.2007 р. [<http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0182-02>], силами спеціалістів місцевого бюро технічної інвентаризації або уповноваженими підприємствами раз на п'ять років:

- визначається загальна площа, зайнята об'єктами зеленого господарства, у тому числі окремо деревами, чагарниками, квітниками, газонами, стежками тощо;
- підраховується кількість дерев і чагарників за видами насаджень, їх породами, віком, діаметром;
- оцінюються стовбури дерев та стан їхнього утримання.

При інвентаризації також оцінюється (в номінальних категоріях "добрий", "задовільний" або "незадовільний") стан насаджень за ознаками: стан дерев, санітарно-захисних зон, газонів, кущів, квітників. Проводиться оцінювання якості стану лісопаркових насаджень, відповідності кількості ЗН чинним будівельним та санітарним нормам.

За підсумками інвентаризації складається паспорт кожного об'єкта зеленого господарства, зміст якого включає актуальну на той час інформацію про:

- межі об'єкта із зазначенням сусідніх землекористувачів;
- дорожньо-алейну мережу;
- поодинокі дерева, групи дерев і кущів, живоплоти, рядові посадки дерев, газони, квітники тощо;
- будівлі, споруди, водоймища, опори електричних, телефонних та радіомереж, оглядові колодязі інженерних мереж тощо.

Одержання означеної інформації, складання паспортів об'єктів зеленого господарства потребують великого обсягу робіт з візуального обстеження насаджень на місці, геометричної та інструментальної зйомки, виконання геодезичних робіт, проведення складних розрахунків тощо. Багаторічний вітчизняний та світовий досвід показує, що розв'язання цих задач традиційними методами камеральних робіт у натурі є дуже трудомістким, витратним і не завжди дозволяє отримувати всю інформацію, необхідну для прийняття муніципальною владою адекватних управлінських рішень.

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

Тому в останнє десятиліття для вирішення різноманітних завдань, пов'язаних з визначенням кількісних та якісних характеристик об'єктів лісопаркових зон, природно-заповідного фонду, зелених масивів і окремих поодиноких дерев, все частіше застосовуються методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), засновані на залученні матеріалів аеро-космічного знімання і цифрових технологій оброблення даних.

Контекст і постановка задачі

Найбільш вагомими і цікавими результатами в дистанційному оцінюванні видів і характеристик рослинності досягнуто на сьогодні за допомогою матеріалів багатоспектрального та гіперспектрального знімання в оптичному діапазоні [1]. Просторова і радіометрична якість матеріалів багатоспектрального космічного знімання, що одержуються сучасними бортовими видовими технічними засобами (Landsat, RapidEye, GeoEye, WorldView та ін.), дозволяє досить точно розділяти ділянки з листяними і хвойними деревами, розраховувати площі цих ділянок, оцінювати стан зелених насаджень і лісів тощо. За допомогою матеріалів гіперспектрального знімання (EO-1 Hyperion, AVIRIS, HYDICE та ін.) сьогодні можна із задовільною точністю оцінювати біофізичні параметри рослинності, зокрема, концентрацію хлорофілу [2].

Однак пасивний принцип формування зображення, який закладений в конструкцію більшості відомих сучасних технічних засобів багато - та гіперспектрального знімання, суттєво обмежує можливості отримання оцінок розподілу характеристик і параметрів об'єктів вдовж третьої просторової координати – висоти, що, наприклад, необхідно в задачах оцінювання біо- і фітомаси, структури і деревного запасу насаджень тощо. Одержання означених оцінок можливе із застосуванням активних лазерно-локаційних (лідарних) систем, в яких зображення розташованих на місцевості об'єктів формуються енергією імпульсів лазерного випромінювання, відбитого від цих об'єктів [3]. Оскільки звичайно є технічна можливість окремо реєструвати лазерні імпульси, відбиті від елементів (деталей) об'єкта, розташованих на різних відстанях (висотах, ярусах), то через селекцію імпульсів випромінювання, що відбиті одноярусними деталями об'єктів, можна формувати відповідне зображення. Завдяки тому одержується не одне, а низка зображень об'єкта, яка у сукупності дає можливість синтезувати 3D-зображення місцевості та розташованих на ній об'єктів, оцінювати розподіл характеристик і параметрів об'єктів вдовж третьої координати – висоти, тощо.

Однією з перших фундаментально-прикладних робіт, де були систематизовані результати застосування авіаційних систем лазерної локації місцевості, лісових масивів та інших фітоценозів, є монографія [4]. Тут розглянуто технології 3D-аналізу земної поверхні, визначення структури і фітомаси лісу за даними лазерної локації і супутникових систем глобального позиціонування, на багатому фактичному матеріалі висвітлюються особливості і переваги лазерно-локаційного знімання при інвентаризації лісів, землевпорядкуванні і т. д.

У роботах [5-8] показано, що принципово нові можливості щодо підвищення повноти і точності оцінок відкривають підходи, які базуються на комплексуванні лідарних даних з матеріалами багатоспектрального знімання. У [5] на основі спільного застосування знімків

QuickBird і лідарних даних вирішується задача класифікації ділянок лісу в залежності від складу порід дерев. Процедура класифікації здійснюється у два етапи: спочатку незалежно проводиться сегментування зображення QuickBird за спектральними ознаками і сегментування за лідарними даними, а після цього результати об'єднуються для отримання класифікаційних оцінок. У [6] побудовані регресійні моделі, які на основі авіаційних лідарних даних і супутникових багатоспектральних знімків LandSat ETM+ дозволяють здійснювати картографування лісів.

Ряд досліджень з ДЗЗ, зокрема роботи [7, 8], показують, що точність оцінок стану лісів, визначення порід дерев, запасів деревостою може бути підвищена, якщо лідарні дані комплексуються з даними гіперспектрального знімання та іншими даними на територію інтересу. У [7] подібним чином вирішувалась задача класифікації лісових ділянок, лідарні дані забезпечувалися лазерно-локаційним сканером Optech ALTM 3100, гіперспектральне зображення формувалося бортовим сенсором AISA Eagle (126 спектральних каналів у діапазоні довжин хвиль від 0,40 до 0,99 мкм, просторове розрізнення на місцевості 1,0 м). Результати, наведені у [8], показують високу точність і перспективність методів картографування структури лісів із залученням лідарних даних, багатоспектральних знімків різного просторового розрізнення і радіолокаційних зображень.

Слід звернути увагу, що ефективність зазначених вище комплексних методів ДЗЗ суттєво залежить від гомогенності (просторової однорідності) ділянок рослинності і земної поверхні. Найбільш складними у цьому відношенні є міські агломерації та інші урбанізовані території, де паркові зони, “островки” рослинності перемежуються з будівлями, дорогами тощо [9]. Крім того, для успішної класифікації об'єктів на аерокосмічних зображеннях і валідації (перевіряння ефективності) методу або технології необхідні контрольні-завіркові дані, які отримуються методом польових вимірювань і спостережень [1, 10]. Через ці обставини практично кожна тематична задача ДЗЗ, чи то дистанційне оцінювання стану лісів, визначення характеристик ЗН в умовах міста або інша, потребує адаптування до регіональних (місцевих) умов, властивостей об'єктів інтересу, врахування специфіки вхідних даних і т. д.

Мета даної статті – розробка і обґрунтування методики дистанційного оцінювання кількісно-якісних характеристик ЗН в умовах міських агломерацій і урбанізованих територій на основі комплексного застосування лідарних даних і матеріалів багатоспектрального космічного знімання високої просторової розрізненості.

За допомогою розробленої методики можуть оперативно, в автоматизованому режимі оцінюватися основні характеристики ЗН (площа та стан ділянки, висота і тип дерева та ін.), передбачені згаданою вище “Інструкцією з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України” і необхідні при прийнятті рішень відповідними владними структурами і особами.

Територія дослідження і вхідні дані

У якості полігону досліджень було використано частину території м. Черкаси, Україна, площею порядку 25 км² (координати центру ділянки: 49.422798, 32.017433). Одна з особливостей території – це густий рослинний покрив на території паркових зон та рідкий рослинний покрив у містах забудови. Друга особливість – різноманітність розмірів об'єктів на території досліджень, від малих архітектурних форм до багатоповерхових житлових комплексів.

Враховуючи ці особливості, для надійної класифікації об'єктів необхідні матеріали високої просторової розрізненості. Тому на означену територію було отримано багатоспектральний космічний знімок, зроблений з борта космічного апарата GeoEye-1 28 травня 2011 р., і дані лідарного знімання з борта літака на близький період часу.

Багатоспектральний космічний знімок GeoEye-1 має у своєму складі панхроматичне зображення (спектральний інтервал 0,45–0,90 мкм) з просторовою розрізненістю близько 0,5 м і чотири зональних зображення (в інтервалах 0,45–0,52 (синій), 0,52–0,60 (зелений), 0,625–0,695 (червоний) та 0,76–0,90 мкм (ближній інфрачервоний)). Просторова розрізненість усіх зональних зображень однакова і складає 1,65 м. Цифровий сигнал зображення має динамічний діапазон 12 бітів. Багатоспектральний космічний знімок, який використовувався в дослідженні, пройшов процедуру атмосферного коригування.

Лідарні дані були одержані за допомогою авіаційного лазерно-локаційного сканера Optech ALTM з такими характеристиками [www.optech.com]:

робоча довжина хвилі 1,064 мкм;

розрізненість за висотою від 5 до 35 см (в залежності від висоти знімання);

розрізненість на місцевості близько 40 точок на 1 м²;

можливість роздільної фіксації 4-ох імпульсів за дальністю;

динамічний діапазон сигналу 12 бітів.

Крім того, в процесі дослідження також залучалися дані, отримані шляхом візуальних спостережень об'єктів території дослідження.

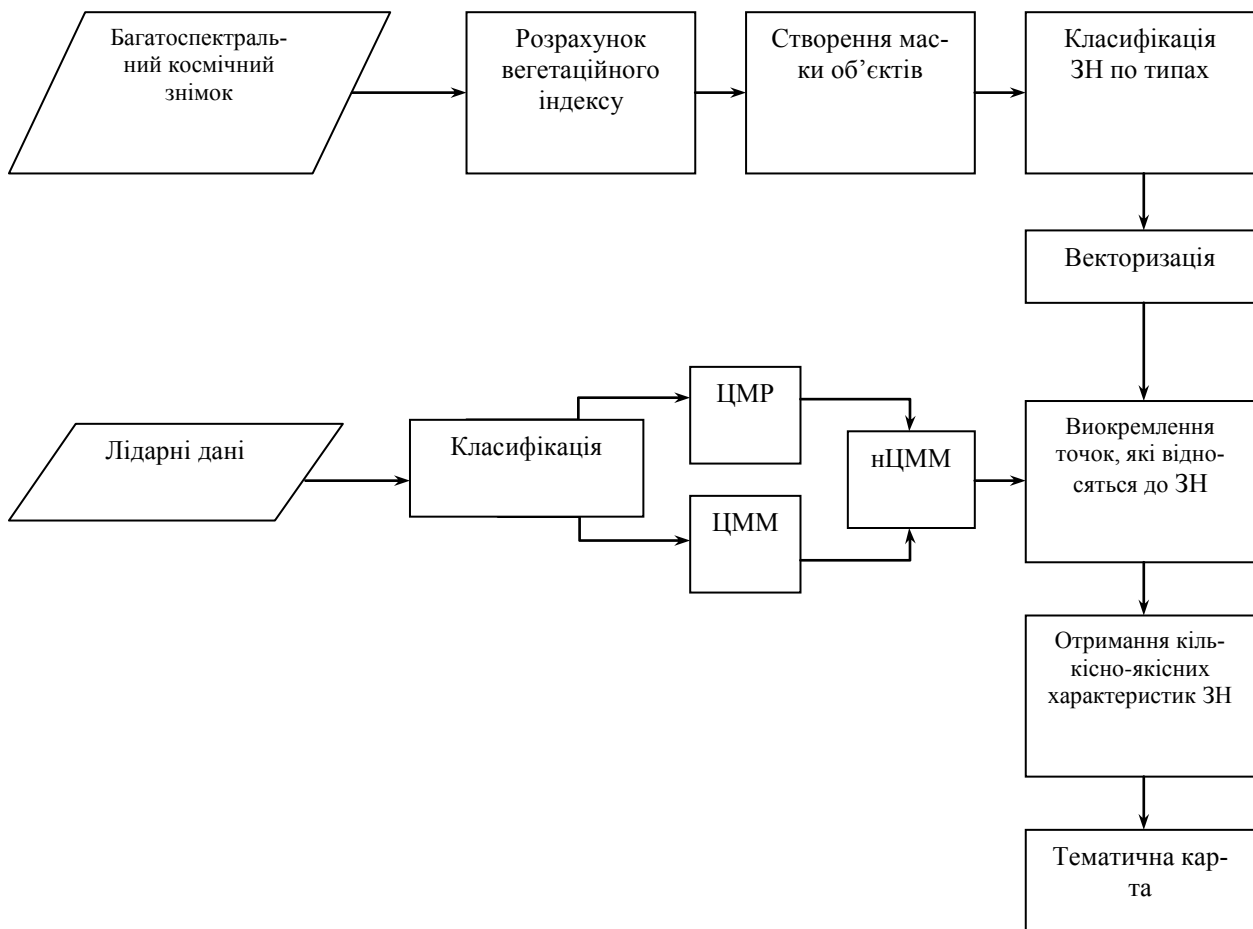
Методика оброблення даних: схема і експериментальні результати

Методика дистанційного оцінювання кількісно-якісних характеристик ЗН в умовах міських агломерацій і урбанізованих територій на основі комплексного застосування лідарних даних і матеріалів багатоспектрального космічного знімання високої просторової розрізненості реалізується за схемою, представленою на рис. 1.

Згідно зі схемою, спочатку оброблення багатоспектрального знімку та лідарних даних здійснюється паралельно. Оброблення багатоспектрального знімку (знімків) має на меті виділити на зображенні (місцевості) ділянки, які відносяться до ЗН. Для цього в роботі був використаний нормалізований вегетаційний індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index):

$$NDVI = \frac{E_{NIR} - E_R}{E_{NIR} + E_R},$$

де E_{NIR} , E_R – інтенсивність оптичного сигналу у ближньому інфрачервоному та червоному спектральному діапазонах відповідно.



*Рис. 1 - Схема дистанційного оцінювання кількісно-якісних характеристик зелених насаджень в умовах міських агломерацій і урбанізованих територій:
ЦМР – цифрова модель рельєфу; ЦММ - цифрова модель місцевості*

Розрахунок NDVI базується на двох найбільш стабільних (не залежних від інших факторів) ділянках спектральної кривої відбиття рослин. У червоній області спектра (0,66–0,69 мкм) лежить максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом вищих рослин, а в інфрачервоній області (0,78–0,92 мкм) перебуває область максимального відбиття клітинних структур листя. Тобто висока фотосинтетична активність (пов'язана, як правило, з густою рослинністю) веде до меншого відображення в червоній області спектра і більшого - в інфрачервоній. Для рослинності індекс $NDVI > 0$, і чим більше зелена фітомаса, тим значення NDVI вище [11]. Розрахунок NDVI в межах дослідженої території наведено на рис. 2, на шкалі індексу відповідностей показано ділянки території, які належать до ЗН та інших об'єктів.

Крім того, необхідно врахувати той факт, що точності NDVI вистачає здебільшого в умовах з густою щільністю ЗН (парки, сквери), але в умовах забудови для підвищення точності потрібно вводити корекцію за сигнал від ґрунту в загальний алгоритм класифікації.

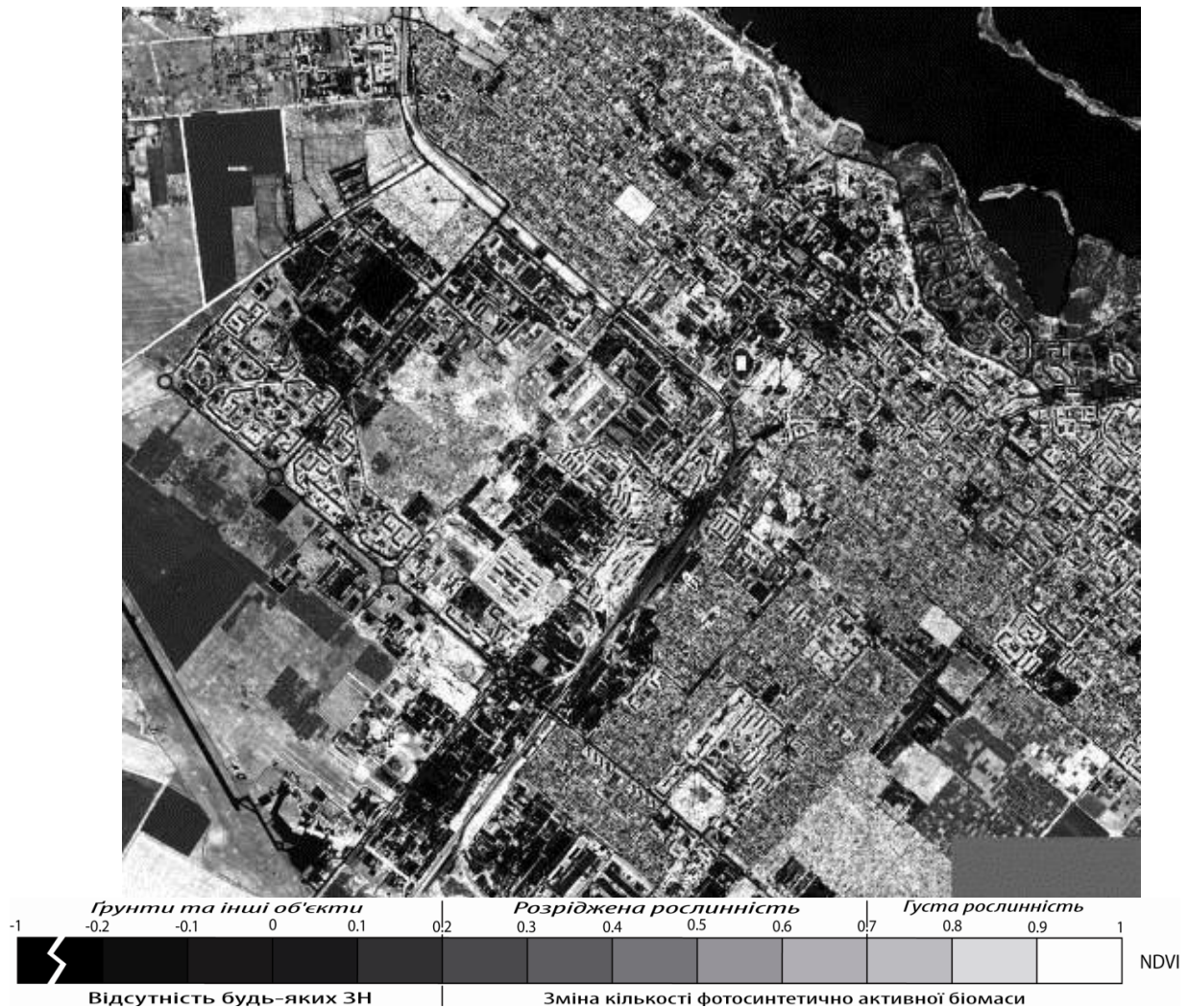


Рис. 2 - Розрахунок індексу та дискретна шкала NDVI

При значній кількості ділянок з рідким рослинним покривом (саме такий випадок має місце на досліджуваному полігоні) потрібна корекція значень NDVI за сигнал від ґрунту, який домішується до сигналу рослинності, тому в цьому разі доцільніше використовувати вегетаційний індекс SAVI [12]:

$$SAVI = \frac{(E_{NIR} - E_R)}{E_{NIR} + E_R + L} (1 + L),$$

де значення L встановлюється в залежності від щільності ЗН: для територій з дуже великою щільністю рослинності $L=0$, а в районах, де немає зеленої рослинності, маємо $L=1$. Тобто для міських агломерацій найбільш дієвий показник величини $L=0,5$. При $L = 0$ маємо $SAVI = NDVI$. За даними SAVI створюється маска-фільтр для об'єктів, які не відносяться до ЗН; результат маскування представлено на рис. 3.

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

Оскільки розрізненість на місцевості лідарних даних, одержаних з борта літака, значно вища, ніж мають космічні знімки, то оброблення лідарних даних дозволяє отримати більш детальну інформацію про об'єкти, у тому числі ЗН. У роботі оброблення лідарних даних здійснювалося за допомогою програмних засобів ArcGis, LasTools та Terra.

Процес оброблення лідарних даних починається з класифікації хмари точок на два основні типи: точки, які відносяться до земного покриття та некласифіковані точки інших об'єктів. Маючи хмару точок, що відносяться до земного покриття, створюємо цифрову модель рельєфу (ЦМР) та цифрову модель місцевості (ЦММ). Різниця між ЦММ та ЦМР і приведення їх в одну площину дають можливість отримати нормалізовану цифрову модель місцевості (нЦММ), що дозволяє далі визначити дійсну висоту об'єкту, як це схематично проілюстровано на рис. 5.

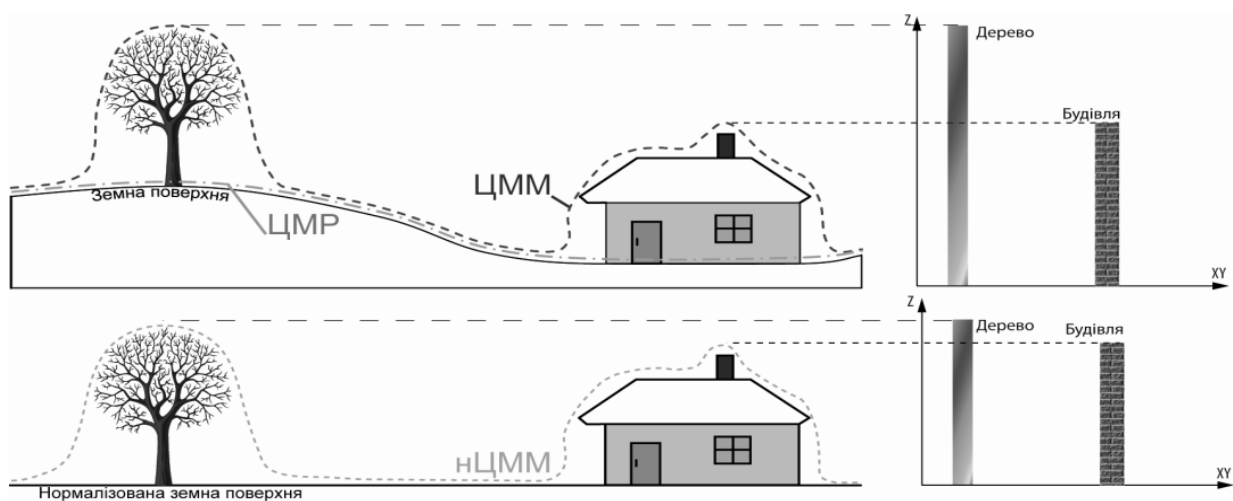


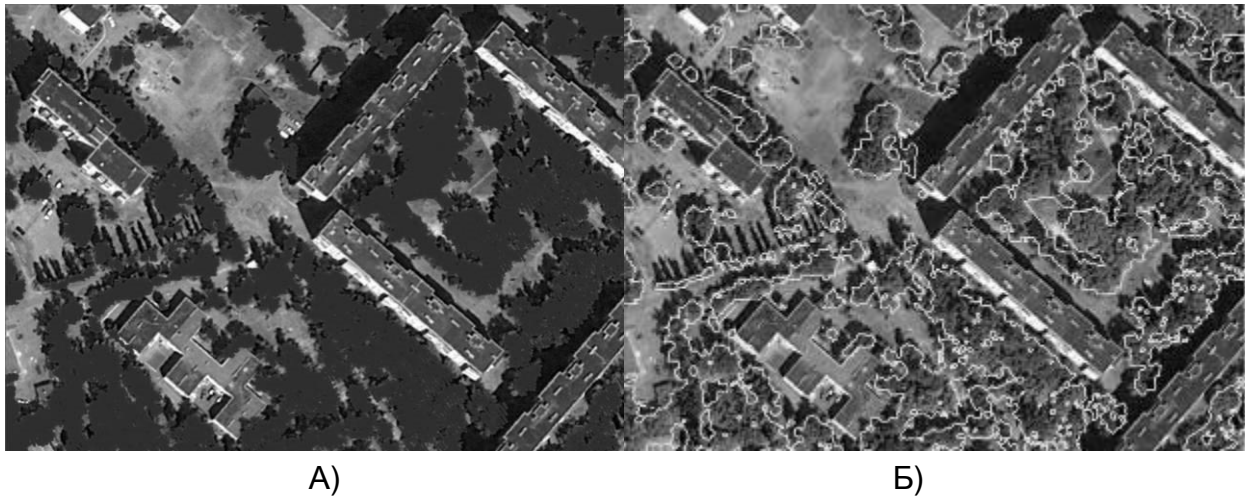
Рис. 5 - Схема визначення дійсної висоти об'єкта

Далі вектор, який був отриманий в результаті оброблення багатоспектрального знімку, накладається на лідарну хмару точок, щоб відокремити точки, які відносяться тільки до об'єктів - ЗН. Маючи висоту кожної точки, проводиться їх градація за висотою (до 2 м - кущі, до 5 м – саджанці та молоді дерева і вище 5 м - дорослі дерева). Після цього відкласифіковані точки перетворюються в полігональний об'єкт з атрибутивною інформацією про кожен полігон ЗН (рис. 6), а саме: площу, висоту, тип дерева, стан та інші кількісно-якісні характеристики.

Заключним етапом є створення тематичної карти ЗН. Карта дає можливість наочно відображати дані розрахунків та спостережень, допомагає здійснювати ефективний візуальний контроль за станом озеленення та охороною ЗН.

Нижче наводяться результати оцінювання характеристик ЗН в межах території полігону дослідження за допомогою запропонованої методики:

- загальна площа ЗН (16,31 км², 65,2%);
- площа і співвідношення листяних – 15,46 км² (94,7%) і хвойних 0,85 км² (5,3%).



*Рис. 6 - Фрагмент досліджуваної території:
А) хмара точок лідара, що відносяться до ЗН;
Б) створені полігони ЗН (SHP) із хмари точок*

Оскільки площі, охоплені багатоспектральним знімком та лідарними даними, співпадали лише частково, то процентний розподіл дерев за висотою визначався тільки для частини полігону. На цій частині кущі (висотою до 2 м) займають $0,01 \text{ км}^2$; дерева висотою 2-5 м – $0,03 \text{ км}^2$, а дерева вище за 5 м – $0,8 \text{ км}^2$.

Необхідно зазначити, що отримані вище оцінки відображають стан території дослідження тільки на період знімання. Якщо ми маємо такі дані на різні періоди часу, то порівняння отриманої і задокументованої інформації з попередніми даними про стан ЗН дає можливість виявляти зміни і фіксувати таким чином, наприклад, випадки ушкоджень ЗН та їх знищення. У такому разі отримана дистанційним методом і задокументована інформація може бути використана для обчислення компенсаційної вартості, після чого має здійснюватися (за рахунок винних) компенсаційне озеленення пошкоджених територій.

Висновок

Таким чином, у роботі запропонована і обґрунтована методика дистанційного оцінювання кількісно-якісних характеристик ЗН в умовах міських агломерацій і урбанізованих територій на основі комплексного застосування лідарних даних і матеріалів багатоспектрального космічного знімання високої просторової розрізненості. За допомогою розробленої методики можуть оперативнo, в автоматизованому режимі оцінюватися основні характеристики ЗН (площа та стан ділянки, висота і тип дерева та ін.), необхідні при прийнятті рішень відповідними владними структурами і особами.

Подальший розвиток методики має бути спрямований на розроблення процедури виявлення змін на території дослідження, для чого потрібні різночасові вхідні дані. Крім того, потрібне поглиблене перевіряння точності оцінок, що формуються на основі запропонованої методики.

Список використаної літератури

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування // За ред. В.І. Лялька і М.О. Попова. – К.: Наук. думка, 2006. – 360 с.
2. Zarco-Tejada P.J. Needle chlorophyll content estimation through model inversion using hyperspectral data from boreal conifer forest canopies / P.J. Zarco-Tejada, J.R. Millera, J. Harrona, B. Hub, T.L. Noland, N. Goele, G.H. Mohammed, P. Sampson // Remote Sensing of Environment, Vol. 89, Iss. 2, 2004, pp. 189–199.
3. Measures R.M. Laser Remote Sensing: Fundamentals and Applications / R.M. Measures // Malabar, Florida: Krieger Publishing Company, 1992. – 510 p.
4. Medvedev E.M. Laser location of earth and forest / E.M. Medvedev, I.M. Danilin, S.R. Mel'nikov // Textbook. 2nd Edition, - Moscow: Geokosmos; Krasnoyarsk: V.N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch. – 2007. – 229 p. <http://www.laserlocation.ru/literature.html>
5. Ke Y. Synergistic use of QuickBird multispectral imagery and LIDAR data for object-based forest species classification / Y. Ke, L.J. Quackenbush, J. Im // Remote Sensing of Environment, vol. 114, Iss. 6, 2010, pp. 1141–1154.
6. Hudak A.T. Regression modeling and mapping of coniferous forest basal area and tree density from discrete-return lidar and multispectral satellite data / A.T. Hudak, N.L. Crookston, J.S. Evans, M.J. Falkowski, A.M.S. Smith, P. Morgan, P. Gessler // Canadian Journal of Remote Sensing, 2006, 32, pp. 126–138.
7. Dalponte M. Fusion of Hyperspectral and LIDAR Remote Sensing Data for Classification of Complex Forest Areas / M. Dalponte, L. Bruzzone, D. Gianelle // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 46, No. 5, 2008, pp. 1416-1427.
8. Hyde P. Mapping forest structure for wildlife habitat analysis using multi-sensor (LiDAR, SAR/InSAR, ETM+, Quickbird) synergy / P. Hyde, R. Dubayah, W. Walker, J.B. Blair, M. Hofton, C. Hunsaker // Remote Sensing of Environment, Vol. 102, Iss. 1/2, 2006, pp. 63–73.
9. 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. Iss. 5. - Art.5.
10. McCoy R.M. Field Methods in Remote Sensing / R.M McCoy // N.Y. - Guilford Press, 2005. - 160 p.
11. Huete A., Justice C., van Leeuwen W. MODIS VEGETATION INDEX (MOD13). Algorithm theoretical basis document / NASA, MODIS-WEB// Version 3, 1999 http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf
12. Huete A.R. The Use of Vegetation Indices in Forested Regions: Issues of Linearity and Saturation / A.R. Huete, H. Liu, W.J.D. van Leeuwen // Proceedings of the IGARSS-97 Symposium. — Singapore: IEEE Press, 1997. - P. 1-3.

Стаття надійшла до редакції 18.01.13 українською мовою

© М.А. Попов, И.Д. Семко

**Оценка характеристик зеленых насаждений с использованием средств
дистанционного зондирования Земли**

Предложена методика оценивания характеристик зеленых насаждений в условиях городских агломераций и урбанизированных территорий на основе данных ДЗЗ, а именно, лидарных данных и материалов многоспектральной космической съемки высокого пространственного разрешения. Описана схема обработки данных при дистанционной оценке количественно-качественных характеристик зеленых насаждений, приводятся результаты ее применения на полигоне города Черкассы.

© M.O. Popov, I.D. Semko

**Assessment of green planting characteristics by using methods
of remote sensing of Earth**

A method for remote assessment of trees plantations characteristics in conditions of mega polis or urban territories using remote sensing data, namely LIDAR data and multispectral satellite images with high spatial resolution is proposed. A flowchart of data proceeding for remote assessment of quality and quantity characteristics of trees plantations is noted. Results of proposed method application for Cherkassy site are described.