

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМУ ВИЗНАЧЕННЯ ВАРТОСТІ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ ЗЕЛЕНИХ ЗОН ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

*Деркульський Р.Ю., аспірант**

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Лець О.А., провідний інженер

КП „Головний інформаційно-обчислювальний центр”

E-mail: romderk@ukr.net

Запропоновано підходи до визначення вартості землекористування зелених зон у населених пунктах на основі обсягів секвестрованого (поглинутого) ними вуглецю, вуглекислого газу. Визначення вартості запропоновано на основі значень показників середнього щорічного поглинання вуглецю лісовими екосистемами України для одиниці площі, вартості тонни вуглецю та вуглекислого газу зокрема, а також площі вкритої деревним класом покриття на фрагменті супутникових знімків, в межах парку «Кіото» в місті Києві. Площа вкрита деревним класом покриття визначена за допомогою двох методів: контрольованої класифікації супутникових знімків за методом максимальної подібності з використанням ArcGIS та за допомогою додатку i-Tree Canopy, розробленого Службою лісу США (USDA Forest Service).

Ключові слова: *поглинання вуглецю, чистий вуглецевий баланс, облікова ставка, системи торгівлі викидами, зелена зона, щільність фітомаси, вартість секвестру вуглецю, відновна вартість зелених насаджень, балансова вартість зелених насаджень, дистанційне зондування Землі, контрольована класифікація.*

Постановка проблеми.

Рослинність здатна істотно зменшувати несприятливий вплив кліматичних і виробничих факторів на умови праці, життя та відпочинку людини, про що свідчить багатий світовий досвід ландшафтної організації промислових і селищних територій, і передбачає підвищення планувальних якостей відкритого простору

міського середовища засобами ландшафтної архітектури.

Широко розгалужена мережа міських і районних парків, скверів, бульварів, озелених вулиць і площ, насаджень обмеженого користування та спеціального призначення щільно пов'язана за рахунок «зелених клинів» з насадженнями лісопаркового поясу, а далі, за межами міста, – з периферійною частиною зеленої зони м. Києва.

* Науковий керівник – д.е.н., доц. Мартин А.Г.

Такий взаємозв'язок і насиченість міського ландшафту озеленими територіями всіх видів позитивно впливає на мікроклімат, сприяє оздоровленню повітряного басейну, підсилює архітектурно-просторову виразність і створює неповторний образ міста, однак екосистемні послуги зелених зон у містах на сьогодні не є достатньо оціненими та вивченими. Міські ліси, парки, сквери, всі дерева, які розташовані в межах міста діють як поглиначі вуглекислого газу (CO_2) шляхом фіксації вуглецю під час фотосинтезу та накопичення вуглецю у вигляді фітомаси, крім того, зелені насадження у містах зменшують концентрацію в повітрі таких сполук як: CO , NO_2 , O_3 , SO_2 , також дерева впливають на концентрацію у повітрі $\text{PM}_{2.5}$ (дрібнозернисті величини, що визначаються як інтегрована маса аерозолу діаметром менше 2,5 мкм) та PM_{10} (грубі первинні тверді частки, що утворилися безпосередньо з антропогенних викидів, з аерозолем розміром від 2,5 до 10 мкм) [4;8].

Динаміка поглинання чи вивільнення CO_2 на вкритих деревною рослинністю територіях з часом змінюється, оскільки дерева ростуть, відмирають та розкладаються. Людський вплив на лісовкриті площі, у тому числі зелені зони міст, може додатково впливати на динаміку поглинання/виділення CO_2 через такі фактори, як викиди при згорянні вичопного палива та збирання/утилізація фітомаси. Деревина в міських районах (наприклад, міських лісах та парках тощо) зберігають вуглець, який може бути вивільнений в атмосферу після відмирання дерева, та поглинати вуглець в період росту. Міські дерева також впливають на енергоспоживання будівель, а також

перероблюють вуглець з численних міських джерел. Таким чином, міські дерева впливають на місцевий клімат, вуглецеві цикли, використання енергії тощо [8].

Актуальності темі додає той факт, що темп підвищення концентрації CO_2 протягом 2016 року був найвищим в історії спостережень. Такі висновки оприлюднила 30 жовтня 2017 року Всесвітня метеорологічна організація ООН у Женеві. За даними дослідників, впродовж 2016 року темпи зростання вмісту вуглекислого газу в повітрі перевищували на 50 % середньорічні темпи за всі попередні 10 років [3].

Урбанізаційні процеси неминуче призводять до конфлікту функцій території і часом до необхідності видалення зелених насаджень. Механізм визначення вартості зелених насаджень (дерев, кущів, газонів, квітників) у населених пунктах, що підлягає сплаті при видаленні зелених насаджень або при їх втраті. у зв'язку із відведенням земельних ділянок, на сьогодні зводиться до оцінки вартості створення (посадки) дерев та кущів (комплексу робіт зі створення і догляду за ними у період приживлення), вартості утримання дерев та кущів за попередні роки з урахуванням характеристик, які визначають їх цінність [6]. В лісогосподарській практиці для визначення чисельної характеристики продуктивності лісів на сьогодні в основному використовуються такі показники, як запас деревостанів та його зміни – повний (за загальною продуктивністю) і частковий (за наявним запасом) поточний та середній природи. Ці показники обмежені оцінюванням продукування основного господарського лісового ресурсу – стовбурової деревини в об'ємній мірі.

Загальноприйнятих підходів до виміру економічної ефективності заходів із пом'якшення кліматичних змін засобами землекористування та лісівництва поки що немає, однак така ефективність безперечно існує і має враховуватися у подальшому в багатьох сферах життя суспільства. Досліджень економіки багатоцільового ведення лісового господарства в Україні небагато, а відповідна законодавча база відсутня. Роботи, які базуються на економічних положеннях пост-Кіото переговорного процесу, страждають від очевидної неповноти.

Сучасні екологічні, природоохоронні та економічні задачі потребують знання кількох видів біологічної продуктивності – валової продукції як результату фотосинтезу (Gross Primary Production – GPP); нетто-первинної продукції (Net Primary Production, NPP) як кількості органічної речовини, що фіксується в тканинах рослин; чистої екосистемної продукції (Net Ecosystem Production, NEP) як різниці між нетто-первинною продукцією та гетеротрофним диханням екосистеми; та нетто-біомної продукції (Net Biome Production, NBP) або іншого близького показника – нетто- екосистемного вуглецевого балансу (Net Ecosystem Carbon Balance, NECB). Два останні показники дають кінцеве значення обміну вуглецем екосистем з навколишнім середовищем на великих територіях і за проміжок часу не менше одного року, хоча можуть і дещо різнитися залежно від загальної структури розрахункової схеми та від повноти включення всіх складових, що входять в облік повного вуглецевого бюджету.

Мета статті – обґрунтування підходів до визначення вартості землекористування зелених зон у населених пунктах на основі обсягів

секвестрованого (поглиненого) ними вуглецю, що визначається за допомогою контрольованої класифікації супутникових знімків.

Виклад основного матеріалу.

Нетто-біомна продукція (Net Biome Production, NBP) або чистий вуглецевий баланс екосистеми (Net Ecosystem Carbon Balance, NECB) визначається як кінцевий результат повного верифікованого вуглецевого бюджету (ПВБ) рослинних екосистем:

$$NBP = NPP - HR - FHYD - FLIT - DISC,$$

де NPP – чиста (нетто) первинна продукція, HR – гетеротрофне дихання екосистем, FHYD та FLIT – потоки в гідросферу і літосферу, DISC – потоки, спричинені впливом зовнішніх факторів (пожежі, рубки, біотичні порушення тощо) та споживанням рослинних продуктів.

Враховуючи наближений характер обчислень, недоліки існуючих даних обліку лісів (особливо для лісів, що не підпорядковані ДАЛРУ), а також використання експертних оцінок, середнє щорічне поглинання вуглецю лісовими екосистемами України в період з 1996 по 2011 рік, з високою ймовірністю знаходиться в межах $10-12 \frac{TzC}{\text{рік}}$, з ймовірним результатом $11 \frac{TzC}{\text{рік}}$, тобто $115 \frac{MzC}{\text{рік}}$ [4, с. 114]. На основі багатовимірних регресій, які були використані для оцінки лісової фітомаси та вмісту вуглецю в українських лісах за адміністративними областями, середнє значення вмісту накопиченого вуглецю для Київської області становить $8,20 \frac{KzC}{\text{га}}$. При переході від маси сухої речовини до вуглецю використовувався коефіцієнт 0,50 для деревини і 0,45 для зелених частин. [4, с. 114; 4; с. 248]

Оригінальні значення річного поглинання вуглецю $115 \frac{\text{гC}}{\text{м}^2 \text{ рік}}$ та накопиченого вуглецю у вигляді фітотомаси $8,20 \frac{\text{кгC}}{\text{м}^2}$, які були використані для наших обчислень, помножені на 44/12 для конвертації в значення для CO₂, тому для обчислень використані відповідно значення $421,67 \frac{\text{гCO}_2}{\text{м}^2 \text{ рік}}$, та $30,07 \frac{\text{кгCO}_2}{\text{м}^2}$.

Паризька кліматична угода набрала чинності 4 листопада 2016 року. Станом на 1 квітня 2017 року, 194 країни підписали угоду, а 143 – що забезпечують 83% світових викидів парникових газів – задекларували майбутню ратифікацію. Операціоналізація міжнародних механізмів, передбачених статтею 6 цієї угоди, є однією з основних проблем, які необхідно подолати задля створення можливості ціноутворення на вуглецевому ринку для досягнення економічно ефективної декарбонізації. Модальності, які б забезпечили екологічну цілісність, уникнення подвійних обрахунків та сприяння сталому розвитку, є основою обговорень Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (UNFCCC). Станом на 2017 рік було реалізовано 46 ініціатив із визначення ціни на вуглець. Серед них 23 системи торгівлі викидами (ETS), переважно у субнаціональних юрисдикціях та 23 вуглецевих податки, в основному реалізовані на національному рівні. В той же час, ставка податку за викиди двоокису вуглецю запроваджена і в Україні становить 0,37 гривні за 1 тону (243.4 статті 243 Податкового кодексу України), що є одним із найнижчих показників у світі.

Разом ініціативи щодо ціноутворення на викиди вуглецю покривають 8 гігатонн еквіваленту двоокису вуглецю (Tg CO₂) або 15 % світових викидів парникових газів (ПГ). На системи торгівлі викидами (СТВ) припадає приблизно дві третини ви-

кидів парникових газів. Юрисдикції, що здійснюють регіональні, національні та субнаціональні ініціативи з ціноутворення на викиди вуглецю, полягають у вивченні способів співпраці та обміну знаннями, що може призвести до подальшої конвергенції, узгодження та зв'язування регіональних цін на вуглець.

Отже, єдиного глобального ринку CO₂ на сьогодні не існує. Європейські прагнення нашої країни, а також Угода між Україною та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами задають як орієнтир процеси та ініціативи, які реалізуються в ЄС. Протягом 2017 року між Європейським Парламентом, Європейською Радою та Європейською Комісією ведеться діалог задля вдосконалення системи торгівлі викидами Європейського Союзу (англ. European Union Emission Trading Scheme, EU ETS), як найбільшої у світі системи торгівлі викидами і яка є однією з основних складових кліматичної політики ЄС. Результати діалогу досі не вплинули на цінову траєкторію емісійних квот Європейського Союзу (англ. European Union Allowances, скор. EUAs), а станом на 1 квітня 2017 року ціна емісійних квот (EU Allowances) становила €5/t CO₂ (US\$5/tCO₂) [13].

За інформацією Німецької консультативної групи з питань економічних реформ Інституту економічних досліджень та політичних консультацій в Україні, ціна у 5 дол. США за тону вуглецю може бути використана як нижній поріг для оцінок [7]. Аналіз показує, що «вартість» накопиченого вуглецю (з точки зору уникнення збитків) може становити від \$ 5 до \$ 10 за тону або більше [9, с. 112].

Міжвідомча робоча група уряду Сполучених Штатів запропонувала поняття соціальної вартості вуглецю (англ. Social Cost of Carbon, SCC) як оцінку монетизованих збитків, пов'язаних з поступовим збільшенням викидів вуглецю у відповідному році. До такого показника передбачається включення зміни чистої продуктивності сільськогосподарства, стану здоров'я людини, майнових збитків від збільшення ризику повеней та вартість екосистемних послуг. Під час спроби оцінити економічні наслідки викидів вуглекислого газу, виникає низка серйозних проблем щодо визначення:

- масштабів майбутніх викидів парникових газів;
- наслідків минулих та майбутніх викидів на кліматичну систему;
- впливу змін клімату на фізичне та біологічне середовище;
- переведення впливів на навколишнє середовище в економічні збитки.

Будь-які зусилля щодо кількісної оцінки та монетизації втрат, пов'язаних зі зміною клімату, стануть серйозними питаннями економіки природокористування та охорони навколишнього середовища і їх пропонується розглядати як умовні [10].

М. Ніжник розглянула економічні проблеми лісорозведення в Україні, включивши три групи функцій – вирощування деревини, захист ґрунтів від ерозії і депонування вуглецю. За 4%-ї облікової ставки (discount rate) сучасна вартість лісорозведення оцінена в середньому для країни в 484 євро за один гектар (від 288 €/га у Карпатах до 609,5 €/га в степу). Було показано, що віддача від витрат є недостатня, якщо враховувати лише дохід від заготівлі деревини. Якщо включити вартість деревини і захист сільськогосподарських земель від

ерозії, то за облікової ставки від 2 до 4% економічно вигідне лісорозведення на площі 1,82 млн га, а за 4% – на площі 0,42 млн га; за облікової ставки нижче 2% лісорозведення вигідне в більшості регіонів країни. Якщо ж у вартість включити секвестр вуглецю (за ціни 15 € за 1 тону вуглецю), то це робить лісорозведення вигідним майже скрізь (крім Полісся і степового Криму) і за облікової ставки 4%. Відносно заходів у галузі покращання зовнішнього середовища, облікова ставка 0–3% найбільш загальна. В цілому, облікова ставка більшою мірою політична, ніж економічна категорія. Економічні оцінки при переході до багатофункціональної парадигми лісового господарства суттєво змінюються. Звичайно, тут залишається нерозв'язаним питання «хто платить і хто отримує прибуток» [4, с. 188].

Дисконтування переваг від поглинання вуглецю за ставки 0% призводить до того, що весь вилучений вуглець оцінюється однаково, незалежно від того, коли він поглинений. Така облікова ставка на вуглець означає, що немає ніякої різниці між поглинанням одиниці вуглецю з атмосфери сьогодні або в будь-який майбутній час. Проте, не дисконтування земних поглинань вуглецю не є правильним при розгляді цього питання в часовому вимірі. В економіці вуглецю важливо порівнювати витрати та вигоди відповідно до їхньої поточної вартості, а в довгострокових прогнозах лісового господарства – встановлення 0% ставки дисконту для поглинання вуглецю є дуже специфічним припущенням. Тому частіше застосовують саме позитивну ставку дисконтування для оцінки переваг поглинання вуглецю. В той же час, підходи до оцінки проектів по секвестру вуглецю є спе-

цифічними для конкретних випадків, а встановлення ставок для розрахунку вартості секвестрованого вуглецю також буде обумовлено ставками, за яких ми зможемо прогнозувати, що збитки, спричинені викидами CO_2 , з часом зміняться, з великою вірогідністю в більшу сторону [12, с. 6].

Певна єдина ринкова вартість 1 т CO_2 , могла б стати базисом для цілого ряду розрахунків, у тому числі оцінки переваг від зменшення (або витрат від збільшення) викидів CO_2 , з іншого боку може бути включена до вартості створення нових зелених насаджень, вартості лісорозведення чи розрахунків компенсацій у випадках нагальної необхідності видалення зелених насаджень. Помноживши загальну площу, вкриту деревною рослинністю, на вартість та обсяг поглинання CO_2 деревами з розрахунку на одиницю площі можна отримати загальну вартість поглиненого CO_2 . У таблиці 1 наведені орієнтовні розрахунки вартості поглинання CO_2 на один гектар за цін 5€, 10€ та 15€ (за курсу 32 грн. за 1 євро) та при облікових ставках на рівні 5%, 4%, 3%, а також за умови річного поглинання двоокису вуглецю на рівні $4,2 \frac{\text{mCO}_2}{\text{га рік}}$ (для Київської області).

Оцінка поглинання двоокису вуглецю існуючими деревними насадженнями у грошовому еквіваленті, а також розробка компенсаційних економічних механізмів при видаленні/створенні деревних насаджень природокористування поступово стають на порядок денний. Водночас серед науковців у галузі економіки природокористування немає абсолютної єдності щодо механізмів визначення вартості секвестрованого вуглецю.

Два методи для визначення площі, вкритої деревними насадженнями, за допомогою класифікації растрів су-

путникових знімків та можливі методи обрахунку вартості депонованого вуглецю наведено нижче. Кожен з них має свої переваги та недоліки. Розрахунки були проведені на прикладі «парку вздовж вул. Кіото», який розташований у Деснянському районі м. Києва, відповідно до Програми розвитку зеленої зони м. Києва та концепції формування зелених насаджень в центральній частині міста (далі – Програма). Загальна площа парку становить 14,0 га. Важливим завданням є визначення площі, яка вкрита саме деревною рослинністю, а саме маючи у розпорядженні супутникові знімки чи матеріали аерофотозйомки провести класифікацію на щонайменше два класи:

- 1) дерево, тобто крона з власне супутникової чи аерофотозйомки;
- 2) не дерево, тобто будь яка інша територія що також може включати кущі, відкриті території, газони, квітники, газони тощо.

Для першого методу у систему координат Гаусса-Крюгера (6 зона) був перерахований весь проект для обчислення площі деревного класу покриття.

Перший використаний метод – контрольованої класифікації (supervised classification), до основних способів такої класифікації належать: бінарне кодування, спосіб паралелепіпедів, методи спектрального кута та максимальної подібності, алгоритми мінімальної спектральної відстані (Евклідова метрика) та відстані Махаланобіса [2;5].

Для класифікації ми опрацювали за допомогою ArcGIS супутниковий знімок з Bing Maps щодо території, на якій власне розташований парк «Кіото» (рис.1). За алгоритмом, який використовується для класифікації за методом максимальної подібності (Maximum Likelihood Classification), що виконує класифікацію для набору

1. Орієнтовна вартість поглинання CO₂ за різних цін та облікових ставок

Облікова ставка	5%	4%	3%
Вартість 1 т CO ₂	5 €	10 €	15 €
Роки	Орієнтовні розрахунки вказані у гривнях за курсу: 1 € = 32 грн. та річного поглинання двоокису вуглецю на рівні 4,2 $\frac{mCO_2}{га рік}$ (для Київської області)		
2017	672,0	1344,0	2016,0
2022	857,7	1635,2	2337,1
2027	1094,6	1989,4	2709,3
2032	1397,0	2420,5	3140,9
2037	1783,0	2944,9	3641,1
2042	2275,6	3582,9	4221,1
2047	2904,3	4359,1	4893,4
2052	3706,8	5303,5	5672,7
2057	4730,9	6452,6	6576,3

каналів растра і створює класифікований растр як вихідні дані (рис.2). Така класифікація ґрунтується на двох основних принципах:

- значення комірок у вибірці для кожного класу в багатовимірному просторі підкоряються закону нормального розподілу;
- використовується теорія Байє (теорема прийняття рішень).

Цей інструмент, при віднесенні кожного пікселя до одного з класів, представлених у файлі сигнатур, враховує як дисперсії, так і коваріації сигнатур класів. За припущення, що вибірка для класу підпорядковується нормальному розподілу, клас може бути охарактеризований вектором середнього і матрицею коваріації. Після присвоєння цих двох характеристик кожному значенню комірки з кожного класу, для визначення належності пікселя до того чи іншого класу, обчислюється статистична ймовірність. Якщо задана опція за замовчуванням EQUAL для зважених апріорної ймовірності (a priori probability weighting), кожен піксель буде віднесено до того

класу, ймовірність належності пікселя до якого максимальна.

Класифікацію за правилом максимальної вірогідності виконують за таким алгоритмом:

$$D = \ln(a_i) - [0.5 \ln(|K_{ij}|)] - [0.5 D_M],$$

де D – вагова відстань (вірогідність); a_i – відсоток вірогідності належності класифікованого пікселя до класу i (дорівнює 1,0 або вводиться на основі апріорних даних); $|K_{ij}|$ – детермінант матриці K_i . [5]

Класифікація растру супутникового знімку за методом максимальної подібності, додатково може передбачати створення вихідного растру достовірності (confidence raster). Цей растр показує рівні достовірності класифікації. Число рівнів достовірності дорівнює 14. Це число безпосередньо пов'язане з числом дійсних значень частки відхилення. Перший рівень достовірності, код якого на растрі достовірності – одиниця, складається з пікселів, віддалених від будь-якого вектора середнього, що зберігається в файлі сигнатур, на



Рис. 1. Супутниковий знімок Bing Maps території п. «Кіото»

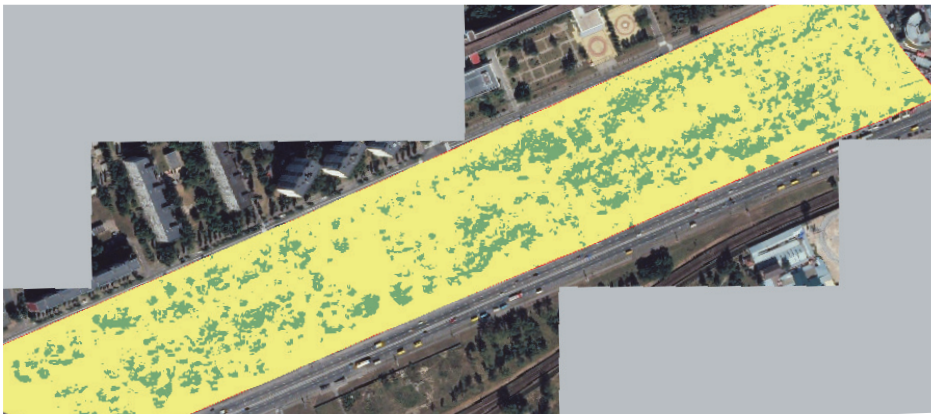


Рис. 2. Класифікований супутниковий знімок території п. «Кіото»

найкоротшу відстань. Отже, класифікація цих пікселів виконана з найбільшою визначеністю. Пікселі, що становлять другий рівень достовірності (значення осередку 2 на довірчому растрі) будуть класифіковані, тільки якщо виключена область дорівнює 0,99 або менше. Найменший рівень достовірності має значення 14 на растрі достовірності, що показує пікселі, які швидше за все будуть неправильно класифіковані. Пікселі цього рівня достовірності не будуть класифіковані, коли частка відхилення дорівнює 0.005 або більше.

Класифікований растр конверто-

вано у векторне зображення та обчислено площу, вкриту деревним класом покриття, як результат, площа для парку «Кіото» становить 4,0 га, отриману площу помножено на значення річного поглинання та на вартість тонни поглиненого CO_2 (табл. 2).

Концепцію та прототип другого методу розроблено Службою лісу США (USDA Forest Service) David J. Nowak, Jeffrey T. Walton та Eric J. Greenfield. Поточна версія цієї програми була розроблена та адаптована для i-Tree додатку David Ellingsworth, Mike Binkley, and Scott Maco (The Davey Tree Expert Company).

2. Орієнтовні розрахунки маси та вартості поглиненого CO₂ площею деревного покриття 4 га за ціни в €5/t CO₂ з використанням методу максимальної подібності

Абрев.	Опис	Ціна, грн	Всього, т
CO ₂ seq	Річне поглинання вуглекислого газу деревами	2688	16,8
CO ₂ stor	Поглинений деревами вуглекислий газ (прим.: не річний показник)	192448	1202,8

Координати поворотних точок меж парку нами перераховані з місцевої системи координат у географічну WGS-84. Інструмент розроблений таким чином, щоб користувачі могли легко та відносно точно оцінювати площу деревного та інших класів покриттів (наприклад газонів, будівель, доріг тощо) у межах міста, селища, села чи будь-якої зони. Принцип обчислення полягає у випадковому наборі точок (число визначається користувачем) на супутниковому знімку Google Earth, які користувач класифікує залежно від того, до якого класу належить точка. В наших обчисленнях класифікація була проведена для

двох класів «дерево», не включаючи кущі – 295 точок та «не дерево» 806 точок (рис. 3).

$$N = 1101,$$

$$n = 295,$$

$$p = \frac{n}{N} = \left(\frac{295}{1101} \right) = 0.268,$$

$$q = 1 - p = (1 - 0.268) = 0.732,$$

$$SE = \sqrt{\frac{p(1-p)}{N}} = \sqrt{\frac{pq}{N}} = \sqrt{\frac{0.268 \times 0.732}{1101}} = 0.0133,$$

де N – загальна кількість класифікованих точок;

n – кількість точок класифікованих як «дерево», за винятком кущів;

p, q – параметри біноміального розподілу;

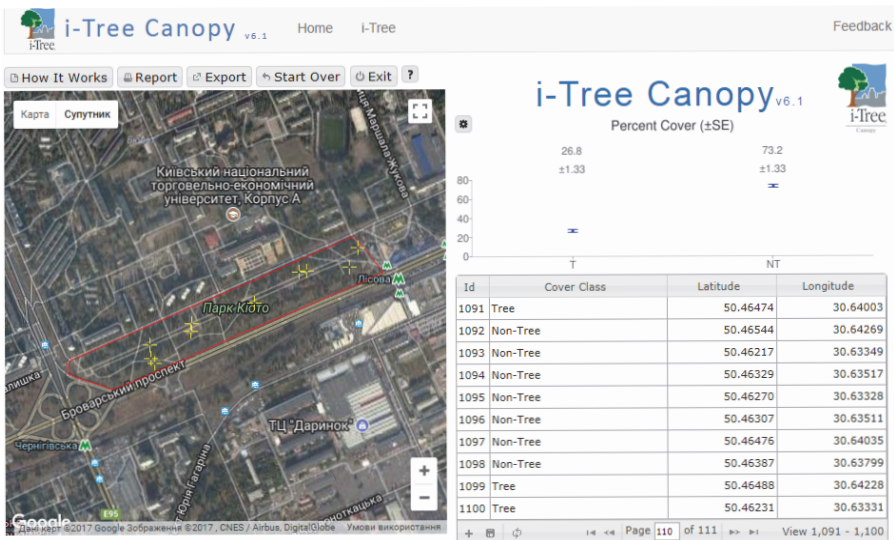


Рис. 3. Класифікація супутникового знімку території парку «Кіото» за методом i-Tree Canopy

SE – стандартна похибка середнього для біноміального розподілу.

В результаті оцінки площі деревного класу покриття на території парку Кіото отримали 26,8% \pm 1,33% від загальної площі, або ж 3,75га \pm 0,19га, результати наведені у таблиці 3.

Точність аналізу в даному випадку залежить від здатності користувача правильно класифікувати кожен точку. Збільшення кількості класифікованих точок – збільшує точність оцінки, водночас стандартна похибка оцінки знизиться. Якщо було класифіковано надто малу кількість точок, стандартна помилка буде занадто високою, щоб дати об'єктивну оцінку. Іншим суттєвим обмеженням цього інструменту є те, що супутникові знімки Google Maps можуть бути складними для інтерпретації через відносно низьку роздільну здатність зображення, через фактори навколишнього середовища або погану якість зображення.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

Збереження зелених насаджень у містах має стати одним із пріоритетних завдань не тільки сьогодні, але і насамперед для майбутнього загального бачення розвитку міського середовища. Паризька кліматична угода, Рамкова конвенція ООН зі зміни клімату, Кіотський протокол та інші кліматичні договори задають вектор подальшого руху з метою впровадження проєктів, спрямованих на охорону навколишнього природного середовища, залучення інвестицій в охорону навколишнього природного середовища тощо. Безперечно зелені насадження міст мають бути захищені від знищення на законодавчому рівні та на рівні рішень місцевих органів влади, проте через конфлікт функцій території міста та постійні

урбанізаційні процеси оцінка зелених зон у містах потребує нових підходів. Розрахунки вартості секвестрованого зеленими зонами вуглецю (у грошовому значенні) можуть стати однією із складових для створення повноцінного та комплексного економічного механізму компенсації за видалення зелених насаджень у містах. Обидва розглянуті інструменти можуть бути використані для оцінки деревовкритих площ в межах точності кожного з них, однак подальших досліджень потребують розрахунки поглинання CO₂ саме міськими зеленими насадженнями, оскільки умови їх росту кардинально відрізняються від лісових екосистем. Відкритим залишається питання цін на вуглецевому ринку, як і зрештою функціонування самого ринку, особливо в Україні. Актуальним є питання підвищення податку за викиди CO₂, який у нашій країні є одним із найнижчих у світі та вироблення стратегії спрямування таких податкових надходжень на збільшення лісовкритих площ, енергоефективні проєкти тощо.

Список літератури

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування/ за ред. В.І. Лялько та М.О. Попова. – К.: Наукова думка, 2006. – 360 с.
2. Бурштинська Х.В. Дослідження методів класифікації лісів з використанням космічних знімків високого розрізнення / Х.В. Бурштинська, Б.В. Поліщук, О.Ю. Ковальчук // Геодезія, картографія та аерофотознімання: зб. наук. пр. – Львів, 2013, Вип. 78. – С. 101–110.
3. ВМО зафіксувала рекордний вміст "парникових" газів у атмосфері. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dw.com/uk/вмо-зафіксувала-рекордний-вміст-парникових-газів-у-атмосфері/a-18836313> – Назва з екрана.

4. Вуглець, клімат та землеуправління в Україні: лісовий сектор: Монографія/[А. Швиденко, П. Лакида, Д. Щепашенко, Р. Васишин, Ю. Марчук]. – Корсунь-Шевченківський : ФОП Гавришенко В.М., 2014. – 283 с.
5. Кохан С.С. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи: підручник / С.С. Кохан, А.Б. Востоков. – К.: Вища шк., 2009. – 511 с.
6. Про затвердження Методики визначення відновної вартості зелених насаджень, [Електронний ресурс]: наказ Міністерство з питань житлово-комунального господарства України від 12.05.2009 N 127. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0549-09>. – Назва з екрана.
7. Україна та Кіотський протокол: значні перспективи – незначні досягнення [Електронний ресурс]: Резюме Інституту економічних досліджень та політичних консультацій в Україні. Німецька консультативна група з питань економічних реформ. – Режим доступу: http://www.ier.com.ua/files/publications/Policy_papers/German_advisory_group/2003/S22_ukr.pdf. – Назва з екрана.
8. David J. Nowak, Eric J. Greenfield, Robert E. Hoehn, Elizabeth Lapoint. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. [Electronic resource]. – Mode of access: https://canopy.treetools.org/resources/Tree_Canopy_Carbon_Storage_and_Sequestration.pdf. - Last access: 2017. – Title from the screen.
9. John A. Dixon, Louise Fallon Scura, Richard A. Carpenter, Paul B. Sherman. ECONOMIC ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL IMPACTS. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://documents.worldbank.org/curated/en/272091487845936282/pdf/110201-PUB-Box396328B-PUBLIC-Economic-Analysis-Of-Environmental-Impacts-1994.pdf>. - Last access: 2017. – Title from the screen.
10. Interagency Working Group on Social Cost of Carbon [Electronic resource] : United States Government. Technical Support Document: Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866. – Mode of access: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/scc_tsd_2010.pdf. - Last access: 2017. – Title from the screen.
11. M. Nijnik. Economics of climate change mitigation forest policy scenarios for Ukraine. [Electronic resource] // Climate Policy 4 (2005) 000-000. – Mode of access: WWW.URL:https://www.researchgate.net/publication/233317313_Economics_of_climate_change_mitigation_forest_policy_scenarios_for_Ukraine - Last access: 2017. – Title from the screen.
12. M. Nijnik, B. Slee, G. Pajot, Y. Xu, D. Miller. Forestry and Climate Change: a Socio-Economic Perspective. [Electronic resource] // The Macaulay Institute. – Mode of access: WWW.URL: https://www.researchgate.net/publication/316342436_Forestry_and_climate_change_Report_to_UK_Forestry_Commission_draft - Last access: 2017. – Title from the screen.
13. World Bank; Ecofys. 2017. Carbon Pricing Watch 2017. [Electronic resource] // Washington, DC: World Bank. © World Bank. License: CC BY 3.0 IGO. – Mode of access: WWW.URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/26565>. - Last access: 2017. – Title from the screen.

References

1. Bahatospektralni metody dystantsiinoho zonduvannia Zemli v zadachakh pryrodokorystuvannia/ za red. V.I. Lialko ta M.O. Popova. – K.: Naukova dumka, 2006. – 360 s.
2. Burshtynska Kh.V. Doslidzhennia metodiv klasyfikatsii lisiv z vykorystanniam kosmichnykh znimkiv vysokoho rozrznennia / Kh.V. Burshtynska, B.V. Polishchuk, O.Iu. Kovalchuk // Heodeziia, kartohrafiia ta aerofotoznmannia: zb. nauk. pr. – Lviv, 2013, Vyp. 78. – S. 101–110.

3. VMO zafiksuvala rekordnyi vmist «parnykovykh» haziv u atmosferi. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.dw.com/uk/vmo-zafiksuvala-rekordnyi-vmist-parnykovykh-haziv-u-atmosferi/a-18836313> – Nazva z ekrana.
4. Vuhlets, klimat ta zemleupravlinnia v Ukraini: lisovyi sektor: Monohrafiia/[A. Shvydenko, P. Lakyda, D. Shchepashchenko, R. Vasylyshyn, Yu. Marchuk]. – Korsun-Shevchenkivskiyi : FOP Havryshenko V.M., 2014. – 283 s.
5. Kokhan S.S. Dystantsiine zonduvannia Zemli: teoretychni osnovy: pidruchnyk / S.S. Kokhan, A.B. Vostokov. – K.: Vyshcha shk., 2009. – 511 s.
6. Pro zatverdzhennia Metodyky vyznachen- nia vidnovnoi vartosti zelenykh nasadzhen, [Elektronnyi resurs]: nakaz Ministerstvo z pytan zhytlovo-komunalnoho hospodarst- va Ukrainy vid 12.05.2009 N 127. – Rezhym dostupu : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0549-09>. – Nazva z ekrana
7. Ukraina ta Kiotskiy protokol: znachni per- spektyvy – neznachni dosiahnennia [Elek- tronnyi resurs]: Reziyme Instytutu eko- nomichnykh doslidzhen ta politychnykh konsultatsii v Ukraini. Nimetska konsulta- tyvna hrupa z pytan ekonomichnykh re- form. – Rezhym dostupu: http://www.ier.com.ua/files/publications/Policy_papers/German_advisory_group/2003/S22_ukr.pdf. – Nazva z ekrana.
8. David J. Nowak, Eric J. Greenfield, Robert E. Hoehn, Elizabeth Lapoint. Carbon stor- age and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. [Electronic resource]. – Mode of access: https://canopy.itreetools.org/resources/iTree_Canopy_Carbon_Storage_and_Sequestration.pdf. - Last access: 2017. – Title from the screen.
9. John A. Dixon, Louise Fallon Scura, Rich- ard A. Carpenter, Paul B. Sherman. ECO- NOMIC ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL IMPACTS. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://documents.worldbank.org/curated/en/272091487845936282/pdf/110201-PUB-Box396328B-PUB- LIC-Economic-Analysis-Of-Envi- ronmental-Impacts-1994.pdf>. - Last access: 2017. – Title from the screen.
10. Interagency Working Group on Social Cost of Carbon [Electronic resource] : United States Government. Technical Support Doc- ument: Social Cost of Carbon for Regula- tory Impact Analysis Under Executive Order 12866. – Mode of access: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/scc_tsd_2010.pdf- Last access: 2017. – Title from the screen.
11. M. Nijnik. Economics of climate change mit- igation forest policy scenarios for Ukraine. [Electronic resource] // Climate Policy 4 (2005) 000-000. – Mode of access: WWW. URL:[https://www.researchgate.net/publi- cation/233317313_Economics_of_climate_ change_mitigation_forest_policy_scenari- os_for_Ukraine](https://www.researchgate.net/publication/233317313_Economics_of_climate_change_mitigation_forest_policy_scenarios_for_Ukraine) - Last access: 2017. – Title from the screen.
12. M. Nijnik, B. Slee, G. Pajot, Y. Xu, D. Miller. For- estry and Climate Change: a Socio-Economic Perspective. [Electronic resource] // The Mac- caulay Institute. – Mode of access: WWW. URL: [https://www.researchgate.net/publi- cation/316342436_Forestry_and_climate_ change_Report_to_UK_Forestry_Commissi- on_draft](https://www.researchgate.net/publication/316342436_Forestry_and_climate_change_Report_to_UK_Forestry_Commission_draft) - Last access: 2017. – Title from the screen.
13. World Bank; Ecofys. 2017. Carbon Pric- ing Watch 2017. [Electronic resource] // Washington, DC: World Bank. © World Bank. License: CC BY 3.0 IGO. – Mode of ac- cess: WWW.URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/26565>. - Last access: 2017. – Title from the screen.

R. Derkul'skiy, O. Lets

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF MONETARY VALUE OF GREEN AREAS BY USING REMOTE SENSING METHODS

In this article we proposed two meth- ods for calculation of monetary value of green areas in cities. Tree canopy cover

class area multiply by annual carbon dioxide sequestration rates and monetary value of carbon dioxide removal. The default values (the multipliers) of carbon dioxide removal rates for a unit tree cover were derived from average annual carbon sequestration rates by forest ecosystems of Ukraine. Tree canopy cover class area was calculated in this article by using of two different methods: supervised classification of satellite images by ArcGIS (Maximum Likelihood Classification) and i-Tree Canopy application designed by the US Forest Service (USDA Forest Service).

Keywords: carbon sequestration, net biome production, discount rate, emissions trading system, green zone, green space, city forest, biomass density, carbon sequestration monetary value, greenhouse cost reduction, greenhouse plan value, remote sensing, satellite image, supervised classification.

**Деркульский Р.Ю., Лець О.А.
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕХАНИЗМА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОИМОСТИ
ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕЛЁНЫХ ЗОН
С ПОМОЩЬЮ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

Предложены подходы к определению стоимости землепользования зеленых

зон в населенных пунктах на основе объемов секвестрированного (поглощенного) ими углерода, углекислого газа. Определение стоимости предложено на основе значений показателей среднего ежегодного поглощения углерода лесными экосистемами Украины для единицы площади, стоимости тонны углерода и углекислого газа в частности, а также площади, покрытой древесным классом покрытия на фрагменте спутниковых снимков, в пределах парка «Киото» в Киеве. Площадь покрыта древесным классом покрытия определена с помощью двух методов: контролируемой классификации спутниковых снимков методом максимального подобия с использованием ArcGIS и с помощью приложения i-Tree Canopy, разработанного Службой леса США (USDA Forest Service).

Ключевые слова: поглощение углерода, чистый углеродный баланс экосистемы, учетная ставка, системы торговли выбросами, зеленая зона, плотность фитомассы, стоимость секвестра углерода, восстановительная стоимость зеленых насаждений, балансовая стоимость зеленых насаждений, дистанционное зондирование Земли, космический снимок, контролируемая классификация.