
ВИЗНАЧЕННЯ ЗІМКНУТОСТІ НАМЕТУ ДЕРЕВОСТАНУ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ЗНІМАННЯ БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

Д. І. БІДОЛАХ, кандидат сільськогосподарських наук, доцент
<http://orcid.org/0000-0003-0248-3731>, e-mail: dimbid@ukr.net

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

А. М. БІЛОУС, доктор сільськогосподарських наук, професор
<http://orcid.org/0000-0002-7589-4307>, e-mail: bilous@nubip.edu.ua

Національний університет біоресурсів і природокористування України

В. С. КУЗЬОВИЧ, кандидат сільськогосподарських наук, доцент
e-mail: vasyl.kuzovych@ukr.net

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

Питання підвищення якості визначення зімкнутості намету деревостану є актуальним і практично значущим для лісового та садово-паркового господарства. Проте за окомірному визначенні зімкнутості виникає суб'єктивність його сприйняття, а за використання інструментальних методів підвищується трудомісткість робіт.

Метою дослідження є вдосконалення способів визначення зімкнутості намету деревостану шляхом підвищення якості та достовірності вимірювань завдяки визначенню середньозваженого значення зімкнутості в цілому за площею, а також усунення суб'єктивізму виконавців. Для досягнення цієї мети ми запропонували використання аерофотознімання насадження з безпілотного літального апарату з подальшим визначенням відношення площі цього насадження, яка розташоване під кронами дерев, до його загальної площі, що досягається шляхом оброблення ортофотоплану у середовищі геоінформаційної системи.

Спосіб визначення зімкнутості деревостану, який ми запропонували, дає змогу виправляти неточності традиційних методів, які використовують при проведенні лісо- та парковпорядкування. При цьому, використання матеріалів БПЛА-знімання у середовищі ГІС дає змогу підвищувати якість вимірювань унаслідок аналізу всієї площі виділу та уникати суб'єктивності одержаних результатів завдяки комп'ютерній обробці даних.

Результати проведеного дослідження відповідають загальній тенденції одержаних висновків щодо перспективи використання матеріалів ДЗЗ (у тому числі результатів БПЛА-знімання) для визначення лісівничо-таксаційних показників

деревостанів. Використання підходу, який ми запропонували, для досліджень лісових і паркових насаджень дає змогу проводити визначення горизонтальної зімкнутості деревостану зі зменшенням трудомісткості польових робіт, автоматизувати процес отримання інформації та підвищити їх точність.

Ключові слова: зімкнутість деревостану, повнота насадження, безпілотний літальний апарат, ГІС.

Актуальність. Зімкнутість намету деревостану є важливим лісівничо-таксаційним показником, який використовують у лісівництві та садово-парковому господарстві. Він визначає відношення суми площ горизонтальних проєкцій крон дерев до загальної площі деревостану, яке виражене у відсотках або частках одиниці відповідної повної зімкнутості. Цей показник є дуже близьким до поняття «повнота деревостану», який характеризує ступінь щільності розміщення дерев у деревостані та залежить від виду деревних рослин, їхнього віку, кліматичних умов та місця зростання лісу (Anuchin, 1982).

Зімкнутість використовують у процесі проєктування рубок догляду за лісом, дослідження взаємодії та росту деревних рослин у насадженні, вивчення процесів впливу зміни освітлення на ріст деревостану, розвитку підросту, підліска та живого надґрунтового покриву, а також для проєктування ландшафтів. Проте цей показник переважно встановлюють окомірним способом, він залежить від суб'єктивного сприйняття просторової організації насадження (Girs et al., 2012). Саме тому питання достовірного визначення зімкнутості намету деревостану є актуальним і має практичне значення у сфері лісового та садово-паркового господарства.

Розвиток сучасних технологій дав поштовх до розробки нових під-

ходів щодо визначення параметрів лісового насадження та передбачає покращення способів отримання інформації про лісівничо-таксаційні показники з використанням останніх досягнень науки та техніки для ефективного ведення лісового господарства. Серед цих методів важливе місце посідає сучасний інструментарій, комп'ютерні технології, методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) і геоінформаційні системи (ГІС).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Багато науковців (Purves et al., 2007; Canham et al., 1999; Davies & Pommerening, 2008; Pretzsch et al., 2015; Thorpe et al., 2010; Sevko & Kotsan, 2012; Sergeeva et al., 2002; Yuskevych et al., 2019) у своїх працях приділяють увагу дослідженню впливу зімкнутості та повноти деревостану на інші показники, що характеризують ріст і розвиток лісу. Зокрема, автори (Purves et al., 2007; Pretzsch et al., 2015) зазначають, що зімкнутість лісового намету формується сукупністю крон деревно-кущових рослин і впливає на ріст дерев, інтенсивність поглинання вуглецю, очищення повітря від домішок, а також вітростійкість. При цьому особливості змикання крон деревно-чагарникових рослин є основною детермінантою світлового потоку (Canham et al., 1999), який своєю чергою впливає на розвиток усіх компонентів деревостану та проходження екологічних, бі-

ологічних та біохімічних процесів у лісі. Прогнозування зміни будови намету деревостану також потребує розуміння особливостей розвитку крон окремих рослин та їх залежності від таких показників, як вид і розмір дерева, а також специфіки місцевої конкуренції між окремими особинами (Thorpe et al., 2010).

Для потреб ландшафтної архітектури, відповідно до досліджень (Sergeeva et al., 2002), вивчення зімкнутості крон є одним із найважливіших показників, який відображає стан об'єкта благоустрою в цілому. Наявність картографічної основи зі схемою горизонтальної структури зелених насаджень (або цифрової моделі з просторовим розподілом дерев) дає змогу ландшафтному архітектору обґрунтовано проектувати композиційні прийоми ландшафтного дизайну (Yuskevych et al., 2019; Sevko & Kotsan, 2012). Таку схему досить зручно отримувати з матеріалів ДЗЗ, опрацювавши їх у геоінформаційній системі ГІС (Bidolakh et al., 2018; Khokthong et al., 2019). Такий підхід створює умови для кращого проектування дорожньо-стежкової мережі, розрахунку допустимого рекреаційного навантаження, благоустрою та упорядкування території, сприяючи раціональному використанню наявної зімкнутості для створення оптимальних умов рекреації (Sevko & Kotsan, 2012).

Як відомо (Anuchin, 1982), традиційно зімкнутість намету визначають як відношення суми площ горизонтальних проекцій крон дерев (без урахування їх перекриття) до загальної площі деревостану, виражається у відсотках або частках одиниці. Недоліками цього способу є його трудомісткість, що пов'язана з необхідністю визначення суми площ горизонтальних проекцій крон, виникнення сис-

тематичних помилок через складність вилучення із результатів вимірювання площ перекриття крон і необхідність виконання додаткових картографічних робіт для отримання загальної площі деревостану. Тому, зазвичай, цей спосіб реалізують окомірно інженери-таксатори на підставі попереднього тренування окоміру на пробних площах, що вносить відповідний суб'єктивізм до результатів роботи.

Відомі також методи визначення зімкнутості деревостану за матеріалами космічного знімання з наступним програмним опрацюванням методами фотограмметрії (Purves et al., 2007; Thorpe et al., 2010; Rylskiy, 2018; Girs et al., 2012; Sevko & Kotsan, 2012; Tolkach & Bakhur, 2013). Проте недоліком таких підходів є їх трудомісткість, висока вартість матеріалів космічного знімання, особливо високого просторового розрізнення, та неможливість планування часу проведення знімання території.

Тому сучасний напрям досліджень за цією тематикою (Purves et al., 2007; Thorpe et al., 2010; Bidolakh et al., 2018; Umarhadi et al., 2018; Khokthong et al., 2019; Sevko & Kotsan, 2012; Girs et al., 2012) спрямований на оброблення матеріалів ДЗЗ за результатами знімання з БПЛА, які дають інформацію про просторову структуру горизонтальних проекцій крон у ГІС, з метою вивчення зімкнутості намету. Такий підхід дає змогу також визначати просторову щільність деревно-кущових рослин, що, своєю чергою, можна використати для встановлення загальної площі, біомаси та структури насаджень (Purves et al., 2007), а також класифікації насаджень за типами лісопаркових ландшафтів (Girs et al., 2012). Станом на сьогодні науковці опрацьовують

також нові підходи щодо використання як картографічної основи для досліджень лісівничо-таксаційних показників ортофотоплану, отриманого з безпілотних літальних апаратів (Umarhadi et al., 2018; Khokthong et al., 2019; Hernandez et al., 2016; Bidolakh et al., 2018).

Згадані недоліки методів досліджень і перспективи використання БПЛА для дослідження лісівничо-таксаційних показників насаджень зумовлюють необхідність розроблення нового способу визначення горизонтальної зімкнутості деревостану без необхідності виконання натурних обмірів, шляхом усунення суб'єктивізму окомірного способу, здешевлення вартості витрат, спрощення та підвищення точності виконання вимірювань.

Метою дослідження є вдосконалення способів визначення зімкнутості намету деревостану шляхом підвищення якості та достовірності вимірювань завдяки визначенню середньозваженого значення зімкнутості в цілому за площею, а також усунення суб'єктивізму виконавців. Для досягнення цієї мети ми запропонували використання ортофотоплану, який одержаний за результатами аерофотознімання території з безпілотного літального апарату, для подальшого визначення відношення площі насадження, що розташована під кронами дерев, до загальної площі об'єкта дослідження, шляхом опрацювання цього картографічного матеріалу у середовищі геоінформаційної системи.

Матеріали і методи дослідження. Об'єктом дослідження обрано спосіб визначення горизонтальної зімкнутості деревостану у лісових та садово-паркових насадженнях. Пред-

метом дослідження стали можливості вдосконалення процесу визначення зімкнутості насаджень шляхом використання сучасних методів.

Дослідження проводили у лісових насадженнях на території двох лісгосподарських підприємств: ДП «Бережанське лісомисливське господарство» та Бережанського районного державного агропромислового підприємства «Бережанирайагроліс» (табл. 1). Польові дослідження проводили таким чином. Після калібрування компаса БПЛА DJI Phantom 4 і отримання чіткого супутникового сигналу в системах позиціонування GPS і Глонасс виконували обліт насадження, що підлягає дослідженню, за попередньо спланованим маршрутом. При цьому виконували аерофотознімання із забезпеченням достатнього повздовжнього (60 %) та поперечного (30 %) перекриття сусідніх знімків. Після цього серію аерофотознімків експортували на комп'ютер для здійснення їх поєднання і трансформації з метою створення ортофотоплану за допомогою програми Agisoft PhotoScan.

Опрацювання отриманого картографічного матеріалу, який прив'язаний до відповідної системи координат (УСК 2000), дає змогу проводити керовану класифікацію у середовищі ГІС (у нашому випадку ArcGis 10.2) для визначення кількості пікселів площі горизонтальних проекцій крон дерев (N1). Визначення загальної кількості пікселів площі ділянки (N2) дає можливість отримати розрахункове значення горизонтальної зімкнутості насадження (Z), вираженого у відсотках або частках одиниці за формулами 1 і 2 відповідно.

$$Z = \frac{N_1}{N_2} \cdot 100\% \quad (1); \quad Z = \frac{N_1}{N_2} \quad (2).$$

1. Основні лісівничо-таксаційні показники дослідних ділянок

№ пор.	Квартал	Виділ	Склад насадження	Вік, років	Висота, м	Діаметр, см	Бонітет	Індекс типу лісу	Повнота
Бережанське районне державне агропромислове підприємство «Бережанирайагроліс»									
1	25	16	5Бкл2Дз1Бп1Клг1Гз	11	2	2	Ia	Д ₂ ГБ	0,70
2	25	14	7Бкл3Гз+Клг+Чш	71	26	36	Ia	Д ₂ ГБ	0,70
3	25	13	6Бкл4Гз	30	13	16	I	Д ₂ ГБ	0,70
4	25	21	8Сз1Бп1Гз	10	3	4	I	С ₂ ГС	0,90
5	25	11	6Сз2Бкл2Гз	53	20	24	I	С ₂ ГС	0,70
ДП «Бережанське лісомисливське господарство» (Бережанське лісництво)									
6	27	16	10Влч+Дз+Лпд	38	10	16	III	Д ₄ Влч	0,7
7	27	2	6Бкл4Гз+Дз+Клг	81	26	36	I	Д ₂ ГБ	0,8
8	27	8	4Дз3Бкл3Гз+Мде	86	25	26	I	Д ₂ ГД	0,8
9	27	1	8Мде1Клг1Гз	18	8	10	Ia	Д ₂ ГД	0,7
10	27	4	4Бкл6Гз+Клг+Чш	76	26	36	I	Д ₂ ГБ	0,8

Визначення зімкнутості насаджень для зазначених ділянок (це можуть бути площі цілих ділянок або їх частини) дає змогу отримати середньозважений показник для цілої ділянки, на відміну від наявних методів, які дають результат лише для площі, що лежить у зоні видимості для дослідника. Це, на нашу думку, підвищує об'єктивність, точність і достовірність результатів підходу, який ми запропонували.

Одержану таким чином інформацію можна використовувати для потреб лісо- та парковпорядкування, визначення планувальної структури лісопаркових насаджень, а також для виконання інших наукових досліджень.

Результати дослідження та їх обговорення. Для визначення горизонтальної зімкнутості деревостану проводили автоматизований розрахунок відношення кількості пікселів, що належать до вкритих рослинністю площ, до загальної кількості пік-

селів дослідної ділянки за матеріалами БПЛА-знімання у ГІС ArcGis 10.2. Для одержання цієї інформації проводили керовану класифікацію методом навчальної вибірки з використанням способу «Мінімальна відстань» і розподілом пікселів на дві групи (вкриті й не вкриті рослинністю площі). Процес виконання класифікації фрагментів ортофотоплану ділянки у середовищі ГІС ArcGis 10.2 наведено на рис. 1, а результати класифікації – на рис. 2.

Для аналізу якості результатів визначення горизонтальної зімкнутості деревостану проведено їх порівняння із значеннями повноти за даними таксаційного опису для кожної ділянки (табл. 2). Такий підхід відповідає результатам досліджень окремих авторів (Rylskiy, 2018; Tolkach & Bakhur, 2013), які рекомендують повноту насадження визначати через зімкнутість крон завдяки тому, що ці показники перебувають у тісному кореляційно-

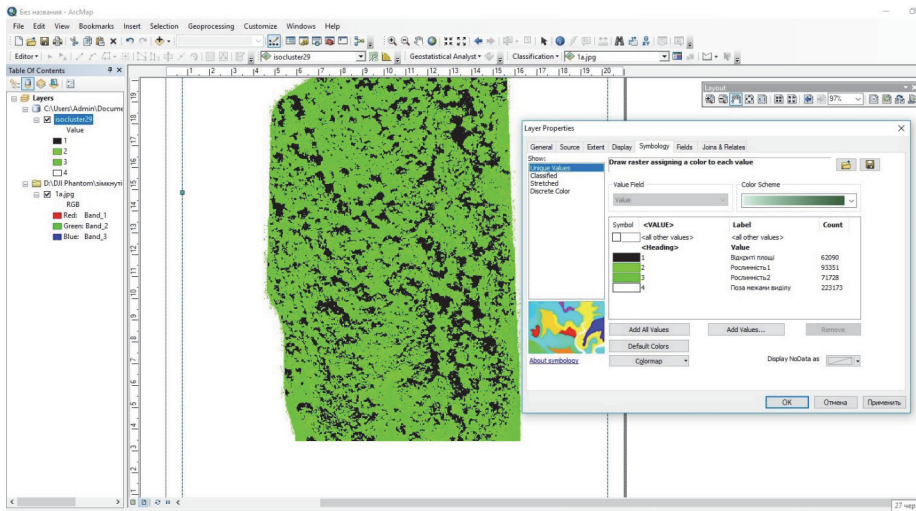


Рис. 1. Робоче вікно програми у процесі класифікації

му зв'язку. При цьому слід враховувати відомий факт (Anuchin, 1982), що в молодняках зімкнутість зазвичай вища, ніж повнота, в середньовікових і пристигаючих деревостанах ці показники наближено збігаються, а у стиглих і перестійних деревостанах повнота вища, ніж зімкнутість.

Проведений аналіз даних табл. 2 засвідчив, що зімкнутість, визначена за цією методикою, в цілому дає вищі значення за повноту. При цьому розбіжності лежать у межах таксаційної похибки (допустима до одиниці повноти). Слід також зауважити більші відхилення для насаджень з участю сосни звичайної (як

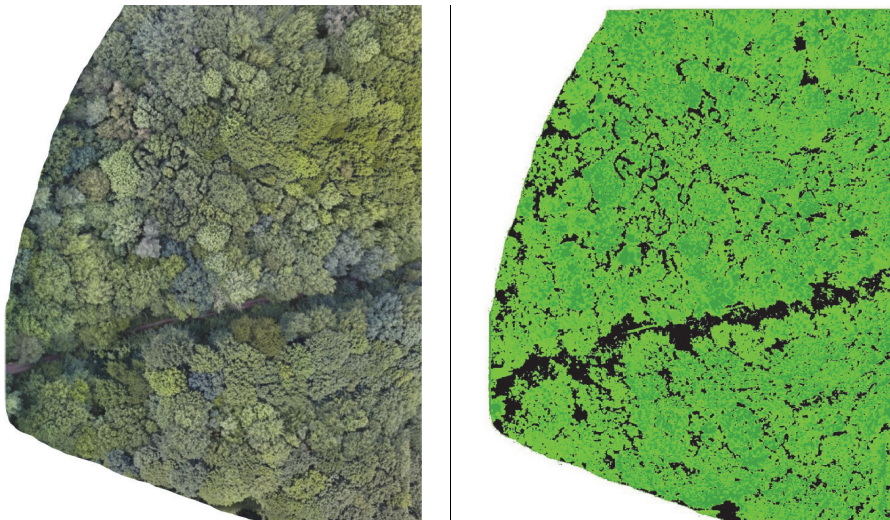


Рис. 2. Порівняння матеріалів БПЛА-знімання і результатів класифікації на прикладі дослідної ділянки № 7 (лісове насадження)

виду з ажурною кроною). Залежності між розрахунковою горизонтальною зімкнутістю за матеріалами БПЛА-знімання та повнотою відповідно до таксаційного опису можна виразити поліноміальним рівнянням 3 із величиною достовірності апроксимації $R^2 = 0,78$.

$$P = 184,65Z^3 - 404,84Z^2 + 295,45Z - 71,07 \quad (3)$$

Ці результати узгоджуються із висновками, отриманими іншими авторами у процесі аналізу матеріалів ДЗЗ лазерного сканування за результатами аерознімання (Rylskiy, 2018) та за космічними знімками високої роздільної здатності (Tolkach & Bakhur, 2013) для визначення зімкнутості намету та повноти деревостану. Тому ми підтвердили можливість використання також матеріалів **знімання** з БПЛА для цих цілей.

Слід зазначити, що специфіка **знімання** з квадрокоптера обмежує те-

риторію, що підлягає обстеженню, до 20–30 га за один політ (за висоти знімання 100 м). Це, своєю чергою, обмежує можливості застосування цього підходу для дослідження окремих ділянок із метою обґрунтування призначення рубок, уточнення зімкнутості та інших досліджень на невеликих територіях. Крім того, цей підхід не рекомендують використовувати для некритих лісовою рослинністю земель. Тому потрібно проводити попереднє дешифрування ортофотоплану з виокремленням ділянок, які не підлягають дослідженню.

Ми додатково провели дослідження можливості визначення зімкнутості крон для об'єктів благоустрою як важливого показника для обґрунтованого проектування композиційних прийомів і визначення балансу території на прикладі центрального скверу у м. Березани (Тернопільська

2. Результати визначення зімкнутості за даними БПЛА-знімання на дослідних ділянках

№ ділянки	Ділянка		Пікселі I класу (рослинність)	Пікселі II класу (не вкриті рослинністю)	Сума пікселів	Відношення II кл./I кл.	Розрахункова зімкнутість, Z	Повнота за таксаційним описом	Різниця, %
	Квартал	Виділ							
Бережанське районне державне агропромислове підприємство «Бережанирайагроліс»									
1	25	16	165079	62090	227169	0,376	0,727	0,7	3,8
2	25	14	629337	288947	918284	0,459	0,685	0,7	-2,1
3	25	13	362124	131235	493359	0,362	0,734	0,7	4,9
4	25	21	212452	46325	258777	0,218	0,821	0,8	2,6
5	25	11	85970	26852	112822	0,312	0,762	0,7	8,9
ДП «Бережанське лісомисливське господарство» (Бережанське лісництво)									
6	27	16	465166	114273	579439	0,246	0,803	0,7	14,7
7	27	2	353932	72707	426639	0,205	0,830	0,9	-10,1
8	27	8	795047	179531	974578	0,226	0,816	0,8	2,0
9	27	1	688254	189986	878240	0,276	0,784	0,7	12,0
10	27	4	178127	35425	213552	0,199	0,834	0,8	4,3

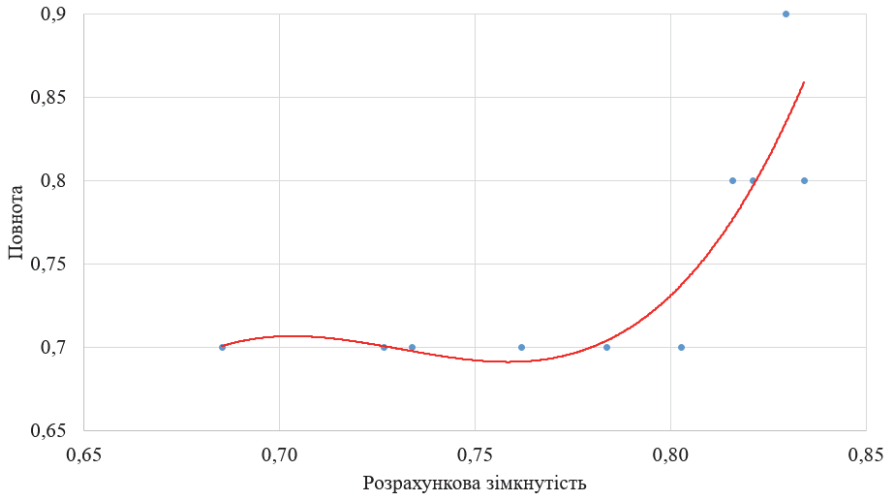


Рис. 3. Графік взаємозв'язку між повнотою деревостану та розрахунковою зімкнутістю намету

область). Для цього за вищезгаданою методикою побудовано ортофотоплан за матеріалами БПЛА-знімання (рис. 4А), проведено керовану класифікацію за п'ятьма класами (деревно-кущові рослини, трав'яне, ґрунтове і тверде покриття та інші території), що наведена на рис. 4Б та може бути використана для визначення балансу території, а також виокремлено деревно-кущову рослинність для визначення зімкнутості крон (рис. 4В). Результати обчислення балансу території для цієї ділянки наведено в табл.

3. Розрахункова зімкнутість крон для цієї ділянки (відношення кількості пікселів класу деревно-чагарникової рослинності до загальної кількості пікселів) становить 0,41.

На нашу думку, пропонуване рішення визначення зімкнутості деревостану дає змогу виправляти неточності традиційних методів, які використовують під час проведення лісо- та парковпорядкування. При цьому, використання матеріалів БПЛА-знімання у середовищі ГІС дає змогу прискорювати, підвищува-

3. Розрахунок балансу території скверу за даними БПЛА-знімання

№ пор.	Назва елемента	Кількість пікселів	Площа, м ²	% території
1	Дорожньо-стежкова мережа (тверді покриття)	13232	1218	15,9
2	Ґрунтове покриття	2547	235	3,1
3	Зелені насадження, у т. ч.:	63870	5881	76,8
	Деревно-кущова рослинність	34495	3176	41,5
	Газон	29375	2705	35,3
4	Інші типи покриття	3540	326	4,3
	Загальна площа	83189	7660	100

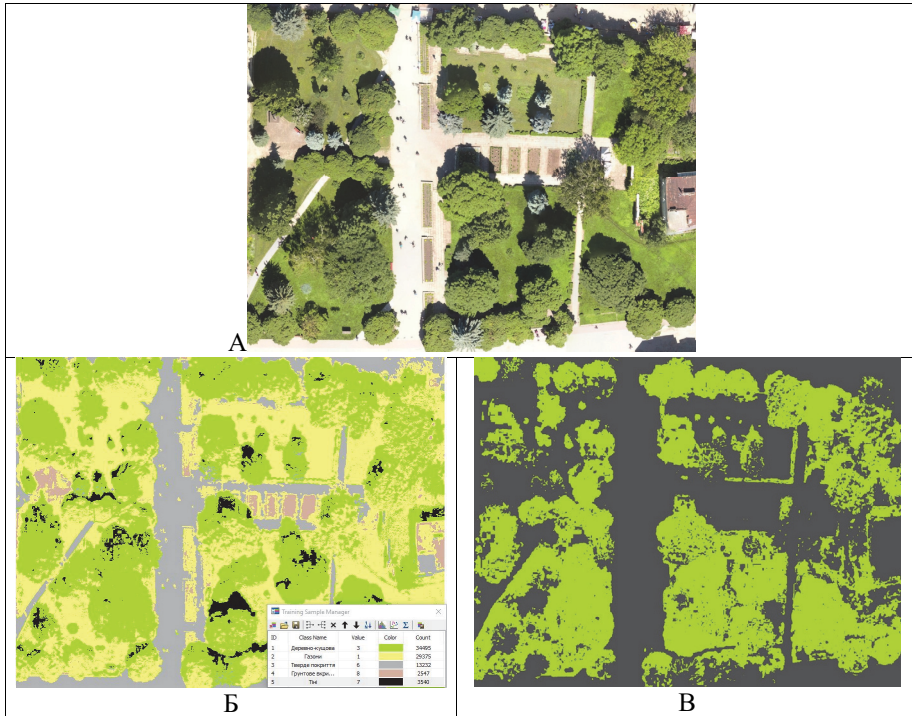


Рис. 4. Результати класифікації БПЛА-знімання зелених насаджень центрального скверу у м. Бережани

ти якість вимірювань унаслідок аналізу всієї території ділянки (виділу) та уникати суб'єктивності одержаних результатів завдяки комп'ютерному обробленню даних. Крім того, одержані результати **знімання** та класифікації території можуть зберігатись у цифровому вигляді для побудови картографічних матеріалів, подальших досліджень, моніторингу змін зімкнутості та архівуватись для підтверджувальних документів.

Висновки і перспективи. Результати проведеного дослідження відповідають загальній тенденції одержаних висновків щодо перспективи використання матеріалів ДЗЗ (у т. ч. результатів БПЛА-знімання) для визначення лісівничо-таксаційних показників насаджень. Новизною за-

пропонованого підходу є те, що опрацювання інформації здійснюється за прив'язаними до системи глобального позиціонування матеріалами аерофотознімання (ортофотоплан) із безпілотного літального апарату у середовищі геоінформаційної системи з наступним визначенням відношення кількості пікселів, що належать до вкритих рослинністю площ, до загальної кількості пікселів дослідної ділянки та збереженням просторової інформації в цифровому вигляді для подальших досліджень.

Використання запропонованого нами підходу для дослідження лісових і паркових насаджень дає змогу проводити визначення горизонтальної зімкнутості насаджень зі зменшенням трудомісткості польових робіт,

автоматизувати процес отримання інформації та підвищити її якість та точність. Такий спосіб може бути корисним для потреб лісо- та парковпорядкування, визначення планувальної структури лісопаркових насаджень, балансу території, а також для проведення інших наукових досліджень. За матеріалами проведених робіт розроблено та запатентовано корисну модель «Спосіб визначення горизонтальної зімкнутості деревостану» (Bidolakh et al., 2019).

Список літератури

- Anuchin, N. P. (1982). *Forest taxation*. Textbook for high schools (5-th edition supplemented). Moskva: Forest industry [in Russian].
- Bidolakh, D. I., Kuziovych, V. S., & Bilous, A. M. (2019). The method of horizontal closure of stand determining (Patent V. 5). Pat. 131980 UA, МПК (2018/01) A01G 23/00 (2006.01) G01B 11/24) [in Ukrainian].
- Bidolakh, D. I., Kuzjovych, V. S., & Ostapchuk, O. S. (2018). Landscape and architectural research of parks using modern technologies. *RS Global*, 6 (24), 3, 7–12. https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/12062018/5760
- Canham, C. D., Kobe, R. K., Latty, E. F., & Chazdon, R. L. (1999). Interspecific and Intraspecific Variation in Tree Seedling Survival: Effects of Allocation to Roots versus Carbohydrate Reserves. *Oecologia*, 121 (1), 1–11. Retrieved from www.jstor.org/stable/4222434.
- Davies, O., & Pommerening, A. (2008). The contribution of structural indices to the modelling of Sitka spruce (*Picea sitchensis*) and birch (*Betula* spp.) crowns. *Forest Ecology and Management*, 256 (1–2), 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.052>
- Girs, O. A., Myronyuk, V. V., & Kutya, M. M. (2012). Forest park identification of Kyiv green zone using remote sensing data. *Science reports of NULES of Ukraine*, 7, 36 [in Ukrainian].
- Hernandez, J. G., Gonzalez-Ferreiro, E., Sarmiento, A., Silva, J., Nunes, A., Correia, A. C., ... 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>
- Khokthong, W., Zemp, D. C., Irawan, B., Sundawati, L., Kreft, H., & Hölscher, D. (2019). Drone-Based Assessment of Canopy Cover for Analyzing Tree Mortality in an Oil Palm Agroforest. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00012>
- Pretzsch, H., Biber, P., Uhl, E., Dahlhausen, J., Rötzer, T., Caldentey, J., ... Pauleit, S. (2015). Crown size and growing space requirement of common tree species in urban centres, parks, and forests. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14 (3), 466–479. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.04.006>
- Purves, D. W., Lichstein, J. W., & Pacala, S. W. (2007). Crown Plasticity and Competition for Canopy Space: A New Spatially Implicit Model Parameterized for 250 North American Tree Species. *PLOS ONE*, 2 (9), e870. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000870>
- Rylskiy, I. A. (2018). Approaches to the determination of taxation indicators of forests using aerospace images and lidar data. *InterCarto. InterGis*. 24 (2), 216–240 [in Russian]. <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2018-2-24-216-240>
- Sergeeva, O. S., Piankov, S. V., & Soboleva, E. B. (2002). Using gis-technologies in the inventory of green plantations (by the example of the city of perm). *Materials of international conference. Materials of international conference*. InterKarto 8: GIS for sustainable development of territories, Helsinki; Sankt-Petersburg [in Russian].
- Sevko, O., & Kotsan, V. (2012). Assessment of the influence of spatial structure on taxation indicators of stands using a digital

- model of spatial distribution of stands. *Works by BGTU*, 1, 57–59 [in Russian].
- Thorpe, H. C., Astrup, R., Trowbridge, A., & Coates, K. D. (2010). Competition and tree crowns: A neighborhood analysis of three boreal tree species. *Forest Ecology and Management*, 259 (8), 1586–1596. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.01.035>
- Tolkach, I. V., & Bakhur, O. S. (2013). Estimation of basic taxation parameters by digital images using Quantum GIS. *Actual problems of the forest complex*, 37 [in Russian].
- Umarhadi, D. A., Danoedoro, P., Wicaksono, P., Widayani, P., Nurbandi, W., & Juniansah, A. (2018). The Comparison of Canopy Density Measurement Using UAV and Hemispherical Photography for Remote Sensing Based Mapping. *2018 4th International Conference on Science and Technology (ICST)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICSTC.2018.8528670>
- Yuskevych, T. V., Vytseha, R. R., & Hrynyk, H. H. (2019). The Dependence of Crown Indicators on Morphological and Taxonomic Parameters of pine trees of Introduced Species in Western Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29 (5), 75–81 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/40290515>
-

Bidolah, D. I., Bilous, A. M., Kuzevich, V. S. (2020). Determination of the canopy density of forest stand by the materials of UAV survey. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 11 (1), 13-29. <https://doi.org/10.31548/forest2020.01.013>.

The issues of improving the quality of determining the canopy density of the forest stand are relevant and have practical importance for forestry and horticulture. However, the eye examination of canopy is a subjective of its perception and use of instrumental methods makes this process more complex.

The aim of the study is to improve methods for determining the canopy density by increasing the quality and reliability of measurements by determining the weighted average value of density in the whole territory, as well as eliminating the subjectivity of performers. To achieve this goal, we propose the use of aerial photography of the territory from an unmanned aerial vehicle with the subsequent determination of the ratio of the area, which is under the tree crowns to the total area of the territory, which is achieved by processing the orthogonal photographic plan in the environment of the geographic information system.

The method, what we propose for determining the canopy density of the forest stand allows us to correct inaccuracies in traditional methods that we use in forest and park management. Moreover, the use of UAV survey materials in a GIS environment allows to improve the quality of measurements due to the analysis of the entire area of the territory and to avoid the subjectivity of the results due to computer processing of data.

The results of our study correspond to the general trend of the findings on the prospects of using remote sensing materials (including the results of UAV surveys) for determining the biometric indicators of forest stands. Our approach to research of the forest and park territories allows to determine the horizontal canopy density of the forest stand with a decrease in the complexity of field work, automate the process of obtaining information and increase the accuracy.

Keywords: tree stand closeness, planting completeness, unmanned aerial vehicle, GIS.

Отримано: 2020-01-22