



УДК 630*5

ТОЧНІСТЬ ВИБІРКОВОЇ ТАКСАЦІЇ ЛІСУ ЗАЛЕЖНО ВІД КОНФІГУРАЦІЇ ПРОБНИХ ДІЛЯНОК

В. В. МИРОНЮК, кандидат сільськогосподарських наук, докторант

А. М. БІЛОУС, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри таксації лісу та лісового менеджменту

П. П. ДЯЧУК*, аспірант кафедри таксації лісу та лісового менеджменту

К. Р. ФЕДИНА**, студентка магістратури

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: victor.myroniuk@nubip.edu.ua

<https://doi.org/10.31548/bio2018.05.018>

Запровадження методів лісової інвентаризації на статистичній основі має важливе значення для підвищення рівня інформаційної підтримки лісової галузі України. У зв'язку з цим у роботі виконано експериментальний аналіз точності таксації лісового фонду з використанням пробних площ різної конфігурації. Для досягнення поставленої мети на території Київської області створено експериментальний полігон, а в межах лісового фонду запроєктовано систематичну вибірку. Збір дослідних матеріалів здійснювався шляхом картографування дерев за допомогою польової ГІС-системи Field-Mar на кругових пробних ділянках площею 500 м². Одночасно з цим, як альтернатива, закладалися пробні площі за принципами реласкопічної таксації. Облік дерев із картографуванням їхнього розташування дозволив розрахувати параметри двох додаткових схем вибірки: концентричних пробних площ із різними вимогами стосовно радіуса підпроби та розмірів дерев, що підлягають обліку, а також комбінованої вибірки – поєднання кругових і реласкопічних пробних площ. Результати оцінки сум площ перерізів і кількості дерев на 1 га порівнювалися з аналогічними даними, встановленими на кругових пробних ділянках. Порівнюючи середні квадратичні та систематичні помилки, встановлено високу узгодженість результатів для концентричних пробних ділянок, які мають радіус основної проби 12,62 м. Випадкову помилку для оцінки сум площ перерізів, що не перевищує 1 м²га⁻¹, одержано також для комбінованих пробних площ, коли застосовувалося обмеження зони відбору дерев на основі радіуса 12,62 м і реласкопічного коефіцієнта BAF = 1. При збільшенні реласкопічного коефіцієнта або зменшенні радіуса проби середня квадратична помилка зростала до 6 м²га⁻¹. Оцінки суми площ перерізів на основі реласкопічного методу таксації виявилися заниженими в середньому на 4 м²га⁻¹, що зумовлено випадковим пропуском віддалених дерев. З урахуванням точності та трудових затрат визначено найефективніші методи вибірки.

Ключові слова: вибіркова інвентаризація лісу, кругові пробні площі, реласкопічна таксація, комбінована вибірка

* Науковий керівник – доктор сільськогосподарських наук А. М. Білоус

** Науковий керівник – кандидат сільськогосподарських наук В. В. МIRONЮК



Актуальність. Сучасні вимоги суспільства до точності та актуальності інформації про лісові ресурси потребують перегляду методів таксації лісу, що застосовуються на практиці. У системі лісовпорядкування нашої країни переважно використовується окомірний метод, точність якого складно піддається кількісній оцінці. Досить часто в літературі звертається увага на те, що запаси насаджень, встановлені на основі цього підходу під час виробничої таксації лісу, виявляються заниженими [7]. Отже, удосконалення методів обліку лісових ресурсів можливе тільки з використанням об'єктивних даних лісової інвентаризації, точність якої відома та планується заздалегідь. У зв'язку з цим у світовій практиці велика увага приділяється дослідженню вибірково-статистичних схем обліку лісових ресурсів. Нині лісовій таксації відомо багато методів вибірових вимірювань, які мають відмінності в теоретичній основі, методиці польових робіт, а також технології обробки результатів. В умовах, коли в Україні широко обговорюється доцільність запровадження національної лісової інвентаризації на статистичній основі, науковий аналіз різних підходів стосовно вибіркової таксації лісу є особливо актуальним. У зв'язку з цим, у роботі виконано порівняльну оцінку точності визначення ключових таксаційних показників деревостанів за різних конфігурацій пробних ділянок.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У ході розвитку вибірових методів таксації лісового фонду відбувся поступовий перехід від облікових одиниць великого розміру у вигляді стрічок чи прямокутних пробних площ до вибірки на основі ділянок незначного розміру. Завдяки цьому покращується репрезентативність одержаних результатів. Яскравим прикладом постійної адаптації методичних принципів інвентаризації лісу відповідно до реальних запитів суспільства та рівня науково-технічного прогресу є система обліку

лісів Фінляндії [4]. У сучасних умовах загальноприйнятими є пробні площі у вигляді круга. За висновками багатьох вчених така форма вибірових одиниць під час вибіркової інвентаризації лісу відрізняється певними перевагами. У роботі литовських вчених [2] відзначено щонайменше три з них: мінімальне співвідношення між периметром і площею, що позначається на меншій кількості дерев, які потрапляють на границю ділянки порівняно з будь-якою іншою формою (прямокутні, стрічкові); легке закріплення та виявлення в природі, оскільки для цього необхідно тільки зафіксувати центр площадки; мінімальні витрати часу на технічні роботи із встановлення границь ділянки в природі.

До цього часу єдиної думки стосовно розміру кругових ділянок не існує. Більшість дослідників схиляється до думки, що кількість облікових дерев на вибірових одиницях не повинна перевищувати 20–30 дерев. Крім додаткових витрат часу на закладання пробних ділянок, зі збільшенням їхньої площі збільшується ймовірність пропуску дерев, які повинні бути обліковані на пробі. У цьому відношенні вченими були запропоновані та апробовані на практиці пробні площі змінного радіуса, але з постійною кількістю дерев. За висновками досліджень, виконаних на території України, відзначається, що на таких пробах необхідно обліковувати в середньому 7 дерев [3]. Більшість учених збігаються на думці, що оптимізація розміру повинна враховувати збереження необхідного рівня точності та часу на виконання польових робіт [5].

У той час, як кількість облікових дерев на кругових ділянках залежить від їхньої площі, цей показник для реласкопічних (кутомірних) проб залежить від величини реласкопічного коефіцієнта (BAF). Рекомендації стосовно вибору оптимальної величини BAF викладені у відповідних нормативних матеріалах для інвентаризації лісу



[1]. У країнах Західної та Північної Європи практикується вибіркова інвентаризація лісу на основі кутомірних шаблонів із величиною VAF від 1,5 до 4 [8]. Застосування більших реласкопічних коефіцієнтів має цілком логічне пояснення [2, 4]: зменшується кількість випадків, коли облікові дерева закриті іншими, що розташовуються ближче до центра облікової ділянки; полегшується перевірка та зменшується кількість сумнівних дерев, розташованих на межі ділянки; зменшується мінливість помилки за рахунок «крайового» ефекту.

Із урахуванням зазначених особливостей в теорії статистичної інвентаризації лісів обґрунтовано комбіновані методи. Найпростішим є поєднання кругових пробних площ різного радіуса. При цьому одночасно зі зменшенням радіуса проби понижуються верхня межа діаметра дерев, які на них обліковуються. Основна перевага концентричних проб в тому, що скорочуються витрати на обмір дерев незначних розмірів із мінімальними втратами точності методу. Відповідно до [8] концентричні кругові пробні площі використовуються приблизно в 90 % національних інвентаризацій лісів у всьому світі.

Із цієї ж причини в Фінляндії отримали розвитку комбіновані методи інвентаризації, що поєднують принципи кругової та реласкопічної вибірки. Обмеження зони відбору облікових дерев на основі проб постійного радіуса та певного реласкопічного коефіцієнта відоме в літературі під терміном «truncated angle sampling» – відбір усеченим кутом. Поширеним цей метод став завдяки розвитку інвентаризації лісів Фінляндії, де практикуються пробні площі з реласкопічним коефіцієнтом 1,5 або 2. З цими коефіцієнтами співвідносять радіуси проб відповідно 12,45 та 12,52 м, а також максимальні діаметри дерев 35,4 та 30,5 см, більше від яких виконується коригування розрахунків, щоб одержати незміщені оцінки. Таким чином, дерева менші від вказаних

розмірів обліковуються за принципами реласкопічної вибірки, більших діаметрів – пробних площ постійного радіуса. Нині широко обговорюються й інші варіанти комбінованої вибірки із застосуванням різних граничних радіусів пробних площ і діаметрів дерев, оскільки оптимальна конфігурація пробних ділянок залежить від просторової структури лісових насаджень [5].

Мега дослідження передбачає порівняння точності технології інвентаризації лісу на основі методів відбору дерев із імовірністю, пропорційній їхній кількості (кругові пробні площі постійного радіуса, концентричні проби) та розмірам (реласкопічні ділянки, комбіновані проби).

Матеріали і методи дослідження. Аналіз точності вибіркової лісової інвентаризації за різної конфігурації вибіркової одиниці виконувався із залученням емпіричного матеріалу, який зібрано науковцями кафедри таксації лісу та лісового менеджменту НУБіП України на експериментальному полігоні Київської області протягом 2017 – 2018 рр. Територіально полігон розташовується між значеннями довготи 30° 00' Сх та 30° 12' Сх і широти 50° 12' Пн та 50° 20' Пн. Просторову основу вибірки формує систематична мережа вибіркової одиниці, які розміщуються у вершинах прямокутної сітки з інтервалом 1□ за широтою та довготою. На території досліджень переважають деревостани сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) з незначною домішкою таких деревних видів як дуб звичайний (*Quercus robur* L.), береза повисла (*Betula pendula* Roth.), вільха чорна (*Alnus glutinosa* L.), осика (*Populus tremula* L.) та дуб червоний (*Quercus rubra* L.). Під час збору дослідних даних застосовувалося два принципи таксації лісу – відбір, пропорційний кількості та розмірам дерев.

Масив даних включає 156 кругових ділянок радіусом 12,62 м, на яких виконано картографування дерев із використанням програмного комплексу Field-Mar. Таким



чином, кожне дерево розглядалося як точка з приписаними локальними координатами X та Y , які, в решті решт, було спроектовано до спільної системи координат проєкцій EPSG:32636. Незалежно від цього виконувався облік дерев за принципами реласкопічної вибірки з величиною реласкопічного коефіцієнта $BAF = 1$. Для всіх облікових дерев вимірювалися діаметри дерев на висоті 1,3 м. Для модельних дерев, які випадково відбиралися з числа облікових різних класів діаметра (приблизно $\frac{1}{4}$ від загальної кількості) додатково вимірювалася висота стовбура.

Обробка матеріалів такації лісових насаджень здійснювалася в системі R v.3.5.1 за розробленими алгоритмами, у результаті чого встановлено середні значення сум площ поперечних перерізів і кількості дерев на 1 га. Представлення даних у форматі ГІС дозволило розглянути ефективність різних схем конфігурації вибірових ділянок (табл. 1). Використовуючи координати розташування облікових дерев, на підставі формули (1) визначено відстань від центра ділянки до кожного з них, а, отже, й приналежність до відповідної пробної площі:

$$L_{ij} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}, \quad (1)$$

де L_{ij} – відстань від i -того дерева до центра j -тої вибірової ділянки, м; X_i, Y_i – координати i -того облікового дерева, м; X_j, Y_j – координати центра j -тої вибірової ділянки.

Враховуючи таку різноплановість технології польових вимірювань, варто докладніше зупинитися на методиці попередньої такаційної обробки зібраних матеріалів. Із метою розуміння теорії статистичної вибірки в контексті інвентаризації лісових ресурсів звернемося до концепції «зони відбору» (inclusion zone) [6]. Відповідно до неї кожне дерево в лісовому насажденні має певну зону відбору, яка визначає ймовірність того, що воно потрапить до вибірки. Ця зона є однаковою для всіх дерев у насажденні під час закладання проб постійного радіуса. У випадку пробних площ змінного радіуса – прикладу реалізації відбору з різною ймовірністю, зона відбору змінюється від дерева до дерева та залежить від їхніх розмірів (частіше діаметра на висоті 1,3 м). Оскільки результати вимірювань під час інвентаризації лісу

1. Параметри конфігурацій пробних ділянок вибірової інвентаризації лісу

Шифр конфігурації вибірових ділянок	Параметри вибірових одиниць				
	основна проба			підпроба	
	радіус проби, м	діаметр облікових дерев, см	BAF	радіус підпроби, м	діаметр облікових дерев, см
F 1262-8	12,62	≥ 8,0	–	–	–
N 398-12	12,62	≥ 12,0	–	3,98	6,0-11,9
N 564-12	12,62	≥ 12,0	–	5,64	6,0-11,9
N 798-12	12,62	≥ 12,0	–	7,98	6,0-11,9
N 564-977-12	9,77	≥ 12,0	–	5,64	6,0-11,9
TA 1262-1	12,62	≥ 8,0	1	–	–
TA 1262-2	12,62	≥ 8,0	2	–	–
TA 1128-1	11,28	≥ 8,0	1	–	–
TA 977-1	9,77	≥ 8,0	1	–	–
AC-1	–	≥ 8,0	1	–	–



прийнято виражати у перерахунку на одиницю площі, кожне облікове дерево забезпечує певний внесок на 1 га відповідно до наведеного співвідношення:

$$TF_i = \frac{10000}{IZ_i}, \quad (2)$$

де TF_i – перевідний коефіцієнт для i -того дерева на 1 га (tree factor); IZ_i – зона відбору i -того дерева, м².

Наведений у рівнянні (2) перевідний коефіцієнт пов'язаний із типом пробних площ, тобто може бути сталою величиною або змінюватися залежно від розмірів дерева. Перерахунок результатів обліку дерев на 1 га для пробних площ постійного радіуса елементарний, а з урахуванням викладеної теорії здійснюється за допомогою перевідного коефіцієнта $TF = \frac{10000}{500} = 20$, оскільки для всіх дерев на пробі радіусом 12,62 м $IZ = 500$ м². У такому випадку для концентричних пробних ділянок застосовується два перевідних коефіцієнта – один для основної проби, другий – підпроби.

За аналогією до проб постійного радіуса для реласкопічних пробних площ теж існує кругова зона відбору для кожного дерева. Проте, радіус цієї зони є пропорційним діаметру на висоті 1,3 м і змінюється від дерева до дерева. Таким чином, до вибірки найімовірніше потраплять дерева з більшим діаметром, оскільки вони мають більшу зону відбору. Концептуальну основу методу Біттерліха утворює співвідношення, яке існує між діаметрами дерев і відстанню до них від центра площадки:

$$\frac{d_i}{R_i} = \frac{1}{c}, \quad (3)$$

де d_i – діаметр i -того дерева; R_i – відстань до i -того дерева від центра проби; c – сталий коефіцієнт (plot radius factor), для $BAF = 1$ становить 50.

Отже, облікові дерева визначеного діаметра мають цілком реальну зону відбору,

площу якої можна встановити, беручи до уваги співвідношення (4):

$$IZ_i = \pi \cdot R_i^2 = \pi \cdot c^2 \cdot d_i^2. \quad (4)$$

Легко перекоонатися, що перевідним коефіцієнтом для будь-якого таксаційного показника на 1 га є величина, обернено пропорційна площі поперечного перерізу деревного стовбура:

$$TF_i = \frac{10000}{\pi \cdot c^2 \cdot d_i^2} = \frac{2500}{c^2} \cdot \frac{4}{\pi \cdot d_i^2} = \frac{2500}{c^2} \cdot \frac{1}{g_i} = BAF \cdot \frac{1}{g_i}, \quad (5)$$

де g_i – площа поперечного перерізу дерева з діаметром d_i .

Процедура розрахунку середніх значень таксаційних параметрів деревостану на 1 га для комбінованої вибірки є подібною до попереднього методу. Проте, у зв'язку з появою поняття максимального радіуса зони відбору (R_{max}), треба розглядати максимальне значення діаметра дерев (d_{max}), після якого формула (5) потребує коригування. Відповідно до формул (3) і (5) максимальний діаметр дерев обчислюється за співвідношенням:

$$d_{max} = \frac{R_{max}}{c} = \frac{R_{max} \cdot \sqrt{BAF}}{50}. \quad (6)$$

$$\text{Звідси} \quad R_{max} = \frac{50 \cdot d_{max}}{\sqrt{BAF}}. \quad (7)$$

Якщо $d_i > d_{max}$, зона відбору дерева зменшується, а формула (5) набуває іншого вигляду:

$$TF_i = \frac{10000}{\pi \cdot R_{max}^2} = \frac{10000 \cdot BAF}{\pi \cdot 2500 \cdot d_{max}^2} = BAF \cdot \frac{4}{\pi \cdot d_{max}^2} = BAF \cdot \frac{1}{g_{max}}. \quad (8)$$

Аналіз результатів таксації лісових насаджень за різних конфігурацій пробних ділянок виконувався на основі порівняння оцінок таксаційних показників із відповідними даними, одержаними на пробних площах постійного радіуса (12,62 м). Кількісну



оцінку узгодження результатів зроблено на основі середнього квадратичного значення відхилень між сумами площ поперечних перерізів і кількістю дерев на 1 га на відповідній вибірковій одиниці.

Результати дослідження та їх обговорення. Переваги концентричних пробних площ (nested plots) найбільше проявляються для природних деревостанів, де спостерігається обернений J-подібний розподіл та значне накопичення дерев з невеликими значеннями діаметра. Проте, ефективність цієї схеми відбору проявляється також для насаджень іншої параметричної структури, у зв'язку з цим вона широко застосовується в статистичній інвентаризації лісів багатьох країн [8]. Поєднуючи кілька зон відбору, можна оптимізувати співвідношення дерев різних розмірів у вибірці та витрат на закладання проб. Це досягається за рахунок зменшення розміру проби меншого радіуса та збільшення діаметра дерев, які на ній обліковуються. За висновками останніх досліджень фінських вчених [5] доведено, що різниця в точності при збільшенні граничних розмірів дерев на підпробі радіусом 5,64 м з 7,5 до 9,5 см є неістотною. Враховуючи цю обста-

вину, проаналізовано на скільки позначається на точності оцінки сум площ перерізів і густоти насаджень зміна радіуса підпроби з 3,98 м до 7,98 м при граничному діаметрі дерев 12 см (табл. 2). Радіус підпроби 1,78 м не розглядався через велику ймовірність появи екстремальних значень суми площ перерізів і, особливо, кількості дерев на 1 га, оскільки перевідний коефіцієнт для кожного облікового дерева за такого радіуса становить $TF = 1000$.

Дослідження особливостей комбінованої вибірки полягало в одночасному аналізі впливу на точність величини реласкопічного коефіцієнта та максимального радіуса, який обмежує зону відбору дерев. Цей радіус усікає критичний кут, за допомогою якого виконується відбір дерев у насадженні (звідси – truncated angle sampling). Отже, для проб фіксованої площі ймовірність відбору дерев залежить від радіуса проб і густоти деревостану, для реласкопічних проб – від величини критичного кута (ширини прицільної рамки повнотоміра) та розмірів дерев (зазвичай, діаметра на висоті 1,3 м), то для комбінованих – одночасно від максимального радіуса зони відбору, критичного кута та діаметра дерев.

2. Точність оцінки сум площ перерізів і кількості дерев на 1 га за різних конфігурацій пробних ділянок

Шифр конфігурації вибіркових ділянок	Кількість облікових дерев	Середня квадратична помилка		Систематична помилка	
		м ² га ⁻¹	шт.га ⁻¹	м ² га ⁻¹	шт.га ⁻¹
F 1262-8	2851	–	–	–	–
N 398-12	2713	0,5	74	0,0	1
N 564-12	2736	0,5	54	0,0	5
N 798-12	2772	0,2	30	0,0	4
N 564-977-12	1722	4,9	93	-11	-121
TA 1262-1	2412	1,1	82	0,3	14
TA 1262-2	1833	3,1	130	0,3	10
TA 1128-1	2078	4,1	89	1,0	22
TA 977-1	1644	5,7	96	1,0	21
AC-1	4097	7,9	89	-4,0	-15

Порівняння результатів таксації деревостанів на основі проб фіксованої площі наведено на рисунку 1. Найбільш узгоджені оцінки обох аналізованих показників забезпечує конфігурація ділянок N 798–12. Із практичних міркувань і можливості реалізації обраної схеми відбору на практиці перевагу варто віддати варіантам із меншим радіусом додаткової проби. Звичайно, об'єктивний висновок може бути одержано лише після аналізу хронометричних показників, утім, статистично виправданою в контексті обчислення суми площ перерізів чи запасів деревостанів є схема N 398–12. Порівняно з найближчим конкурентом N 564–12 її перевагою є менший радіус підпроби та кількість облікових дерев, що потрапили до вибірки (2713 проти 2736 облікових дерев). Аналіз конфігурації ділянок N 564–977–12, близької за своїми параметрами до нової прийнятої форми облікових одиниць в національній інвентаризації лісів Фінляндії в 2014 році [5], засвідчила абсолютну непридатність для умов експериментального полігону. Для обох аналізованих показників спостерігається велика мін-

ливистість і значне систематичне заниження результатів. Отже, на основі цього можна констатувати про істотний вплив зменшення площі основної проби на точність одержаних оцінок. При зміні граничних діаметрів дерев, що відбираються на підпробі, в діапазоні від 10 до 12 см принципових відмінностей не спостерігається.

Метод комбінованої вибірки характеризується істотно більшою мінливистістю оцінок таксаційних показників (рис. 2). Закономірно вона зростає зі збільшенням реласкопічного коефіцієнта (варіант ТА 1262–2) та зменшенням зони відбору (варіант ТА 977–1). Певним компромісом серед усіх аналізованих схем може бути варіант ТА 1262–1, на основі якого досягається незначне середнє квадратичне відхилення оцінок сум площ перерізів дерев на 1 га ($0,3 \text{ м}^2 \cdot \text{га}^{-1}$), та мінімальний обсяг вибірки (2412 дерев).

Результати обліку дерев на реласкопічних пробних площах (АС-1) із величиною $BAF = 1$ характеризуються на багато більшою дисперсією. Певну мінливистість до оцінок сум площ перерізів і кількості дерев додають деревні види, які зростають в складі

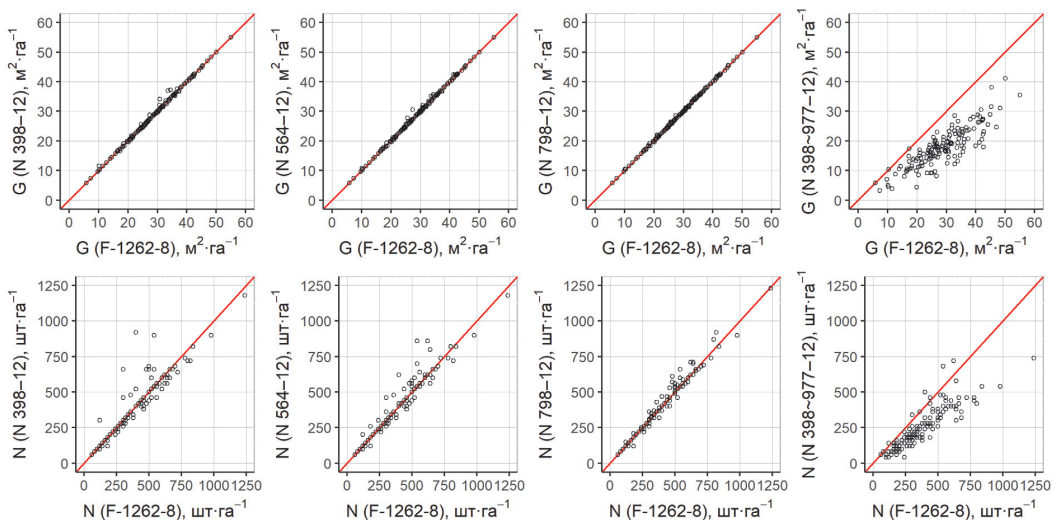


Рис. 1. Співвідношення між сумами площ перерізів і кількістю дерев на 1 га за різних конфігурацій пробних ділянок фіксованої площі.

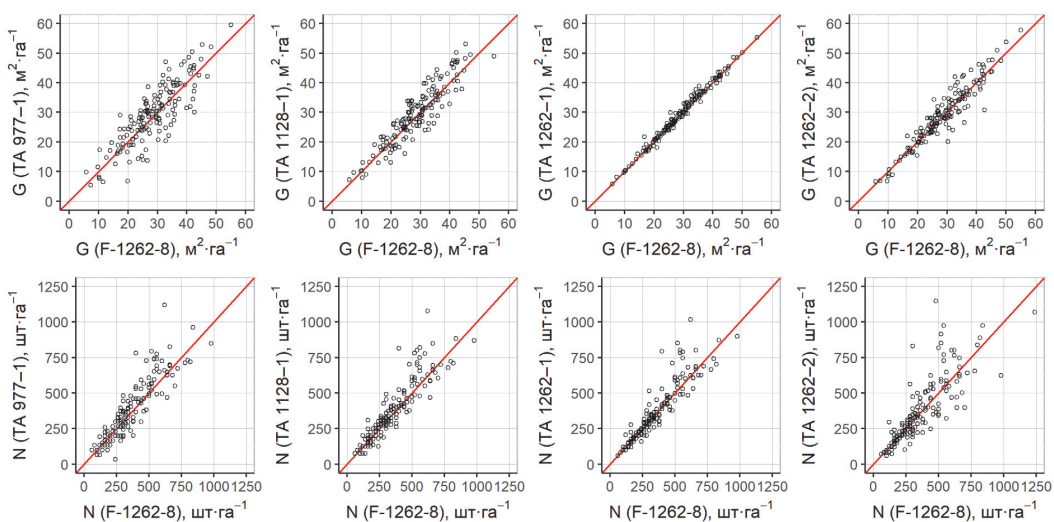


Рис. 2. Співвідношення між сумами площ перерізів і кількістю дерев на 1 га за різних конфігурацій комбінованих пробних площ і кругових ділянок постійного радіуса.

соснових деревостанів експериментального полігону. Порівняння середніх значень показників на 1 га для всіх елементів лісу та тільки сосни звичайної, яка домінує в лісових насадженнях, відображено на рис. 3. При цьому треба відзначити певне зменшення мінливості результатів прогнозу та концентрації спостережень навколо лінії 1:1.

Пробні ділянки, закладені на основі реласкопічної вибірки, відрізняє відсутність фактичної площі як такої, тобто відстань від центра проби до облікового дерева не лімітується жодним радіусом, а залежить тільки від діаметра дерева та реласко-

пічного коефіцієнта. Отже, облікові дерева більших розмірів можуть бути достатньо віддалені від точки спостереження. В окремих випадках вони взагалі закриті для огляду іншими деревами, підростом чи щільним підліском. Все це збільшує кількість сумнівних дерев, для яких необхідно виконувати додаткові заміри відстані, щоб прийняти рішення про включення до вибірки. Проведені дослідження вказують, що частина облікових дерев, все ж, пропускається під час обліку. Звідси – певне заниження оцінок сум площ поперечних перерізів і кількості дерев на 1 га (табл. 2).

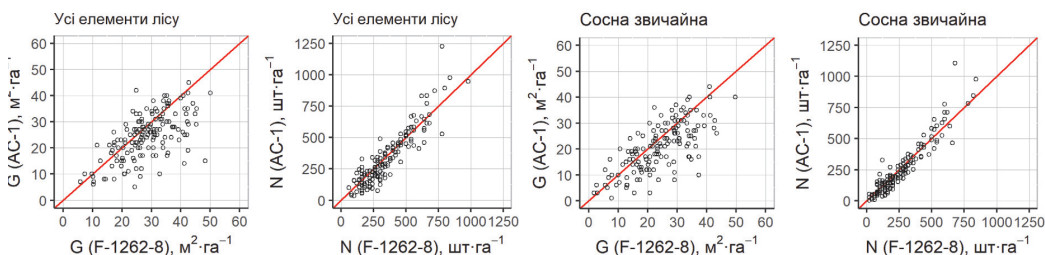


Рис. 3. Порівняння результатів таксації деревостанів на реласкопічних і кругових пробних площах постійного радіуса.



Висновки і перспективи. Виконані дослідження створюють певні орієнтири стосовно оптимальних схем вибіркової інвентаризації лісів. Зокрема, доведено ефективність поширеної під час статистичного обліку лісів конфігурації пробних ділянок у вигляді двох концентричних кіл, які оптимізують співвідношення між обсягом польових робіт і точністю статистичних оцінок. Нами встановлено, що точність таксації насаджень на основі проб фіксованої площі залежить від їхнього

радіусу, а реласкопічного методу таксації насаджень – від величини реласкопічного коефіцієнта. Серед використаних перспективними в контексті вибіркової інвентаризації лісів є конфігурації ділянок із радіусом основної проби 12,62 м: F 1262–8, TA 1262–1, N 564–12. Реласкопічну вибірку в «чистому вигляді» застосовувати не рекомендується, оскільки при цьому спостерігаються систематичне заниження сум площ перерізів і збільшується обсяг польових робіт в натурі.

Література

1. Лісотаксаційний довідник / за ред. С. М. Кашпора та А. А. Строчинського. Київ: Видавничий дім «Вінніченко», 2013. 496 с.
2. Нормативы точности и методы таксации древостоев / Антанайтис В. В. и др. Каунас, 1975. 76 с.
3. Швиденко А. З., Строчинский А. А. Обоснование нормативов выборки в системе выборочно-перечислительной таксации. Унификация лесоустроительных материалов: Сокращенные доклады зонального совещания. Каунас, 1974. С. 93–96.
4. Designing and Conducting a Forest Inventory - case: 9th National Forest Inventory of Finland / Tomppo E. et al. 2011. 270 p.
5. Effects of field plot configurations on the uncertainties of ALS-assisted forest resource estimates / Tomppo E. et al. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2017. Vol. 32(6). P. 488–500.
6. *Forest Mensuration: 5th ed.* / J. A. Kershaw et al. Hoboken, NJ, USA: Wiley-Blackwell, 2016. 630 p.
7. Kinnunen J., Maltamo M., Paivinen R. Standing volume estimates of forests in Russia: how accurate is the published data? *Forestry*. 2006. Vol. 80(1). P. 53–64.
8. National Forest Inventories: Pathways for Common Reporting / E. Tomppo et al., 2010. 612 p.

References

1. Kershaw, J. A., Ducey, M. J., Beers, T., & Husch, B. (2016). *Forest Mensuration*, 5th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley-Blackwell.
2. Kinnunen, J., Maltamo, M., & Paivinen, R. (2006). Standing volume estimates of forests in Russia: how accurate is the published data? *Forestry*, 80(1), 53–64.
3. National Forest Inventories: Pathways for Common Reporting. (2010). 1-612. doi:10.1007/978-90-481-3233-1
4. Tomppo, E., Heikkinen, J., Henttonen, H. M., Ihalainen, A., Katila, M., Makela, H., . . . Vainikainen, N. (2011). Designing and Conducting a Forest Inventory - case: 9th National Forest Inventory of Finland. 21, 1-270.
5. Tomppo, E., Kuusinen, N., Makisara, K., Katila, M., & McRoberts, R. E. (2017). Effects of field plot configurations on the uncertainties of ALS-assisted forest resource estimates. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 32(6), 488-500. doi:10.1080/02827581.2016.1259425
6. Antanaitys, V. V., Zaunene, N. Y., Kuleshys, A. A., & Yuknys, R. A. (1975). Normatyvy tochnosti i metody taksatsii drevostoev [Standards for accuracy and methods of forest mensuration]. Kaunas, Lithuania, 76.
7. Lisotaksatsiyni dovidnyk [Forest mensuration handbook]. (2013). Kyiv, Ukraine, 496.
8. Shvydenko, A. Z., & Strohynskii, A. A. (1974). Obosnovanie normativov vyborки v sisteme vyborochno-perechyslitelnoi taksatsii [The rationale for standards of sample-based forest mensuration]. The unification of forest inventory reference data, Kaunas, Lithuania, 93–96.



SUMMARY

V. Myroniuk, A. Bilous, P. Diachuk, K. Fedyna. Accuracy of sample-based forest inventory obtained from different plot configurations. Biological Resources and Nature Management. 2018. 10, № 5–6. – P. 145–155. <https://doi.org/10.31548/bio2018.05.018>

Development of the methods of sample-based forest inventory is of great importance for Ukraine since it improves information support for forest sector. The paper presents the analysis of accuracy of different sampling approaches used for estimation of forest stands parameters. We established the study area in Kyiv region (Ukraine) and designed systematic grid covered forested area for sampling. The data were collected by Field-Map technology used for mapping the locations of all tally trees within circular plots of 500 m². As an option, we also sampled trees using angle-counting approach. Sampling trees accompanied by mapping allowed us to calculate the parameters of additional configurations of sample plots: nested plots with different criteria for radius and size of trees to be sampled and angle-count plots that com-

bine principles of fixed- and variable-area sampling. We compared estimated basal areas and stand density values with ones obtained on circular plots. The root square error and bias were rather small for nested plots with radius of 12.62 m. The random error that was not exceeded 1 m²·ha⁻¹ was obtained also for truncated angle plots that had maximum radius of 12.62 m and basal area factor of 1. We concluded that accuracy of sampling was decreasing for small area plots or if basal area factor >1 was used. The angle counting approach was biased on average of 4 m²·ha⁻¹ because of omission of some trees located a long distance from plot center. As result, we proposed for practical use the most reasonable configuration of sample plots.

Keywords: *sample-based forest inventory, fixed-area plots, angle-count sampling, truncated angle count plots*

АННОТАЦІЯ

В. В. Миронюк, А. М. Білоус, П. П. Дячук, К. Р. Федина. Точність виборочної таксації леса в залежності від конфігурації пробних площадок. Біоресурси і природокористування. 2018. 10, № 5–6. P. 145–155. <https://doi.org/10.31548/bio2018.05.018>

Внедрение методов лесной инвентаризации на статистической основе имеет важное значение для повышения уровня информационной поддержки лесной отрасли Украины. В связи с этим в работе выполнен экспериментальный анализ точности таксации лесного фонда с использованием пробных площадей различной конфигурации. Для достижения поставленной цели на территории Киевской области создан экспериментальный полигон, а в пределах лесного фонда запроектировано систематическую выборку. Сбор полевых материалов осуществлялся путем картирования деревьев с помощью полевой ГИС-системы Field-Map на круговых пробах площадью 500 м². Одновременно с этим, в качестве альтернативы, закладывались пробные площади по принципу реласкотической таксации. Учет деревьев с картированием их расположения позволил рассчитать параметры двух дополнительных схем выборки: концентрических пробных площадей с различными требованиями относительно радиуса подпробы и размеров деревьев, подлежащих учету, а также комбинированной выборки – сочетание круговых и реласкотических пробных площадей. Результаты оценки сумм

площадей сечений и количества деревьев на 1 га сравнивались с аналогичными данными, полученными на круговых пробах. Сравнивая средние квадратичные и систематические ошибки, получено высокую согласованность результатов для концентрических пробных участков, имеющих радиус основной пробы 12,62 м. Случайную ошибку, не превышающую 1 м²·га⁻¹ для оценки сумм площадей сечений получено также для комбинированных пробных площадей, при ограничении зоны отбора деревьев радиусом 12,62 м и реласкотическим коэффициентом BAF = 1. При увеличении реласкотического коэффициента или уменьшении радиуса пробы средняя квадратическая ошибка возростала до 6 м²·га⁻¹. Оценки сумм площадей сечений на основе реласкотического метода таксации оказались заниженными в среднем на 4 м²·га⁻¹, что обусловлено случайным пропуском отдаленных деревьев. С учетом точности и трудовых затрат определены наиболее эффективные методы выборки.

Ключевые слова: *выборочная инвентаризация леса, круговые пробные площади, реласкотическая таксация, комбинированная выборка*