

Application of a spatial dataset for monitoring invasive woody plant species in the forests of Transcarpathia, Ukraine

Andriy Mihaly, Vasyl Roman

Uzhhorod National University (Uzhhorod, Ukraine)

article info

key words

spatial dataset, GIS, invasive plant species, Transcarpathia, *Robinia pseudoacacia*, *Quercus rubra*.

correspondence to

Andriy Mihaly; Uzhhorod National University, 14 Universitetska Street, Uzhhorod, 88000, Ukraine;
Email: andriy.myhal@uzhnu.edu.ua;
orcid: 0000-0002-6319-1516

article history

Submitted: 31.05.2024. Revised: 20.06.2024. Accepted: 30.06.2024

cite as

Mihaly, A., V. Roman. 2024.
Application of a spatial dataset for monitoring invasive woody plant species in the forests of Transcarpathia, Ukraine.
GEO&BIO, 26: 139–148.
[Ukrainian, with English summary]

abstract

The paper describes and provides examples of the application of the developed spatial dataset on the spread of invasive woody plant species in the forests of Transcarpathia, Ukraine. The dataset was developed based on forest inventory data using the open source QGIS program, which performed digitisation of forest plantation plans of permanent forest users and overlay analysis. The created dataset contains 4212 records of the distribution of the following invasive woody plant species: black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), northern red oak (*Quercus rubra* L.), ash maple (*Acer negundo* L.), and brittle willow (*Salix fragilis* L.). The dataset contains information on the location of forest plots, silvicultural and taxonomic characteristics of stands with predominance and participation of invasive woody plant species. The created spatial dataset was used to study the distribution of invasive woody species of black locust and northern red oak in Transcarpathia by geobotanical and floristic zones. The results of the study showed that the most favourable conditions for the distribution of black locust are the area of beech-oak and oak-beech foothill forests of the Volcanic Range of the Ukrainian Carpathians within Transcarpathia, as well as the Transcarpathian Plain forest area. Unlike the artificially created northern red oak forests, the distribution of the black locust in the study area is primarily due to its biological properties, specifics of environmental relationships and of forestry in the past. Regarding the distribution of the northern red oak, the results of using our spatial dataset show that such forests have the largest portion in the areas of hornbeam-beech and beech forests (39.4%) and in the forests of the Volcanic Ridge (24.2%). The created spatial dataset can be used to study the distribution of invasive woody plant species within the forest cover of Transcarpathia. The spatial dataset can also be utilised as a source of training samples for machine learning, which is involved in the processing of satellite images to identify new habitats of invasive woody plant species.

Застосування набору просторових даних для моніторингу інвазійних видів деревних рослин у лісах Закарпаття (Україна)

Андрій Мигаль, Василь Роман

Резюме. Робота містить характеристику і приклади застосування розробленого набору просторових даних про поширення інвазійних видів деревних рослин на вкритих лісом землях лісового фонду Закарпаття. Набір даних розробили на основі даних інвентаризацій лісів із застосуванням відкритої програми QGIS, в якій виконували операції із оцифрування планів лісових насаджень постійних лісокористувачів та оверлейного аналізу. Створений набір даних містить 4212 записів поширення таких інвазійних видів деревних рослин: *Robinia pseudoacacia* L., *Quercus rubra* L., *Acer negundo* L. та *Salix fragilis* L. Набір даних містить відомості щодо місцезнаходження лісових ділянок, лісівничо-таксаційної характеристики деревостанів з переважанням та за участі інвазійних видів деревних рослин. Створений набір просторових даних використали для вивчення поширення інвазійних деревних видів робінії звичайної та дуба червоного на території Закарпаття за геоботанічним та флористичним районуваннями. Результати дослідження показали, що найбільш сприятливими умовами поширення робінії звичайної є район буково-дубових і дубово-букових передгірських лісів Вулканічного хребта Українських Карпат в межах Закарпаття та умови району лісів Закарпатської рівнини. На відміну від дуба червоного, ліси якого створені штучно, поширення робінії звичайної на території досліджень насамперед зумовлено її біологічними властивостями, особливостями екологічної приуроченості та специфікою ведення лісового господарства у минулому. Щодо поширення дуба червоного, результати використання нашого набору просторових даних показують, що такі ліси мають найбільшу площу у районах грабово-букових і букових дубриницько-свалявських лісів (39,4%) та в лісах району Вулканічних Карпат (24,2%). Створений набір просторових даних може використовуватись для дослідження поширення інвазійних видів деревних рослин на землях лісового фонду Закарпаття. Набір просторових даних також може використовуватись як джерело навчальних вибірок для машинного навчання, які задіяні в обробці супутникових знімків на предмет виявлення нових місць оселень інвазійних деревних видів рослин.

Ключові слова: набір просторових даних, ГІС, інвазійні види рослин, Закарпаття, *Robinia pseudoacacia*, *Quercus rubra*.

Адреса для зв'язку: Андрій Мигаль; Ужгородський національний університет, вул. Університетська 14, Ужгород, 88000; Email: andriy.myhal@uzhnu.edu.ua; orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6319-1516>

Вступ

Протягом останніх десятиліть антропогенна діяльність і зміни клімату призводять до різноманітних трансформацій природних екосистем, внаслідок чого у них відбуваються процеси збіднення та деградації [Didukh *et al.* 2016; Csiszár *et al.* 2020]. Оскільки на території Закарпаття найбільші площі займають лісові екосистеми, котрі, зокрема, відіграють значну роль у формуванні та стабілізації гідрологічного балансу в системі Карпат, збереження і відтворення їх природного стану та біорізноманітності, а також забезпечення їх стабільності та відтворення є дуже важливими завданнями. Серйозну загрозу для функціонування, складу і стабільності лісових екосистем становить укорінення в них видів адвентивних деревних рослин з високим інвазійним потенціалом. Види адвентивних рослин забруднюють генофонд аборигенної флори, сприяють послабленню її зональних рис та зменшенню продуктивності рослинного покриву [Protopopova *et al.* 2003]. Витрати на відшкодування збитків, спричинених біологічними інвазіями, можуть бути на порядок вищими, ніж витрати на управлінські дії (менеджмент) стосовно цих інвазій [Diagne *et al.* 2021]. Для вирішення проблеми негативного впливу інвазійних деревних рослин та забезпечення й інформаційного супроводу відповідного моніторингу необхідною є інвентаризація інвазійних деревних рослин та лісостанів з їх участю.

На сьогоднішній день у багатьох розвинених країнах світу актуальними та перспективними є підходи до акумуляції різноманітної інформації для сприяння розвитку інформаційних технологій, спільного пошуку рішень та швидкого реагування на нові глобальні виклики.

Що стосується рослинних інвазій, наразі у світі функціонують глобальні бази даних «Global Register of Introduced and Invasive Species» [Pagad *et al.* 2018] та «The Global Invasive Species Database (GISD)» [Poorter *et al.* 2005], які мають вигляд контрольних списків інвазійних видів в розрізі країн світу. На нашу думку, для кращого вивчення самого процесу інвазії в цілому, або конкретних біологічних видів, практичніше використовувати просторову модель даних. Незважаючи на досить великий обсяг локальних наборів просторових даних, у переважній більшості ці набори даних містять накопичену інформацію про трапляння, наприклад, окремих особин виду рослин, яке представлене точкою на мапі. На практиці краще уявлення про поширення рослин дає застосування інтерпретації просторових даних у вигляді полігонів, яке відображає розміщення сукупностей особин певного виду на земній поверхні. Подібні дослідження здійснені в Угорщині [Visztra *et al.* 2023], де вивчали застосування точкових та полігональних даних моніторингу інвазійних видів деревних рослин для визначення впливу гідрологічних, ґрунтових та кліматичних чинників на рослинні інвазії.

Наразі, найбільшим набором просторових даних інвазійних видів рослин є полігональний набір просторових даних «Current Invasive Plants», опублікований Лісовою службою США [Current ... 2022], який містить понад 875 тисяч записів. Подібні дані найчастіше використовуються для машинного навчання, завданням якого є обробка супутникових знімків на предмет динаміки площі вкриття досліджуваних видів по території, вивчення проходження їх фенологічних фаз та впливу різноманітних чинників на стан інвазійної рослинності [Pasha *et al.* 2014; César de Sá *et al.* 2017; Martin-Gallego *et al.* 2020]. Останні дослідження показують, що все частіше практикується вивчення процесів інвазії деревних видів рослин за допомогою супутникових знімків з використанням методів машинного навчання, де полігональні шари, виступають у ролі навчальних вибірок [Labonté 2020; Crisigiovanni 2021].

Таким чином, метою наших досліджень є розробка і застосування багатофункціонального набору просторових даних для вивчення поширення інвазійних видів деревних рослин на землях лісового фонду.

Матеріали та методи

Створення набору просторових даних про поширення інвазійних видів деревних рослин виконували за допомогою такого програмного забезпечення: QGIS — при роботі з просторовою та атрибутивною інформацією, Access, Excel, Word — при обробці та структуризації даних. Векторні шари меж таксаційних виділів створено на основі оцифрованих планів лісових насаджень, прив'язку яких виконували до Публічної кадастрової карти України в проекції WGS 84/Pseudo-Mercator (ESPG: 3857).

Для наповнення векторних шарів атрибутивною інформацією використовувались матеріали останнього базового лісовпорядкування лісового фонду постійних лісокористувачів які підпорядковані Державному агентству лісових ресурсів України: плани лісових насаджень (2011 рік), таксаційні описи (2011, 2021 роки), повидільна база даних «Лісовий фонд України» (2011 рік). Плани лісових насаджень, які є основою просторових даних, завантажено із офіційного веб-сайту ВО «Укрдержліспроект», які на час створення набору даних знаходились у відкритому доступі. Також, зауважимо, що на оприлюднених планах лісових насаджень не відображено зміни площ лісового фонду постійних лісокористувачів у результаті неодноразових реорганізацій у галузі лісового господарства. Таким чином, нашим дослідженням не охоплено лісовий фонд таких постійних лісокористувачів (назви користувачів наводяться за період до проведення реформи з укрупнення лісгосподарських підприємств): Карпатський біосферний заповідник, НПП «Синевир», НПП «Ужанський», ДП «Іршавське ЛГ», Липчанське навчально-виробниче лісництво, території колишніх лісоагROPідприємств (Мукачівське, Перечинське, Свалявське та ін.) і Ужгородське військове лісництво, на території яких зростає значна частина лісових насаджень з переважанням робінії звичайної та дуба червоного.

Наведені вище джерела інформації є валідними і можуть використовуватись при здійсненні спеціальних досліджень лісового рослинного покриву. Особливо це стосується таких показників як склад лісових насаджень, середній вік, відносна повнота, оскільки отримання таких даних і їх точність регламентована чинними інструктивно-методичними матеріалами¹.

Атрибутивні дані для векторних шарів формували в окремих таблицях за допомогою СКБД Access. Оскільки виникла потреба в об'єднанні даних між окремими таблицями, для кожної з них були створені первинні ключі, які містили дані про лісогосподарське підприємство, лісництво, номер кварталу та виділу. Первинний ключ являє собою унікальне числове значення, розраховане для кожного запису за такою формулою:

$$P_{\text{kay}} = (LG \cdot 1000000) + (FR \cdot 100000) + (KV \cdot 1000) + VD, \quad (1)$$

де: P_{kay} — первинний ключ; LG — поле, що містить шифр лісогосподарського підприємства; FR — номер лісництва у структурі лісогосподарського підприємства; KV — номер кварталу; VD — номер виділу.

Щоб продемонструвати застосування створеного набору даних, було досліджено поширення лісів з переважанням та за участю у складі *Robinia pseudoacacia* L. та *Quercus rubra* L. за геоботанічним [Holubets 2003] та флористичним [Chopyuk 1969] районуванням Українських Карпат у межах Закарпатської області. Для цього окремо оцифрували карту-схему геоботанічного та флористичного районувань Українських Карпат, і використовуючи алгоритм «приєднати атрибут за місцем розташування» встановлювали приуроченість кожної лісової ділянки до певного району. Також можна використовувати алгоритм «Overlap analysis» [QGIS 2024], який доступний у бібліотеці QGIS.

Створений набір даних містить інформацію про інвазійні види деревних рослин внесені до Переліку інвазійних видів рослин в Закарпатській області [List ... 2017; Shevera *et al.* 2017]. Виключенням є дуб червоний, який не входить до згаданого вище переліку, але на думку ряду дослідників має статус потенційного агресора [Zavialova 2017; Protopopova & Shevera 2019; Nayda *et al.* 2022; Kucher *et al.* 2023].

Результати

Представлений набір даних складається з окремих векторних шарів для таких видів деревних рослин: робінія звичайна (*R. pseudoacacia*), дуб червоний (*Q. rubra*), клен ясенolistий (*Acer negundo* L.) та верба ламка (*Salix fragilis* L.). Векторні шари доступні за двома типами геометрії: полігональні та точкові (центроїди полігонів) об'єкти. Перелік атрибутивних даних векторних шарів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Структура даних векторних шарів
Table 1. Data structure of vector layers

№	Назва поля	Опис поля	Од.	№	Назва поля	Опис поля	Од.
1	CODE_ID	Розрахунковий індекс на основі даних полів LG, FR, KV, VD		10	NAME_UKR	Таксон (укр.)	
2	LG	Шифр лісогосподарського підприємства		11	NAME_LAT	Таксон (лат.)	
3	NAME_LG	Назва лісогосподарського підприємства		12	FRACTION	Участь у складі	%
4	FR (forestry)	Шифр лісництва		13	AGE	Середній вік	роки
5	NAME_FR	Назва лісництва		14	H	Середня висота	м
6	KV	Номер кварталу		15	D	Середній діаметр	см
7	VD	Номер виділу		16	P	Відносна повнота	
8	AREA	Площа	га	17	TL	Індекс типу лісу	
9	COMPOSIT	Склад насадження		18	ELEVATION	Висота над рівнем моря	м
				19	EXPOSITION	Експозиція схилу	
				20	SLOPE	Крутизна схилу	град
				21	TAX YEAR	Рік таксації	роки

¹ Інструктивно-методичні вказівки з ведення лісовпорядкування. Ірпінь, 2022. URL

Як бачимо, набір даних містить 21 поле. Кожен унікальний запис відповідає конкретно-му таксаційному виділу і містить інформацію щодо організаційно-господарського положення лісової ділянки в структурі лісового фонду області (лісгосп, лісництво, квартал, виділ), а також деякі лісівничо-таксаційні показники лісових насаджень, у складі яких досліджувані види домінують або виступають у ролі домішки: склад насадження, участь у складі, тип лісу, середній вік, висота та діаметр. Набір даних також містить відомості щодо деяких орографічних чинників — висота над рівнем моря, експозиція та крутизна схилу. Для кожного запису було створено первинний ключ (CODE_ID), який розрахований на основі шифрів лісгосподарських підприємств та лісництв, номерів кварталу та виділу. Такі ключі, за потреби, дозволяють змінювати структуру набору даних, доповнюючи його новою інформацією. Фрагмент атрибутивних даних у середовищі QGIS зображено на рис. 1.

Загалом набір даних містить інформацію про просторове розміщення лісів з переважанням або у якості домішки у складі деревостану: робінії звичайної — 1505 таксаційних виділів, дуба червоного — 1257 виділів, клена ясенolistого — 130 виділів, верби ламкої — 1320 виділів (рис. 2).

Q Robinia pseudoacacia — Features Total: 1505, Filtered: 1505, Selected: 0

	CODE_ID	LG	NAME_LG	FK	NAME_FK	KV	VD	AREA	COMPOSITE	NAME_UKK	NAME_LAI	FRACITION
58	13217003100029	13217002	ДП "ВЕЛИКОБ...	9	Верхньоводян...	20	29	1.2	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
59	13217003230039	13217002	ДП "ВЕЛИКОБ...	9	Верхньоводян...	33	39	1.3	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
60	13217005710014	13217005	ДП "ДОВЖАН...	6	Загатське	11	14	0.3	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
61	13217005710045	13217005	ДП "ДОВЖАН...	6	Загатське	11	45	0.6	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
62	13217005750001	13217005	ДП "ДОВЖАН...	6	Загатське	15	1	1.6	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
63	13217005690009	13217005	ДП "ДОВЖАН...	6	Загатське	9	9	0.9	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
64	13217005850016	13217005	ДП "ДОВЖАН...	6	Загатське	25	16	4.3	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
65	13217009760017	13217009	ДП "МУКАЧІВ...	5	Мукачівське	26	17	4.2	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
66	13217009600006	13217009	ДП "МУКАЧІВ...	5	Мукачівське	10	6	1.0	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
67	13217009740002	13217009	ДП "МУКАЧІВ...	5	Мукачівське	24	2	1.4	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
68	13217009770006	13217009	ДП "МУКАЧІВ...	5	Мукачівське	27	6	1.0	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
69	13217009880028	13217009	ДП "МУКАЧІВ...	5	Мукачівське	38	28	0.3	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
70	13217012610013	13217012	ДП "СВАЛЯВС...	4	Свалявське	21	13	0.7	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
71	13217013640036	13217013	ДП "УЖГОРОД...	3	Анталовецьке	34	36	0.8	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
72	13217013860023	13217013	ДП "УЖГОРОД...	3	Анталовецьке	56	23	2.1	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
73	13217013870014	13217013	ДП "УЖГОРОД...	3	Анталовецьке	57	14	8.7	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
74	13217013860012	13217013	ДП "УЖГОРОД...	3	Анталовецьке	56	12	3.4	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
75	13217013880003	13217013	ДП "УЖГОРОД...	3	Анталовецьке	58	3	4.5	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
76	13217013880004	13217013	ДП "УЖГОРОД...	3	Анталовецьке	58	4	5.9	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10

Показати всі об'єкти

Рис. 1. Фрагмент атрибутивних даних у середовищі QGIS.

Fig. 1. Fragment of attribute data in QGIS environment.



Рис. 2. Приклад фотофіксації *Robinia pseudoacacia* (a) та *Quercus rubra* (b) на досліджуваних ділянках (Ужгородське лісництво).

Fig. 2. An example of photographic recordings of *Robinia pseudoacacia* (a) and *Quercus rubra* (b) in the study areas (Uzhhorodske forestry).

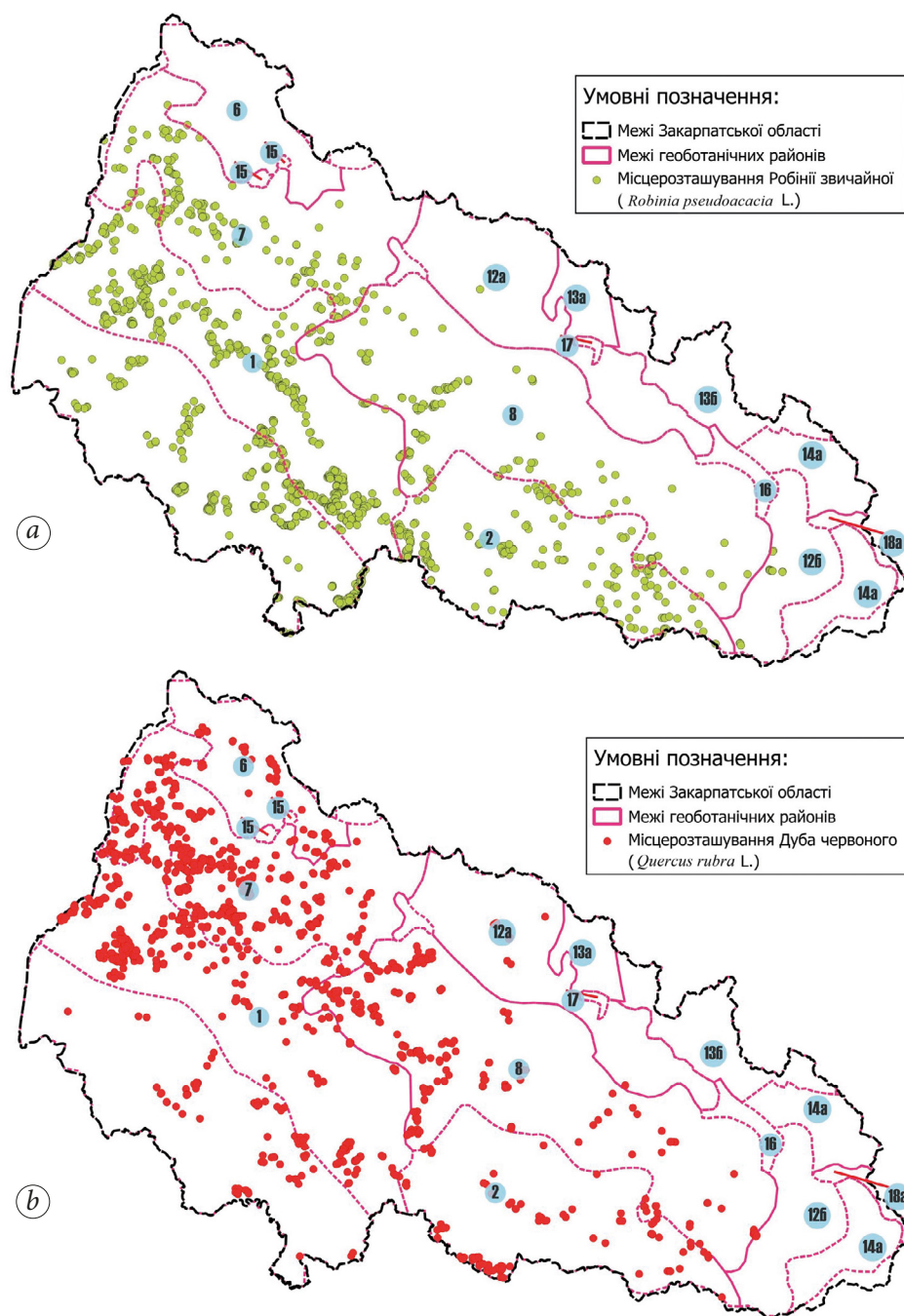


Рис 3. Просторове розміщення *Robinia pseudoacacia* (a) та *Quercus rubra* (b) у лісах Закарпаття за геоботанічним районуванням.

Fig. 3. Spatial distribution of *Robinia pseudoacacia* (a) and *Quercus rubra* (b) in the forests of Transcarpathia by geobotanical zones.

Номери геоботанічних районів: 1 — район буково-дубових і дубово-букових лісів Вулканічного хребта, 2 — район дубово-букових і буково-дубових лісів Хустсько-Солотвинської улоговини, 6 — район ялицево-букових верхньоужоцьких лісів, 7 — район грабово-букових і букових дубриницько-свалівських лісів, 8 — район букових лісів південного мегасхилу Полонинського хребта, 12 — район смереково-буково-ялицевих і смереково-букових закарпатських лісів з підрайонами: 12a — Міжгірським і 12b — Рахівським, 13 — район смерекових горганських лісів з підрайонами: 13a — ялицево-буково-смерекових горганських лісів, 13b — смерекових вододільно-горганських лісів, 14 — район смерекових чорногірсько-мармарошських лісів з підрайонами: 14a — буково-ялицево-смерекових верхньотиських лісів, 14b — ялицево-буково-смерекових ворохтянсько-путильських лісів, 15 — район низькогірних полонин, 16 — Чорногірсько-Гринявський підрайон району сланких гірськососнин у поєднанні з душекєвниками, рододендронниками, субальпійськими та альпійськими луками чорногірсько-мармарошського високогір'я.

Як приклад наводимо результат аналізу поширення у лісах робінії звичайної та дуба червоного за допомогою створеного набору даних. За допомогою QGIS було створено карти поширення досліджуваних видів деревних рослин у лісах Закарпаття з використанням шарів «Геоботанічне районування Українських Карпат» (рис. 3) та «Флористичне районування Українських Карпат» (рис. 4). Для кращої візуалізації використовували шар центроїдів, сформований з полігонального шару. Зведені дані щодо поширення робінії звичайної та дуба червоного у лісах Закарпаття наведено на рис. 5.

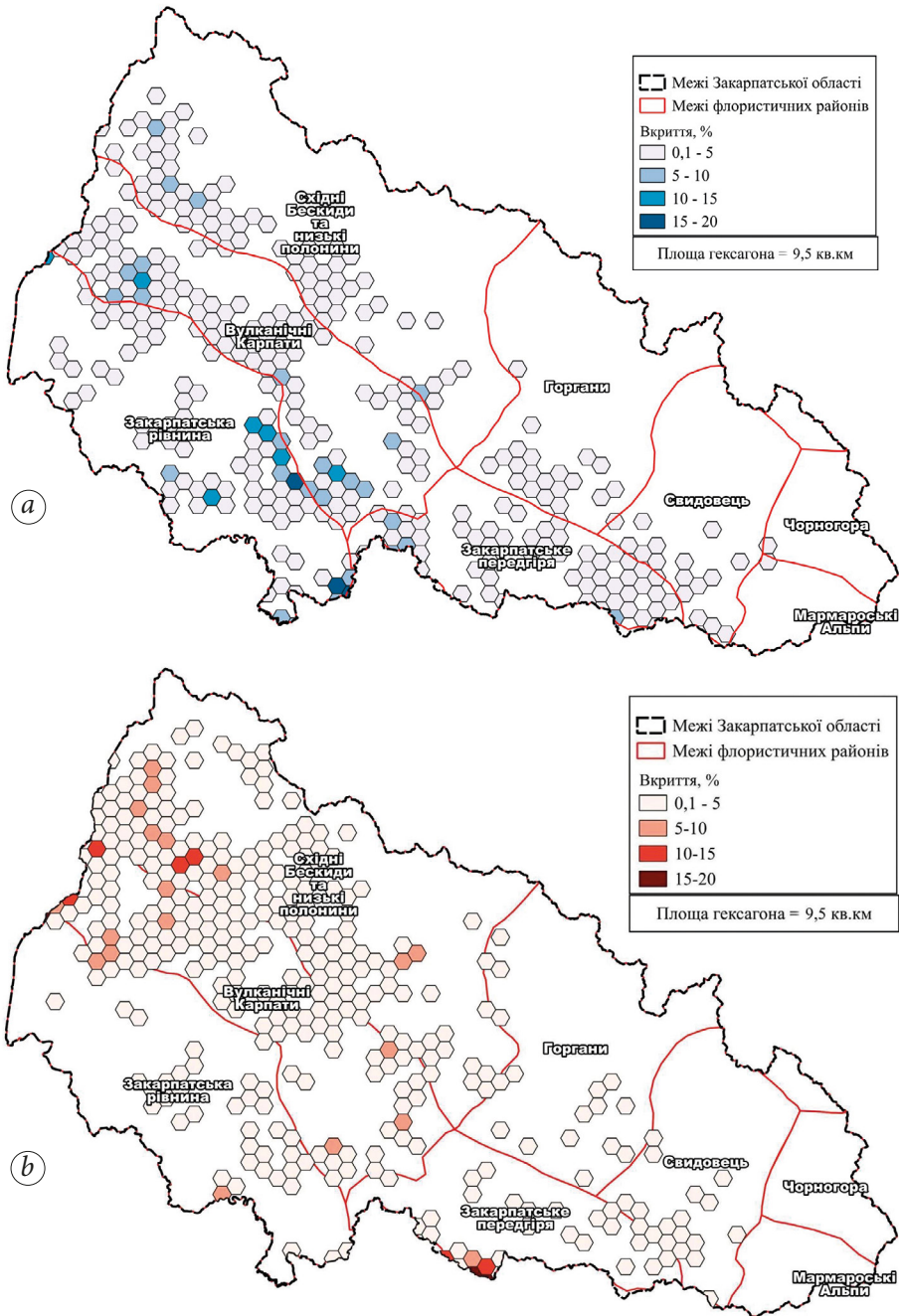


Рис. 4. Просторове розміщення *Robinia pseudoacacia* (a) та *Quercus rubra* (b) у лісах Закарпаття за флористичним районуванням.

Fig. 4. Spatial distribution of *Robinia pseudoacacia* (a) and *Quercus rubra* (b) in the forests of Transcarpathia by floristic zones.

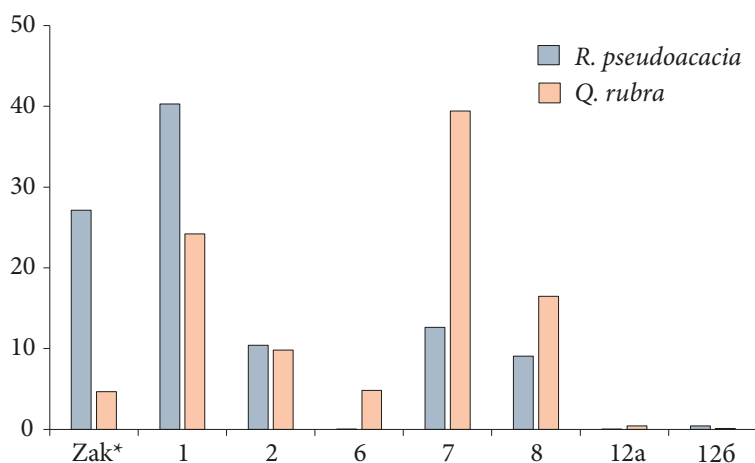


Рис. 5. Зведені дані щодо поширення *Robinia pseudoacacia* (ліворуч) та *Quercus rubra* (праворуч) у лісах Закарпаття (за площею). Вісь абсцис — просторові одиниці: Zak — Закарпатська рівнина (за флористичним районуванням), 1–12 — геоботанічні райони як на рис. 3; вісь ординат — площа (%).

Fig. 5. Summary data on the distribution of *Robinia pseudoacacia* (left) and *Quercus rubra* (right) in the forests of Transcarpathia. Abscissa axis—spatial units: Zak—Transcarpathian Plain (by floristic zones), 1–12—numbers of geobotanical regions as in Fig. 3; ordinate axis—area (%).

Оверлейний аналіз (див. рис. 5) показує, що робінія звичайна на території Закарпаття найбільш поширена в районах буково-дубових і дубово-букових передгірських лісів Вулканічного хребта — 40,3% та на Закарпатській рівнині (за флористичним районуванням) — 27,1%. Встановлене значне поширення робінії звичайної у районах дубово-букових і буково-дубових лісів Хустсько-Солотвинської улоговини, грабово-букових і букових дубриницько-свалявських лісів та букових лісах південного мегасхилу Полонинського хребта, частка яких становить від 9,5% до 14%. Найменше поширення (до 0,5%) відмічене в районі ялицево-букових верхньоужоцьких лісах та в Міжгірському та Рахівському підрайонах району смереково-ялицево-букових, смереково-буково-ялицевих і смереково-букових закарпатських лісів. Отже, найбільш оптимальними для робінії звичайної є умови місцезростань до висоти 600 м, а за інформацією цього набору даних, максимальна висота, де у складі трапляється робінія звичайна, становить 950 м.

На відміну від дуба червоного, поширення робінії звичайної у лісах Закарпаття зумовлене її біологічними властивостями [Bartha 1999; Cierjacks *et al.* 2013; Vítkova *et al.* 2017], особливостями екологічної приуроченості та специфікою ведення лісового господарства у минулому (проблеми організації управління лісгосподарським виробництвом та відмінності у підходах різних підприємств до ведення лісового господарства) [Kichura & Kichura 2017]. Натомість, ліси з переважанням дуба червоного є виключно штучно створеними лісами [Ivchenko 2002]. Як показують результати дослідження з використанням нашого набору просторових даних, такі ліси мають найбільшу площу у районах грабово-букових і букових дубриницько-свалявських лісів (39,4%) та в лісах району Вулканічних Карпат (24,2%). У районі рівнинних лісів насадження дуба червоного поширені менше (усього 4,7% від загальної площі). Як і робінія, дуб червоний найменш поширений у Міжгірському та Рахівському підрайонах району смереково-ялицево-букових, смереково-буково-ялицевих і смереково-букових закарпатських лісів та в районі ялицево-букових верхньоужоцьких лісів.

Отже, застосування інтерпретації просторових даних у вигляді полігонів, яке відображає розміщення сукупностей особин певного виду на земній поверхні дає на практиці краще уявлення про поширення рослин. Функціональні можливості розробленого набору даних дозволяють у поєднанні з іншими відкритими даними (супутникові знімки, кліматичні показники тощо) використовувати його для машинного навчання, встановлювати просторові закономірності поширення видів, будувати якісні математичні моделі тощо.

Створений набір даних розміщений на персональному комп'ютері кафедри лісівництва ДВНЗ «Ужгородський національний університет», і за потреби доступний за запитом до авторів.

Висновки

Застосування інтерпретації просторових даних у вигляді полігонів, яке відображає розміщення сукупностей особин певного виду на земній поверхні дає на практиці краще уявлення про поширення рослин.

Розроблений набір просторових даних містить широкий набір інформації: організаційно-господарського положення кожної лісової ділянки в структурі лісового фонду, склад насадження, участь у складі, тип лісу, середній вік, висота та діаметр та ряд даних щодо орографічних чинників. До складу набору даних входить інформація про просторове розміщення лісів з переважанням або у якості домішки у складі деревостану: робінії звичайної — 1505 таксаційних виділів, дуба червоного — 1257 виділів, клена ясенolistого — 130 виділів, верби ламкої — 1320 виділів.

Функціональні можливості розробленого набору даних дозволяють у поєднанні з іншими відкритими даними (спутникові знімки, кліматичні показники тощо) використовувати його для машинного навчання, встановлювати просторові закономірності поширення видів, будувати якісні математичні моделі тощо. Окрім цього, створений набір даних може використовуватись для оптимізації планування наукових досліджень.

З метою удосконалення набору просторових даних у подальшому передбачена регулярна актуалізація існуючого набору даних, із включенням інформації щодо поширення інвазійних видів деревних рослин на територіях об'єктів природно-заповідного фонду. В найближчій перспективі, на основі цих даних з'явиться можливість розробки окремої геоінформаційної системи.

Подяки

Автори вдячні І. Загороднюку за цінні поради, а також анонімним рецензентам рукопису за важливі коментарі та слушні зауваження.

Декларації

Фінансування. Це дослідження було виконано в рамках авторської ініціативи, поза грантовими чи бюджетними темами.

Конфлікт інтересів. Автори не мають жодних конфліктів інтересів, які могли б вплинути на зміст цієї статті.

References

- Bartha, D. 1999. *Magyarország fa- és cserjefajai*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 1–302.
- César de Sá, N., S. Carvalho, P. Castro, E. Marchante, H. Marchante. 2017. Using Landsat Time Series to Understand How Management and Disturbances Influence the Expansion of an Invasive Tree. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **10** (7): 3243–3253. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2673761>
- Chopyk, V. I. 1969. Floristic zoning of the Ukrainian Carpathians. *Ukrainian Botanical Journal*, **26** (4): 3–16. [Ukrainian]
- Cierjacks, A., I. Kowarik, J. Joshi, S. Hempel, M. Ristow, M. von der Lippe, M. E. Weber. 2013. Biological flora of the British isles: *Robinia pseudoacacia*. *Journal of Ecology*, **101**: 1623–1640. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12162>
- Crisigiovanni, E. L., A. F. Filho, V. A. Pesck, et al. 2021. Potential of machine learning and WorldView-2 images for recognizing endangered and invasive species in the Atlantic Rainforest. *Annals of Forest Science*, **78**: 54. <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01070-3>
- Csiszár Á., P. Kézdy, M. Korda, D. Bartha. 2020. Occurrence and management of invasive alien species in Hungarian protected areas compared to Europe. *Folia Oecologica*, **47** (2): 178–191. <https://doi.org/10.2478/foecol-2020-0021>
- Current Invasive Plants (Feature Layer). 2022. U.S. Forest Service — Geospatial Data Discovery. <https://data-usfs.hub.arcgis.com/datasets/usfs::current-invasive-plants-feature-layer/about>
- Diagne, C., B. Leroy, A. Vaissière, R. Gozlan, D. Roiz, et al. 2021. High and Rising Economic Costs of Biological Invasions Worldwide. *Nature*, **592**: 571–576. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03405-6>
- Didukh, Y. P., I. I. Chorney, V. V. Budzhak, et al. 2016. *Climatogenic Changes of Plant Life of the Ukrainian Carpathians*. DrukArt, Chernivtsi, 1–280. [Ukrainian]

- Hayda, Y., V. Mohytych, D. Bidolakh, V. Kuzovych, M. Sułkowska. 2022. The introduction of red oak (*Quercus rubra* L.) in Ukrainian forests: advantages of productivity versus disadvantages of invasiveness. *Folia Forestalia Polonica*, **64** (4): 245–252. <https://doi.org/10.2478/ffp-2022-0023>
- Holubets, M. A. 2003. Geobotanical division of the Ukrainian Carpathians — a basis of rational natural use. *Proceedings of the Scientific Society named after Shevchenko*, **12**: 283–292. [Ukrainian]
- Ivchenko, A. I. 2002. History of the introduction of *Quercus rubra* L. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, **12** (4): 93–97.
- Kichura, V. P., A. V. Kichura. 2017. The problem of productivity of forest stands of former collective agricultural enterprises in Transcarpathian region. *Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiia*, **130**: 61–69. Retrieved from <https://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/article/view/82>
- Kucher, O., Y. Didukh, N. Pashkevych, L. Zavalova, Y. Rozenblit, O. Orlov, M. Shevera, 2023. The impact of northern red oak (*Quercus rubra*; Fagaceae) on the forest phytodiversity in Ukraine. *Ukrainian Botanical Journal*, **80** (6): 453–468. [Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/ukrbotj80.06.453>
- Labonté, J., G. Drolet, J.-D. Sylvain, N. Thiffault, F. Hébert, F. Girard. 2020. Phenology-Based Mapping of an Alien Invasive Species Using Time Series of Multispectral Satellite Data: A Case-Study with Glossy Buckthorn in Québec, Canada. *Remote Sensing*, **12** (6): 922. <https://doi.org/10.3390/rs12060922>
- List... 2017. *List of Invasive Plant Species in Transcarpathian Region*. Approved by the Solution of the Transcarpathian RSA from 23.03.2017 year No. 721. [Ukrainian] <https://ips.ligazakon.net/document/ZA170092>
- Martin-Gallego P., P. Aplin, C. Marston, A. Altamirano, A. Pauchard, 2020. Detecting and modelling alien tree presence using Sentinel-2 satellite imagery in Chile's temperate forests, *Forest Ecology and Management*, **474**, 118353. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118353>
- Pagad, S., P. Genovesi, L. Carnevali, D. Schigel, M. McGeoch. 2018. Introducing the Global Register of Introduced and Invasive Species. *Scientific Data*, **5** (1). <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.202>
- Pasha, S. V., K. V. Satish, C. S. Reddy, et al. 2014. Satellite image based quantification of invasion and patch dynamics of mesquite (*Prosopis juliflora*) in Great Rann of Kachchh, Kachchh Biosphere Reserve, Gujarat, India. *Journal of Earth System Science*, **123**: 1481–1490. <https://doi.org/10.1007/s12040-014-0486-0>
- Poorter, M. D., M. Browne, D. V. Alford, G. F. Backhaus. 2005. *The Global Invasive Species Database (GISD) and International Information Exchange: Using Global Expertise to Help in the Fight Against Invasive Alien Species*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:82086952>
- Protopopova, V. V., M. V. Shevera. 2019. Invasive species in the flora of Ukraine. I. The group of highly active species. *GEO&BIO*, **17**: 116–135. [Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/gb.2019.17.116>
- Protopopova, V. V., S. L. Mosyakin, M. V. Shevera. 2003. The impact of adventive plant species on the phytobiota of Ukraine. In: *Assessment and ways to reduce threats to biodiversity in Ukraine*. Chimdzhest, Kyiv, 129–155. [Ukrainian]
- QGIS User Guide, https://docs.qgis.org/3.34/en/docs/training_manual/index.html
- Shevera, M. V., V. V. Protopopova, D. E. Tomenchuk, E. J. Andrik, R. Y. Kish. 2017. The first official regional list of invasive species of Transcarpathia in Ukraine. *Visnik Nacionalnoi akademii nauk Ukraini*, **10**: 53–61. [Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/visn2017.10.053>
- Visztra, G. V., K. Frei, A. A. Hábczyus, A. Soóky, Z. Bátor, et al. 2023. Applicability of point- and polygon-based vegetation monitoring data to identify soil, hydrological and climatic driving forces of biological invasions—a case study of *Ailanthus altissima*, *Elaeagnus angustifolia* and *Robinia pseudoacacia*. *Plants*, **12** (4): 855. <https://doi.org/10.3390/plants12040855>
- Vítková, M., J. Müllerová, J. Sádlo, J. Pergl, P. Pyšek. 2017. Black locust (*Robinia pseudoacacia*) beloved and despised: A story of an invasive tree in Central Europe, *Forest Ecology and Management*, **384**: 287–302. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.057>
- Zavalova, L. V. 2017. The most harmful invasive plant species for native phytodiversity of protected areas of Ukraine. *Biological systems*, **9** (1): 87–107. [Ukrainian] <https://doi.org/10.31861/biosystems2017.01.087>