

УДК 598.2 (59.084)

Vysochyn M. <https://orcid.org/0000-0002-5847-4810>

Korniienko T. <https://orcid.org/0000-0001-6926-3966>

Strus I. <https://orcid.org/0000-0002-3853-7917>

Kuzyo H. <https://orcid.org/0000-0002-2727-0292>

Havrylenko V. <https://orcid.org/0000-0001-5984-7888>

Pohribnyi O. <https://orcid.org/0000-0002-8428-6514>

Bashta A.-T. <https://orcid.org/0000-0002-8134-5507>

Yuzyk D. <https://orcid.org/0000-0001-8659-3852>

ПЕРШІ РЕЗУЛЬТАТИ АКУСТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ФОНОВИХ ВИДІВ ПТАХІВ В УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТАХ

© ¹Височин М.О., ^{1,2}Корнієнко Т.М., ^{1,6}Струс Ю.М., ¹Кузьо Г.О.,
³Гавриленко В.С., ³Погрібний О.О., ⁴Башта А.-Т.В., ⁵Юзик Д.І.

¹Франкфуртське зоологічне товариство, ²Swiss Ornithological Institute,

³Національний природний парк «Гуцульщина», ⁴Національний природний парк «Сколівські Бескиди»,

⁵Національний природний парк «Черемоський», Природний заповідник «Розточчя»⁶

e-mail: maksym.vysochyn@fzs.org

<https://doi.org/10.34142/2708-5848.2023.25.2.06>

У 2023 році Франкфуртське зоологічне товариство (<https://fzs.org>) розпочало акустичний моніторинг птахів в Українських Карпатах у рамках Панєвропейської програми моніторингу фонових видів птахів (PESBMS, <https://peshms.info>). Пілотні території включали в себе природний заповідник «Розточчя» та національні природні парки – Карпатський, «Бойківщина», «Сколівські Бескиди», «Зачарований край», «Черемоський», «Яворівський» і «Гуцульщина». Завдяки сприянню WildLife Acoustics, Каталонського орнітологічного інституту (Барселона, Іспанія) та Чеського орнітологічного товариства (Прага, Чеська Республіка), в дослідженні використано 20 акустичних ресиверів, включаючи 4 Song Meter Mini Acoustic Recorder (SM mini) і 16 Song Meter Micro Acoustic Recorder (SM micro). Отримані аудіофайли опрацьовані за допомогою програмного забезпечення BirdNET V2.2 у Raven Pro 1.6. Програма BirdNET, заснована на глибокому навчанні, автоматизує визначення видів птахів за їх вокалізацією. Дослідження продемонструвало ефективність програмного забезпечення та здатність розпізнавати значну кількість фонових видів птахів і одночасно неефективність у визначенні окремих видів.

Проведено аналіз виявлених помилок. У результаті прослуховування акустичних файлів і дешифрування отриманих сонограм виявлено 66 видів птахів, зокрема види, занесені до Червоної книги України. З них 50 видів очікувано належали до ряду Passeriformes, 6 видів представляли ряд Piciformes, 3 види – ряд Falconiformes, 2 види – ряд Columbiformes, по 1 виду – ряди Cuculiformes та Uropiformes. Згідно з поділом птахів за екологічними угрупованнями, домінували дендрофіли – 59 видів; кампофіли представлені 3 видами; до лімнофілів та склерофілів належали по 2 види. Хоча аналіз акустичних даних не дає безпосередньої інформації про чисельність особин виявлених птахів, проте частоти трапляння видів на локалітетах записів можуть слугувати проксі-індикаторами популяційних трендів.

Ключові слова: акустичний моніторинг, Українські Карпати, птахи, природно-заповідний фонд, сонограми, ROC-аналіз.

ВСТУП

Сучасні екологічні виклики людству, такі як зміни клімату, трансформація природних оселищ, скорочення ареалів видів флори і фауни, вимагають впровадження ефективних заходів збереження біорізноманіття, які повинні базуватися на наукових дослідженнях змін, що відбуваються в екосистемах. Одним з індикаторів стану навколишнього природного середовища є птахи [5].

Традиційні методи досліджень цієї групи (точкові та маршрутні обліки) потребують значних зусиль і ресурсів і мають безпосередній вплив на об'єкти досліджень, зокрема присутність спостережника на гніздовій території впливає на поведінку птахів. [3, 8, 9]. Останнім часом набувають поширення методи пасивного акустичного моніторингу, які розширюють просторове охоплення та тривалість спостережень за тваринами

[10, 11]. Як зазначають деякі автори, застосування пасивного акустичного моніторингу дозволяє виявляти на 11% більше видів птахів, ніж за допомогою «традиційних» методів [2].

Метою нашої роботи була практична апробація використання методу акустичного моніторингу для дослідження фонових видів птахів на територіях природно-заповідного фонду регіону Українських Карпат та суміжних із ним теренах.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

У 2023 році в рамках Паневропейської програми моніторингу фонових видів птахів (The Pan-European Common Bird Monitoring Scheme (PECBMS)) розпочато акустичний моніторинг птахів в Українських Карпатах, який реалізує Франкфуртське зоологічне товариство. У якості пілотних територій обрані природний заповідник «Розточчя», національні природні парки Карпатський, «Бойківщина», «Сколівські Бескиди», «Закарпований край», «Черемоський», «Яворівський» та «Гуцульщина». Цей науковий проект став можливим завдяки сприянню WildLife Acoustics, Каталонського орнітологічного інституту (Барселона, Іспанія), Чеського орнітологічного товариства (Прага, Чеська Республіка), які надали 16 акустичних ресиверів Song Meter Micro (SM micro) для проведення досліджень у західних регіонах України, а також Франкфуртського зоологічного товариства, яке передало природоохоронним установам 4 Song Meter Mini Acoustic Recorder (SM mini).

Протокол проведення збору первинного матеріалу досить ретельно описаний у попередній публікації [12]. Згідно з методикою, на території обраних об'єктів ПЗФ закладали 2 трансекти, на яких з інтервалом 500 м обрали 5 локацій. Запис звукових сигналів птахів на акустичні ресивери здійснювали працівники установ природно-заповідного фонду на кожній локації (по 5 хв.) у ранкові години (до 10:00) двічі впродовж польового сезону: 1-й облік проводили з 24 квітня до 5 травня, 2-й – з 29 травня до 9 червня. Відповідно до розроблених методичних рекомендацій, між періодами ре-

єстрації вокалізацій мало минути не менше 4 тижнів.

Отримані аудіофайли опрацьовували із застосуванням програмного обладнання Raven Pro 1.6 [7] у «напівавтоматичному» режимі з обов'язковою верифікацією отриманих результатів.

Для розпізнавання вокалізації птахів використовували програмне забезпечення BirdNET V2.2, яке вмонтовано в інструмент Raven Pro 1.6 – Learning Detector. Програма BirdNET забезпечує автоматизоване визначення видів птахів на основі сонограм їх вокалізації. Основний принцип роботи BirdNET базується на використанні технології глибокого навчання (deep learning), зокрема, нейронних мереж. Програма застосовує велику базу аудіозаписів птахів, яка включає різні види з усіх регіонів світу та використовує нейронну мережу для вивчення характерних особливостей цих звуків. Коли користувач завантажує аудіозапис птаха, BirdNET використовує попередньо навчену модель для аналізу звукових характеристик запису. Результатом є ідентифікація виду птаха разом з показником релевантності результатів визначення (т.з. «Confidence level» або «score»), які слугують оцінкою достовірності розпізнавання.

Ми використовували стандартну модель «BirdNET_GLOBAL_3K_V2.2». Вихідний файл для класифікації, що містить перелік усіх видів птахів, які BirdNET «вміє» розпізнавати, було замінено на власний файл, що включає лише види, які трапляються в Карпатському регіоні та на інших прилеглих територіях в будь-яку пору року. «Threshold», або поріг оцінки визначення (зі значеннями від 0 до 1) встановлено на 0.1. Налаштування «Overlap» (перекриття діагностування фрагментів аудіофайлів) залишали за замовчуванням – 0 сек.

Детектор обирав фрагменти аудіофайлів тривалістю 3 сек і визначав види птахів, вокалізація яких потрапляла в ці відрізки записів, та оцінював достовірність визначення за шкалою від 0 до 1 («Threshold») і формував таблицю у форматі csv, із зазначенням показника релевантності результатів визначення виду для кожної трисекундної детекції.

Для визначення ефективності розпізнавання вокалізації птахів у BirdNET V2.2 «вручну» опрацьовано (прослухано або переглянуто сонограми) для 9310 індикацій, з яких позитивними виявились 5232 (достовірно відповідали визначеному програмою виду).

Відомо, що правильність визначення видів алгоритмом BirdNET залежить від вибору порогового значення для показника «score» – релевантності результатів визначення [1]. Це загальне правило діє для всіх завдань класифікації за допомогою машинного навчання, не лише у випадку з визначенням голосів птахів [4]. Загалом, ймовірність хибно-позитивних результатів зменшується з підвищенням порогу цього параметра, але, в той же час, зростає ймовірність хибно-негативних результатів. Іншими словами, чим вищий поріг показника релевантності результату визначення задається, тим менше неправильних визначень цільового виду ми отримаємо, але шанси виявити всі сигнали виду на всіх локалітетах зменшуються. Проблемою є те, що вибір оптимального порогу, який збалансує кількість хибно-позитивних і хибно-негативних результатів, є видоспецифічним. Для різних видів оптимальний поріг буде різним.

Паралельно зі складанням списків видів для локалітетів ми також спробували виявити оптимальні порогові значення для досліджуваних видів, що дозволить зменшити кількість ручної перевірки аудіозаписів у майбутньому, оскільки ми вже знатимемо похибку алгоритму для різних видів при обраних порогових значеннях. Це зроблено для більшості ідентифікованих видів на рівні фіксованих порогових значень між 0.1 і 1, з кроком у 0.1, а також за допомогою побудови ROC-кривих [4] для більшої деталізації, але лише для окремих видів, для яких ми мали достатню вибірку. Для оцінки загальної точності класифікації вибраних видів розраховували показник AUC (площа під ROC-кривою). Загалом, показник, близький до 0.5, є ознакою класифікатора, не кращого за генератор випадкових чисел, а показник, близький до 1 – ідеального класифікатора, що не робить помилок. Чим

ближче AUC-крива наближається до верхнього лівого кута графіка, тим краще класифікатор визначає певний вид.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Програмне забезпечення BirdNET, а саме версія 2.2, досить добре визначає аудіозаписи, що містять звуки вівчарика-ковалика *Phylloscopus collybita*, дрозда співочого *Turdus philomelos*, припутня *Columba palumbus*, золотомушки жовточубої *Regulus regulus*, золотомушки червоначубої *Regulus ignicapilla*, дрозда чорного *Turdus merula*, синиці великої *Parus major*, кропив'янки чорноголової *Sylvia borin* (табл. 1). Для зяблика *Fringilla coelebs*, вівчарика жовтобрового *Phylloscopus sibilatrix*, зозулі *Cuculus canorus*, волового очка *Troglodytes troglodytes*, крука *Corvus corax*, повзика *Sitta europaea*, у випадку, коли показник релевантності результату визначення, що присвоює BirdNET для індикації, був вищим ніж значення 0.4, всі індикації програма визначала правильно. Це свідчить про широкий аплікативний потенціал програми в реальних умовах для обмеженої кількості видів.

Вивчення прикладів неправильних визначень допомагає зрозуміти, які фактори можуть впливати на їх точність. Наявність шумів як фонових (гірський потік, вітер, автомобільний транспорт, залізниця), так і тих, що створює людина біля звукозаписуючого приладу (розмови, шум одягу, взуття, кроків) знижує значення релевантності результату визначення, що присвоює BirdNET для індикації вокалізації птаха. Досить часто ці шумові ефекти призводять до «визначення» неіснуючих в області спостереження видів птахів (хибно-позитивний результат). Хибні результати визначення також спостерігали для ділянок аудіозаписів у випадку, коли спостережник торкався мікрофона активованого декодера. Досить часто програма «розпізнавала» звуки, що видавали собаки у населених пунктах, як зозулю або бугая *Botaurus stellaris*.

Окрім того, ефективність BirdNET V2.2 для визначення представників ряду Дятлоподібні *Piciformes* була досить низькою. Якщо для жовни чорної *Dryocopus*

Таблиця 1

**Ефективність застосування BirdNET для визначення птахів за результатами
проведених досліджень**

Вид	Кількість індикацій	Кількість позитивних індикацій	% позитивних індикацій	% правильних визначень для показника score>0.9	% правильних визначень для показника score>0.8	% правильних визначень для показника score>0.7	% правильних визначень для показника score>0.6	% правильних визначень для показника score>0.5	% правильних визначень для показника score>0.4	% правильних визначень для показника score>0.3	% правильних визначень для показника score>0.2	% правильних визначень для показника score>0.1
<i>Phylloscopus collybita</i>	665	654	98.3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.8
<i>Turdus philomelos</i>	243	231	95.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.8
<i>Columba palumbus</i>	156	140	89.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	97.7
<i>Regulus regulus</i>	93	87	93.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.4
<i>Regulus ignicapilla</i>	75	73	97.3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.8	99.0
<i>Turdus merula</i>	70	67	95.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.7	99.2
<i>Parus major</i>	90	86	95.6	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.2	98.0
<i>Sylvia borin</i>	62	52	83.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.0	94.6
<i>Fringilla coelebs</i>	543	540	99.4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	99.7
<i>Phylloscopus sibilatrix</i>	393	223	56.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	98.8	88.5
<i>Cuculus canorus</i>	312	268	85.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	99.6	97.5
<i>Troglodytes troglodytes</i>	253	230	90.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.5	98.6	96.7
<i>Corvus corax</i>	38	18	47.4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.9	92.5	81.0
<i>Sitta europaea</i>	38	31	81.6	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	95.5	93.2	91.0
<i>Dryocopus martius</i>	247	128	51.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	99.6	97.6	87.2
<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	181	152	84.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.8	99.7	99.2	98.4	96.5
<i>Sylvia atricapilla</i>	355	312	87.9	100.0	100.0	100.0	100.0	99.8	99.3	98.9	98.0	95.0
<i>Ficedula parva</i>	431	136	31.6	100.0	100.0	100.0	99.7	99.3	98.4	96.9	88.5	67.8
<i>Spinus spinus</i>	149	134	89.9	100.0	100.0	99.9	99.6	99.1	98.4	97.7	97.2	95.5
<i>Periparus ater</i>	272	235	86.4	100.0	100.0	99.8	99.7	99.4	98.8	98.0	97.2	94.0
<i>Erithacus rubecula</i>	443	402	90.7	100.0	100.0	99.8	99.2	98.9	98.1	97.5	96.8	94.9
<i>Dendrocopos major</i>	248	203	81.9	100.0	98.5	98.2	98.2	98.3	98.3	98.0	97.2	94.6
<i>Columba oenas</i>	134	26	19.4	100.0	98.4	96.1	94.2	93.6	86.9	83.6	70.7	47.9
<i>Anthus trivialis</i>	449	45	10.0	100.0	88.9	72.7	66.1	56.0	45.3	37.3	26.3	16.8
<i>Ficedula albicollis</i>	772	475	61.5	99.9	99.8	99.6	99.5	99.4	99.2	98.8	97.7	92.0
<i>Certhia brachydactyla</i>	127	44	34.6	97.2	93.3	93.2	93.7	94.0	92.6	90.9	85.7	65.2
<i>Prunella modularis</i>	56	18	32.1	93.8	89.1	88.9	83.9	81.8	76.5	73.2	65.4	51.1
<i>Poecile montanus</i>	27	20	74.1	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	95.6	92.5	88.3	81.9
<i>Turdus viscivorus</i>	36	12	33.3	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	75.3	73.5	65.7	55.9
<i>Oriolus oriolus</i>	167	33	19.8	0.0	11.1	28.7	34.1	34.7	35.1	34.8	31.7	25.5
<i>Muscicapa striata</i>	83	43	51.8	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	97.7	80.5	70.6
<i>Poecile palustris</i>	53	22	41.5	0.0	0.0	100.0	100.0	75.0	65.3	62.8	51.9	44.0
<i>Buteo buteo</i>	9	8	88.9	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	89.1
<i>Upupa epops</i>	4	2	50.0	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	25.0	38.9	38.9	41.7
<i>Certhia familiaris</i>	25	11	44.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	91.1	65.1
<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	8	1	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	75.0	40.8

Вид	Кількість індикацій	Кількість позитивних індикацій	% позитивних індикацій	% правильних визначень для показника score>0.9	% правильних визначень для показника score>0.8	% правильних визначень для показника score>0.7	% правильних визначень для показника score>0.6	% правильних визначень для показника score>0.5	% правильних визначень для показника score>0.4	% правильних визначень для показника score>0.3	% правильних визначень для показника score>0.2	% правильних визначень для показника score>0.1
<i>Dendrocoptes medius</i>	98	5	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	75.3	54.2	26.3
<i>Loxia curvirostra</i>	1	1	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
<i>Garrulus glandarius</i>	12	7	58.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	90.4
<i>Curruca communis</i>	62	16	25.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	12.3	22.7
<i>Ficedula hypoleuca</i>	40	3	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	5.3	9.0
<i>Cyanistes caeruleus</i>	5	5	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0
<i>Serinus serinus</i>	2	2	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0
<i>Phylloscopus trochilus</i>	1	1	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0
<i>Chloris chloris</i>	10	7	70.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.8	48.2
<i>Picus viridis</i>	554	3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.9
<i>Pica pica</i>	1	1	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
<i>Saxicola rubicola</i>	1	1	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
<i>Anthus campestris</i>	2	1	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	75.0
<i>Dendrocopos leucotos</i>	8	1	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.8
<i>Picus canus</i>	19	2	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9
<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	9	2	22.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5
<i>Accipiter nisus</i>	13	1	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.6
<i>Accipiter gentilis</i>	247	9	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	26.1	24.6	23.1	16.5	7.6

martius рівень позитивних значень становив 100% ідентифікацій, які мали значення показника релевантності результату визначення більші за 0.6, то для достовірного виявлення дятла звичайного *Dendrocopos major* ці значення мали бути вищими за 0.9. Такі види як жовна зелена *Picus viridis* та жовна сива *Picus canus* мали дуже велику кількість хибних визначень (табл. 1).

Ідентифікації таких видів, як шишкар ялиновий *Loxia curvirostra*, синиця блакитна *Cyanistes caeruleus*, щедрик *Serinus serinus*, вівчарик весняний *Phylloscopus trochilus*, сорока *Pica pica* і трав'янка європейська *Saxicola rubicola* хоча і мали 100% правильних визначень, але робити висновки щодо ефективності програми для цих видів не можна, адже вибірка для них була дуже малою (табл. 1).

Залежно від мети досліджень, можна застосовувати різні пороги релевантності результату визначення для швидкого відсі-

кання результатів автоматичної класифікації. Наприклад, якщо б задачею було мінімізувати хибно-позитивні визначення тинівки лісової *Prunella modularis*, то варто було б обрати значення порогу близьке до 0.8, де крива специфічності починає виходити на плато. Для вівчарика-ковалика чи мухоловки білошиїї *Ficedula albicollis* (рис. 1), різкий вихід на плато відбувається вже за значень порогів близьких до 0.2-0.3, за рахунок загальної високої здатності BirdNET визначати ці види. Відповідно, низького рівня хибно-позитивних результатів для цих видів можна досягти і за низьких значень порогів.

Якби ж метою було максимально повно виявити сигнали тих чи інших видів на різних локалітетах, наприклад, щоб максимально не пропустити можливу реєстрацію рідкісного виду, то тактика мала би бути протилежною. У такому випадку ми мали вибрати поріг, який максимізує чутливість (сині криві на графіках чутливості/специ-

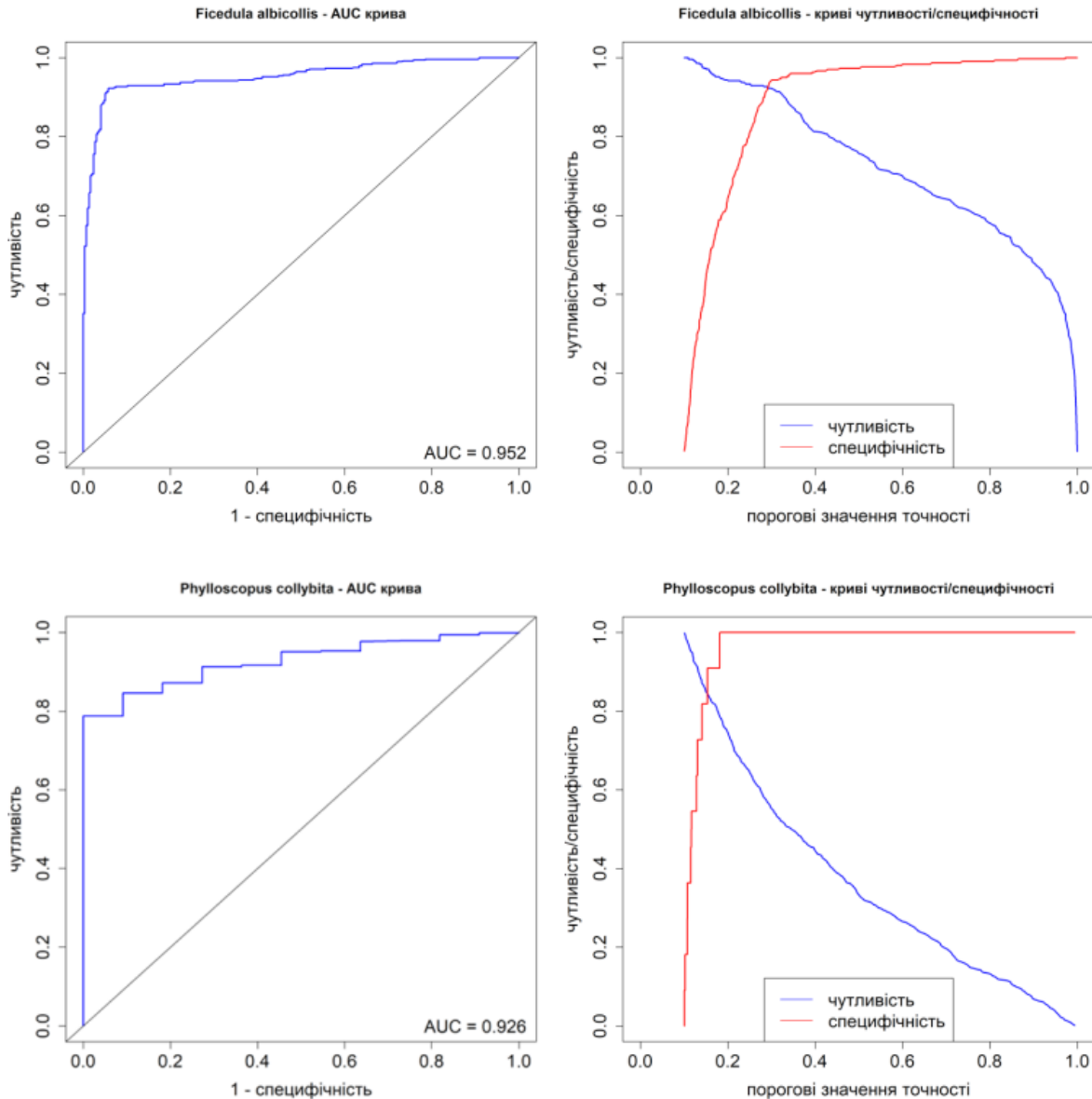


Рис. 1. Приклади ROC-аналізу результатів класифікації вівчарика-ковалика та мухоловки білошійої за допомогою BirdNET V2.2.

фічності рис. 1, 2). При цьому, неминуче зростатиме рівень хибно-позитивних виявлень і доведеться вручну верифікувати велику кількість записів, але одночасно ми мінімізуємо шанс пропустити той чи інший вид на локації.

Найпростішою часто застосовуваною практикою [1] є вибір компромісного значення порогу на перетині кривих. Як видно з наших результатів ROC-аналізу, оптимальні для загальних цілей досліджень порогові значення релевантності результату визначення, для різних видів є відмінними і лежать навколо значень 0.2-0.3 (рис 2).

Загальна точність класифікації (показник AUC) змінюється від 0.681 у випадку тинівки лісової, до 0.979 – у мухоловки білошійої. Очевидно, що точність класифікації BirdNET V2.2 або аналогічних алгоритмів буде змінюватис з розробкою нових версій програми. Але є і видоспецифічна залежність, яка насамперед пов'язана з унікальністю та складністю акустичних сигналів видів птахів як у частотному діапазоні, так і в структурі пісні або поклику. Наприклад, ми очікуємо, що точність визначення мухоловки білошійої завжди буде високою, незалежно від версії моделі BirdNET, а

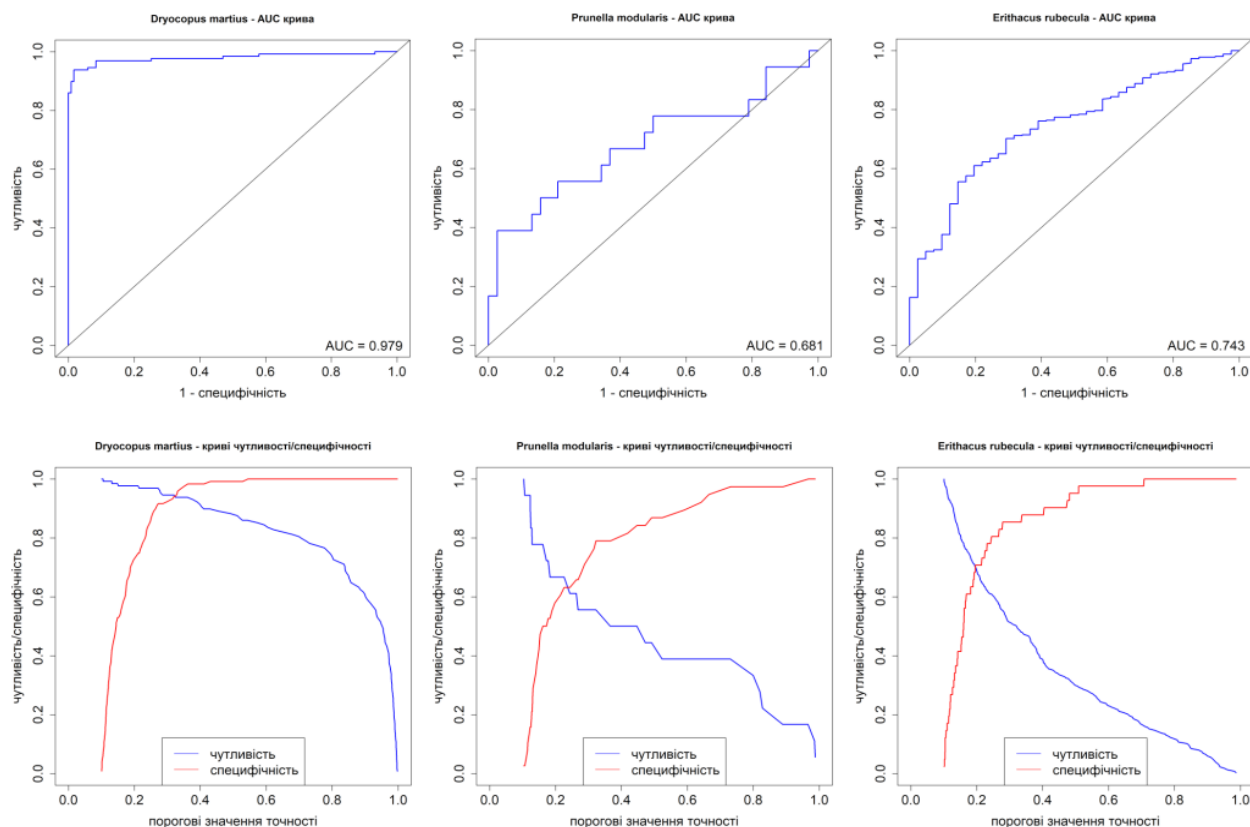


Рис. 2. Приклади ROC-аналізу результатів класифікації жовни чорної, тинівки лісової та вільшанки *Erithacus rubecula* за допомогою BirdNET V2.2.

можливо, і від іншого застосованого методу машинного навчання, оскільки поклики чи пісня виду є напролюд простою і стандартною, тобто варіація між різними особинами невелика, а також, у порівнянні з іншими видами, акустичний сигнал добре відмінний. Така ж ситуація і з вівчариком-коваликом. Навпаки, очікувати значного покращення у визначенні таких видів як тинівка лісова чи вільшанка *Erithacus rubecula* з їх складною й дещо мінливою піснею найімовірніше доведеться ще довго.

Внаслідок прослуховування акустичних файлів і дешифрування отриманих сонограм виявлено 66 видів птахів (табл. 2), з яких 50 видів очікувано належали до ряду Горобцеподібні Passeriformes, 3 види були представниками ряду Соколоподібні Falconiformes, 2 види входили до ряду Голубоподібні Columbiformes, 1 вид – зозуля *Cuculus canorus* представник ряду Зозулеподібні (Cuculiformes), 1 вид – одуд *Uria eops* належав до Одудоподібних

Уриформі і 6 видів представляли ряд Дятлоподібні Piciformes.

Згідно з поділом птахів за екологічними угрупованнями, домінували дендрофіли – 59 видів; кампофіли представлені 3 видами – трав'янка європейська, шеврики гірський *Anthus spinoletta* та лучний *Anthus pratensis*; до лімніфілів належали 2 види; до склерофілів – ластівка сільська *Hirundo rustica* та одуд.

Перелік зареєстрованих видів птахів в межах природоохоронних установ представлені в таблиці 2 та наведені за Handbook of the Birds of the World [6].

Показники кількості ідентифікованих видів птахів у розрізі природоохоронних установ наведено на діаграмі (рис. 3).

ОБГОВОРЕННЯ

Результати акустичного моніторингу на природоохоронних територіях свідчать про різноманітність видового складу птахів, а також підкреслюють необхідність розши-

Таблиця 2

**Результати пасивного акустичного моніторингу фонових видів птахів
в Українських Карпатах**

Вид	НПП «Бойківщина»	НПП «Гуцульщина»	НПП «Зачарований край»	Карпатський НПП	ПЗ «Розточчя»	НПП «Сколівські Бескиди»	НПП «Черемоський»	НПП «Яворівський»
<i>Accipiter gentilis</i>	-	-	+	+	+	-	-	+
<i>Accipiter nisus</i>	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>Buteo buteo</i>	-	+	+	+	+	-	+	-
<i>Columba palumbus</i>	-	+	-	+	+	-	-	+
<i>Columba oenas</i>	-	+	-	+	-	-	-	+
<i>Cuculus canorus</i>	+	+	+	+	+	-	-	+
<i>Upupa epops</i>	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Picus viridis</i>	-	-	-	+	+	-	-	+
<i>Picus canus</i>	-	+	-	+	+	-	-	+
<i>Dryocopus martius</i>	+	+	-	+	+	+	+	+
<i>Dendrocopos major</i>	-	+	-	+	+	-	-	+
<i>Dendrocoptes medius</i>	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>Dendrocopos leucotos</i>	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Hirundo rustica</i>	-	-	-	+	-	-	-	+
<i>Anthus spinoletta</i>	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Anthus trivialis</i>	-	+	-	+	+	+	+	+
<i>Anthus pratensis</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lanius collurio</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oriolus oriolus</i>	+	+	-	+	+	-	+	-
<i>Garrulus glandarius</i>	-	+	-	+	+	-	-	-
<i>Pica pica</i>	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Corvus frugilegus</i>	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Corvus cornix</i>	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Corvus corax</i>	-	+	-	+	-	-	-	+
<i>Troglodytes troglodytes</i>	-	+	+	+	+	+	-	+
<i>Prunella modularis</i>	+	+	-	+	-	+	+	-
<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Sylvia atricapilla</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Sylvia borin</i>	+	+	-	-	-	+	-	-
<i>Curruca communis</i>	+	+	-	-	-	+	+	-
<i>Curruca curruca</i>	+	-	-	+	-	-	-	+
<i>Phylloscopus trochilus</i>	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Phylloscopus collybita</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Phylloscopus sibilatrix</i>	+	+	+	+	+	-	+	+
<i>Regulus regulus</i>	+	+	-	+	-	+	+	-
<i>Regulus ignicapilla</i>	+	+	+	+	-	+	+	-
<i>Ficedula hypoleuca</i>	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>Ficedula albicollis</i>	+	+	+	+	+	-	-	+
<i>Ficedula parva</i>	+	+	+	+	+	-	-	+

Вид	НПП «Бойківщина»	НПП «Гуцульщина»	НПП «Зачарований край»	Карпатський НПП	ПЗ «Розточчя»	НПП «Сколівські Бескиди»	НПП «Черемоський»	НПП «Яворівський»
<i>Muscicapa striata</i>	+	+	+	+	-	-	-	-
<i>Saxicola rubetra</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	-	+	-	+	-	+	-	+
<i>Erithacus rubecula</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Turdus pilaris</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Turdus merula</i>	-	+	-	+	-	+	+	+
<i>Turdus philomelos</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Turdus viscivorus</i>	-	+	+	+	-	-	+	+
<i>Aegithalos caudatus</i>	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Poecile palustris</i>	+	+	+	+	+	-	-	+
<i>Poecile montanus</i>	-	+	+	+	+	+	-	+
<i>Lophophanes cristatus</i>	-	-	+	+	-	-	-	-
<i>Periparus ater</i>	-	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cyanistes caeruleus</i>	-	+	+	+	-	-	-	+
<i>Parus major</i>	-	+	+	+	+	-	-	+
<i>Sitta europaea</i>	+	+	+	+	+	-	-	+
<i>Certhia familiaris</i>	-	+	+	+	+	-	+	-
<i>Certhia brachydactyla</i>	-	-	+	+	+	-	-	+
<i>Fringilla coelebs</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Serinus serinus</i>	-	+	-	+	-	-	-	+
<i>Chloris chloris</i>	-	+	-	+	+	+	-	-
<i>Spinus spinus</i>	+	+	-	+	+	-	+	+
<i>Carduelis carduelis</i>	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Loxia curvirostra</i>	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	+	-	-	-	-	+	-	-
<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	+	+	+	+	+	-	-	+
<i>Emberiza citrinella</i>	+	-	-	-	-	-	-	-

рення облікових маршрутів та локацій для повноцінного вивчення цих популяцій. В усіх природоохоронних установах зареєстровано кропив'янку чорноголову, вівчарика-ковалика, вільшанку, дрозда співочого, зяблика, що може свідчити про їхню широку адаптивність до різних умов існування та значну чисельність популяцій. Також майже в усіх природоохоронних установах (на 7 з 8 територій) реєстрували жовну чорну, вівчарика жовтобрового *Phylloscopus sibilatrix* та синицю чорну *Periparus ater*. Відсутність цих видів на одній з 8 досліджуваних територій, вірогідно, випадкова, вони можуть бути виявлені при закладанні додаткових

маршрутів та локацій. На 6 з 8 обстежуваних територій природно-заповідного фонду засобами акустичного моніторингу зареєстровано зозулю, щеврика лісового *Anthus trivialis*, волове очко, золотомушку червоночубу, мухоловку білошию, мухоловку малу *Ficedula parva*, гаїчок пухляка *Poecile palustris* та болотяну *Poecile montanus*, повзика *Sitta europaea*, чижа *Spinus spinus* та костогриза *Coccothraustes coccothraustes*. На понад 50% природоохоронних територій обліковано канюка звичайного *Buteo buteo*, вивільгу *Oriolus oriolus*, тинівку лісову *Prunella modularis*, золотомушку жовточубу *Regulus regulus*, дроздів чорного *Turdus*

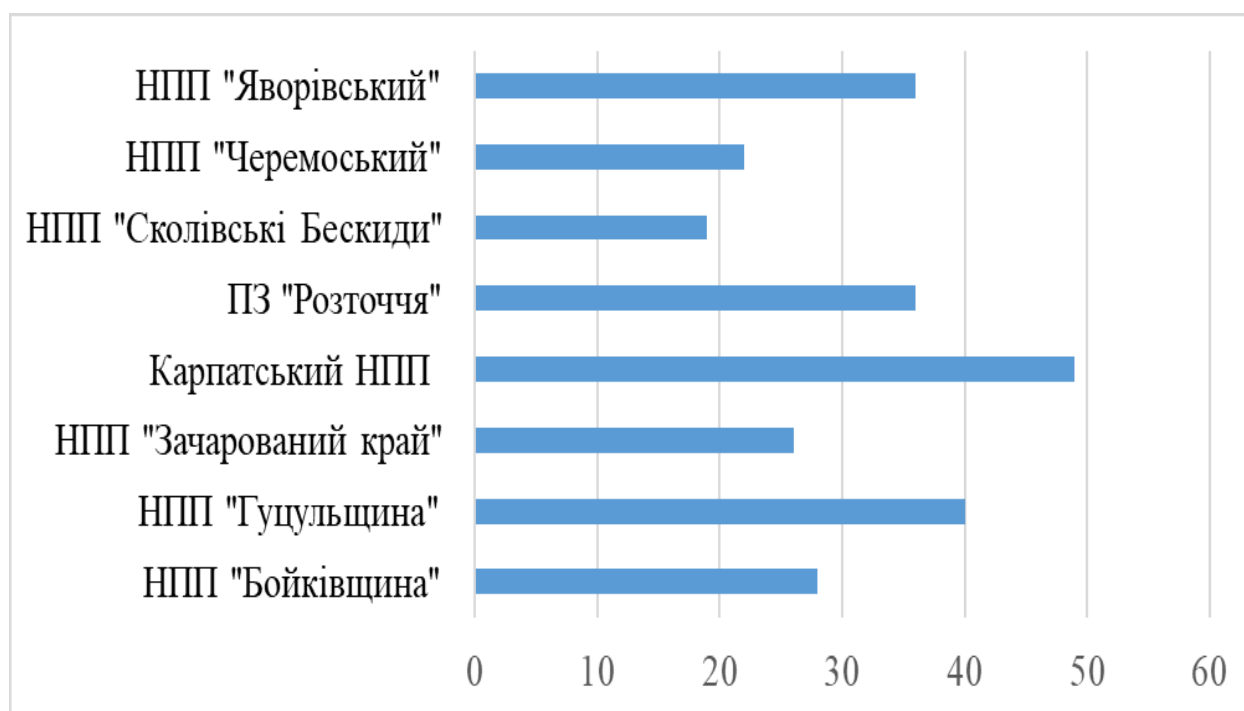


Рис. 3. Кількість видів, зареєстрованих протягом досліджень на території різних об'єктів ПЗФ Карпатського регіону.

merula та омелюха *Turdus viscivorus*, синицю велику *Parus major* та підкоришника звичайного *Certhia familiaris*. На аудіо-записах зібраних на 4 з 8 обстежуваних територій ідентифіковані яструб великий *Accipiter gentilis*, припутень, жовна сива, кропив'янка сіра *Curruca communis*, мухоловка сіра *Muscicapa striata*, горихвістка звичайна *Phoenicurus phoenicurus*, синиця блакитна, підкоришник короткопалий *Certhia brachydactyla* та зеленяк *Chloris chloris*. Такі види птахів як голуб-синяк *Columba oenas*, жовна зелена, сойка *Garrulus glandarius*, крук *Corvus corax*, кропив'янки садова *Sylvia borin* і прудка *Curruca curruca*) та щедрик *Serinus serinus* відмічені на 3 територіях природно-заповідного фонду з 8 досліджуваних. Решту видів акустичні прилади реєстрували в межах 1-2 природоохоронних установ, що ймовірно, пов'язано з біотопним розташуванням окремих локацій проведення акустичного моніторингу і особливостями природних умов досліджуваних територій природно-заповідного фонду. Вівсянка звичайна *Emberiza citrinella* та щеврик лучний зареєстровані лише в НПП «Бойківщина»; щиглик *Carduelis carduelis* та

очеретянка велика потрапили в обліки тільки в НПП «Яворівський»; щеврика гірського, шишкаря ялинового *Loxia curvirostra* та вічарика весняного зустріли в НПП «Черемоський»; сороку *Pica pica*, дятла білоспінного *Dendrocopos leucotos* та одуда зареєстрували в ПЗ «Розточчя»; а грака *Corvus frugilegus* – лише в Карпатському НПП.

Оцінюючи кількість індикацій окремих видів птахів на одиницю часу, встановлені високі показники щодо кількості позитивних ідентифікацій для вівчарика-ковалика, зяблика, мухоловки білошиїї, синиці чорної, вівчарика жовтобрового, дятла звичайного, зозулі, кропив'янки чорноголової, волового очка, дрозда співочого, чижа, жовни чорної, золотомушки червоночубої та жовточубої, мухоловки малої. Середня кількість індикацій на 1 хв. часу для наведених видів була в діапазоні від 1.09 до 6.28.

Для кожного виду характерна певна, власне «видова», вокальна активність. Але водночас вокальна активність залежить від погодних умов, наявності інших вокалізуючих видів тощо. Цей показник свідчить лише про високу активність у вокальному плані зазначених видів птахів і не може бути ви-

користаний для загальних висновків. Водночас, порівнюючи значення цього показника для окремих видів в різних природоохоронних установах, можна робити висновки щодо відносної чисельності цих птахів у різних частинах Українських Карпат.

Зручнішим показником для обговорення відносної чисельності птахів є частота трапляння виду в межах окремої установи, розрахована на підставі реєстрації птахів (або навпаки їх відсутності) на окремих облікових локаціях. В цьому відношенні на більшості локацій (від 25 до 58) зареєстровані дятел звичайний, зозуля, волове очко, кропив'янка чорноголова, вівчарики ковалик і жовтобровий, мухоловки білошия та мала, вільшанка, синиця чорна, зяблик, костогриз. Досить високі частоти трапляння (реєстрували на 10-24 локаціях) показали припутень, тинівка лісова, золотомушки червоноголова та жовтоголова, чиж, повзик, синиця велика, мухоловка сіра.

Деякі види під час обліків проявляли сезонні зміни у частоті трапляння, оскільки на облікових локаціях були зареєстровані лише під час одного з двох обліків. Наприклад в НПП «Гуцульщина» в перший облік потрапив голуб-синяк *Columba oenas*. Його зареєстровано на 4 локаціях в перших числах травня 2023 року. Під час обліків у кінці травня – початку червня вид на точках проведення звукозаписування не реєстрували.

До переліків птахів зареєстрованих на природоохоронних територіях потрапили види занесені до Червоної книги України [13] – золотомушка червоночуба та голуб-синяк. Частоти трапляння цих видів – на 13 і 17 локаціях відповідно – можуть слугувати індикаторами стабільності екосистем у межах природоохоронних територій та ефективності заходів з їх збереження.

За подальшого удосконалення застосування акустичних приладів для виявлення видового різноманіття варто внести зміни в методику збору інформації, зокрема, збільшити тривалість експозиції на конкретній локації, передбачивши, що оператор має її покинути і повернутися через 20 чи 30 хвилин. Таким чином буде усунутий

фактор присутності людини, а також нівельований вплив пауз у співі птахів, які виникають, особливо, під час вигодовування пташенят. Варто експериментально визначити відстань чутливості приладу хоча б для фонових видів, що в подальшому може бути використано для удосконалення методів визначення чисельності.

ПІДСУМОК

Проведені роботи є початком інструментального моніторингу фонових видів птахів в Україні і мають важливе значення для подальшої оцінки стану орнітокомплексів Карпатського регіону. Незважаючи на окремі недоліки (недооблік видів, що не вокалізують; тривалий процес опрацювання даних тощо), пасивний акустичний моніторинг сьогодні може бути перспективним способом проведення довготривалих орнітологічних спостережень на великій за площею території.

Дослідженнями встановлено, що оптимальні значення порогів релевантності визначення для автоматичної класифікації різних видів птахів за допомогою BirdNET V2.2, знаходяться в межах 0.2–0.3. Ці пороги є компромісними, забезпечуючи збалансовану точність класифікації, особливо для видів зі складними акустичними сигналами. Для видів зі стабільною та легко відмінною акустикою, таких як мухоловка білошия, точність визначення може залишатися високою навіть за майбутніх оновлень моделі. Для видів із складними та змінними акустичними сигналами, таких як тинівка лісова, вдосконалення точності визначення може вимагати подальших досліджень і розробок.

Проведеними дослідженнями виявлено 66 видів птахів, зокрема, занесених до Червоної книги України.

Автори публікації висловлюють щирі вдячність всім співробітникам природоохоронних установ, які були задіяні у проведенні робіт з моніторингу фонових видів птахів в Українських Карпатах: Р. Лазаровичу, Б. Дацьку, Н. Димчишину, І. Казибрид, М. Свистуну.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bota G., Manzano-Rubio R., Catalán L., Gómez-Catasús J., Pérez-Granados C. (2023). Hearing to the Unseen: AudioMoth and BirdNET as a Cheap and Easy Method for Monitoring Cryptic Bird Species. *Sensors*, 23(16), 7176.
2. Darras K., Batary P., Furnas B.J., Grass I., Mulyani Y.A. & Tscharntke T. (2019). Autonomous sound recording outperforms human observation for sampling birds: a systematic map and user guide. *Ecological Applications*, 29 (6). P. e01954.
3. Digby A., Towsey M., Bell B.D., Teal P.D., Giuggioli L. (2013). A practical comparison of manual and autonomous methods for acoustic monitoring. *Methods Ecol. Evol.* 4 (7): 675–683.
4. Géron A. Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow. «O'Reilly Media, Inc.», 2022.
5. Gregory R.D., Noble D., Field R., Marchant J., Raven M. & Gibbons D. W. (2003). Using birds as indicators of biodiversity. *Ornis hungarica*, 12(13): 11–24.
6. HBW and BirdLife International Handbook of the Birds of the World and BirdLife International digital checklist of the birds of the world. Version 3. URL: http://datazone.birdlife.org/userfiles/file/Species/Taxonomy/HBW-BirdLife_Checklist_Version_3.pdf (Accessed 20.10.2023).
7. K. Lisa Yang Center for Conservation Bioacoustics at the Cornell Lab of Ornithology. Raven Pro: Interactive Sound Analysis Software (Version 1.6.4) [Computer software]. Ithaca, NY: The Cornell Lab of Ornithology. URL: <https://ravensoundsoftware.com/> (Accessed 20.10.2023).
8. Madalozzo B., Santos T.G., Santos M.B., Both C., Cechin S. (2017). Biodiversity assessment: Selecting sampling techniques to access anuran diversity in grassland ecosystems. *Wildl. Res.* 44: 78–91.
9. Obrist M.K., Pavan G., Sueur J., Riede K., Llusia D., Marquez R. (2010). Bioacoustics approaches in biodiversity inventories. *Man. F. Rec. Tech. Protoc. All Taxa Biodivers. Invent.* 8: 68–99.
10. Ribeiro J.W., Sugai L.S.M., Campos-Cerqueira M. (2017). Passive acoustic monitoring as a complementary strategy to assess biodiversity in the Brazilian Amazonia. *Biodiversity and Conservation* 26: 2999–3002.
11. Wrege P.H., Rowland E.D., Keen S., Shiu Y. (2017). Acoustic monitoring for conservation in tropical forests: Examples from forest elephants. *Methods in Ecology and Evolution* 8: 1292–1301.
12. Vysochyn M.O., Kuzmenko T.M., Strus Yu.M., Kuzo H.O., Yuzyk D.I. (2023). Akustychnyi monitoring fonovykh vydiv ptakhiv v Ukrainykykh Karpatakh: metodyka, problemy ta poperedni rezultaty. Saving biological and landscape diversity in protected areas. Materials of the conference dedicated to the 100th anniversary of the Kaniv Nature Reserve. Chernivtsi: Druk Art. 52–57.
13. Chervona knyha Ukrainy. Tvarynniyi svit / za red. I.A. Akimova. (2009). Kyiv: Globalkonsulting. 600 s.

UDC 598.2 (59.084)

FIRST RESULTS OF ACOUSTIC MONITORING FOR COMMON BIRD SPECIES IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS

Vysochyn M.O., Korniiienko T.M., Strus I.M., Kuzyo H.O., Havrylenko V.S.,
Pohribnyi O.O., Bashta A.-T.V., Yuzyk D.I.

In 2023, the Frankfurt Zoological Society (<https://fzs.org>) initiated acoustic monitoring of common bird species in the Ukrainian Carpathians as part of the Pan-European Common Bird Monitoring Scheme (PECBMS, <https://pecbms.info>). As the pilot territories were chosen the «Roztochchya» Nature Reserve and the national natural parks Carpathian, «Boikivshchyna», «Skolivsky Beskydy», «Zacharovanyi Kray», «Cheremoskyi», «Yavorivskyi» and «Hutsulshchyna». Supported by Wildlife Acoustics, the Catalan Ornithological Institute (Barcelona, Spain), and the Czech Ornithological Society (Prague, Czech Republic), the study included 20 acoustic receivers: 4 Song Meter Mini Acoustic Recorders (SM mini) and 16 Song Meter Micro (SM micro). Audio files obtained during the research were processed using BirdNET software in Raven Pro 1.6. BirdNET V2.2, based on deep learning, automates the identification of bird species through their vocalizations. The effectiveness of BirdNET was manually assessed for 5232 indications, confirming its reliability at higher «score» values. The study demonstrated its efficiency in recognizing a significant number of background bird species. However, it revealed inefficiencies in identifying certain species and analysed the associated errors. As a result, 66 bird species were identified, including listed in the Red Book of Ukraine. As a result of listening to acoustic files and deciphering the obtained sonograms, 66 bird species were identified, of which 50 species were expectedly classified

under the order Passeriformes, 3 species were representatives of the order Falconiformes, 2 species belonged to the order Columbiformes, 1 species was a representative of the order Cuculiformes, 1 species belonged to Upupiformes, and 6 species represented the order Piciformes. According to the division of birds into ecological groups, dendrophiles dominated with 59 species; campophiles were represented by 3 species; limnophiles included 2 species; sclerophiles were represented by 2 species. The frequencies of occurrence of these species can serve as indicators of ecosystem stability in protected areas.

Keywords: *Acoustic monitoring, Ukrainian Carpathians, birds, nature protected areas, sonograms, ROC-analysis.*