

Акустичний моніторинг птахів на весняній міграції у Буковинських Карпатах: ефективність розшифрування пташиних співів інструментарієм

Юзик Д. І.¹, Юзик А. В.²

¹Національний природний парк «Черемоський»

²Харківський національний педагогічний університет ім. Г. С. Сковороди

ORCID: 0000-0001-8659-3852, 0000-0002-4071-1662

muscicapa@ukr.net, andriyuzuk@gmail.com

Ключові слова: біорізноманіття, *Song Meter Micro*, сонограми, аудіозаписи, акустичні сигнали.

Глобальні зміни клімату внаслідок антропогенного фактору є однією з основних загроз, з якими стикаються природні екосистеми. Для забезпечення захисту екосистем від цих загроз, важливо вивчати біорізноманіття в них, щоб з'ясувати, коли саме необхідно застосувати заходи, спрямовані на збереження видів. Індикаторами у екосистемах можуть слугувати птахи. Сьогодні вже існують технології, які дозволяють здійснювати моніторинг територій значних за обсягом, що є економічно та фізично ефективними. У нашій роботі ми вперше дослідили видове різноманіття птахів у Буковинських Карпатах із використанням записів звуків, отриманих за допомогою акустичного ресивера *Song Meter Micro*, наданого у використання Франкфуртським зоологічним товариством в Україні, яке підтримує природоохоронні території протягом 20 років. Мета: провести акустичні дослідження фонових видів птахів під час весняної міграції у Буковинських Карпатах для встановлення видового складу орнітофауни, його подібності на різних точках моніторингу та уточнення термінів весняного прильоту. Матеріалом, що аналізується в роботі є звукові файли (n=600) загальною тривалістю 181 хв., записані в рамках Панєвропейської схеми моніторингу фонових видів птахів (The Pan-European Common Bird Monitoring Scheme) у квітні 2023 року на 9 точках в Буковинських Карпатах. Використовуючи прості функції, отримані зі звукових записів, спеціальний додаток BirdNET-Analyzer здатен достатньо точно перевіряти великі набори даних на наявність звуків окремих видів птахів. Крім того, ми представляємо метод, заснований на виявленні початку музичної ноти, для визначення кількості звуків, притаманних певному виду, у записі. Додатково аналізували дані з використанням програмного забезпечення Raven Pro. Отримані сонограми порівнювали із наявними в базі xeno-canto. Визначали подібність видового складу орнітофауни на різних точках моніторингу за бінарними індексами подібності Жаккара та Серенсена-Чекановського, а також коефіцієнтом Стургена-Радулеску. При розшифруванні звукових сигналів інструментарієм показано їх приналежність 54-м видам птахів, з яких 10 – виявлені вперше, для регіону досліджень та достовірно підтверджені в процесі аналізу (перевірка сонограм за допомогою програми RavenPro та порівняння із еталонними сонограмами).

Ключові слова: біорізноманіття, *Song Meter Micro*, сонограми, аудіозаписи, акустичні сигнали.

Acoustic monitoring of birds during spring migration in Bukovinian Carpathians: effectiveness of birdsong decoding tools

Yuzyk D. I.¹, Yuzyk A. V.²

¹National Park “Cheremoskyi”

²H. S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University

ORCID: 0000-0001-8659-3852, 0000-0002-4071-1662

muscicapa@ukr.net, andriyuzuk@gmail.com

Key words: biodiversity, Song Meter Micro, sonograms, audio recordings, acoustic signals.

Global climate change due to anthropogenic factors is one of the main threats faced by natural ecosystems. To protect ecosystems from these threats, it is essential to study biodiversity within them to determine when to implement measures aimed at species conservation. Birds can serve as indicators in ecosystems. Today, there are technologies that allow for the monitoring of large areas in a cost-effective and efficient manner. In our work, we have for the first time studied the species diversity of birds in the Bukovinian Carpathians using sound recordings obtained with a Song Meter Micro acoustic receiver, provided by the Frankfurt Zoological Society in Ukraine, which has been supporting protected areas for 20 years. The goal: to conduct acoustic research on background bird species during the spring migration in the Bukovinian Carpathians to determine the species composition of the ornithofauna, its similarity at different monitoring points, and to clarify the timing of spring arrival. The material analyzed in the work consists of sound files (n=600) with a total duration of 181 minutes, recorded in April 2023 as part of The Pan-European Common Bird Monitoring Scheme at 9 points in the Bukovinian Carpathians. Using simple functions derived from sound recordings, the specialized application BirdNET-Analyzer is able to accurately check large data sets for the presence of sounds of individual bird species. Additionally, we present a method based on detecting the onset of a musical note to determine the number of sounds characteristic of a particular species in the recording. Data were also analyzed using Raven Pro software. The resulting sonograms were compared with those available in the xeno-canto database. The similarity of species composition at different monitoring points was determined using binary similarity indices of Jaccard and Sørensen-Czekanowski, as well as the Stugren-Radulescu coefficient. The identification of sound signals using tools showed their belonging to 54 bird species, 10 of which were detected for the first time for the study region and reliably confirmed in the analysis process (verification of sonograms using RavenPro software and comparison with reference sonograms).

Key words: biodiversity, Song Meter Micro, sonograms, audio recordings, acoustic signals.

Вступ

На екосистеми в усьому світі впливає ряд загроз, в тому числі глобальні зміни клімату, а також втручання людини у їх функціонування. Для захисту природних середовищ є потреба у розробці технологій щодо моніторингу біорізноманіття в екосистемах і попередження негативного впливу на нього¹. Традиційні підходи до моніторингу біорізноманіття передбачають вивчення видового різноманіття в екосистемі, яка становить інтерес². Це вимагає від підготовлених експертів присвячення тривалого часу для проведення досліджень в екосистемі. Такий підхід є трудомістким і затратним, а також він не дозволяє охопити моніторингом значної кількості екосистем. Тому зусилля фахівців

були спрямовані на розробку ефективніших підходів до моніторингу біорізноманіття, що полягатиме в короткотривалих дослідженнях обмеженої кількості видів – так званих видів-індикаторів³. Не зважаючи на те, що такі дослідження є менш затратними у часі, в порівнянні із повним обстеженням, однак вони все одно потребують виїзду експерта на територію¹.

В якості альтернативи традиційним підходам моніторингу біорізноманіття є використання акустичних приладів, які записують звуки з метою оцінити видове різноманіття моніторингових екосистем. За допомогою акустичного запису можна визначити вид птаха, який співає, а також його чисельність. Для визначення видів записи можуть

бути опрацьовані експертом або оброблені з використанням програмного забезпечення. Низка авторів визнали акустичний моніторинг біорізноманіття перспективним методом досліджень^{1,4,5}. Цей метод є також ефективним для заповнення прогалин щодо міграції птахів у нічний період⁶.

Цей підхід має ряд переваг, а саме: 1) аудіозаписи можна зберігати в архівах, вони слугуватимуть свідченням про стан екосистеми на момент дослідження; 2) для збору даних не потрібні експерти, оскільки для цього необхідно лише навчити людей, які робитимуть записи, правильно поводитись із записуючим пристроєм; 3) акустичні записи можна використовувати як для масштабної оцінки біорізноманіття^{4,5}, так і для огляду певного виду⁷. Втім, аналіз отриманих аудіоданих є трудомістким, вимагає експертних знань, а на «сканування» спектрограм у пошуках звуків птахів може йти у 2-3 рази більше часу, ніж тривалість запису⁸.

Враховуючи вище зазначене **метою роботи** було провести акустичні дослідження фонових

видів птахів у Буковинських Карпатах для встановлення видового складу орнітофауни, його подібності на різних точках моніторингу та уточнення термінів весняного прильоту.

Матеріали та методи досліджень

Акустичний моніторинг фонових видів птахів проведено на 9 точках в Буковинських Карпатах (координати локацій в Чернівецькій області: I) біля орендованого адмінприміщення НПП «Черемоський» у смт Путила – 25.08763 E, 48.00082 N; II) приватна садиба з малою фотоелектричною сонячною електростанцією – 25.086049 E, 47.992403 N; III) вздовж русла р. Сарата – 24.95854 E, 47.80450 N; 24.96240 E, 47.79931 N; 24.96744 E, 47.79433 N; 24.96562 E, 47.79678 N і 24.98327 E, 47.77551 N; IV) біля адмінбудівлі Перкалабського природоохоронного науково-дослідного відділення (далі – ПНДВ) Національного природного парку «Черемоський» (далі – НПП) – 24.95964 E, 47.80536 N і 24.98292 E, 47.78368 N) (рис. 1).

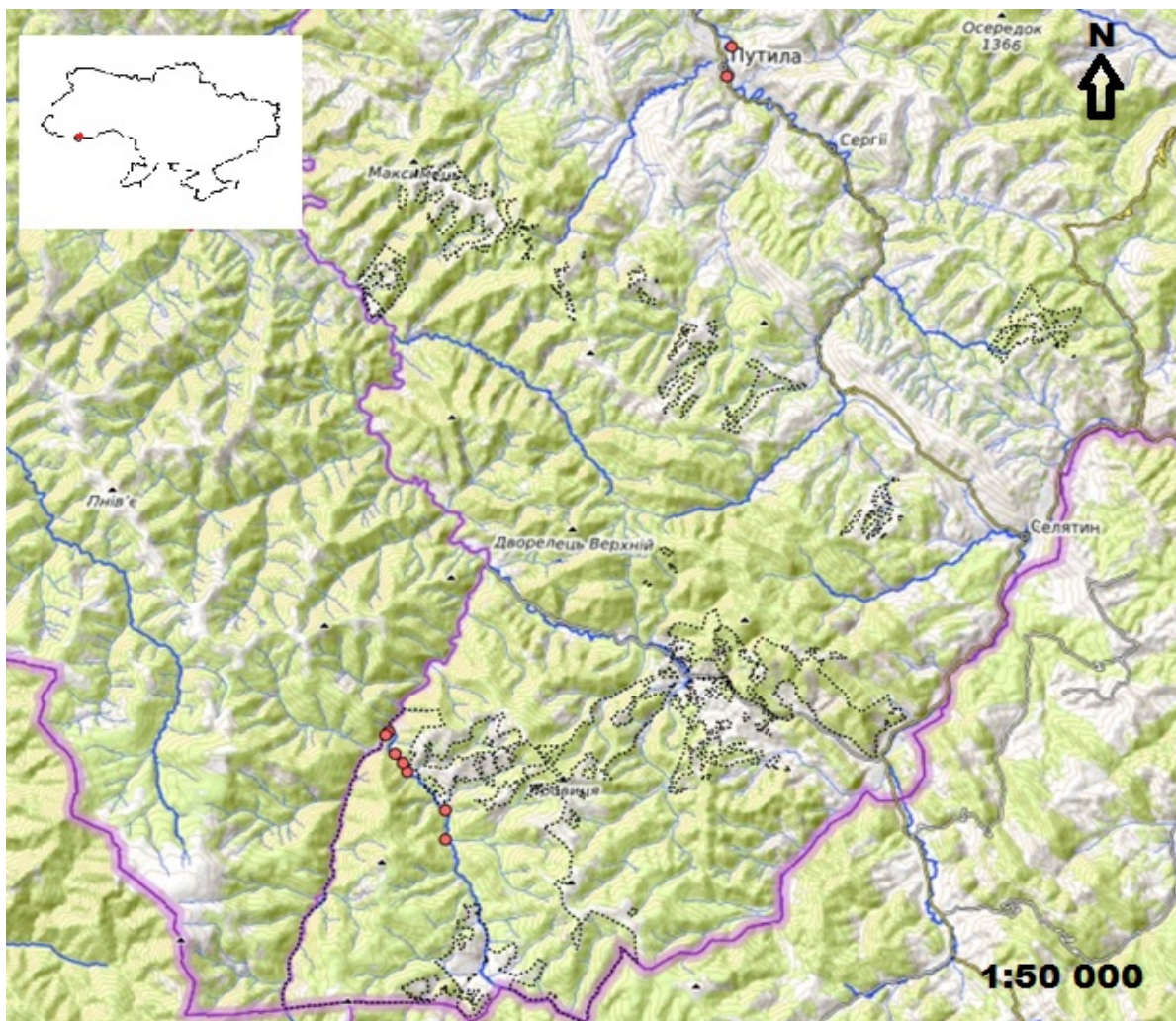


Рис. 1. Картохема розміщення точок, де було проведено акустичний моніторинг птахів

Записи проводили в рамках Паневропейської схеми моніторингу фонових видів птахів (The Pan-European Common Bird Monitoring Scheme)^{9,10} за допомогою акустичного ресивера Song Meter Micro, наданого у використанні Франкфуртським зоологічним товариством. Налаштування ресивера проведено поза польовими умовами у додатку Song Meter.

Матеріалом, що аналізується в роботі, є результати досліджень (9 звукозаписів загальною тривалістю 181 хв.), проведених з 25 по 28 квітня 2023 р. до 10 год. ранку та після 14 год. дня. Збір матеріалів для даного дослідження проведено з дотриманням Методичних рекомендацій щодо моніторингу фонових видів птахів за допомогою акустичних ресиверів, згідно яких облік потрібно було провести на 5 обраних точках по 5 хвилин на кожній. Були отримані аудіо- та текстові файли, які було оброблено за допомогою програмного забезпечення BirdNET-Analyzer. Це програмне забезпечення здатне точно аналізувати великі обсяги даних для виявлення звуків конкретних видів птахів на аудіо-записах. Метод базується на виявленні початку музичної ноти у записі для визначення кількості звуків, характерних для певного виду птахів.

Додатково аналіз даних проводили, використовуючи програмне забезпечення Raven Pro. Отримані в результаті аналізу звукових файлів сонограми порівнювали із наявними в базі xeno-canto.

Достовірність приналежності звукових сигналів одному виду, якщо було декілька повторів у записах, розраховано як середнє значення у програмі Microsoft Excel. Достовірність тим вище, чим ближче значення показника до 1.

Таксономічну приналежність та назви видів птахів, ідентифікованих за результатами аналізу звукозаписів, наводимо за польовим визначником Г. Фесенка та А. Бокотея¹¹ із дотриманням нової редакції міжнародної зоологічної номенклатури.

Для визначення ефективності розшифрування пташиних співів інструментарієм застосовували методи статистичного аналізу, а саме: на основі бінарних оцінок результатів розшифрування експертом і інструментарієм підраховано точність, чутливість, специфічність та коефіцієнт кореляції Пірсона за формулами: точність=(a+d)/(a+d+c+b); чутливість=a/(a+b); специфічність=d/(d+c); $r=((a \times d - b \times c) / (\sqrt{(a+b)(a+c)(d+b)(d+c)}))$, де a – кількість спостережень, де обидві оцінки "1"; b – кількість спостережень, де перше оцінювання "1" і друге "0"; c – кількість спостережень, де перше оцінювання "0" і друге "1"; d – кількість спостережень, де обидві оцінки "0". Результати розшифрування інструментарієм розраховували якщо поріг середнього значення достовірності 0,15. Значення коефіцієнта Пірсона r коливається від -1 до 1. Значення близьке до 1 або -1 свідчить про сильний

позитивний чи негативний зв'язок відповідно, в той час як значення близьке до 0 вказує на відсутність лінійного зв'язку.

Подібність видового складу орнітофауни на різних точках моніторингу визначали за бінарними індексами подібності Жаккара (найбільш математично коректний) та Серенсена-Чекановського, які, відповідно, розраховували за формулами

$$K_j = \frac{c}{a+b-c}, \quad K_s = \frac{2c}{a+b},$$

де a – кількість видів на першій локації,

b – кількість видів на другій локації,

c – кількість видів, спільних для 1-ої та 2-ої локації¹².

Ці коефіцієнти мають значення від -1 (відсутність подібності порівнювальних параметрів) до +1 (повну схожість).

Коефіцієнт Стургена-Радулеску¹³, який має найбільші диференціувальні властивості, розраховували за формулою: $Pst = (X+Y-Z)/(X+Y+Z)$,

де X – кількість видів, які зустрічаються на локації, але відсутні на другій;

Y – кількість видів, які зустрічаються на другій локації, але відсутні на першій;

Z – кількість видів спільних на обох локаціях¹⁴.

Даний коефіцієнт варіює від -1 до +1 (у межах від -1 до 0 вказує на подібність, а в межах від 0 до +1 – на відмінність територій).

Об'єкт дослідження – звукові сигнали птахів, записані за допомогою акустичного ресивера, проаналізовані із застосуванням спеціального програмного забезпечення та верифіковані авторами статті.

Результати

Під час досліджень записано 600 звукових сигналів. Розшифрування сигналів у програмному забезпеченні BirdNET-Analyzer показало їх приналежність 63-м видам птахів, більшість з яких – притаманні для даної території та періоду досліджень¹⁵, а 19 – виявлені вперше.

Однак, при перевірці сонограм звукових сигналів, в т.ч. спірних (вперше виявлені), за допомогою програми RavenPro та порівнянні із сонограмами, які містяться у еталонній базі xeno-canto нами виявлено, що вони насправді належали 54 видам птахів, з яких 10 нововиявлених (*Anas crecca* L., 1758 (рис. 2), *Haematopus ostralegus* L., 1758 (рис. 3), *Charadrius hiaticula* L., 1758 (рис. 4), *Tringa totanus* L., 1758 (рис. 5), *Tringa nebularia* G. G. G. G., 1767 (рис. 6), *Numenius arquata* L., 1758, *Sterna albifrons* Pallas, 1764, *Tyto alba* Scopoli, 1769, *Luscinia svecica* L., 1758 (рис. 7), *Remiz pendulinus* L., 1758 (рис. 8)).

5 видів (*Podiceps cristatus* L., 1758, *Ixobrychus minutus* L., 1766, *Nycticorax nycticorax* L., 1758, *Cygnus olor* Gmelin, 1789, *Alcedo atthis* L., 1758) ідентифіковані програмою BirdNET-Analyzer

помилково, хоча й відомо, що *Podiceps cristatus* L., 1758, *Cygnus olor* Gmelin, 1789 і *Alcedo atthis* L., 1758 трапляються під час міграції на всій території України¹¹; статус виду *Nycticorax nycticorax* L., 1758 в Україні: гніздовий, перелітний, зимуючий¹¹, а в межах Чернівецької області відома давня знахідка під час зальоту у Сторожинецькому районі¹⁶; *Ixobrychus minutus* L., 1766 є перелітним видом у регіоні Українських Карпат¹⁷.

Спірною також є ідентифікація таких видів як: *Egretta garzetta* L., 1766, *Calidris alpina* L., 1758, *Pluvialis squatarola* L., 1758, *Locustella naevia* Boddaert, 1783. Як відомо, останні 2 види під час міграції трапляються на всій території Укра-

їни¹¹, але потребують проведення спеціальних досліджень в даному регіоні, оскільки на звукозаписі, ідентифікованому як такому, що належить *Pluvialis squatarola* L., 1758 спів значно швидший, ніж притаманний сивці морській, та й скоріше подібний до дрозда співочого (*Turdus philomelos* C.L. Brehm, 1831), хоча сонограма дуже схожа до еталонних цього виду. Щодо ідентифікованого *Locustella naevia* Boddaert, 1783 варто зазначити, що сонограма дуже подібна до характерної для кобилочки-цвіркуна, однак на звукозаписі присутнє не тріскотіння, характерне для виду, а швидше ляпотіння. Стосовно *Egretta garzetta* Linnaeus, 1766, то є імовірність зальоту. Найближчі до регіону досліджень знахідки виду були

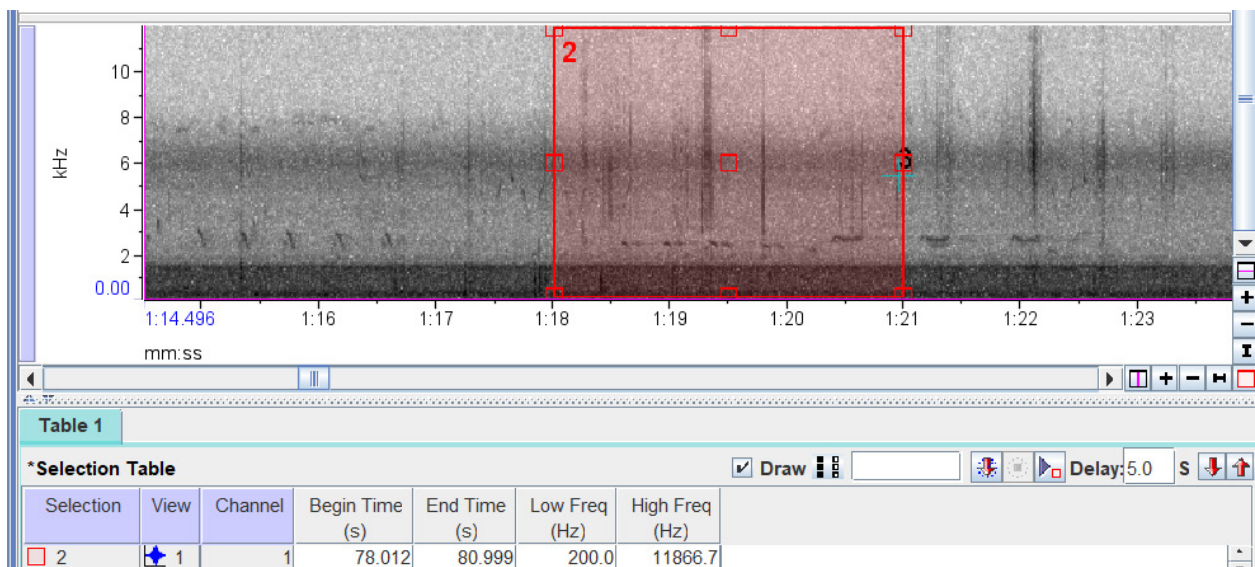


Рис. 2. Сонограма із покликком *Anas crecca* L., 1758, 28.04.23 р. біля Перкалабського ПНДВ

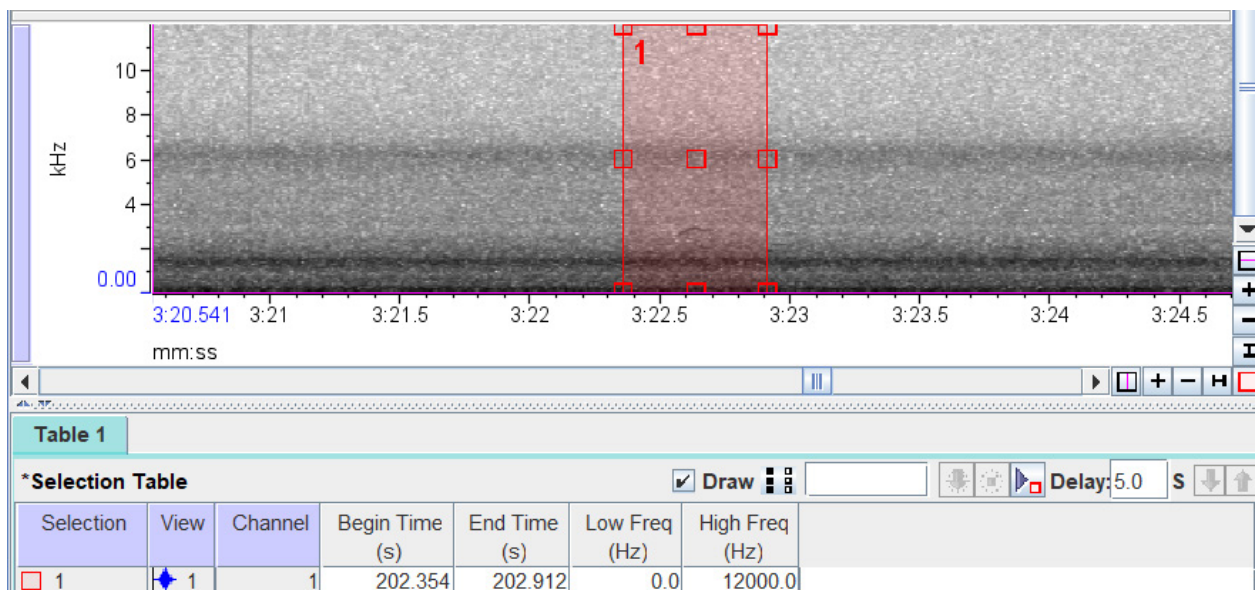


Рис. 3. Сонограма із покликком *Haematopus ostralegus* L., 1758, 27.04.23 р. вздовж русла р. Сарата

зафіксовані влітку 1955 року у Сторожинецькому районі Чернівецької області¹⁸. Однак, присутність *Egretta garzetta* у гірській частині Буковинських Карпат потребує додаткового детального вивчення та підтвердження.

Список ідентифікованих програмним забезпеченням видів птахів наводимо в таблиці 1.

Відомо, що пісочник великий (*Charadrius hiaticula*), коловодник звичайний (*Tringa totanus*), побережник чорногрудий (*Calidris alpina*) під час міграції трапляються на всій території країни¹¹. Один із міграційних шляхів *Charadrius hiaticula* з місць зимівля проходить через регіон дослідження¹⁹.

Коловодник великий (*Tringa nebularia*) є пролітним видом¹¹ і під час міграцій протягом квітня – першої половини травня трапляється на всій території України¹⁹.

Синьошийка (*Luscinia svecica*) охороняється Боннською та Бернською конвенціями, а також Пташиною Директивою, в межах території досліджень могла бути виявлена під час весняної міграції.

Ремез (*Remiz pendulinus*) перебуває під охороною Бернської конвенції.

Кулик-сорока (*Haematopus ostralegus*) – перелітний вид, який трапляється на гніздуванні переважно вздовж морського узбережжя, по берегах та островах Дніпра, Десни, Сіверського Дінця¹¹, а

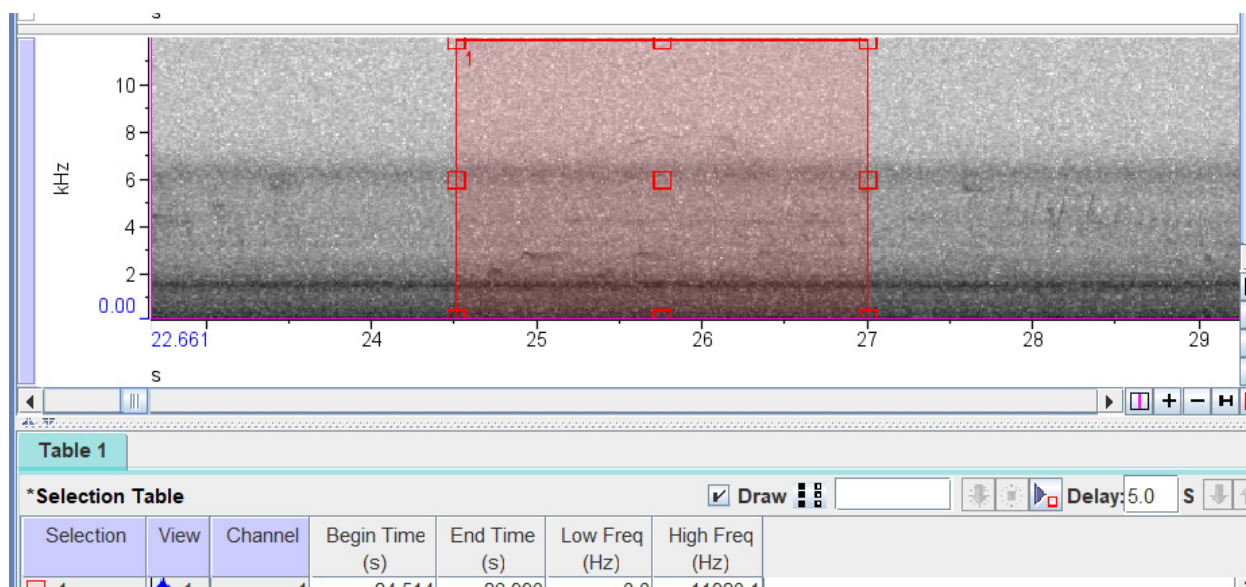


Рис. 4. Сонограма із покликком *Charadrius hiaticula* L., 1758, 28.04.23 р. біля Перкалабського ПНДВ

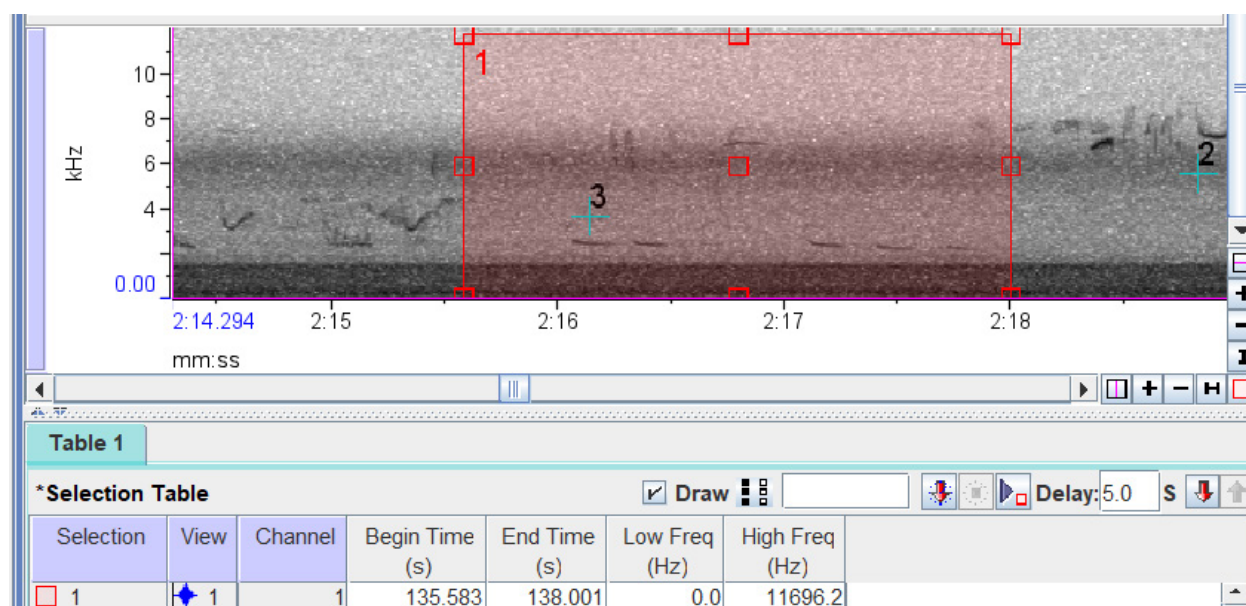


Рис. 5. Сонограма із покликком *Tringa totanus* L., 1758, 28.04.23 р. біля Перкалабського ПНДВ

в районі досліджень міг бути виявлений під час весняної міграції. Строки прильоту цього виду в Чернівецьку область припадають на 9 квітня²⁰.

Сипухи (*Tyto alba*) у випадках непрямої передгніздової дисперсії можуть переміщуватися далеко за межі свого гніздового ареалу (на сотні кілометрів)¹⁹, а в районі досліджень вид рахують корінним жителем «Native resident»²¹.

Кульон великий (*Numenius arquata*) під час міграцій трапляється на усій території країни¹⁹.

Найчастіше на звукозаписах були ідентифіковані *Phylloscopus collybita* Vieillot, 1817 – 101,

Fringilla coelebs L., 1758 – 97, *Anthus trivialis* L., 1758 – 79, *Periparus ater* L., 1758 – 55 і *Spinus spinus* L., 1758 – 41 ідентифікації (рис. 9). Можна підсумувати, що ці види утворюють комплекс видів-домінантів у біотопах в межах Буковинських Карпат.

До групи субдомінантів за кількістю ідентифікацій входять *Pyrrhula pyrrhula* L., 1758 – 24, *Parus major* L., 1758 – 22, *Erithacus rubecula* Linnaeus, 1758 – 19, *Picus viridis* L., 1758 – 16, *Anas crecca* L., 1758, *Motacilla cinerea* Tunstall, 1771 і *Phoenicurus phoenicurus* L., 1758 – по 11 ідентифікацій.

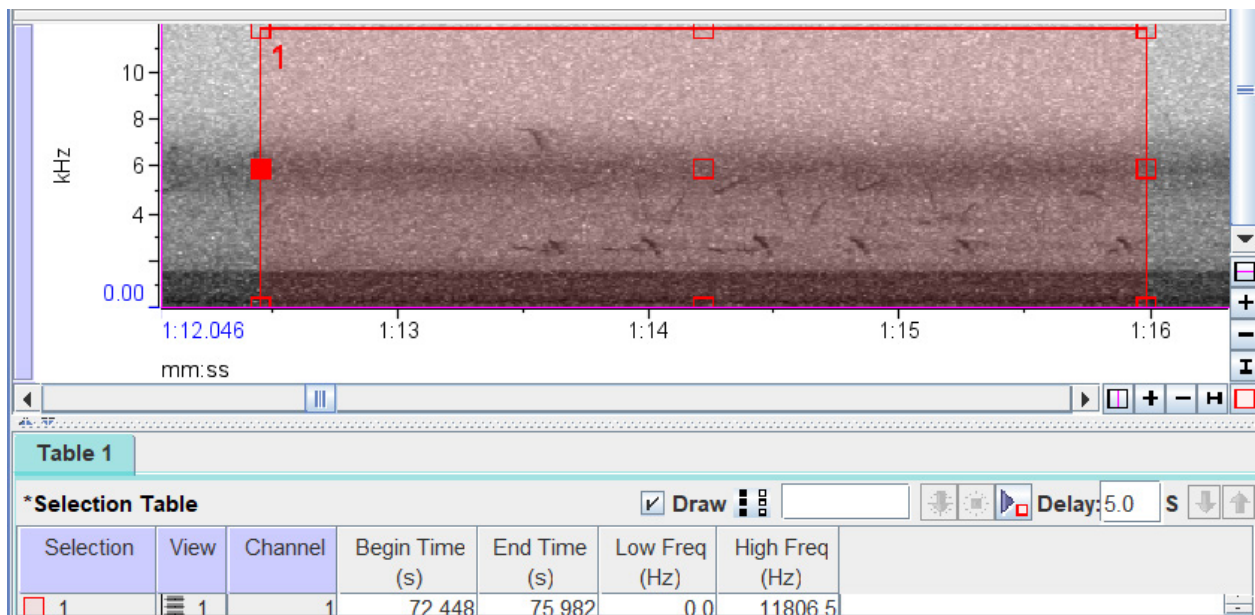


Рис. 6. Сонограма пісні *Tringa nebularia* Gunnerus, 1767, записана 28.04.23 р. біля Перкалабського ПНДВ

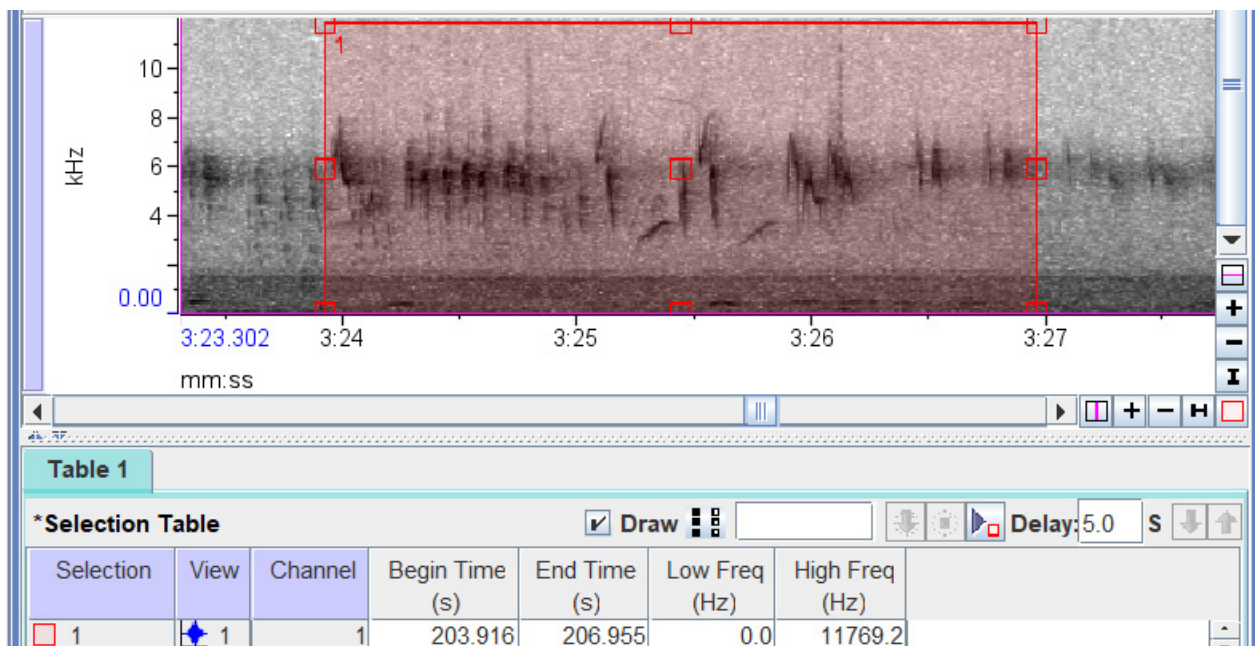


Рис. 7. Сонограма пісні *Luscinia svecica* L., 1758, записана 25.04.23 р. у смт Путила на території приватної садиби

Решта видів є малочисельними за кількістю ідентифікацій (менше 10).

В усіх досліджених біотопах ідентифікували *Anthus trivialis* L., 1758, *Phylloscopus collybita* Vieillot, 1817, *Parus major* L., 1758 і *Fringilla coelebs* L., 1758, тобто ці види є фоновими в межах всіх досліджених локацій у Буковинських Карпатах.

Найбільш високі середні значення достовірності ідентифікацій на звукових файлах мали *Coccothraustes coccothraustes* L., 1758 (0,8270 вздовж русла р. Сарата), *Phylloscopus collybita*

Vieillot, 1817 (0,8023 вздовж русла р. Сарата), *Motacilla cinerea* Tunstall, 1771 (0,7591 біля Перкалабського ПНДВ), *Troglodytes troglodytes* L., 1758 (0,6992 вздовж русла р. Сарата), *Motacilla alba* L., 1758 (0,5929 біля Перкалабського ПНДВ), що також свідчить про правильність їх ідентифікації (рис. 10).

Аналіз ефективності розшифрування пташиних співів інструментарієм показав наступне. Точність розшифровки становила 70%, якщо поріг середнього значення достовірності ідентифікації становив 0,15. При цьому чутливість склала 71%,

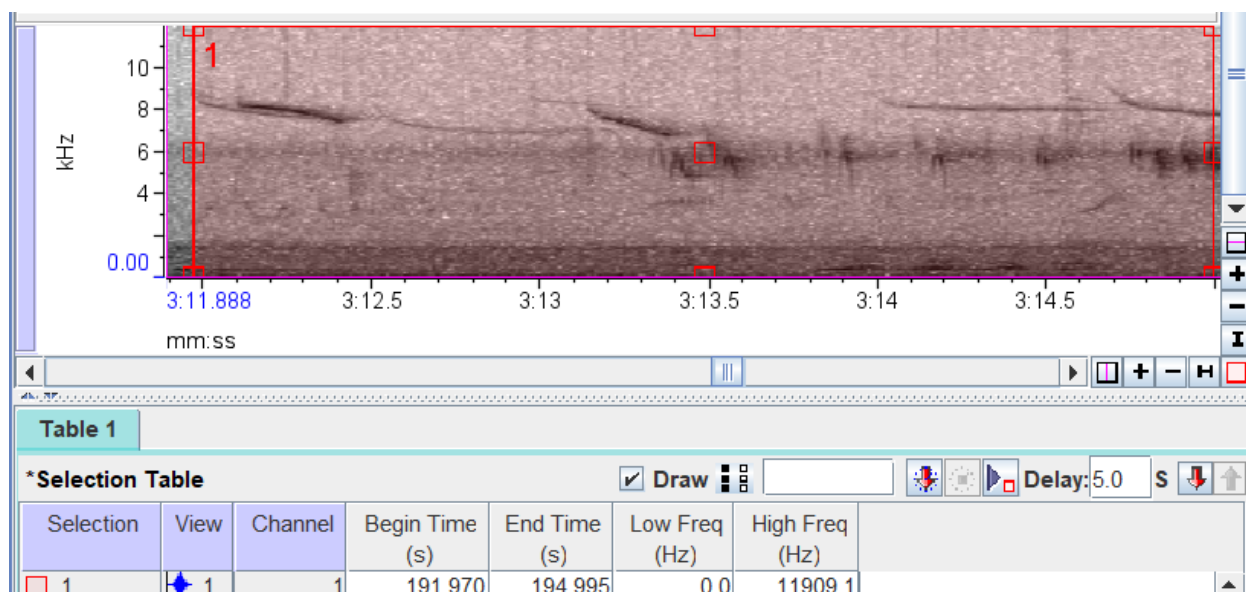


Рис. 8. Сонограма покликів *Remiz pendulinus* L., 1758, записана 25.04.23 р. у смт Путила на території приватної садиби

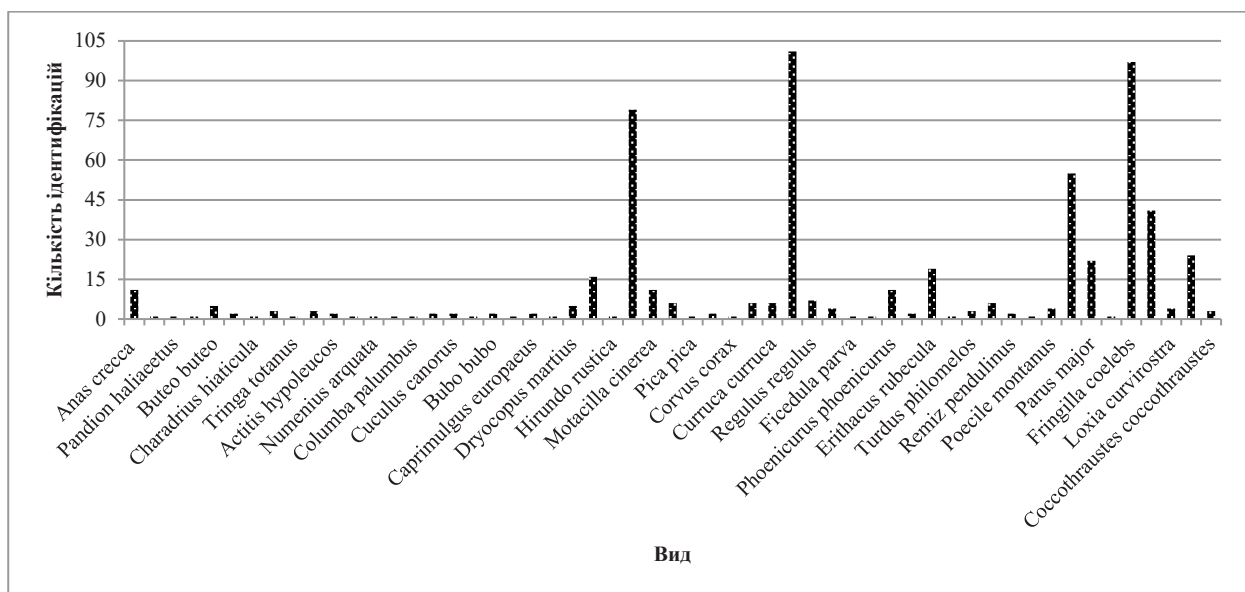


Рис. 9. Кількість ідентифікацій окремих видів птахів на звукових файлах (помилково ідентифіковані та імовірно помилково ідентифіковані види не було включено до аналізу)

Таблиця 1 – Види птахів, ідентифіковані під час акустичних досліджень

№ з/п	Українська назва	Латинська назва	Дата моніторингу і локація				Помилка ідентифікації	Загальна кількість ідентифікацій
			25.04.23; I	25.04.23; II	27.04.23; III	28.04.23; IV		
			Середнє значення достовірності					
Ряд Пірникозоподібні (Podicipediformes) Родина Пірникозові (Podicipedidae)								
1	Пірникоза велика	<i>Podiceps cristatus</i>	-	-	-	0,1083 (n=1)	‡	(n=1)
Ряд Лелекоподібні (Ciconiiformes) Родина Чаплеві (Ardeidae)								
2	Чепура мала	<i>Egretta garzetta</i>	0,1085 (n=1)	-	-	-	###	(n=1)
3	Бугайчик	<i>Ixobrychus minutus</i>	-	0,2635 (n=1)	-	-	‡	(n=1)
4	Квак	<i>Nycticorax nycticorax</i>	-	0,1384 (n=2)	-	-	‡	(n=2)
Ряд Гусеподібні (Anseriformes) Родина Качкові (Anatidae)								
5	Лебідь-шипун	<i>Cygnus olor</i>	-	-	-	0,2464 (n=1)	‡	(n=1)
6	Чирянка мала	<i>Anas crecca</i>	-	-	0,1532 (n=2)	0,2118 (n=9)		(n=11)
7	Крижень	<i>Anas platyrhynchos</i>	-	-	0,1564 (n=1)	-		(n=1)
Ряд Соколоподібні (Falconiformes) Родина Скопові (Pandionidae)								
8	*Скопа	<i>Pandion haliaeetus</i>	-	-	-	0,1116 (n=1)		(n=1)
9	Яструб малий	<i>Accipiter nisus</i>	-	0,1042 (n=1)	-	-		(n=1)
Родина Яструбові (Accipitridae)								
10	Канюк звичайний	<i>Buteo buteo</i>	-	-	0,1136 (n=1)	0,3044 (n=4)		(n=5)
Ряд Сивкоподібні (Charadriiformes) Родина Сивкові (Charadriidae)								
11	*Кулік-сорочка	<i>Haematopus ostralegus</i>	-	-	0,1801 (n=2)	-		(n=2)
12	Сивка морська	<i>Pluvialis squatarola</i>	-	-	-	0,4602 (n=1)	###	(n=1)
13	*Пісочник великий	<i>Charadrius hiaticula</i>	-	-	-	0,1610 (n=1)		(n=1)
14	Пісочник малий	<i>Charadrius dubius</i>	-	-	0,1712 (n=3)	-		(n=3)
Родина Баранцеві (Scolopacidae)								
15	Коловодник звичайний	<i>Tringa totanus</i>	-	-	-	0,2547 (n=1)		(n=1)
16	Коловодник великий	<i>Tringa nebularia</i>	-	-	-	0,1516 (n=3)		(n=3)
17	Набережник	<i>Actitis hypoleucos</i>	-	-	0,1049 (n=1)	0,1116 (n=1)		(n=2)
18	Побережник чорногрудий	<i>Calidris alpina</i>	-	-	-	0,1260 (n=1)	###	(n=1)

Продовження таблиці 1

№ з/п	Українська назва	Латинська назва	Дата моніторингу і локація				Помилка ідентифікації	Загальна кількість ідентифікацій
			25.04.23; I	25.04.23; II	27.04.23; III	28.04.23; IV		
			Середнє значення достовірності					
19	*Кульон великий	<i>Numenius arquata</i>	-	-	0,3353 (n=1)	-		(n=1)
Родина Мартінові (Laridae)								
20	*Крячок малий	<i>Sterna albifrons</i>	-	-	0,2740 (n=1)	-		(n=1)
Ряд Голубоподібні (Columbiformes) Родина Голубові (Columbidae)								
21	Припутень	<i>Columba palumbus</i>	-	0,1347 (n=1)	-	-		(n=1)
22	Горлиця садова	<i>Streptopelia decaocto</i>	-	0,1393 (n=2)	-	-		(n=2)
Ряд Зозулеподібні (Cuculiformes) Родина Зозулеві (Cuculidae)								
23	Зозуля	<i>Cuculus canorus</i>	0,2721 (n=1)	0,2295 (n=1)	-	-		(n=2)
Ряд Совоподібні (Strigiformes) Родина Сипухові (Tytonidae)								
24	*Сипуха	<i>Tyto alba</i>	-	-	0,4509 (n=1)	-		(n=1)
Родина Совові (Strigidae)								
25	Пугач	<i>Bubo bubo</i>	-	0,1175 (n=2)	-	-		(n=2)
26	Сова сіра	<i>Strix aluco</i>	0,1277 (n=1)	-	-	-		(n=1)
Ряд Дрімлюгоподібні (Caprimulgiformes) Родина Дрімлюгові (Caprimulgidae)								
27	Дрімлюга	<i>Caprimulgus europaeus</i>	-	-	0,2528 (n=1)	0,1709 (n=1)		(n=2)
Ряд Одудоподібні (Upupiformes) Родина Одудові (Upupidae)								
28	Одуд	<i>Upupa epops</i>	-	-	-	0,1163 (n=1)		(n=1)
Ряд Ракшеподібні (Coraciiformes) Родина Рибалочкові (Alcedinidae)								
29	Рибалочка	<i>Alcedo atthis</i>	-	-	-	0,1477 (n=2)	#	(n=2)
Ряд Дятлоподібні (Piciformes) Родина Дятлові (Picidae)								
30	Жовна чорна	<i>Dryocopus martius</i>	0,1326 (n=3)	-	-	0,1010 (n=2)		(n=5)
31	*Жовна зелена	<i>Picus viridis</i>	0,3151 (n=1)	-	-	0,1261 (n=15)		(n=16)
Ряд Горобцеподібні (Passeriformes) Родина Ластівкові (Hirundinidae)								
32	Ластівка сільська	<i>Hirundo rustica</i>	0,4254 (n=1)	-	-	-		(n=1)

№ з/п	Українська назва	Латинська назва	Дата моніторингу і локація				Помилка ідентифікації	Загальна кількість ідентифікацій
			25.04.23; I	25.04.23; II	27.04.23; III	28.04.23; IV		
			Середнє значення достовірності					
Родина Плискові (Motacillidae)								
33	Щеврик лісовий	<i>Anthus trivialis</i>	0,2220 (n=12)	0,2038 (n=7)	0,2242 (n=3)	0,1872 (n=57)		(n=79)
34	Плиска гірська	<i>Motacilla cinerea</i>	-	-	-	0,7591 (n=11)		(n=11)
35	Плиска біла	<i>Motacilla alba</i>	-	0,1696 (n=2)	-	0,5929 (n=4)		(n=6)
Родина Воронові (Corvidae)								
36	Сорока	<i>Pica pica</i>	-	0,2307 (n=1)	-	-		(n=1)
37	Ворона сіра	<i>Corvus cornix</i>	-	0,3051 (n=2)	-	-		(n=2)
38	Крук	<i>Corvus corax</i>	-	0,3188 (n=1)	0,4014 (n=1)	-		(n=1)
Родина Воловоочкові (Troglodytidae)								
39	Волове око	<i>Troglodytes troglodytes</i>	-	-	0,6992 (n=5)	0,2352 (n=1)		(n=6)
Родина Кропив'янкові (Sylviidae)								
40	Кобилочка-цвіркун	<i>Locustella naevia</i>	-	-	-	0,1234 (n=1)	##	(n=1)
41	Кропив'янка прудка	<i>Curruca curruca</i>	0,1299 (n=4)	0,3745 (n=2)	-	-		(n=6)
42	Вівчарик-ковалик	<i>Phylloscopus collybita</i>	0,3233 (n=1)	0,4168 (n=14)	0,8023 (n=2)	0,2721 (n=84)		(n=101)
Родина Золотомушкові (Regulidae)								
43	Золотомушка жовточуба	<i>Regulus regulus</i>	-	-	0,1965 (n=4)	0,1621 (n=3)		(n=7)
44	*Золотомушка червоночуба	<i>Regulus ignicapillus</i>	-	-	0,1309 (n=1)	0,1385 (n=3)		(n=4)
Родина Мухоловкові (Muscicapidae)								
45	Мухоловка мала	<i>Ficedula parva</i>	-	-	-	0,2054 (n=1)		(n=1)
46	Кам'янка звичайна	<i>Oenanthe oenanthe</i>	-	-	-	0,1316 (n=1)		(n=1)
47	Горихвістка звичайна	<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	-	0,2608 (n=11)	-	-		(n=11)
48	Горихвістка чорна	<i>Phoenicurus ochruros</i>	-	0,4882 (n=2)	-	-		(n=2)
49	Вільшанка	<i>Erithacus rubecula</i>	-	-	0,2517 (n=17)	0,2368 (n=2)		(n=19)
50	Синьошийка	<i>Luscinia svecica</i>	-	0,1431 (n=2)	-	-		(n=1)
51	Дрізд співочий	<i>Turdus philomelos</i>	-	-	-	0,1320 (n=3)		(n=3)
52	Дрізд-омелюх	<i>Turdus viscivorus</i>	-	-	-	0,2270 (n=6)		(n=6)
Родина Синицеві (Paridae)								

Закінчення таблиці 1

№ з/п	Українська назва	Латинська назва	Дата моніторингу і локація				Помилка ідентифікації	Загальна кількість ідентифікацій
			25.04.23; I	25.04.23; II	27.04.23; III	28.04.23; IV		
			Середнє значення достовірності					
53	Ремез	<i>Remiz pendulinus</i>	-	0,1042 (n=1)	-	0,1036 (n=1)	(n=2)	
54	Синиця чубата	<i>Lophophanes cristatus</i>	-	-	-	0,1124 (n=1)	(n=1)	
55	Гаїчка-пухляк	<i>Poecile montanus</i>	-	-	0,2079 (n=3)	0,1030 (n=1)	(n=4)	
56	Синиця чорна	<i>Periparus ater</i>	0,2434 (n=9)	-	0,2971 (n=14)	0,2963 (n=32)	(n=55)	
57	Синиця велика	<i>Parus major</i>	0,3607 (n=8)	0,1702 (n=2)	0,1573 (n=6)	0,1680 (n=6)	(n=22)	
Родина Підкоришникові (Certhiidae)								
58	Підкоришник звичайний	<i>Certhia familiaris</i>	-	-	-	0,1070 (n=1)	(n=1)	
Родина В'юркові (Fringillidae)								
59	Зяблик	<i>Fringilla coelebs</i>	0,2047 (n=8)	0,2779 (n=64)	0,3058 (n=16)	0,1767 (n=9)	(n=97)	
60	Чиж	<i>Spinus spinus</i>	-	-	0,3679 (n=26)	0,3342 (n=15)	(n=41)	
61	Шишкар ялиновий	<i>Loxia curvirostra</i>	-	-	0,1757 (n=3)	0,1131 (n=1)	(n=4)	
62	Снігур	<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	-	-	0,1106 (n=2)	0,2025 (n=22)	(n=24)	
63	Костогриз	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	-	-	0,8270 (n=2)	0,1500 (n=1)	(n=3)	
Загальна кількість виявлених видів			12	20	24	40	600	

Примітка: * – вид, що охороняється Законом України «Про Червону книгу України»; # - вид, який було ідентифіковано програмою помилково; ## - вид, який імовірно було ідентифіковано програмою помилково, потребує підтвердження

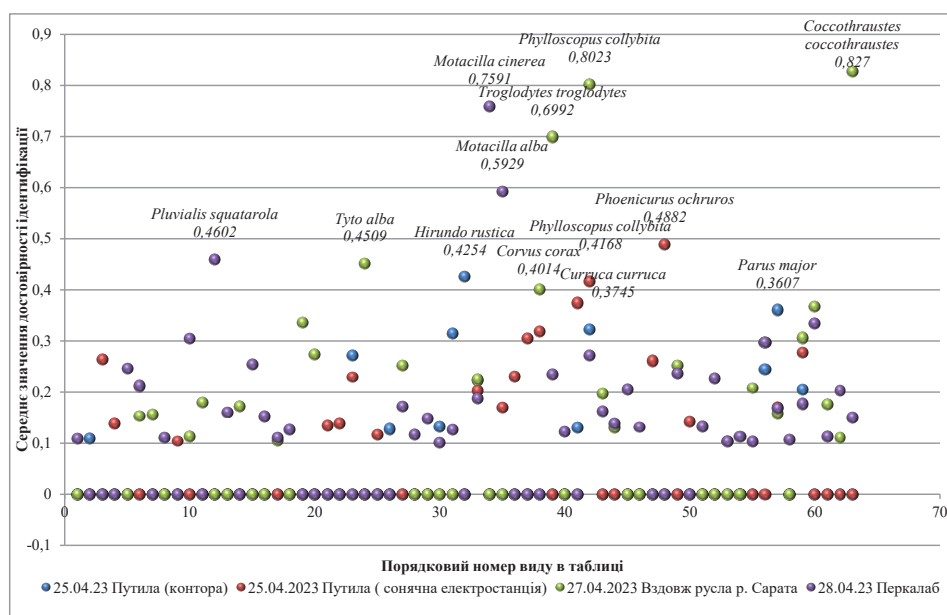


Рис. 10. Достовірність ідентифікацій на звукових файлах

а специфічність 63%. Коефіцієнт кореляції Пірсона при цьому порозі свідчить про статистично значущий, хоча й слабкий, позитивний лінійний зв'язок між змінними ($r=0,23$).

Раритетна складова ідентифікованих видів представлена 8-ма видами птахів, що занесені до оновленого переліку червонокнижних видів тварин, відповідно до Наказу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 19.01.2021 р. № 29 «Про затвердження переліків видів тварин, що заносяться до Червоної книги України (тваринний світ), та видів тварин, що виключені з Червоної книги України (тваринний світ)»: скопа (*Pandion haliaetus*), кулик-сокола (*Haematopus ostralegus*), пісочник великий (*Charadrius hiaticula*), кульон великий (*Numenius arquata*), крикоч малий (*Sterna albifrons*), сипуха (*Tyto alba*), жовна зелена (*Picus viridis*) і золотомушка червоночуба (*Regulus ignicapillus*).

Наші дослідження також є доповненням для встановлення термінів весняної міграції птахів. Зокрема, для пісочника малого (*Charadrius dubius*), якого в попередні роки тут фіксували не раніше 13 травня, одуда (*Upupa epops*) – найбільш рання зустріч 30 травня та кропив'янки прудкої (*Currucula currucula*) – найбільш рання зустріч 16 травня²².

Аналіз подібності видового різноманіття орнітофауни показав, що найбільш схожими в цьому відношенні є локації вздовж русла р. Сарата та біля Перкалабського ПНДВ, де трапляється 18 спільних для цих територій видів птахів (*Anas crecca* L., 1758, *Buteo buteo* L., 1758, *Actitis hypoleucos* L., 1758, *Caprimulgus europaeus* L. 1758, *Anthus trivialis* L., 1758, *Troglodytes troglodytes* L., 1758, *Phylloscopus collybita* Vieillot, 1817, *Regulus regulus* L., 1758, *Regulus ignicapillus* Temminck, 1820, *Erithacus rubecula* L., 1758, *Poecile montanus* Baldenstein, 1827, *Periparus ater* L., 1758, *Parus major* L., 1758, *Fringilla coelebs* L., 1758, *Spinus*

spinus L., 1758, *Loxia curvirostra* L., 1758, *Pyrhula pyrrhula* L., 1758, *Coccothraustes coccothraustes* L., 1758), що також підтверджують високі показники індексів Жаккара та Серенсена-Чекановського (0,39 і 0,56 відповідно) (табл. 2). Найнижчий ступінь подібності видового різноманіття орнітофауни зафіксовано для локації в приватній садибі в смт Путила та біля Перкалабського ПНДВ, про що свідчать підраховані показники індексів Стургена-Радулеску, Жаккара і Серенсена-Чекановського (0,78, 0,11 і 0,20 відповідно) (табл. 2).

Обговорення

Акустичний моніторинг птахів, як один із сучасних методів дослідження, показав свою ефективність завдяки можливості збирати великий масив даних одразу з багатьох моніторингових ділянок (наприклад, для встановлення подібності видового складу орнітофауни), при цьому збір даних не обов'язково повинен проводити експерт у галузі орнітології, а цю функцію можуть виконувати люди, які отримали навички роботи зі звукозаписуючим пристроєм (акустичним ресивером). Це значно економить часовий ресурс та зусилля на збір даних, про що також наголошують кенійські вчені²³, а також дозволяє зберігати дані необмежений період часу до моменту його розшифрування спеціальними програмами та аналізу фахівцем у позапольових умовах. Даний метод також пропонують застосовувати для дослідження популяцій птахів на територіях із високим видовим різноманіттям та за відсутності кваліфікованих спеціалістів^{24,25}.

Однак, ми показали, що застосування інструментарію BirdNET-Analyzer є недостатньо ефективним, оскільки частка вірно ідентифікованих видів не перевищує 70%. Тому, для усунення цих прогалин обов'язково необхідно прослуховувати звукові файли фахівцю-орнітологу, який добре вмє аудіально ідентифікувати птахів, а також порівнювати отримані зі звукозаписів сонограми із ета-

Таблиця 2 – Подібність видового різноманіття орнітофауни на різних локаціях

Пара локацій	Кількість спільних видів	Індекс подібності		
		Жаккара	Серенсена-Чекановського	Стургена-Радулеску
Путила (біля адмінприміщення) – Путила (приватна садиба)	6	0,23	0,38	0,54
Путила (біля адмінприміщення) – Вздовж русла р. Сарата	5	0,16	0,28	0,69
Путила (біля адмінприміщення) – Біля Перкалабського ПНДВ	7	0,16	0,27	0,69
Путила (приватна садиба) – Вздовж русла р. Сарата	5	0,13	0,23	0,75
Путила (приватна садиба) – Біля Перкалабського ПНДВ	6	0,11	0,20	0,78
Вздовж русла р. Сарата – Біля (Перкалабського ПНДВ)	18	0,39	0,56	0,23

лонними у наявних базах даних. Незважаючи на значний дисбаланс набору даних, а також беручи до уваги потребу у більш високоточному виявленні птахів, результати такого моніторингу є дуже багатобічними і свідчать про високий потенціал у доповненні досліджень міграції птахів⁸.

Важливим параметром при розшифруванні звуків птахів інструментарієм BirdNET-Analyzer є кількість повторних виявлень одного виду на звукозаписі. Крім того, що значна кількість повторних ідентифікацій одного виду на звукозаписі свідчить про високу ймовірність того, що цей вид, дійсно, був правильно визначений, такі дані також дозволяють встановити домінуючі та фонові види в межах дослідженого біотопу, показують просторовий розподіл видів²⁶ та допомагають оцінити щільність популяції птахів на основі точних методів, які ґрунтуються на відстані до джерела звуку²⁷. На правильність визначення виду птахів інструментарієм вказують також високі середні значення достовірності ідентифікації (понад 0,5). А для більш точного виділення та класифікації співів із безперервних записів слід застосовувати видоспецифічний підхід²⁸.

Крім того, дослідники можуть оцінити кількість видів птахів, співи яких присутні на звукозаписах, та використати цю інформацію для оцінки видового багатства в екосистемі²³.

Висновки

Таким чином, акустичний моніторинг у Буковинських Карпатах і детальний аналіз отриманих звукових файлів дозволили достовірно встановити приналежність звукових сигналів 54 видам птахів, з яких 10 вперше виявлені в регіоні та 8 –

червонокнижні (*Pandion haliaeetus*, *Haematopus ostralegus*, *Charadrius hiaticula*, *Numenius arquata*, *Sterna albifrons*, *Tyto alba*, *Picus viridis* і *Regulus ignicapillus*). З'ясовано у біотопах комплексу видів-домінантів, до складу якого входять *Phylloscopus collybita*, *Fringilla coelebs*, *Anthus trivialis*, *Periparus ater* і *Spinus spinus*. Фоновими видами, присутніми в усіх біотопах, в межах яких проведено моніторинг, є *Anthus trivialis*, *Phylloscopus collybita*, *Parus major* і *Fringilla coelebs*. Підтверджено правильність ідентифікації видів (*Coccothraustes coccothraustes*, *Phylloscopus collybita*, *Motacilla cinerea*, *Troglodytes troglodytes*, *Motacilla alba*), які мали найвищі показники середнього значення достовірності ідентифікації (від 0,5929 до 0,8270) на звукових файлах. Статистично доведено існування слабкого позитивного лінійного зв'язку між ефективністю розшифрування пташиних співів та середнім значенням достовірності ідентифікації, якщо поріг 0,15 ($r=0,23$). Доповнено відомості щодо термінів весняної міграції *Charadrius dubius*, *Upupa epops* і *Currucula curruca*. Достовірно встановлено найбільшу подібність видового різноманіття у складі орнітофауни на локаціях вздовж русла р. Сарата та біля Перкалабського ПНДВ, для яких ідентифіковано 18 спільних видів птахів, що підтверджено високими показниками індексів Жаккара та Серенсена-Чекановського (0,39 і 0,56 відповідно). Найменш подібними за цим аспектом є локації в приватній садибі в смт Путила та біля Перкалабського ПНДВ, показники індексів Стургена-Радулеску, Жаккара і Серенсена-Чекановського по 0,78, 0,11 і 0,20 відповідно.

Література

- (1) Maina C.w. Cost Effective Acoustic Monitoring of Bird Species. *Proc. Interspeech*, **2016**, 2617-2620. DOI:10.21437/Interspeech.2016-746
- (2) Lawton, J. H.; Bignell, D.; Bolton, B.; Bloemers, G.; Eggleton, P.; Hammond, P.; Hodda, M.; Holt, R.; Larsen, T.; Mawdsley, N. et al. Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. *Nature*. **1998**, 391(6662), 72-76. DOI: 10.1038/34166
- (3) Kerr, J. T.; Sugar, A.; Packer, L. Indicator taxa, rapid biodiversity assessment, and nestedness in an endangered ecosystem. *Conservation Biology*. **2000**, 14(6), 1726-1734. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2000.99275.x>
- (4) Sueur, J.; Pavoine, S.; Hamerlynck, O.; Duvail, S. Rapid acoustic survey for biodiversity appraisal. *PLoS One*. **2008**, 3(12), e4065. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004065>
- (5) Pieretti, N.; Farina, A.; Morri, D. A new methodology to infer the singing activity of an avian community: the Acoustic Complexity Index (ACI). *Ecological Indicators*. **2011**, 11(3), 868-873. doi:10.1016/j.ecolind.2010.11.005
- (6) Horton, K. G.; Shriver, W. G.; Buler, J. J. A comparison of traffic estimates of nocturnal flying animals using radar, thermal imaging, and acoustic recording. *Ecological Applications*. **2015**, 25(2), 390-401. DOI: 10.1890/14-0279.1
- (7) Zwart, M. C.; Baker, A.; McGowan, P. J.; Whittingham, M. J. The use of automated bioacoustic recorders to replace human wildlife surveys: an example using nightjars. *PloS one*. **2014**, 9(7), e102770. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102770>
- (8) Pamula, H.; Pocha, A.; Klaczynski, M. Deep Learning Methods for Acoustic Monitoring of Birds Migrating at Night. *Forum Acusticum*. Lyon, France, **2020**, 2761-2764. ff10.48465/fa.2020.0650f

- (9) Височин, М. О.; Кузьменко, Т. М.; Струс, Ю. М.; Кузьо, Г. О.; Юзик, Д. І. Акустичний моніторинг фонових видів птахів в Українських Карпатах: методика, проблеми та попередні результати. *Збереження біотичного та ландшафтного різноманіття на природно-заповідних територіях: мат-ли конференції, присвяченої 100-річчю Канівського природного заповідника (21-23 вересня 2023 р., м. Канів, Черкаська обл.)* / ред. В.М. Грищенко. Чернівці: Друк Арт. Серія: «Conservation Biology in Ukraine», **2023**, 36, 52-57. https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2024/03/hundred-1_compressed.pdf
- (10) Юзик, Д. І.; Юзик, А. В. Про перші результати акустичного моніторингу деяких видів птахів у Буковинських Карпатах. *Регіональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень: мат-ли Шостої міжнародної науково-практичної конференції (12-13 жовтня 2023 року, смт Путила, Чернівецька область, Україна)* / наук. ред. І.І. Чорней, І.В. Скільський, Д.І. Юзик, О.В. Василюк. Чернівці : Друк Арт. Серія: «Conservation Biology in Ukraine», **2023**, 35, 81-83. https://www.researchgate.net/publication/377499671_Pro_persi_rezultati_akusticnogo_monitoringu_deakih_vidiv_ptahiv_u_Bukovinskih_Karpatah
- (11) Фесенко, Г. В.; Бокотей, А. А. Птахи фауни України: польовий визначник. Київ, **2002**, 416; іл. 1430 (іл. табл 195). <https://pernatidruzi.org.ua/book.php?bookid=76>
- (12) Мегарран, Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, **1992**, 1-161.
- (13) Леонтьев, Д. В. Флористичний аналіз у мікології: підручник. Х.: Вид. група «Основа», **2007**, 1-160; 50 іл. <https://mycology.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2023/02/Leontyev-2007-Florystychnyj-analiz-v-mikologiyi-pidruchnyk.pdf>
- (14) Шмидт, В.М. Математические методы в ботанике: учеб. пособие. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, **1984**, 288. <https://h.twirpx.link/file/2193783/>
- (15) Літопис природи НПП «Черемоський» за 2022-2023 природний рік. Путила, **2024**, 1-649.
- (16) Скільський, І. В.; Годованец, Б. И.; Бучко, В. В. Гнездовая экология кваквы в регионе Украинских Карпат. *Беркут*. **2000**, 9(1-2), 12-22. <http://www.aetos.kiev.ua/berkut/berkut09/ecology9-1.pdf>
- (17) Скільський, І. В.; Клітін, О. М. Трофічні зв'язки бугайчика у Прут-Дністровському межиріччі України. *Беркут*. **2001**, 10(2), 203-206. <http://aetos.kiev.ua/pdf/berkut/berkut10-2.pdf>
- (18) BirdLife International Species factsheet: Little Egret *Egretta garzetta*. **2024**. Downloaded from <https://datazone.birdlife.org/species/factsheet/little-egret-egretta-garzetta> on 31/07/2024.
- (19) Енциклопедія мігруючих видів диких тварин України / під загальною редакцією к.б.н., с.н.с. Полуди А.М. Київ. **2018**, 1-694. <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/05/Entsyklopediya-migruyuchykh-vydiv-dykyh-tvaryn-Ukrayiny-3.pdf>
- (20) Грищенко, В. М. Строки всяного прильоту кулика-сороки (*Haematopus ostralegus* в Україні. Авіфауна України. **2022**, 10, 71-80. https://www.researchgate.net/publication/362263563_Stroki-vesnanogo_prilotu_kulika-soroki_Haematopus_ostralegus_v_Ukraini_Timing_of_the_spring_arrival_of_Oystercatcher_Haematopus_ostralegus_in_Ukraine_Ukrainian
- (21) BirdLife International. Species factsheet: Common Barn-owl *Tyto alba*. **2024**. Downloaded from <https://datazone.birdlife.org/species/factsheet/common-barn-owl-tyto-alba> on 31/07/2024.
- (22) Юзик, Д.І. До фенології весняної міграції птахів у НПП «Черемоський» та околицях. *Основні проблеми і тенденції розвитку природоохоронних територій в Українських Карпатах: мат-ли Міжнарод. наук.-практ. конф., присвяченої 25-й річниці з дня створення природного заповідника «Горгани», 16-17 вересня 2021 року, м. Надвірна*. **2021**, 238-241. https://www.researchgate.net/publication/360485075_Do_fenologii_vesnanoi_migracii_ptahiv_u_NPP_Ceremoskij_ta_okolicah
- (23) Maina, C.w. Audio Diarization for Biodiversity Monitoring. *AFRICON*, **2015**. Addis Ababa, Ethiopia. **2015**, 1-5. DOI:10.1109/AFRCON.2015.7331986
- (24) Brandes, T. S. Automated sound recording and analysis techniques for bird surveys and conservation. *Bird Conservation International*. **2008**, 18(S1), 163-173. doi:10.1017/S0959270908000415
- (25) Celis-Murillo, A.; Deppe, J. L.; Allen, M. F. Using soundscape recordings to estimate bird species abundance, richness, and composition. *Journal of Field Ornithology*. **2009**, 80, 64-78. <https://doi.org/10.1111/j.1557-9263.2009.00206.x>
- (26) Maina, C.w.; Muchiri, D.; Njoroge, P. A Bioacoustic Record of a Conservancy in the Mount Kenya Ecosystem. *Biodiversity Data Journal*. **2016**, 4, e9906. doi:10.3897/BDJ.4.e9906
- (27) Dawson, D. K.; Efford, M. G. Bird population density estimated from acoustic signals. *Journal of Applied Ecology*. **2009**, 46, 1201-1209. Doi:10.1111/j.1365-2664.2009.01731.x
- (28) Hockman, E. V. Acoustic monitoring of wildlife in inaccessible areas and automatic detection of bird songs from continuous recordings. *PhD diss., University of Tennessee*, **2018**, 1-153. https://trace.tennessee.edu/utk_graddiss/4874