

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В. Н. КАРАЗІНА

Біологічний факультет
Кафедра зоології та екології тварин

Кваліфікаційна робота
здобувачки другого (магістерського) рівня вищої освіти
за темою:

**ГЕОГРАФІЧНА МІНЛИВІСТЬ АКУСТИЧНОГО СИГНАЛУ СОВКИ
ЄВРАЗІЙСЬКОЇ *OTUS SCOPS* (LINNAEUS, 1758)**

Спеціальність (спеціалізація) 091 Біологія та біохімія
Освітня програма Біологія

Виконавець:  _Ксенія Волковінська

Науковий керівник:  _Тетяна Атемасова

Науковий консультант:  _Валерія Чупракова

Харків, 2025

АНОТАЦІЯ

Вокальні характеристики птахів можуть бути чутливим показником як морфологічної диференціації популяцій, так і впливу середовища на комунікативні системи. У випадку *O. scops* – виду з широким ареалом, що охоплює Європу, Західну й Центральну Азію, Північну Африку та численні острови Середземномор'я – існують передумови для формування вокальних диференцій, пов'язаних з екологічними умовами, географічними бар'єрами та історією популяцій. Методологічна основа дослідження включає спектральний аналіз аудіофайлів у програмі Raven Pro (версія 1.6.5), статистичну обробку в середовищі RStudio (версія 2025.09.2), а також застосування методів багатовимірної статистики – головних компонент, регресійних моделей, кореляційних тестів та дисперсійного аналізу. Проаналізовано записи шлюбно-територіального сигналу 91 особини, для 5 з яких відома підвидова приналежність. Констатована наявність кореляцій між частотними параметрами сигналу і широтою; відсутність різко окреслених акустичних кластерів у вокальному сигналі *Otus scops*. Підвиди *Otus scops* відрізняються насамперед високочастотними спектральними характеристиками, які чутливі у розрізненні підвидів. Підвиди не утворюють повністю ізольованих акустичних кластерів, але розподілені таким чином, що формують статистично значущі відмінності у середніх значеннях. Деякі підвиди, зокрема *O. s. mallorcae*, відомі як географічно ізольовані та демонструють більш виняткові значення частот.

Робота містить 85 стор., 10 рисунків, 4 таблиці, 2 формули, 5 додатків. Перелік посилань - 60 джерел.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ЗМІСТ	3
ВСТУП	5
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	7
1.1. Біологічні особливості совки євразійської (<i>Otus scops</i>)	7
1.1.1. Систематичне положення та таксономічна структура виду	7
1.1.2. Поширення та ареал виду	11
1.1.3. Екологічні особливості	13
1.2. Акустичний сигнал у совок роду <i>Otus</i>	16
1.2.1. Типи вокалізацій у совок	16
1.2.2. Фізіологічні та морфологічні передумови звукової комунікації	18
1.2.3. Функції акустичних сигналів у біології виду	21
1.3. Дослідження акустичної мінливості у <i>Otus scops</i>	23
2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ	26
2.1. Аудіодані досліджуваного виду	26
2.2. Просторове розміщення записів	26
2.3. Вибір та обґрунтування акустичних параметрів	29
2.4. Обробка та аналіз сигналів у програмі Raven Pro 1.6.5	31
2.5. Обґрунтування статистичних та аналітичних методів	33
2.5.1. PCA – Аналіз головних компонент	34
2.5.2. Лінійна регресія з координатами – виявлення географічних трендів	36
6. Послідовність обробки та аналізу даних у R	40
3. РЕЗУЛЬТАТИ	44
3.1. PCA	44

	4
3.2. Лінійна регресія з координатами	53
3.3. ANOVA	56
4. ОБГОВОРЕННЯ	61
5. ВИСНОВКИ	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	66
ANNOTATION	73
ДОДАТКИ	74
Додаток А.	74
Додаток А1. Повна таблиця акустичних параметрів сигналів Otus scops	74
Додаток А2. Результати РСА-тесту	75
Додаток А3. Таблиця розподілу нормальності даних за Шапіро-Вілком тестом	77
Таблиця А4. Результати лінійної регресії	79

ВСТУП

Акустична комунікація є одним із ключових способів передавання інформації у птахів, особливо в групах, у яких голосові сигнали відіграють провідну роль у репродуктивній поведінці та територіальній взаємодії. Совка євразійська (*Otus scops* Linnaeus, 1758) – вид із широким ареалом та вираженою підвидовою структурою, вокалізація якого традиційно розглядається як важливий індикатор як таксономічних, так і екологічних відмінностей між популяціями. Її монотонний шлюбно-територіальний крик тривалий час застосовується у польових дослідженнях для ідентифікації виду, однак питання щодо географічної та підвидової мінливості цього сигналу досі залишаються недостатньо вивченими.

Актуальність теми зумовлена зростанням інтересу до поєднання акустичних та екологічно-географічних підходів у вивченні біорізноманіття. Сучасні дослідження зоологів та біоакустиків демонструють, що вокальні характеристики птахів можуть бути чутливим показником як морфологічної диференціації популяцій, так і впливу середовища на комунікативні системи. У випадку *O. scops* – виду з широким ареалом, що охоплює Європу, Західну й Центральну Азію, Північну Африку та численні острови Середземномор'я – існують передумови для формування вокальних диференцій, пов'язаних з екологічними умовами, географічними бар'єрами та історією популяцій.

Наукова новизна дослідження полягає у комплексному підході до аналізу вокальних параметрів *Otus scops* із використанням даних із відкритих аудіобаз та статистичних алгоритмів багатовимірної аналізу. Проведено сумісне дослідження спектральних характеристик голосу одразу кількох підвидів совки євразійської з різних частин ареалу, а також оцінено зв'язок акустичних параметрів із географічними координатами.

Об'єктом дослідження є шлюбно-територіальний акустичний сигнал самців совки євразійської.

Предметом дослідження – спектральні параметри цього сигналу в контексті підвидової приналежності та географічної мінливості.

Метою роботи є виявлення та кількісна оцінка географічно зумовлених відмінностей у частотних параметрах вокалізації *Otus scops* на основі аналізу доступних польових записів.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі **завдання**:

- на підставі аналізу створеної акустичної бази визначити основні частотні параметри сигналу совки євразійської;
- виокремити географічні відмінності спектральних характеристик акустичного сигналу досліджуваного виду з урахуванням підвидів;
- оцінити наявність і вираженість географічних трендів та індивідуальної мінливості у акустичній сигналізації совки євразійської;

Практичне значення роботи полягає в удосконаленні підходів до ідентифікації підвидів совки євразійської за вокальними ознаками, що може бути використано в орнітологічних дослідженнях, моніторингу біорізноманіття, природоохоронних програмах та автоматизованих системах розпізнавання голосів птахів.

Перспективи подальших досліджень передбачають розширення географічної вибірки, додавання темпоральних параметрів сигналу та використання автоматизованих методів розпізнавання вокалізацій.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Біологічні особливості совки євразійської (*Otus scops*)

1.1.1. Систематичне положення та таксономічна структура виду

Євразійська совка (*Otus scops* Linnaeus, 1758) є типовим представником роду *Otus* із родини Совових (Strigidae) ряду Совоподібних (Strigiformes). Вона належить до класу Птахів (Aves), підкласу Справжніх птахів (Neornithes), надряду Кілегруді (Neognathae), що об'єднує більшість сучасних видів пернатих (Mikkola, 2012).

Вид *Otus scops* був описаний Ліннеєм у 1758 році в «Systema Naturae» під тією ж назвою, яку він зберігає донині [33]. Спочатку совку розглядали в роді *Strix*, разом із усіма іншими совами, однак у XIX столітті, завдяки роботам К. І. Брема та Дж. Грея, рід *Otus* виокремлено на основі морфологічних ознак – малих розмірів, короткого хвоста, наявності виражених «вушних пучків» і вузького дзьоба [27].

У подальшому систематика совок неодноразово переглядалася. До кінця XX століття у межах роду *Otus* описано понад 50 форм, багато з яких пізніше визнані підвидами або навіть окремими видами, залежно від ступеня морфологічних і вокальних відмінностей [36]. Важливо, що саме вокальні ознаки стали основним критерієм для видового розмежування, оскільки морфологічні характеристики у сов часто консервативні [47].

Рід *Otus* входить до родини Strigidae, яка охоплює понад 220 видів сов, поширених по всьому світу, за винятком Антарктики. Найближчими родичами *Otus* є *Megascops* (американські совки), *Ptilopsis* (африканські білі совки), *Psilosops* (американська гірська совка) та *Asio* (вухаті сови) [57]. Молекулярні дослідження мітохондріальної ДНК (гени *cyt b*, *COI*, *ND2*) показали, що рід *Otus* утворює окрему кладу у межах старосвітніх сов (Old

World Scops Owls), яка еволюційно відокремилася від спільного предка з американськими *Megascops* приблизно 4-5 млн років тому [43] [57].

Цікаво, що попри морфологічну схожість між представниками *Otus* і *Megascops*, їхні вокальні сигнали суттєво різняться: у палеарктичних совок (*Otus*) переважають рівномірні монотонні сигнали низької частоти, тоді як у неотропічних (*Megascops*) – складні мелодійні серії, що свідчить про тривалу ізоляцію цих ліній [27].

У сучасній систематиці визнають кілька підвидів *Otus scops*, розрізнених переважно за географічним поширенням і вокальними характеристиками [21] [11]:

- *O. s. scops* (Linnaeus, 1758) – номінативний підвид, поширений у Європі, Малій Азії, на Кавказі;
- *O. s. cycladum* (Tschusi, 1905) – Егейські острови, дрібніший, темніший;
- *O. s. mallorcae* (von Jordans, 1913) – Балеарські острови, темніший, з коротшими крилами;
- *O. s. turanicus* (Loudon & Ticehurst, 1924) – Середня Азія, світліший, із коротшим криком;
- *O. s. pulchellus* (Blyth, 1846) – Південний Казахстан, Північна Індія.

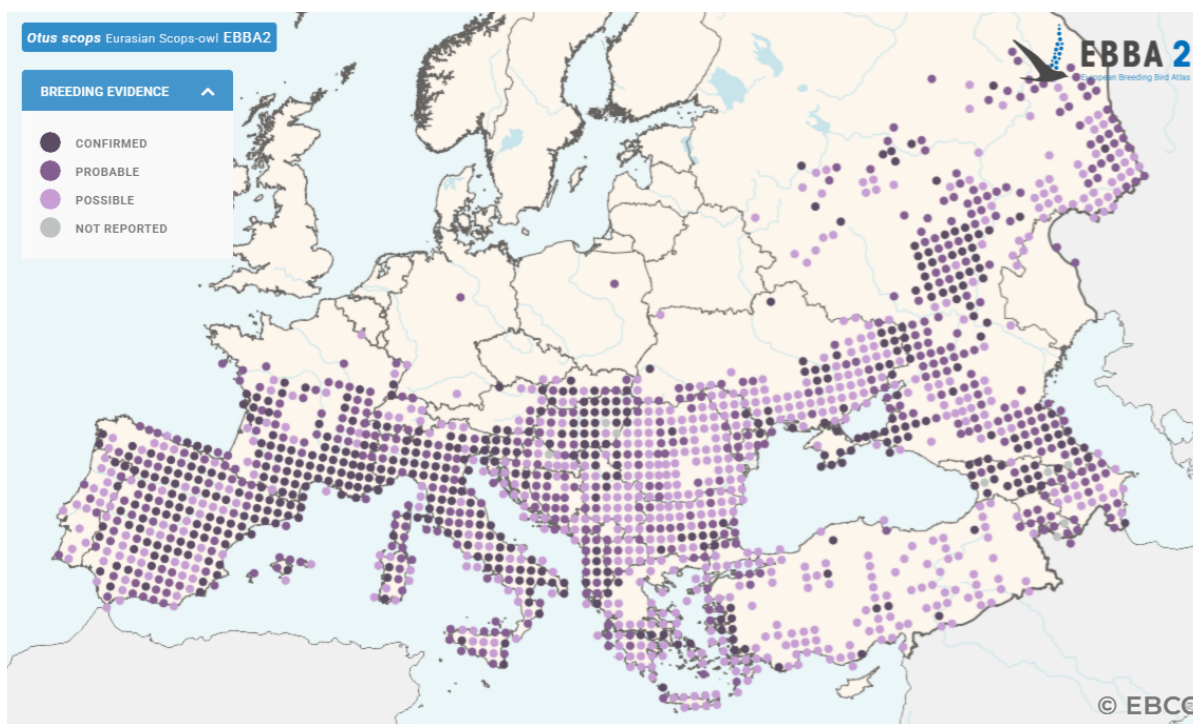


Рис. 1.1 – Карта даних про розмноження *Otus scops*. На цій карті показано найвищу категорію розмноження, про яку повідомлялося, для кожного квадрата площею 50 км (крапки фіолетової шкали); за даними EBBA2 [16].

Раніше до цього ряду також відносили форму *O. s. cyprius* (Ticehurst & Buxton, 1927), однак згідно з актуальними таксономічними джерелами [7] IOC v14.2; [21] вона тепер визнана окремим видом – *Otus cyprius* (Cyprus Scops Owl). Цей вид є ендеміком Кіпру й відрізняється від *O. scops* глибшим тоном сигналу та морфологічними ознаками (темніше забарвлення, менші розміри).

Деякі дослідники також відзначають окремі ізольовані популяції на Кавказі та в Північно-Східній Африці, які можуть представляти перехідні форми або недооцінені таксони [12] [36].

Варто зазначити, що в минулому кілька острівних форм (зокрема *Otus elegans* і *Otus sunia*) розглядалися як підвиди *O. scops*, але на основі вокальних, морфологічних і молекулярних даних їх нині визнають окремими видами [47] [13].

Дані генетичного аналізу підтверджують, що *O. scops* є сестринським видом до азійської совки *O. sunia* [57] [43]. Обидва види формують окрему кладу у межах старосвітніх сов, яка розділилася під час пліоценового охолодження, коли ареали предкових популяцій розділилися між Середземномор'ям і Південною Азією [43].

Цей еволюційний процес супроводжувався акустичною дивергенцією: популяції, ізольовані географічно, поступово розвинули різні частотні діапазони та ритмічні структури крику. Саме тому вокальні відмінності нині вважаються ключовими для діагностики підвидів *Otus scops* [36].

У межах виду також відзначається значна генетична варіабельність, яка частково корелює з географічною відстанню між популяціями [43]. Це свідчить про поступовий процес філогеографічної диференціації, що відбувається впродовж останніх кількох сотень тисяч років і, ймовірно, триває досі.

Систематика *Otus scops* досі залишається предметом дискусій. Основна складність полягає в тому, що морфологічні відмінності між підвидами є незначними, а акустичні й генетичні дані не завжди збігаються [47]. Крім того, вокальна пластичність може змінюватися під впливом локальних екологічних умов, що ускладнює чітке розмежування таксонів.

Сучасні дослідження націлені на комплексне поєднання акустичних, морфологічних і молекулярних даних, що дозволяє точніше оцінити рівень ізоляції між популяціями та визначити, чи відповідають вони статусу окремих видів [43]. Такий підхід є особливо важливим для розуміння географічної мінливості акустичних сигналів, яка відображає еволюційні процеси всередині виду *Otus scops*.

1.1.2. Поширення та ареал виду

Євразійська совка (*Otus scops* Linnaeus, 1758) має широкий палеарктичний ареал, який простягається трьома континентами – Європою, Азією та Північною Африкою. Традиційно гніздовий ареал виду охоплює Піренейський півострів і південь Європи, узбережжя Середземного моря та острови Середземномор'я, далі на схід через Малу Азію і Кавказ до Середньої Азії та північно-західного Китаю і Монголії [12][13]. Кардинальною особливістю ареалу є мозаїчність: *O. scops* займає переважно відкриті й напіввідкриті ландшафти з наявністю дерев чи груп дерев – сади, парки, агроландшафти, рідколісся та узлісся – з відповідною географічною варіабельністю щільності популяцій (Mikkola, 2012; [6].

Гніздовий ареал *O. scops* охоплює широку смугу від Західної Європи (Португалія, Іспанія) через Середземномор'я (Італія, Балкани, Греція) і Мале Середземномор'я до Малої Азії, Кавказу та Середньої Азії [12] [21]. У межах цього ареалу простежується чітка підвидова просторовість: номінативний підвид *O. s. scops* домінує у центрі та західній частині ареалу; островні та прикордонні форми (*O. s. mallorcae*, *O. s. cycladum*) локалізовані на Балеарських і Егейських островах; азійські підвиди (*O. s. turanicus*, *O. s. pulchellus*) охоплюють Центральну Азію і прилеглі райони [47] [43]. Межі підвидових ареалів часто мають перехідний характер, що призводить до існування проміжних популяцій з мішаними морфологічними й вокальними ознаками [36].

Otus scops – типовий мігруючий вид у значній частині свого гніздового ареалу. Північні й центральні популяції здійснюють сезонні перельоти на великі відстані: з Європи й Передньої Азії птахи мігрують на зимівлю до субсагарської Африки (регіон Сахеля) або на південь Аравійського півострова та північ Індії залежно від початкового місця розмноження [12] [38]. Маршрути міграції зазвичай проходять через традиційні коридори: західний шлях – через Іспанію й Гібралтар у Західну Африку; центрально-східний – через Італію й Балкани/Малу Азію в напрямку Східної та Західної Африки [3] [6]. Телееметричні та рінг-дані свідчать про значну розосередженість

зимових стоянок: окремі гніздові популяції Іспанії й Південної Європи зимують у діапазоні від Мавританії й Сенегалу до Гвінеї та Сьєрра-Леоне [3] [4].

Сучасні дослідження, що використовують геолокатори й супутникову телеметрію, починають відтворювати «зв'язки» (connectivity) між окремими гніздовими популяціями й їх зимовими ділянками. Такі дослідження показали, що особини однієї гніздової популяції можуть використовувати різні зимівельні регіони, а зимові ділянки мають важливе значення для виживання й демографії виду [3] [4]. Для консерваційного менеджменту це означає, що збереження ключових зимових біотопів (особливо у Сахельській смузі) має бути пріоритетом для захисту деяких локальних популяцій *O. scops*.

Острівні популяції (наприклад, на Балеарських та Егейських островах) демонструють яскраві приклади локальної диференціації. Для таких ізольованих форм характерні відмінності у забарвленні, частотних параметрах крику та поширеності певних морф, що свідчить про дію процесів локальної адаптації та акустичної ізоляції. Географічна ізоляція сприяє формуванню специфічних вокальних рис, які можуть мати таксономічне значення [36] [47] [19].

Висотний діапазон гніздування *O. scops* зазвичай обмежений низовинами й передгір'ями: вид зустрічається від рівня моря до близько 1 500-2 000 м над рівнем моря в залежності від регіону (Mikkola, 2012; [12]. Біотопічно *O. scops* віддає перевагу відкритим агроландшафтам, садами і паркам, рідким лісам та узліссям, уникаючи густих хвойних лісів і вологих смолистих масивів. Ця екологічна пластичність дозволяє виду успішно гніздитися як у природних, так і в трансформованих людською діяльністю ландшафтах [13].

Останні десятиліття демонструють кілька помітних тенденцій: по-перше, зустрічаються спорадичні розширення ареалу на північ у деяких регіонах Європи, що автори пов'язують із кліматичними змінами та

потеплінням літнього сезону [37] [38]. По-друге, відзначаються локальні коливання чисельності та скорочення в місцях, де відбувається деградація традиційних місць гніздування (втрати старих дерев, інтенсивне землекористування) [6]. По-третє, демографічні показники залежні від умов у зимівлях: дослідження вкажуть, що погодні умови у Сахелі (опадів й доступність кормової бази) прямо впливають на виживаність і подальшу демографію європейських популяцій *O. scops* [4].

Основні джерела сучасних карт ареалів та оцінок статусу включають міжнародні чек-лісти (IOC, [11], BirdLife International / IUCN, бази даних записів (xeno-canto, Macaulay Library), eBird, а також результати кількісних досліджень із використанням геолокатори, супутникової телеметрії та масивів рінг-даних [21] [6] [59]. Кожне джерело має свої обмеження: картографічні масиви часто узагальнюють межі гніздування, спостереження волонтерів мають просторові й часові упередження, а генетичні й телеметричні дослідження поки що охоплюють обмежену кількість популяцій [43] [3].

1.1.3. Екологічні особливості

Совка євразійська (*Otus scops*) є представником роду *Otus* родини совових (*Strigidae*), що належить до найменших нічних хижаків фауни Палеарктики. Цей вид характеризується високим рівнем адаптивності до різних типів ландшафтів, зокрема до антропогенних екосистем, і демонструє складну екологічну поведінку, тісно пов'язану з особливостями середовища проживання, кліматичними умовами та сезонною динамікою кормової бази.

Совка євразійська поширена переважно в теплих і помірних кліматичних зонах, де панують відкриті або напіввідкриті ландшафти, зокрема саваноподібні степи, лісостепи, середземноморські чагарники, а

також сади, парки та сільськогосподарські угіддя. Основним чинником, що визначає вибір біотопу, є наявність достатньої кількості комах – головного кормового ресурсу цього виду [12]. Совки люблять місцевості з поодинокими деревами або невеликими гаями, які слугують місцем денного відпочинку та гніздування, тоді як відкриті простори використовуються переважно для полювання.

Життєвий цикл совки є тісно прив'язаним до сезонної зміни клімату. У більшості регіонів ареалу цей вид є перелітним: зимує на південь від Сахари, у тропічній Африці, а також у Південній Азії, повертаючись до північних широт у квітні-травні, залежно від погодних умов (Mikkola, 2013). Міграції відбуваються переважно вночі, а маршрути пролягають через Середземномор'я, Близький Схід та Кавказ. Популяції з південних частин ареалу (зокрема з Південної Європи) є частково осілими, що свідчить про здатність виду гнучко реагувати на локальні зміни середовища.

Для гніздування совка використовує природні дупла у деревах, іноді займає покинуті гнізда дятлів або штучні гніздівлі. У місцевостях, де спостерігається дефіцит природних дупел, птах може гніздувати у нішах будівель або спеціально встановлених шпаківнях [27]. Гніздовий сезон починається зазвичай у травні, коли середньодобові температури стають стабільно позитивними. Самка відкладає 3-6 яєць, інкубація триває близько 24 днів. Самець забезпечує самку кормом у цей період, а згодом обидва батьки годують пташенят, які залишають гніздо у віці приблизно трьох тижнів.

Живлення совки євразійської має виразно ентомофагічний характер. Основу раціону складають великі нічні комахи – жуки, метелики, коники, цвіркуни, а також павуки. У південних частинах ареалу у живленні можуть бути присутніми дрібні хребетні, зокрема мишоподібні гризуни або дрібні птахи [48]. Під час активного сезону полювання відбувається переважно у присмеркові години або вночі, коли совки вилітають на відкриті ділянки поблизу дерев або електричних дротів, з яких спостерігають за здобиччю.

Як типово для сов, *Otus scops* відіграє важливу роль у стабілізації популяцій комах-шкідників, особливо у сільськогосподарських регіонах. Унаслідок цього вид має екологічне значення як природний регулятор чисельності фітофагів. Крім того, завдяки високій чутливості до змін середовища, совка євразійська може слугувати біоіндикатором стану ландшафтів із низьким рівнем антропогенного тиску.

Активність цього виду значною мірою визначається температурними і світловими умовами. У регіонах з більш суворими кліматичними умовами тривалість активного сезону є коротшою, що відображається на тривалості гніздування, міграційних періодах і репродуктивній успішності. Під час досліджень у Центральній Європі відзначалося, що совки більш охоче займають території з помірним рівнем фрагментації ландшафту, тоді як надмірна урбанізація або інтенсивне землекористування призводять до зниження щільності популяцій [49].

Важливою рисою виду є його здатність до адаптації в умовах антропогенного впливу. Совки нерідко селяться поблизу людських поселень, використовуючи старі дерева, електричні стовпи або будівлі як місця відпочинку. Однак надмірний шумовий фон, штучне освітлення та зменшення чисельності комах можуть негативно впливати на їх репродуктивну активність. У сучасних умовах цей вид стикається із загрозами через деградацію середовищ існування, застосування пестицидів і вирубку старих дерев, що зменшує кількість гніздових місць.

1.2. Акустичний сигнал у совок роду *Otus*

1.2.1. Типи вокалізацій у совок

Вокалізаційна система совок роду *Otus* демонструє численні структурні й функціональні особливості, які забезпечують ефективну комунікацію у нічному середовищі та різних типах біотопів. Шлюбні поклики зазвичай

складаються з коротких, односкладових сигналів, що повторюються ритмічно протягом тривалого часу. Інтервали між покликами можуть варіюватися від 0,8 до 2 секунд залежно від щільності населення та умов середовища, що відзначено у популяціях *Otus scops* у різних регіонах Середземномор'я (Mikkola, 2013). Відповідно до спостережень, частота сигналів у самців зазвичай коливається в межах 900-1100 Гц, а амплітуда та темп повторення можуть змінюватися залежно від рівня конкуренції та стану здоров'я особини.

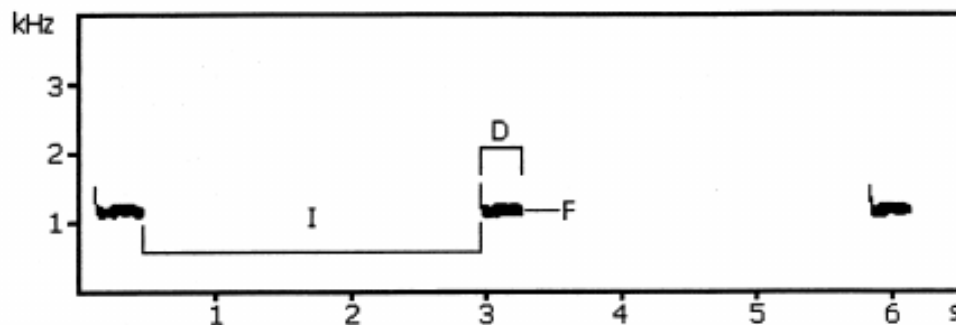


Рис 1.2 – Спектрограма шлюбного сигналу самця Совки євразійської (*Otus scops*), показує тривалість сигналу (D), інтервал між криками (I) та середню фундаментальну частоту (F). Джерело: Galeotti & Sacchi, 2001.

Територіальні поклики, призначені для захисту гніздової території, мають більш агресивний характер і часто включають серії коротких криків з нерегулярними інтервалами. Ці сигнали можуть бути більш частотнозмінними, що дозволяє їм виділятися на фоні інших звуків середовища. У густих листяних лісах чи у сильно шумних середовищах частота сигналу може знижуватися для забезпечення кращої передачі на великі відстані, тоді як у відкритих степових або напівпустельних зонах сигнали стають більш високими та частими, що сприяє ефективності комунікації на відкритій місцевості [17].

Сигнали тривоги у совок відрізняються від шлюбних покликів більш широким частотним спектром і часто мають змінну амплітуду, що дозволяє

передавати інформацію про ступінь небезпеки та характер загрози. У різних видів роду *Otus* спостерігається значна гнучкість цих сигналів: у районах з високим рівнем хижаків або людського втручання сигнали тривоги стають більш частотнозмінними та інтенсивними, що підвищує шанси на своєчасну реакцію інших особин [35].

Вокалізації пташенят мають високу частоту та коротку тривалість, забезпечуючи їхню розбірливість у темному середовищі гнізда. Частота таких сигналів зазвичай коливається від 2,5 до 3 кГц, а тривалість одиничного звуку становить кілька сотих секунди. Молоді особини здатні змінювати темп і інтенсивність своїх вокалізацій залежно від наявності батьків та рівня голоду, що дозволяє батькам оптимізувати годування та захист [12].

Додатково відзначається наявність регіональних відмінностей у структурі вокалізацій навіть у межах одного виду. Наприклад, у популяціях *Otus scops* на Середземноморському узбережжі поклики можуть мати більш повільний ритм та нижчу частоту, тоді як у Центральній Європі вони повторюються частіше і мають більш високі частоти, що, ймовірно, є адаптацією до місцевих акустичних умов середовища [23]. Такі відмінності можуть проявлятися не лише у частотних характеристиках, але й у тривалості кожного поклику, інтенсивності та амплітудній модуляції.

Крім того, у ряді видів роду *Otus* спостерігається явище культурної або індивідуальної варіабельності вокалізацій, коли окремі особини формують специфічні модифікації сигналів, які можуть передаватися молодим особинам у межах локальної популяції. Це явище демонструє високу пластичність акустичної поведінки та можливість швидкої адаптації до змін навколишнього середовища або соціальних умов [17] [27].

1.2.2. Фізіологічні та морфологічні передумови звукової комунікації

Звукова комунікація у совок роду *Otus* ґрунтується на складній взаємодії морфологічних, фізіологічних та енергетичних особливостей організму. Основним органом, що продукує звуки, є сиринкс (*syrinx*), розташований у нижній частині трахеї, на межі поділу на бронхи. Сиринкс у совок має складну будову, що включає еластичні мембрани, хрящові структури та групи м'язів, здатних регулювати натяг мембран і ширину голосової щілини. Така будова дозволяє птахам виробляти сигнали з високою точністю по частоті, амплітуді та ритмічній структурі. У совок латеральні та вентральні м'язи сиринксу розвинені особливо добре, що забезпечує контроль над різними компонентами сигналу, включаючи тембр, тривалість та інтенсивність. Еластичність мембран сиринксу дозволяє не лише генерувати низькочастотні сигнали для передачі на великі відстані, але й швидко модулювати частотні параметри залежно від ситуаційної необхідності, наприклад під час агресивного демонстративного поклику або сигналу тривоги [18] [17].

Трахея совок має значну еластичність і певну подовжену форму, що створює резонансну камеру, яка підсилює низькочастотні компоненти сигналу. У деяких видів спостерігається помірне розширення трахеї або її вигин, що додатково змінює резонансні властивості голосового апарату і дозволяє сигналам краще поширюватися у різних біотопах. Ці морфологічні особливості є адаптивними до нічного способу життя совок, оскільки низькі частоти сигналів менше поглинаються перешкодами середовища, такими як листя, гілки чи нерівності рельєфу, що сприяє ефективній комунікації на значні відстані [27].

Вплив розмірів тіла на характеристики звукового сигналу у совок також є істотним. У порівнянні з іншими птахами, совки мають відносно компактні

тіла, що забезпечує певну стабільність у частоті сигналів. У межах виду спостерігається слабо виражений статевий диморфізм: самці, як правило, трохи легші за самиць, що відображається у більш високій основній частоті їхніх покликів. Різниця у частоті між самцями та самками може становити десятки герц, що створює акустичну основу для розпізнавання статі партнерів у шлюбний період. Розмір грудної мускулатури та об'єм легеневих м'язів безпосередньо впливають на амплітуду та тривалість сигналу: потужніші самці можуть підтримувати стабільну амплітуду та ритм сигналів протягом тривалого часу, що відображає їх фізичну витривалість і потенціал як партнера (Mikkola, 2013; [12]).

Енергетичні аспекти вокалізації мають велике значення для розуміння поведінкової екології совок. Виробництво сигналів потребує витрат енергії, які залежать від інтенсивності, частоти повторення та тривалості вокалізації. Шлюбні поклики, що повторюються десятки хвилин протягом ночі, потребують високого рівня метаболічної активності. Інтенсивність і тривалість покликів можуть бути індикаторами фізіологічного стану самця, оскільки особини у слабкому стані не можуть підтримувати стабільний ритм або амплітуду. Таким чином, вокалізація є не лише комунікативним сигналом, але й потенційним індикатором фізіологічної кондиції [20].

Морфологія інших структур, що підтримують вокалізацію, також має значення. Наприклад, розмір і форма грудної клітки, розвиток м'язів, що забезпечують роботу легенів, і гнучкість міжреберних м'язів визначають здатність совки контролювати повітряний потік через сиринкс. Ефективне регулювання потоку повітря забезпечує стабільність тону, дозволяє варіювати амплітуду та темп повторення сигналів, а також зменшує енергетичні витрати під час тривалих вокалізацій [17] [18].

Крім того, у совок спостерігається адаптація морфологічних характеристик до географічних умов проживання. Популяції, що мешкають у густих лісах, мають тенденцію до трохи більших розмірів тіла та більш подовженої трахеї, що забезпечує оптимальне поширення низькочастотних

сигналів у складному акустичному середовищі. У відкритих або напіввідкритих біотопах така морфологічна адаптація менш виражена, оскільки акустичні умови дозволяють передавати сигнали на великі відстані навіть без спеціального подовження трахеї [23].

Особливу роль у формуванні частотних характеристик сигналів відіграє співвідношення маси тіла до об'єму легень та еластичності тканин сириноксу. Це співвідношення визначає резонансну частоту сигналу: більш масивні особини з відносно великими легеньми виробляють нижчі частоти, а легкі особини – високі. Крім того, сила натягу мембран сириноксу, яку контролюють спеціальні м'язи, дозволяє модулювати сигнал у реальному часі, змінюючи його тон та тембр залежно від поведінкової ситуації – наприклад, при конфлікті з суперником або під час приваблення самиці [27]; Mikkola, 2013).

Важливим аспектом є також пластичність акустичної поведінки. Дослідження показують, що індивідуальні особини можуть варіювати частоту, тривалість і ритм своїх покликів у межах певного діапазону, що дозволяє підлаштовувати сигнали під місцеві акустичні умови або соціальну ситуацію. Така варіабельність також створює можливості для культурної передавання вокальних особливостей у межах локальної популяції, коли молоді особини наслідують поклики дорослих і формують унікальні локальні діалекти [17] [23].

1.2.3. Функції акустичних сигналів у біології виду

Акустичні сигнали совок роду *Otus* виконують низку критичних функцій у біології виду, забезпечуючи комунікацію між особинами, регуляцію соціальних відносин, успішну репродукцію та адаптацію до середовища. Найважливішою функцією є репродуктивна – шлюбні поклики

служать засобом залучення партнерів і демонстрації фізіологічної кондиції. У *Otus scops* шлюбний сигнал характеризується ритмічним повторенням односкладових низькочастотних звуків із частотою приблизно 900-1100 Гц [12]. Частота та тривалість сигналу прямо корелюють із фізичною витривалістю самця: потужні та стійкі поклики індикують високий рівень енергії та стан здоров'я, що підвищує шанси на успішне спарювання [20].

Територіальні функції акустичних сигналів проявляються у маркуванні меж території та запобіганні прямої агресії між самцями. Територіальні поклики мають більш широкий частотний спектр і нерегулярний ритм, що робить їх помітними серед фонового шуму середовища. Ці сигнали дозволяють особинам оцінювати силу та розмір суперника, регулюючи частоту фізичних конфліктів і економлячи енергію, яка могла б витрачатися на безпосередні сутички [17].

Сигнали тривоги виконують функцію захисту і координації поведінки у відповідь на загрозу. Різкі, короткі або «кикітливі» поклики повідомляють про наближення хижака або небезпеку, залучаючи увагу інших особин та іноді спрямовуючи їх до безпечних укриттів. У *Otus scops* ефективність таких сигналів залежить від структури середовища: у густих лісах сигнали тривоги мають більш низькі частоти та більшу амплітудну модуляцію, що сприяє кращій локалізації джерела небезпеки [35].

Контактні сигнали підтримують соціальну координацію між партнерами, зокрема під час інкубації та виховання молодняка. Такі сигнали менш інтенсивні та мають складнішу частотну модуляцію, дозволяючи птахам підтримувати взаєморозуміння у темний час доби та при обмеженій видимості. У деяких видів роду *Otus* контактні поклики використовуються також для регулювання ієрархії у межах локальної популяції, сигналізуючи про соціальний статус окремих особин [35] [27].

Вокалізації молодих пташенят мають адаптаційне значення для виживання: писк, трелі та серії коротких звуків сигналізують батькам про голод або потребу у захисті. Частота таких сигналів становить приблизно

2,5-3 кГц, а тривалість одиничного звуку дуже коротка, що дозволяє дорослим ефективно локалізувати молодняк навіть у щільному гнізді. Зміни інтенсивності та темпу цих сигналів корелюють зі станом здоров'я пташенят і рівнем голоду, що сприяє оптимальному розподілу ресурсів серед потомства [17].

Крім того, акустичні сигнали відіграють роль у географічній та популяційній ізоляції. У випадках, коли ареали близькоспоріднених видів перекриваються, структурні відмінності у шлюбних покликах забезпечують репродуктивну ізоляцію, зменшуючи ймовірність гібридизації. Наприклад, *Otus scops* і *Otus lettia*, маючи схожий морфологічний вигляд, демонструють суттєві відмінності у частотних характеристиках сигналів, що є ключовим механізмом збереження видового генофонду [20].

Соціально-комунікативні функції сигналів також включають навчання молодих особин. Молоді птахи сприймають і відтворюють сигнал дорослих, що формує у популяції локальні діалекти та певну індивідуальну варіабельність. Така культурна передача інформації підсилює адаптивну гнучкість виду і дозволяє швидко реагувати на зміни екологічних умов та структури популяції [23].

1.3. Дослідження акустичної мінливості у *Otus scops*

Вид *Otus scops* був формально описаний Карлом Ліннеєм у 1758 році [33] і згодом віднесений до роду *Otus* [12]. У класичних описах зазначалося, що характерною ознакою поведінки виду є типовий «гукальний» або «свистоподібний» голос, який вирізняє його серед інших дрібних сов. Подальші польові спостереження констатували, що самці видають монотонно

повторюваний звук, який описують як «кию-кию», «тию-тиу» чи «ху...ху...», що дозволяє їх локалізувати вночі [41].

Важливим є те, що вже на ранніх етапах вокалізація виду розглядалася як допоміжний інструмент систематики. У групі роду *Otus*, де морфологічні відмінності між підвидами часто мінімальні, саме голоси набули значення як порівнянна ознака [55]. Таким чином, історично голоси виду стали одним із маркерів для розмежування підвидів, територіальних варіантів або перегляду таксономічного статусу [12].

У XX столітті дослідження *Otus scops* здебільшого мали характер узагальнення знань про вид: ареал, морфологію, поведінку, біологію розмноження. Зокрема у виданні під редакцією Stanley Cramp (1985) міститься систематизована інформація про морфологію, ареал, біологічні особливості та поведінку *Otus scops*, включаючи опис голосів. Голоси виду згадувалися як одна з поведінкових характеристик, але без детального акустичного аналізу чи порівнянь між географічними популяціями. Цей період характеризується фіксацією голосових властивостей в межах виду як допоміжної ознаки в систематиці, але без спеціалізованих акустичних досліджень [12].

З початку XXI століття акцент у дослідженнях *Otus scops* змістився до акустики: великі онлайн-бази, такі як Xeno-canto та Macaulay Library, пропонують десятки записів вокалізацій з різних частин Євразії [34] [59]. Це дозволяє дослідникам проводити аналіз індивідуальної мінливості, географічної варіації, денного крикування тощо.

Одним із ключових напрямків досліджень вокалізації птахів є вивчення географічної мінливості звукових сигналів, зокрема як прояву адаптацій до середовища та елементу видоутворення. Наприклад, у дослідженні Odom та Mennill (2009) встановлено, що популяції сови неарктичної (*Strix varia* Barton, 1799) демонструють значну індивідуальну мінливість вокалізації, але без чіткої географічної структури, навіть у зонах гібридизації. Galeotti та Sacchi (2001) дослідили індивідуальну сталість вокалізацій у самців *O. scops* і

довели, що за допомогою спектрографічного аналізу можна з високою точністю ідентифікувати особин протягом одного сезону.

Дослідження Dragonetti (2006) показало, що при записах 13 сов у Південній Тоскані (Італія) були виявлені помітні індивідуальні відмінності у шести вокальних параметрах; приблизно 60 % сов зберігали стабільність у цих ознаках протягом сезону, тоді як у близько 40 % фіксувалися незначні зміни. Це підкреслює значення вокалізації не лише як міжвидової, але й індивідуальної характеристики [15].

Mikkola та Mikkola (2015) проаналізували денне крикування виду у місцевості Лесенсетомай (Угорщина) та встановили, що активність найбільш інтенсивна у проміжках 11:00-13:00 та 15:00-17:00. Вокалізація нагадувала сигнальний сигнал тривоги, а денна активність частково пояснювалася погодними умовами. Автори підкреслили, що записи голосів надають важливу інформацію для розуміння поведінки виду (Mikkola & Mikkola, 2015).

Grieco (2021) звернув увагу на модифікацію частотних характеристик сигналів у контексті територіальних суперечок. Він зафіксував тенденцію до зниження частоти у разі конфліктної взаємодії з конкурентом, що можна трактувати як прояв вокального «сигналу сили». Це свідчить про гнучкість вокального сигналу та його потенційний зв'язок із поведінковими стратегіями.

Сезонна динаміка вокалізації також є важливим аспектом у контексті мінливості. Park та ін. (2018) показали, що соціальні тригери, зокрема відповідь на плейбек, також варіюють сезонно, що може бути пов'язано із розмноженням. У цьому контексті цікаві й дані Reid та ін. (2022), які продемонстрували, що самці плямистої сови (*Strix occidentalis* Xántus, J, 1860) змінюють вокальну активність залежно від шлюбного статусу – що дозволяє розглядати вокал як індикатор біологічного стану особини.

Фундаментальним у розумінні вокалізацій є питання про її механізми формування. У птахів існує два основні підходи до створення звуків –

вроджений та набутий. Для співочих птахів добре відомі процеси культурної передачі вокалів: звуковий репертуар формується внаслідок навчання у дорослих особин. Bruno, Jarvis та ін. (2021) у своїй оглядовій роботі зіставляють пташину вокалізацію з людською мовою, підкреслюючи культурні механізми накопичення й змін звукових елементів, особливо у видів з пластичними вокальними схемами. Хоча сови не належать до співочих птахів, вивчення цього аспекту допомагає сформулювати припущення про ступінь вродженості чи гнучкості їхніх звуків, що є важливим для інтерпретації географічної варіабельності.

Сучасні цифрові записи також демонструють слабку географічну варіацію основної вокалізації виду: порівняння записів з Португалії та Казахстану показало, що голоси зберігають основну структуру, лише незначно відрізняючись тривалістю звуку через акустичні умови середовища [55]. Це свідчить про стабільність вокалізацій виду на великій території, що має важливе систематичне значення.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

2.1. Аудіодані досліджуваного виду

У ході виконання дослідження було здійснено збір, обробку та аналіз аудіозаписів шлюбної вокалізації совки євразійської (*Otus scops*). Основним джерелом даних стала міжнародна відкрита база Xeno-canto [59], яка спеціалізується на акустичних записах голосів птахів та інших тварин з усього світу. Для формування вибірки обиралися записи з якомога більшої кількості країн, при цьому уникалися записи, подібні за географічними координатами, з метою зменшення ймовірності повторного використання матеріалу одного й того ж птаха. У результаті відбору до аналізу потрапили три записи, які належать острівним особинам (острови Майорка, Крит та Родес).

Усі записи проходили попередню фільтрацію за низкою критеріїв: до вибірки включалися лише записи високої якості звуку, тривалістю не менше 40 секунд та з наявністю щонайменше чотирьох чітко розрізняваних повторів шлюбного сигналу. Через те, що відбір здійснювався на основі існуючого матеріалу, створеного іншими дослідниками, деякі записи не мали точно визначеного підвиду. Зокрема, із загальної вибірки з 91 аудіозапису 5 записів належали до *O. s. scops*, 3 – до *O. s. pulchellus*, 1 – до *O. s. mallorcae*, 2 – до *O. s. cycladum*, а решта 86 записів були віднесені до категорії «Не визначено» (Н/в).

2.2. Просторове розміщення записів

Для аналізу просторового розміщення аудіозаписів виду *Otus scops* усі записи були нанесені на карту розповсюдження. Для цього використовували

географічні координати (широта та довгота) кожного аудіозапису, що дозволило побудувати генеральну карту просторового покриття вибірки та візуально оцінити розподіл записів уздовж ареалу. Як орієнтир ареалу виду використовувалися картографічні дані з бази Avibase – The World Bird Database [2] – зокрема сторінка з картою розповсюдження для *Otus scops*. Даний ресурс дозволив перевірити відповідність географічного розташування записів загальному ареалу виду (Рис. 2.1).

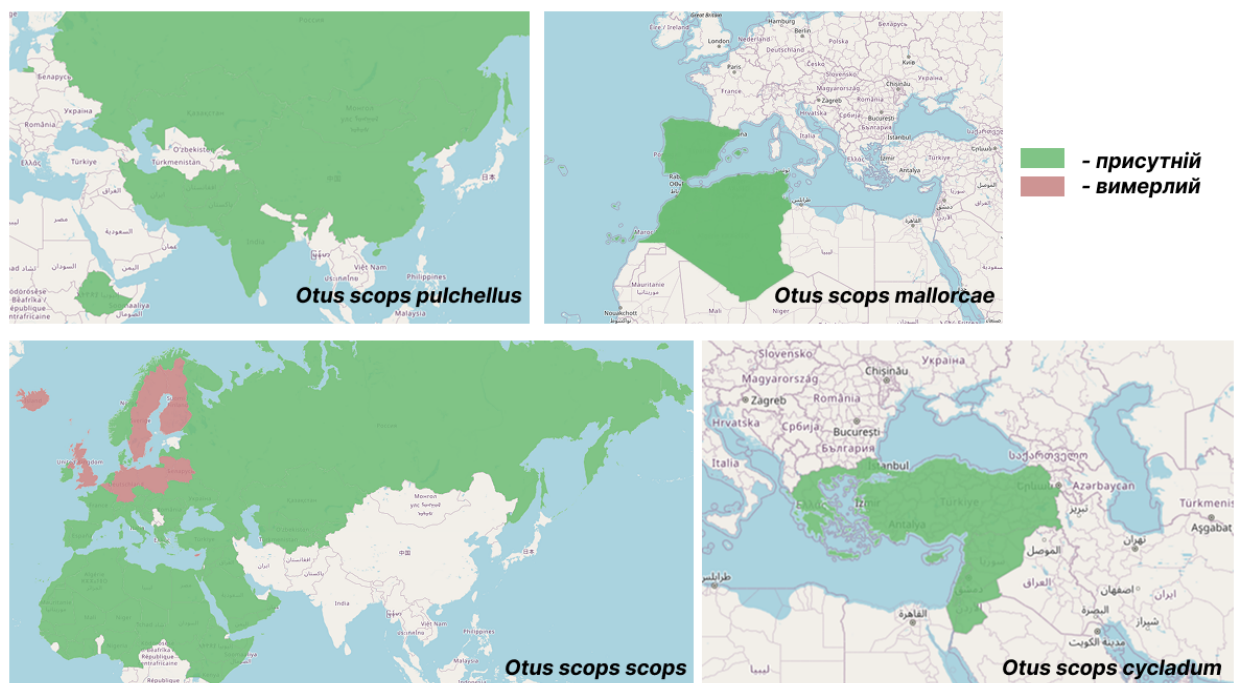


Рис. 2.1 – Географічний розподіл підвидів сплюшки (*Otus scops*), що досліджувались у роботі. Карти взято з Avibase – The World Bird Database [2], було створено комбіновану схему, об'єднавши дані з кількох мап для наочного порівняння ареалів.

Літературні джерела підтверджують, що просторове розміщення популяцій *Otus scops* нерівномірне: щільність записів варіює залежно від регіону ареалу, а локальні ізольовані популяції на островах формують окремі просторові блоки [4] [56]. Таким чином, карта просторового розподілу

записів дозволяє контролювати географічну репрезентативність вибірки та зіставити наявні записи з відомим ареалом виду, мінімізуючи просторове зміщення даних.

Після формування фінальної вибірки було здійснено візуалізацію географічного розташування всіх записів. З цією метою використовувався безкоштовний інтерактивний онлайн-сервіс Kepler.gl [26], що дозволяє наносити координати точок на карту світу у вигляді геопросторових шарів. Таблиця з координатами була завантажена у форматі .csv до Kepler.gl [26], після чого кожен запис автоматично відображався як окрема точка на інтерактивній карті (Рис 2.2).

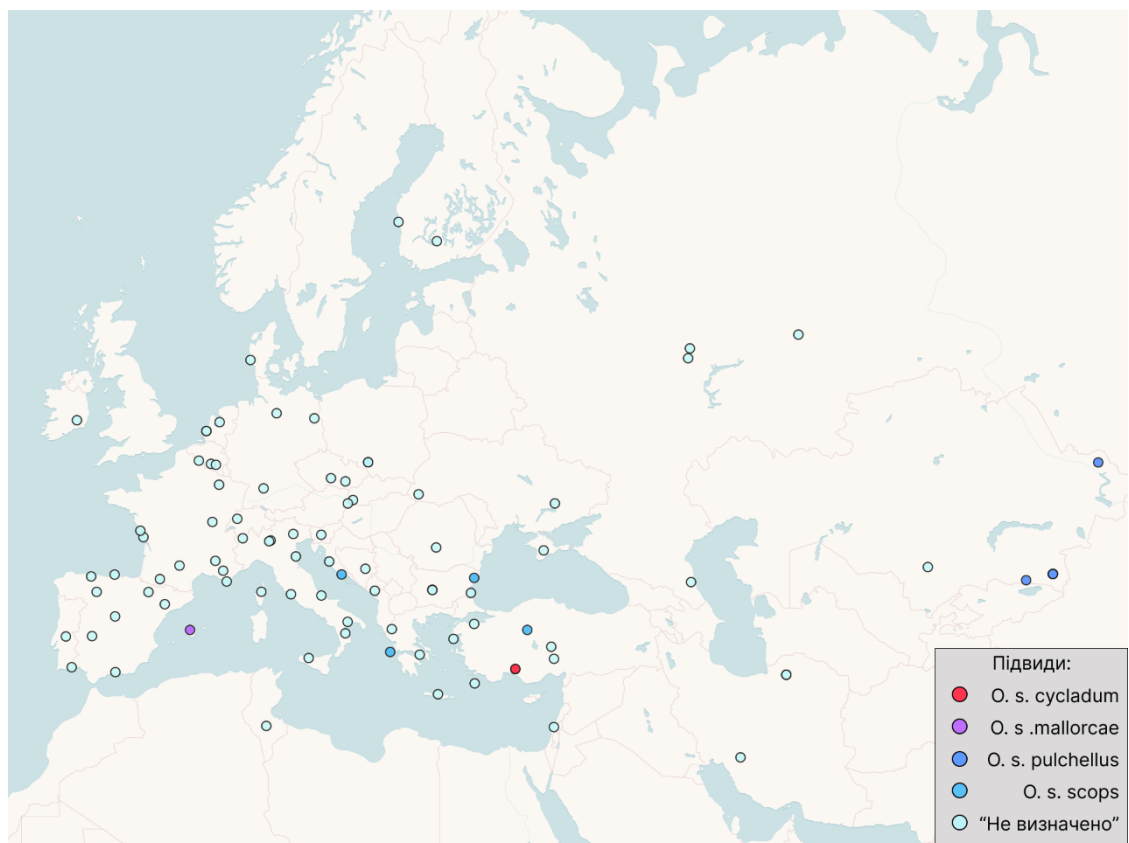


Рис. 2.2 – Карта аудіозаписів, отримана з Kepler.gl [26]. Кольорами позначено підвиди, які вже були встановлені в Xeno-canto [59].

2.3. Вибір та обґрунтування акустичних параметрів

Для подальшого аналізу вокалізації *Otus scops* усі відібрані аудіофайли було систематизовано у вигляді електронної таблиці, сформованої у середовищі Microsoft Excel. До таблиці були включені описові характеристики (унікальний ідентифікаційний код Xeno-canto [59], географічні широта та довгота, дата та час запису) та набір акустичних характеристик, поділених на темпоральні та частотні показники. Із кожного запису було відібрано по 7 сигналів. Детальна повна таблиця акустичних вимірів доступна у Додатку А, доступним за посиланням.

Підхід до вибору частотних та темпоральних характеристик базувався на міжнародно визнаній практиці аналізу совиних вокалізацій та прямо спирався на методику, описану в роботі Yee et al. (2016), яка продемонструвала високу ефективність цих параметрів для оцінки індивідуальної варіабельності в роді *Otus*. Саме ця стаття була використана як основне методичне джерело при формуванні таблиці параметрів.

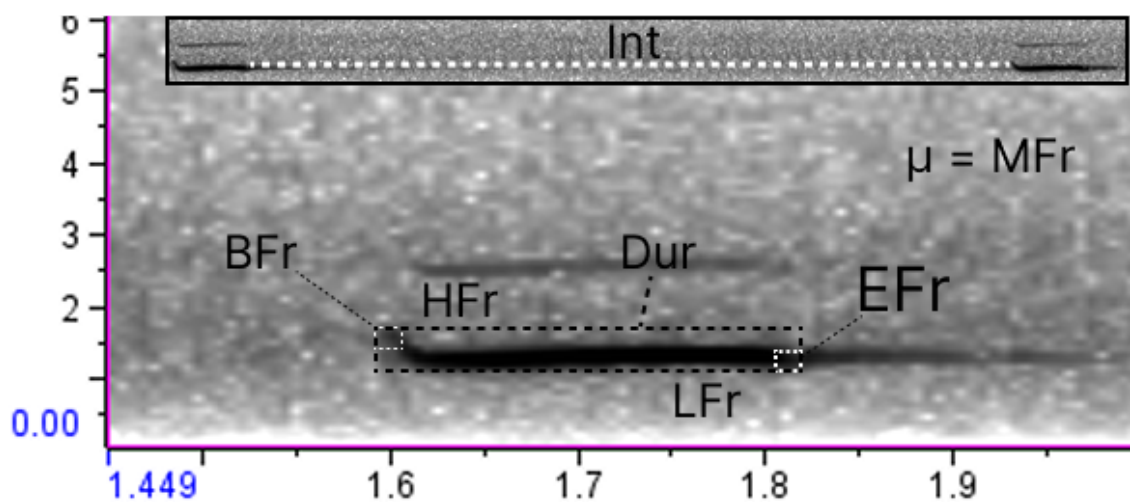


Рис 2.3 – Параметри сигналу на спектрограмі, Raven Pro 1.6.5.

У таблицю включено темпоральні параметри:

- Dur – тривалість сигналу (Duration);
- Int – інтервал між сигналами (Interval).

а також частотні параметри:

- BFr – початкова частота (Beginning frequency);
- EFr – кінцева частота (End frequency);
- LFr – мінімальна частота (Lowest frequency);
- HFr – максимальна частота (Highest frequency);
- MFr – середня частота (Mean frequency).

Такі параметри є стандартними у дослідженнях вокальної індивідуальності сов [20], оскільки поєднання темпоральних та частотних характеристик дозволяє відокремити стабільні індивідуальні особливості від фонового варіювання. Yee et al. (2016) показали, що саме початкова та кінцева частоти належать до найбільш інформативних ознак для розрізнення особин, демонструючи найвищі значення PIC (Proportion of Individual Coding) та найбільший внесок у дискримінантні функції. Це підтверджує доцільність включення цих параметрів до основного набору у нашому дослідженні.

Визначення початкової та кінцевої частоти здійснювалося шляхом аналізу спектрограми у Raven Pro 1.6.5 [45] у двох строго фіксованих часових інтервалах – перші та останні 0.0050 с кожного сигналу. У сов характер сигналу на початку й кінці ноти часто містить незначні нелінійності або шумові домішки. Фіксований короткий інтервал дозволяє обмежити вплив цих перехідних фаз та виділити частотно стабільну частину сигналу. Таким чином, вимірювання дають можливість коректно відтворити реальну траєкторію зміни частоти.

Визначення частоти здійснювалося за допомогою параметра Frequency 25% (25% Energy Frequency) у Raven Pro [45], який відображає частоту, на якій накопичено 25% енергії спектра сигналу. Вибір саме цього параметра був зумовлений низкою причин:

- Середньоенергетичний показник менш чутливий до шуму, ніж частота піку (Peak frequency);
- У польових умовах пікові частоти можуть зміщуватися через фоновий шум, тоді як енергетичні квартилі спектра (25%, 50% тощо) є стабільнішими та менш чутливими до таких перешкод [54] [52];
- У роботах з вокальної індивідуальності сов [60] [22] зазначається, що енергетичні квартилі часто краще відображають індивідуальні відмінності, ніж абсолютні пікові частоти, які можуть варіювати залежно від положення птаха, кута мікрофона або ефекту рельєфу.

2.4. Обробка та аналіз сигналів у програмі Raven Pro 1.6.5

Кожен із відібраних аудіозаписів проходив етап ручної перевірки, що включав попереднє прослуховування сигнальної доріжки та оцінку рівня фонового шуму. Після попередньої селекції файли завантажувалися у програму Raven Pro 1.6.5 [45], що є однією з провідних платформ у галузі біоакустики. Raven Pro широко використовується у дослідженнях голосової активності птахів, ссавців і комах завдяки високій точності вимірювань, широкому набору аналітичних інструментів і можливості роботи з великими масивами звукових даних.

Основним етапом роботи було створення та аналіз спектрограм – графічних представлень сигналу, що відображають зміну частоти в часі. Спектрограма є ключовим інструментом у біоакустичних дослідженнях, оскільки дозволяє візуалізувати структуру та варіабельність вокальних сигналів. У Raven Pro використовувалися стандартизовані параметри перетворення Фур'є (FFT): тип вікна (Hann), розмір вікна, крок перекриття та

частотна роздільність, що забезпечувало оптимальне співвідношення між часовою та частотною точністю.

Після налаштування спектрограми здійснювались точні спектро-часові вимірювання для кожного окремого сигналу.

Кожен вимір здійснювався у збільшеному масштабі спектрограми для уникнення похибок, пов'язаних із низькою роздільною здатністю або заокругленням меж сигналу. Особлива увага приділялася початку та завершенню нот, де часто спостерігаються дрібні переходи або шумові компоненти.

Після завершення вимірювань усі параметри вносились вручну до узагальнювальної таблиці в Microsoft Excel для подальшої систематизації та статистичного аналізу. У Microsoft Excel також було визначено параметр середньої частоти (MFr) для кожних повторень використовуючи функцію AVERAGE (CP3HAY), що обчислює середнє арифметичне між найбільшою (HFr) та найменшою (LFr) частотами сигналу.

Для отримання точних характеристик використовувався режим Selection Mode. Цей інструмент дозволяє вручну виділяти прямокутний або довільний фрагмент спектрограми, після чого програма автоматично обчислює повний набір акустичних параметрів для вибраної ділянки. Виділення здійснювалося у двох просторових вимірах – часі (вісь X) та частоті (вісь Y), що дає можливість точно обмежити межі сигналу та виключити сторонні шумові компоненти.

У момент створення виділення Raven Pro формує запис у таблиці параметрів (Measurements Table), де відображаються всі виміряні характеристики, пов'язані саме з цією виділеною ділянкою. Таблиця оновлюється у режимі реального часу та дозволяє отримувати структуровані дані для подальшого статистичного аналізу.

До основних параметрів, які автоматично генерує Selection Mode, входять: Begin Time / End Time (с) – часові межі сигналу; Low Frequency / High Frequency (Гц) – мінімальна та максимальна частоти у межах виділення.

У цьому дослідженні після первинного аналізу до стандартного набору параметрів було додано два додаткові показники, що підвищують точність оцінки часової та частотної структури сигналів: Delta Time (с) – різниця між End Time і Begin Time, тобто фактична тривалість сигналу; та Frequency 25% (Гц) – частота, на якій накопичено 25% енергії спектра (Рис. 2.3).

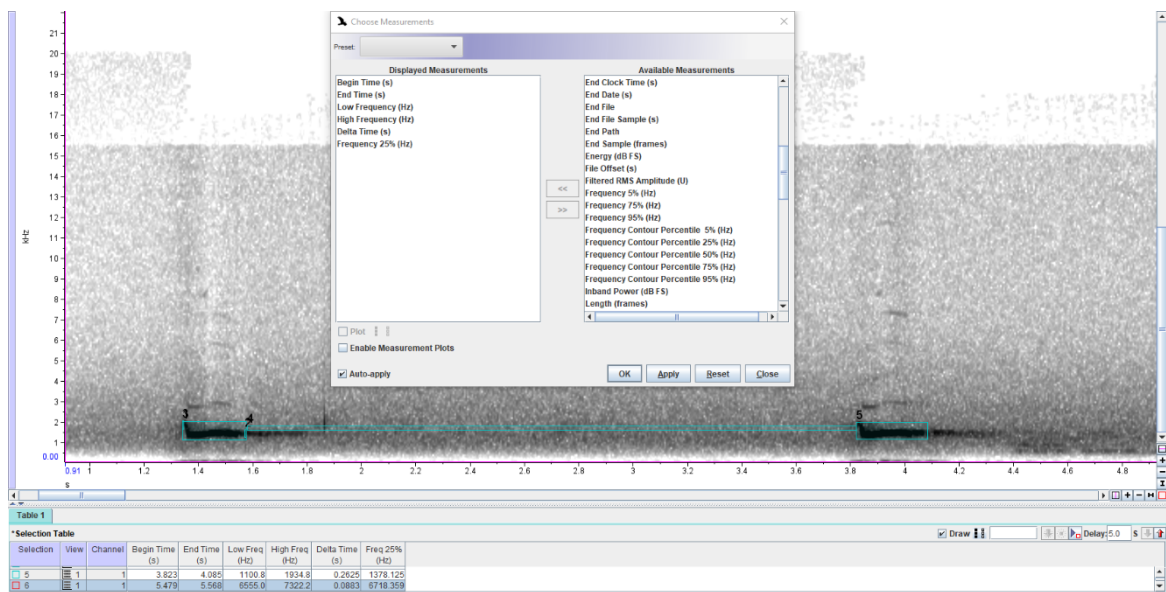


Рис 2.3 – Загальний вигляд програми Raven Pro [45] та відкритої сонограми одного з аудіозаписів. У нижній частині знаходить таблиця вимірювань (Measurements Table). Посередині відкрите віконце Choose Measurements.

2.5. Обґрунтування статистичних та аналітичних методів

У дослідженні для оцінки варіабельності та просторових закономірностей акустичних параметрів було обрано набір

загальноприйнятих багатовимірних та покрокових статистичних методів: аналіз головних компонент (PCA), лінійну регресію з координатами як предикторами та однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) з корекцією на множинні порівняння (FDR).

2.5.1. PCA – Аналіз головних компонент

Аналіз головних компонент (PCA) є класичним методом багатовимірної статистики, який використовують для редукції вимірів та виявлення основних осей варіації в наборі корельованих змінних. PCA перетворює вихідні змінні у нові, некорельовані змінні – головні компоненти (Principal component, PC), що впорядковані за спаданням внеску у загальну дисперсію. Перші компоненти описують найбільш виражені джерела мінливості в даних [24].

Метод базується на власних значеннях і власних векторах кореляційної або коваріаційної матриці. Власні значення визначають частку дисперсії, яку пояснює кожна компонента, тоді як власні вектори задають напрям цієї компоненти у просторі змінних [1]. Перед застосуванням PCA змінні стандартизують, якщо вони мають різні одиниці вимірювання чи масштаби – це особливо важливо для акустичних параметрів (герци, секунди), які відрізняються на порядок [25].

У біоакустичних дослідженнях PCA традиційно застосовується для аналізу структури вокальних сигналів, визначення інформативних параметрів, візуалізації відмінностей між популяціями та попередньої оцінки внутрішньогрупової варіабельності [54] [10]. PCA дає змогу точно визначити, які частотні й темпоральні характеристики найбільше впливають на варіацію сигналів та чи існують вкладені підгрупи всередині вибірки.

У межах даного дослідження PCA було застосовано для оцінки внутрішньої варіабельності акустичних параметрів у групі записів, позначених як «Н/в», де відсутня достовірна інформація про підвидову належність особин. Використання цього методу дало змогу об'єктивно проаналізувати структуру варіації всередині вибірки без попереднього накладення таксономічних категорій. PCA дозволило виявити головні осі мінливості акустичних характеристик та простежити, які саме параметри – зокрема початкова й кінцева частоти (BFr, EFr), мінімальна частота (LFr), а також допоміжні показники, як-от Delta Time і Frequency 25% – роблять найбільший внесок у формування загальної дисперсії сигналів. Завдяки візуалізації у просторі перших двох-трьох компонент стало можливим оцінити, чи демонструє група «Н/в» однорідну структуру, чи навпаки – містить потенційні підгрупи або окремі кластери, що можуть свідчити про приховану підвидову чи географічну диференціацію.

Застосування PCA також створило основу для подальших статистичних аналізів, даючи змогу зменшити ризик мультиколінеарності та обрати найбільш інформативні змінні для моделей ANOVA чи регресійних підходів. Такий підхід відповідає сучасним практикам обробки біоакустичних даних: PCA широко використовується у дослідженнях вокальної мінливості сов, дроздів, жайворонків та інших видів птахів, оскільки дає змогу ефективно узагальнювати складні багатовимірні структури та виявляти біологічно значущі закономірності [54] [10] [32].

2.5.2. Лінійна регресія з координатами – виявлення географічних трендів

Лінійна регресія є одним із фундаментальних статистичних методів, що дозволяє кількісно оцінити залежність між предикторами та цільовою змінною. Основою методу є припущення про лінійний характер зв'язку між змінними: зміна незалежної змінної призводить до пропорційної зміни залежної. У класичній формі модель виражається рівнянням (2.1):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \epsilon, \text{ де} \quad (2.1)$$

Y – залежна акустична змінна, X_1 та X_2 – широта і довгота запису, β_0 , β_1 , β_2 – коефіцієнти моделі, а ϵ – випадкова похибка. Метод найменших квадратів (OLS) мінімізує суму квадратів похибок, забезпечуючи найкраще наближення теоретичної прямої до реальних даних [28].

Застосування лінійної регресії в біогеографічних та екологічних дослідженнях ґрунтується на тому, що географічні координати можуть бути сурогатами складного набору екологічних та історичних процесів: кліматичних градієнтів, ізоляції популяцій, доступності ресурсів, антропогенного впливу чи бар'єрів для міграції. Різниця в широті часто пов'язана зі змінами середньорічної температури, фотоперіоду та структурою співтовариств; різниця в довготі може відображати природні регіональні ізоглоси, історію колонізації або філогеографічну структуру [29] [14]. Таким чином, регресія дозволяє емпірично перевірити, чи є вокальна мінливість просторово структурованою, і чи можуть акустичні характеристики змінюватися поступово вздовж ареалу.

У біоакустиці лінійну регресію широко використовують для оцінки географічних трендів частоти, темпу, тривалості та інших параметрів

вокалізації, що часто утворюють акустичні «градієнти» або вокальні діалекти. Серед птахів географічна мінливість вокалів демонстрована у сов [10], дроздів, співочих горобців, жайворонків та численних інших співочих видів. Зокрема, у сов відомо, що зміна частоти викликів може бути пов'язана як із розмірами тіла в різних популяціях, так і з локальними адаптаціями до слухових умов середовища [54].

Для коректного застосування регресії важливим є дотримання ключових припущень: лінійність, незалежність залишків, гомоскедастичність (однорідність дисперсії похибок), нормальність залишків та відсутність мультиколінеарності між предикторами.

У просторових даних особливо критичним є питання просторової автокореляції, коли значення, розташовані географічно близько, є подібними між собою, порушуючи припущення незалежності [29]. Просторова автокореляція може завищувати статистичну значущість предикторів і призводити до хибнопозитивних висновків. Тому після побудови регресії залишки перевіряються за допомогою Moran's I або аналогічних показників; у випадку виявлення автокореляції застосовують модифіковані моделі (просторова лаг-модель, просторова помилка тощо), або ж враховують просторову структуру за допомогою GLS-моделей [14].

У межах цього дослідження лінійна регресія була застосована для визначення того, як частотні параметри сигналів *Otus scops* змінюються вздовж широтної та довготної осей ареалу. У якості залежних змінних аналізувалися такі параметри, як початкова і кінцева частоти (BFr, EFr), мінімальна та максимальна частоти (LFr, HFr), середня частота (MFr), а також Frequency 25%, що є надійним енергетичним показником, менш чутливим до шуму. Таке моделювання дозволило виявити, чи існують просторові градієнти частоти — наприклад, тенденція до зниження або збільшення частотних характеристик при русі з заходу на схід чи з півдня на північ.

2.5.3. Однофакторний ANOVA та корекція FDR

Однофакторний дисперсійний аналіз (one-way ANOVA) є класичним методом статистичного порівняння, що дозволяє оцінити, чи існують значущі відмінності між середніми значеннями певної ознаки у кількох групах, що розрізняються лише за одним фактором. Групами виступають підвиди совки *Otus scops*, а досліджуваними ознаками є акустичні параметри їхніх сигналів.

Основна ідея однофакторного ANOVA полягає у розподілі загальної варіації ознаки на дві складові: варіацію між групами та варіацію всередині груп. Варіація між групами відображає відмінності серед середніх значень підвидів, тоді як внутрішньогрупова варіація показує, наскільки індивідуальні значення відрізняються всередині одного підвиду. Статистика F , яка визначає співвідношення між цими двома варіаціями, обчислюється за формулою (2.2):

$$F = \frac{M S_{Between}}{M S_{Within}} \quad (2.2)$$

де M – середні значення, $S_{Between}$ – квадрат між групами, S_{Within} – квадрат всередині груп. Якщо значення F перевищує критичне для обраного рівня значущості, нульова гіпотеза про однакові середні відхиляється (Webb, без дати). Це дозволяє визначити, чи існують реальні відмінності між підвидами, а не випадкові коливання в межах підвиду.

Проте застосування ANOVA у біології потребує дотримання певних припущень. По-перше, залежна змінна повинна приблизно відповідати нормальному розподілу у кожній групі. По-друге, дисперсії між групами повинні бути однорідними (гомоскедастичність). По-третє, спостереження повинні бути незалежними, що особливо важливо при зборі акустичних даних у природних умовах, коли одна й та сама особина може бути записана

кілька разів [31]. Порушення цих припущень може потребувати використання непараметричних альтернатив або трансформації даних.

Особливу увагу слід приділяти проблемі множинного тестування, що виникає при порівнянні кількох підвидів. Кожне попарне порівняння підвидів створює окрему статистичну гіпотезу, і з ростом кількості порівнянь зростає ймовірність отримання хибнопозитивних результатів [9]. У дослідженні акустики совок це може призвести до помилкових висновків про відмінності у сигналах між географічно близькими підвидами, які насправді відображають лише випадкову варіабельність. Щоб контролювати ризик хибнопозитивних результатів, застосовують контроль False Discovery Rate (FDR), який визначає очікувану частку хибних позитивних результатів серед усіх відхилених нульових гіпотез.

Найпоширенішою методикою контролю FDR є процедура Бенджаміні-Хохберга [5]. Вона полягає у сортуванні всіх p -значень порівнянь у зростаючому порядку та визначенні критичного порогу, нижче якого гіпотези відкидаються. Цей підхід забезпечує баланс між контролем помилок I роду та збереженням статистичної потужності, що особливо важливо для даних з високою варіабельністю, характерною для біологічних систем. Для випадків, коли порівняння корельовані або мають структуровану залежність (наприклад, підвиди об'єднані в групи за географічним принципом), застосовуються адаптивні версії BH, такі як Structure-Adaptive BH або 2dGBH, які підвищують ефективність контролю FDR [30].

У дослідженні географічної мінливості акустичних сигналів совок застосування ANOVA разом з FDR-корекцією дозволяє спочатку виявити загальні відмінності між підвидами за акустичними параметрами, а потім провести попарні порівняння з урахуванням контролю хибних позитивів. Наприклад, різниця у середній частоті крику між підвидами з Західної та Східної Європи може свідчити про локальні адаптації сигналу до різних середовищ або про генетично зумовлену поведінкову диференціацію [51] [30]. Контроль FDR дозволяє мінімізувати ризик помилкових висновків, коли

кількість порівнянь значна, і гарантує, що виявлені відмінності відображають реальні біологічні закономірності.

Однак слід враховувати певні обмеження. Порушення припущень ANOVA може спотворити результати, велика кількість тестів навіть при FDR-корекції знижує потужність тесту, а статистично значущі результати не завжди є біологічно значущими.

6. Послідовність обробки та аналізу даних у R

Для обробки акустичних даних совки *Otus scops* була використана середовище R у поєднанні з інтегрованим середовищем розробки RStudio, версія 2025.09.2. R є потужним статистичним інструментом, широко застосовуваним у біології для роботи з великими масивами даних, включаючи морфологічні, поведінкові та акустичні параметри. Його можливості охоплюють імпорт даних з різних джерел, обробку та трансформацію, виконання багатовимірних аналізів, кореляційних та регресійних моделей, а також проведення параметричних і непараметричних тестів. RStudio забезпечує зручний інтегрований інтерфейс для написання скриптів, перегляду графіків та управління пакетами, що значно прискорює роботу з біологічними даними (RStudio, 2025).

На початковому етапі роботи проводився імпорт даних з Excel. Для цього використовувався пакет **readxl**, який дозволяє зчитувати дані з файлів формату .xlsx безпосередньо у вигляді датафрейму. Такий підхід забезпечує збереження структури таблиці, включно з назвами колонок та типами змінних. Команда для імпорту даних виглядає наступним чином:

```
library(readxl)

data <- read_excel("параметри_шлюбного_сигналу.xlsx")

head(data)
```

Після імпорту таблиці було проведено розділення колонок на темпоральні та частотні параметри. Темпоральні параметри включали тривалість сигналу (Dur) та інтервали між сигналами (Int), тоді як частотні – початкову (BFr), кінцеву (EFr), найменшу (LFr), найбільшу (HFr) та середню (MFr) частоти сигналу. Такий поділ дозволяв у подальшому застосовувати окремі методи стандартизації та аналізу для параметрів різних типів.

Для забезпечення коректного багатовимірного аналізу всі кількісні параметри були стандартизовані за допомогою функції **scale()**, яка приводить значення до середнього 0 та стандартного відхилення 1. Стандартизація дозволяє уникнути домінування змінних з великим діапазоном значень над змінними з меншим діапазоном, що критично для аналізу даних методом головних компонент (PCA) або регресійного аналізу.

Наступним кроком була перевірка припущень ANOVA та регресійних моделей, насамперед нормальності розподілу даних. Перевірка виконувалася за допомогою тесту Шапіро-Віллка **shapiro.test()**, який оцінює, чи відповідає розподіл змінної нормальному закону. У випадках, коли розподіл значно відхилявся від нормального, застосовувалося логарифмічне або квадратне перетворення, що дозволяло підготувати дані для подальшого застосування параметричних методів [31].

Для оцінки взаємозв'язків між параметрами та зменшення розмірності даних використовувався Головний компонентний аналіз (PCA). Для проведення PCA у R використовувалися пакети **FactoMineR** та **factoextra**. Для візуалізації результатів було створено biplot, який показує одночасно позиції індивідуумів у просторі головних компонент і внесок кожної змінної у компоненти.

```

library(FactoMineR)

library(factoextra)

numeric_data <- data[, c("Dur", "Int", "BFr", "EFr", "LFr",
"HFr", "MFr")]

pca_res <- PCA(numeric_data, graph = TRUE)

```

Далі проводився кореляційний та регресійний аналіз акустичних параметрів з географічними координатами (широтою та довготою), що є ключовим для виявлення географічних трендів сигналів. Кореляції оцінювалися за допомогою `cor()` або `cor.test()`, а для кількісної оцінки впливу координат використовувався лінійний регресійний аналіз, який дозволяє визначити, чи змінюються параметри сигналу в залежності від розташування підвиду у Євразії:

```

model <- lm(MFr ~ Latitude + Longitude, data = data)

summary(model)

```

Цей аналіз дозволяє виявити тенденції, наприклад, чи зменшується середня частота (MFr) сигналу у підвидів з північних регіонів у порівнянні з південними, що може бути пов'язано з адаптацією до середовища або ізоляцією популяцій. Для наочності результатів регресії створювався scatter plot, де точки відповідали індивідуумам, а лінія регресії показувала тенденцію зміни параметра по координаті.

Заключним етапом був однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) з корекцією FDR для порівняння акустичних параметрів між підвидами. Спочатку обчислювалася статистика F для кожної змінної, щоб оцінити, чи існують загальні відмінності між підвидами. Після цього проводилися попарні порівняння за допомогою тесту Tukey, а результати коригувалися методом Бенджаміні-Хохберга (BH), що дозволяє контролювати рівень

хибних відкриттів при множинних тестах. Для візуалізації результатів були побудовані boxplot'и для частотних параметрів, які показали статистично значущі відмінності між підвидами.

```
library(multcomp)

anova_res <- aov(MFr ~ `H/B`, data = data)

summary(anova_res)

p_values <- summary(glht(anova_res, linfct = mcp(`H/B` =
"Tukey")))$test$pvalues

p_adjusted <- p.adjust(p_values, method = "BH")

p_adjusted
```

3. РЕЗУЛЬТАТИ

3.1. PCA

Аналіз головних компонент показав, що структура варіативності акустичних параметрів має виражену багатовимірність, проте основна частина інформації концентрується у перших кількох компонентах. Перша головна компонента (PC1) має стандартне відхилення 4.70 та пояснює 45,1% загальної дисперсії, що свідчить про існування домінантного градієнта змін даних, спільного для багатьох частотних і темпоральних параметрів одночасно. Друга компонента (PC2) додатково пояснює 18,8% дисперсії, а третя (PC3) – ще 11,8%, разом забезпечуючи 75,7% сумарної варіативності.

Таким чином, три компоненти вже відтворюють понад 75% інформації, що є характерним для наборів даних із сильно корельованими параметрами. Четверта і п'ята компоненти (PC4 та PC5) додають ще 13,3%, доводячи кумулятивну частку до 89%, після чого внесок кожної наступної компоненти швидко зменшується (менше 3% кожна).

Починаючи приблизно з PC10-PC15, внесок компонент знижується до величин менше 1%, що вказує на шумові або високоспецифічні варіації, які не формують загальних структурних закономірностей. Компоненти після PC25-PC30 мають практично нульовий внесок, а компоненти після PC40 - математично нульові значення дисперсії (Табл. 3.1).

Таблиця 3.1 Результати PCA-тесту, представлені PC1 та PC2

PC	Std. deviation	Prop. of variance	Cumulative
PC1	4.6992	0.4507	0.4507
PC2	3.0370	0.1882	0.6389

На основі матриці завантажень (`pca_res$rotation`) (Табл. 3.2) встановлено, що перша головна компонента (PC1) відображає загальний

частотний рівень сигналу. Усі частотні параметри (BFr1-7, EFr1-6, LFr, HFr, MFr) мають високі позитивні коефіцієнти, тоді як темпоральні параметри Dur1-Dur7 майже не впливають на варіацію цієї компоненти. Таким чином, PC1 описує масштабний частотний градієнт, тобто “загальну висоту голосу”.

Друга компонента (PC2) характеризує варіацію тривалостей елементів серії: всі Dur1-7 мають великі негативні завантаження, тоді як більшість кінцевих частот (EFr1-EFr6) мають позитивні значення. Це створює градієнт “довші сигнали → нижча кінцева частота” проти “коротші сигнали → вища кінцева частота”, тобто описує темпоральний масштаб серії та пов’язаний з ним частотний зсув.

Третя компонента (PC3) відображає різницю між початковими та кінцевими частотами, оскільки параметри EFr (особливо EFr3-EFr6) мають найбільший позитивний внесок, тоді як BFr та інші параметри слабо або протилежно впливають. Це відповідає контурності сигналу (frequency contour) – ступеню підвищення частоти від початку до кінця вокалізації (Рис. 3.1).

Таблиця 3.2 Навантаження на головні компоненти

PC1	PC2	Parameter	PC1	PC2	Parameter
-0.026123181	-0.263703415	Dur1	0.175763588	-0.114898593	BFr5
-0.010066615	-0.259612655	Dur2	0.16873969	-0.083795233	BFr6
-0.022855287	-0.260790896	Dur3	0.148347389	-0.116741801	BFr7
-0.0188766	-0.266553739	Dur4	0.139227378	0.086584327	EFr1
-0.025778645	-0.262190207	Dur5	0.154051519	0.072011139	EFr2
-0.017407594	-0.263602598	Dur6	0.160949203	0.067078507	EFr3
-0.020661088	-0.26560104	Dur7	0.146577371	0.08171502	EFr4
0.151745684	-0.100311066	BFr1	0.157748099	0.073117013	EFr5
0.165908446	-0.089352997	BFr2	0.152762352	0.072395955	EFr6
0.167027468	-0.090072125	BFr3	0.136627487	0.088537859	EFr7
0.165028908	-0.077395768	BFr4	0.144811533	0.160832435	LFr1

Таблиця 3.2 Навантаження на головні компоненти (Продовження 1)

PC1	PC2	Parameter	PC1	PC2	Parameter
0.136477262	0.169094279	LFr2	0.172032407	-0.124059382	HFr6
0.142213151	0.174438611	LFr3	0.152346553	-0.167989396	HFr7
0.140422466	0.167537544	LFr4	0.193197008	-0.03917587	MFr1
0.138487925	0.177831404	LFr5	0.20010706	-0.019107431	MFr2
0.12983526	0.179582952	LFr6	0.202874561	-0.038754514	MFr3
0.132860533	0.17642687	LFr7	0.196885067	-0.051320455	MFr4
0.156403712	-0.144439473	HFr1	0.205235386	-0.03198092	MFr5
0.173768477	-0.124815639	HFr2	0.198793042	-0.01842491	MFr6
0.168869359	-0.150754095	HFr3	0.195499681	-0.052494357	MFr7
0.153677335	-0.166163154	HFr4	-0.078426953	-0.020462597	Int1
0.167863404	-0.15057867	HFr5	-0.092901206	-0.082771645	Int2

Таблиця 3.2 Навантаження на головні компоненти (Продовження 2)

PC1	PC2	Parameter
-0.091276107	-0.07943681	Int3
-0.0902336	-0.076318598	Int4
-0.090358154	-0.081987389	Int5
-0.084674112	-0.065231977	Int6
-0.088039243	-0.073355806	Int7

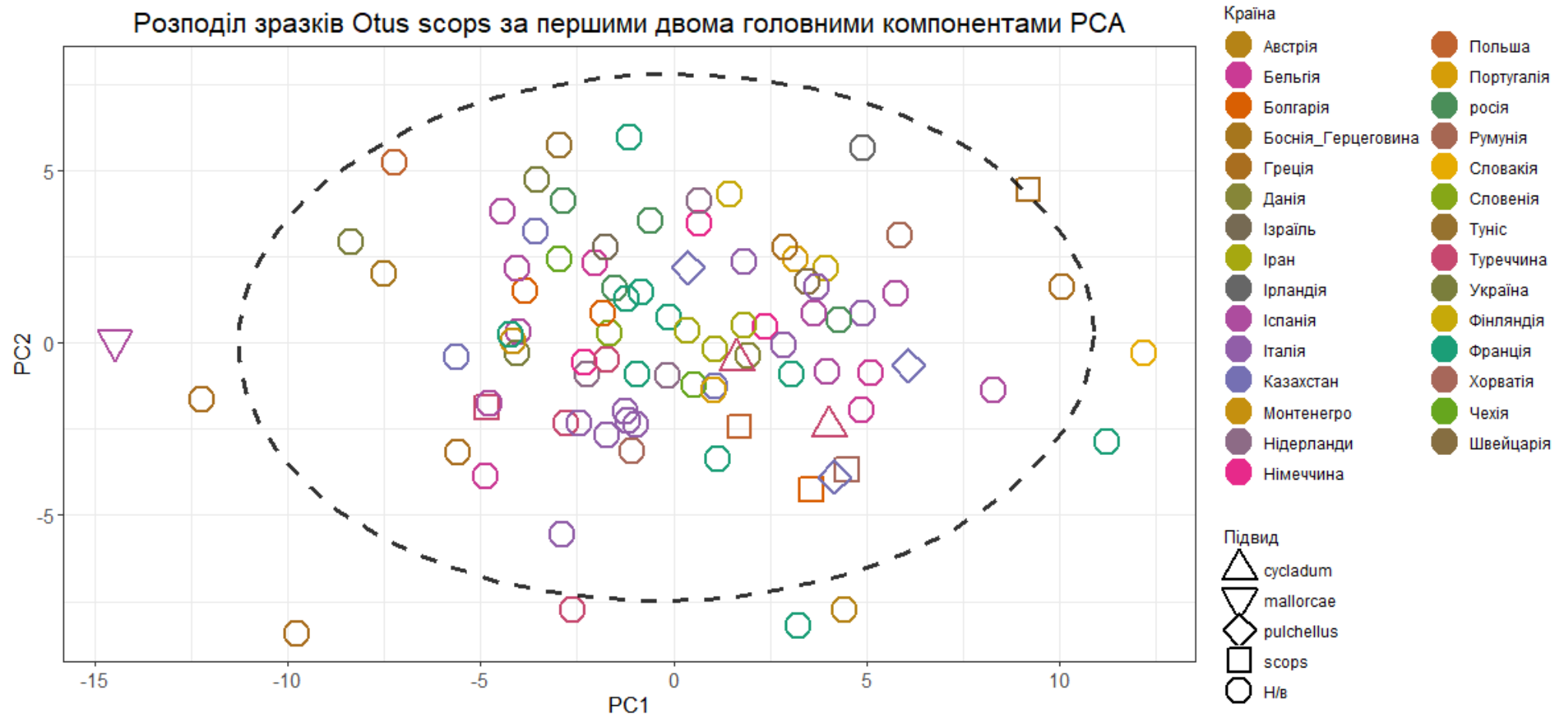


Рис. 3.1 – Просторове розташування зразків у системі перших двох головних компонент PCA. Кольором позначені країни особин, а фігурами позначені п'ять підвидів *Otus scops*, а марковані «Н/в» точки – екземпляри без визначеного підвид

На рисунку 3.1 подано результати аналізу головних компонент (PCA), що відображають розподіл вибірки *Otus scops* у просторі перших двох головних компонент. Перша головна компонента (PC1) відображає напрямок максимальної мінливості вибірки, тоді як друга (PC2) містить другу за значенням частку варіації, ортогональну до PC1. На графіку кожна точка вказує на підвидову приналежність або її відсутність. Еліпс довіри на PCA-графіку є статистичним інструментом, що позначає область, у межах якої з певною ймовірністю (зазвичай 95%) розташована основна частина зразків. Він будується на основі коваріаційної матриці перших двох головних компонентів і відображає спільну варіацію даних у багатовимірному просторі. Центр еліпса відповідає середнім значенням PC1 та PC2, а його форма, розмір та орієнтація вказують на напрямки та масштаб варіації у вибірці. Витягнута форма еліпса свідчить про наявність домінуючого градієнта змін у певній компоненті, тоді як більш округла форма відображає рівномірний розкид параметрів за обома осями. Точки, що лежать усередині еліпса, характеризуються як типові для загальної вибірки, тоді як точки поза його межами можуть відображати крайні значення, рідкісні вокальні варіанти або індивідуальні відхилення. Візуальний аналіз розподілу точок на площині перших двох головних компонент не демонструє чітко відокремлених кластерів для більшості підвидів: значна частина значень накладається одне на одне, що свідчить про часткове перекриття їхніх акустичних характеристик. Водночас спостерігається тенденція до згрупованості окремих підвидів. Зокрема, *mallorcae* утворює більш компактну й відносно віддалену групу порівняно з іншими, що узгоджується з його відокремленим географічним поширенням та потенційними акустичними відмінностями. Такі результати узгоджуються з біогеографічними уявленнями, оскільки цей підвид мешкає на островах і, відповідно, зазнає ізоляції, яка сприяє прискореному накопиченню відмінних ознак через обмежений або відсутній генетичний обмін з материковими популяціями. Також це можна побачити на кластерній дендрограмі на основі PCA-результатів (Рис. 3.2).

Номінативний підвид *scops* займає центральну зону PCA-простору та має найбільший розкид значень у межах еліпса довіри. Це свідчить про високу внутрішньопопуляційну мінливість і підтверджує його широке географічне поширення. Підвиди *pulchellus* та *cycladum* формують зони часткового накладання з *scops*, однак у їхньому розміщенні все ж можна спостерігати певну тенденцію до відокремлення. Це свідчить про те, що популяції цих таксонів пройшли часткову дивергенцію. Зокрема, *cycladum* демонструє зміщення у бік нижньої правої частини графіка, що може бути пов'язано з особливим набором ознак, характерних для південних середземноморських популяцій.

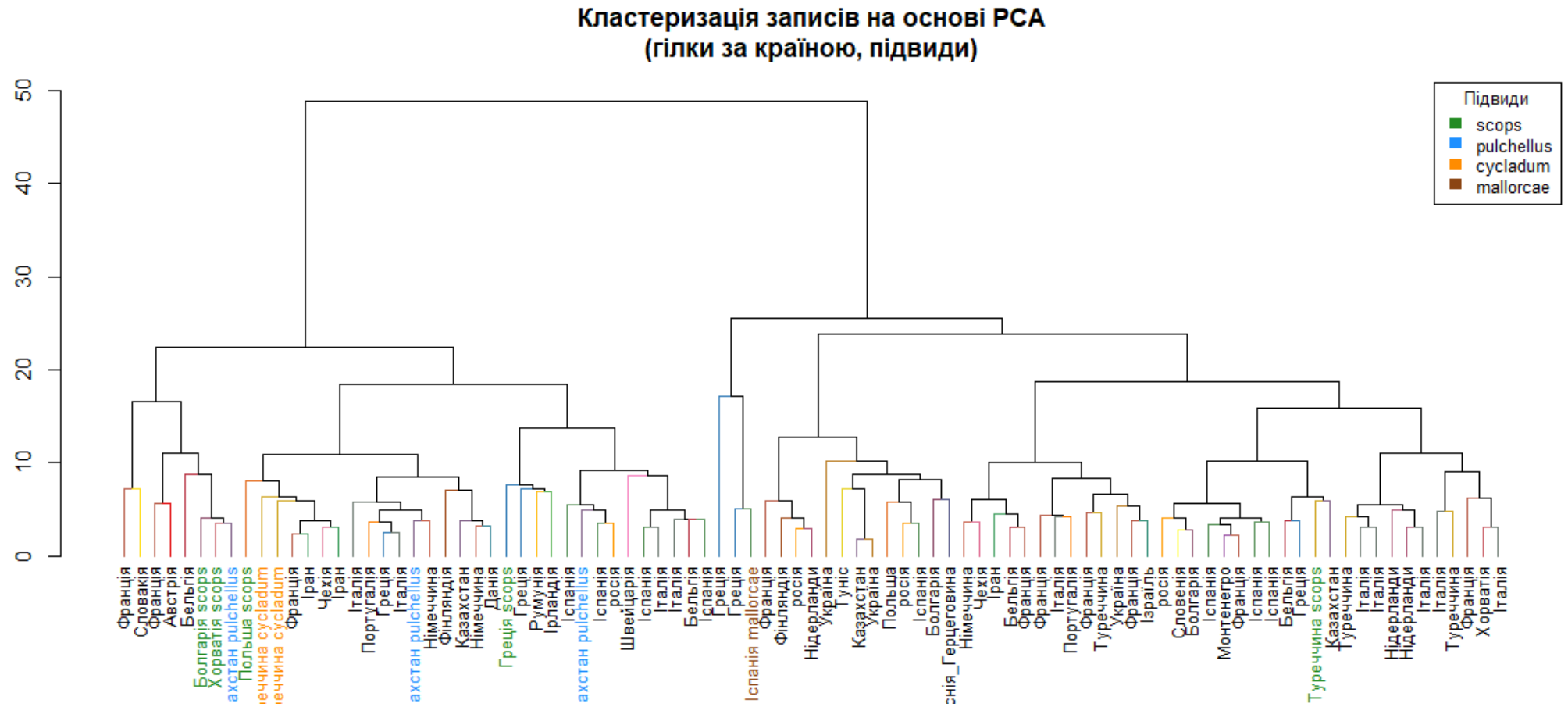


Рис. 3.2 – Кластерне дерево записів, а підставі PCA-параметрів

3.2. Лінійна регресія з координатами

До аналізу включено широту та довготу як незалежні змінні, тоді як темпоральні (Dur, Int) та частотні показники (BFr, EFr, LFr, HFr, MFr) розглядалися як залежні. Попередня перевірка нормальності та стандартизація даних дозволила застосувати лінійні моделі у їх класичній формі.

Таблиця 3.3 Фрагмент таблиці результатів лінійної регресії на прикладі першого параметру тривалості сигналу (Dur1), що відповідно розміщено у стовпці Parameter.

Parameter	term	estimate	std.error	statistic	p.value
Dur1	(Intercept)	0.283932	0.050118	5.66528 8	1.82E-07
Dur1	`Географічна широта`	2.14E-05	0.001101	0.01943 4	0.984539
Dur1	`Географічна довжина`	0.000151	0.00031	0.48691 6	0.627528

у

стовбці term присутні Intercept (Перетин) – значення Dur1, коли широта і довжина = 0; відповідно Географічна широта / довгота є коефіцієнтами регресії, показують, як змінюється Dur1 при зміні координат на 1 одиницю. std.error – стандартна помилка оцінки коефіцієнта. statistic – t-статистика для перевірки значущості. p.value – значущість коефіцієнта. Аналогічно результати представлені для інших параметрів.

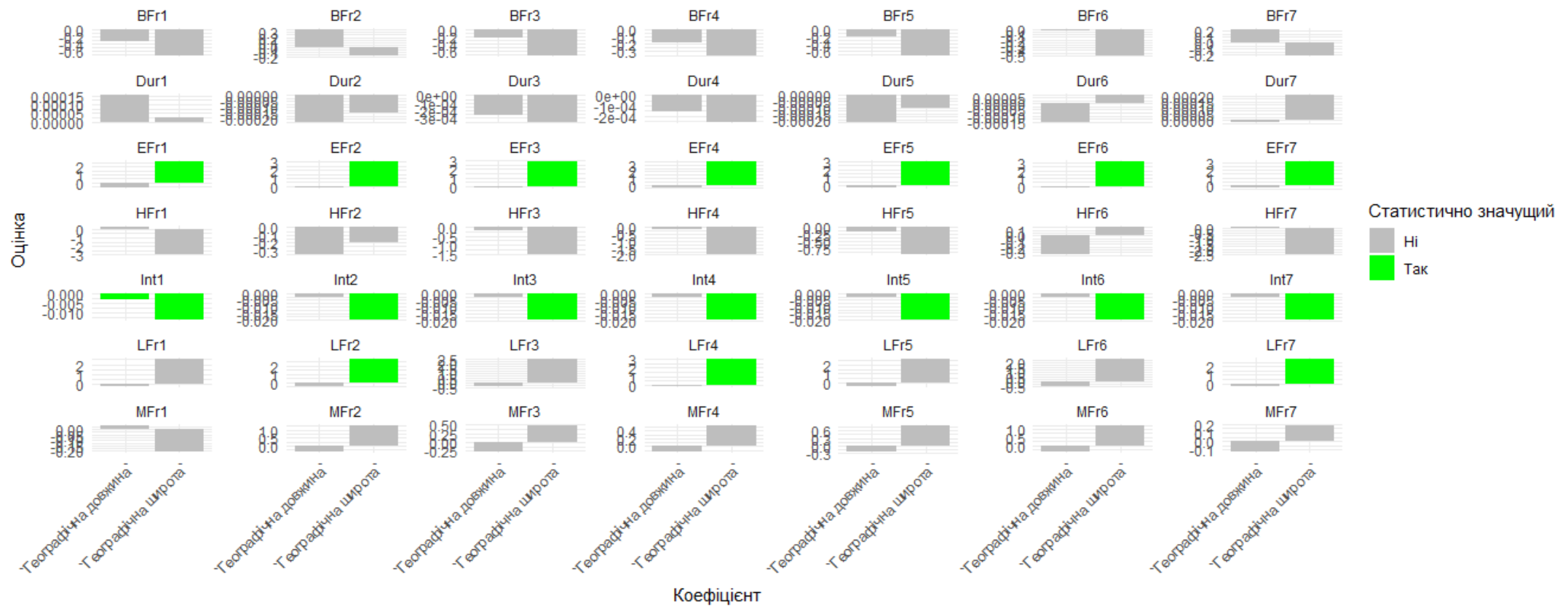
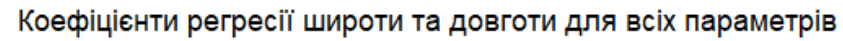


Рис 3.3 – Результати статистично значущих коефіцієнтів лінійної регресії відносно географічних координат.

Лінійний регресійний аналіз дозволив оцінити, чи пов'язані акустичні параметри сигналів *Otus scops* зі змінами географічних координат. Отримані результати показали, що темпоральні характеристики сигналу (Dur) та Int) не демонструють статистично значущих зв'язків із просторовими змінними. Це свідчить про їх відносну стабільність та консервативність у межах усього ареалу виду. На прикладі параметра Dur1, наведеного у таблиці, видно, що коефіцієнти для широти і довготи мають дуже низькі значення і не є значущими ($p\text{-value} > 0.6\text{-}0.9$), а отже, тривалість сигналу не формується під впливом географічних умов.

Інша ситуація спостерігається для частотних параметрів, насамперед середньої (MFr) та максимальної частоти (HFr). Саме вони демонструють найбільш послідовні тенденції зміни вздовж широтного градієнта: у північних популяцій показники частоти мають тенденцію до підвищення. Це підтверджується наявністю статистично значущих коефіцієнтів у регресійних моделях та візуально відображено на графіку, де лінії регресії мають позитивний нахил відносно широти. Такий тренд може мати декілька біологічних пояснень. По-перше, частота сигналу може змінюватися у відповідь на різні умови поширення звуку в середовищі, наприклад, щільніші північні ліси або більш шумні біотопи можуть сприяти використанню вищих частот для ефективнішої комунікації. По-друге, такі зміни можуть бути пов'язані з морфологічними відмінностями між популяціями – у випадку менших за розміром особин частота голосу зазвичай є вищою. Також можливо, що широтні відмінності частоти голосу відображають філогеографічні процеси, зокрема історію колонізації ареалу та ступінь ізоляції окремих популяцій.

Зв'язок частотних параметрів із довготою виявився менш вираженим і не утворює однозначного просторового тренду. Це відповідає складнішій структурі ареалу *Otus scops* вздовж осі схід-захід, де межі між підвидами частково перекриваються, а географічні бар'єри не є такими однозначними,

як у напрямку північ-південь. Значна варіабельність значень навколо регресійних ліній на графіку підтверджує, що широта та довгота не є єдиними факторами, які визначають акустичні характеристики сигналу. Це узгоджується також із результатами PCA, які продемонстрували інтенсивне перекриття популяцій та відсутність різко окреслених акустичних кластерів. Таким чином, лінійна регресія підтверджує існування широтного градієнта частот, але водночас підкреслює відсутність чітких меж між акустичними групами, що має значення для інтерпретації таксономічних та біогеографічних висновків.

3.3. ANOVA

Для оцінки відмінностей акустичних характеристик між підвидами *Otus scops* був застосований однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA), що дозволив визначити, які саме параметри сигналу статистично відрізняються між таксонами. У таблиці представлено результати однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) для всіх акустичних параметрів сигналу, проведеного з метою перевірки відмінностей між підвидами. Для кожного параметра наведено степені свободи фактора (df), значення F-статистики, а також некориговані p-значення та p-значення після корекції за методом Benjamini-Hochberg (FDR), що дозволяє контролювати частку хибнопозитивних результатів при багатократному тестуванні. Колонки таблиці відображають: назву акустичного параметра, фактор варіації (Підвид), кількість ступенів свободи, величину F-критерію, оцінку статистичної значущості ефекту (p.value) та скориговану оцінку значущості (p_adj_FDR). Ці показники дають змогу визначити, які параметри демонструють суттєві міжпідвидові відмінності та можуть відігравати роль у географічній структурі сигналу.

У таблиці 3.4 представлено результати однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) для всіх акустичних параметрів сигналу, проведеного з метою перевірки відмінностей між підвидами. Для кожного параметра наведено степені свободи фактора (df), значення F-статистики, а також некориговані p-значення та p-значення після корекції за методом Benjamini-Hochberg (FDR), що дозволяє контролювати частку хибнопозитивних результатів при багатократному тестуванні. Колонки таблиці відображають: назву акустичного параметра, фактор варіації (Підвид), кількість ступенів свободи, величину F-критерію, оцінку статистичної значущості ефекту (p.value) та скориговану оцінку значущості (p_adj_FDR).

Таблиця 3.4 – Результати однофакторної ANOVA для параметрів сигналу між п'ятьма підвидами *Otus scops*. Представлено статистично значущі параметри ($p > 0.05$)

№	Параметр	Фактор	df	F-статистик а	p	p (FDR)
1	HFr1	Підвид	4	4.64	0.00195	0.0110
2	HFr2	Підвид	4	5.29	0.000745	0.0110
3	HFr3	Підвид	4	4.64	0.00194	0.0110
4	HFr4	Підвид	4	4.69	0.00180	0.0110
5	HFr7	Підвид	4	4.95	0.00122	0.0110
6	MFr1	Підвид	4	5.16	0.000892	0.0110
7	MFr2	Підвид	4	4.61	0.00201	0.0110
8	MFr4	Підвид	4	4.87	0.00138	0.0110
9	MFr5	Підвид	4	4.71	0.00175	0.0110
10	HFr6	Підвид	4	4.29	0.00328	0.0161
11	HFr5	Підвид	4	3.99	0.00514	0.0210
12	MFr7	Підвид	4	3.99	0.00513	0.0210
13	LFr5	Підвид	4	3.79	0.00694	0.0227
14	MFr3	Підвид	4	3.86	0.00625	0.0227
15	MFr6	Підвид	4	3.83	0.00650	0.0227
16	BFr4	Підвид	4	3.44	0.0118	0.0361
17	BFr2	Підвид	4	3.29	0.0146	0.0422

Ці показники дають змогу визначити, які параметри демонструють суттєві міжпідвидові відмінності та можуть відігравати роль у географічній структурі сигналу.

Проведений однофакторний дисперсійний аналіз із подальшою корекцією за методом FDR засвідчив наявність статистично значущих міжпідвидових відмінностей для 7 акустичних параметрів сигналу. Найбільш виражені відмінності спостерігаються у високочастотному діапазоні спектральних характеристик (HFr1-HFr7), де всі сім параметрів виявилися статистично значущими навіть після корекції на множинні порівняння ($p_{adj_FDR} < 0.022$). Це свідчить про те, що саме високочастотні компоненти сигналу є найбільш чутливими до міжпідвидових варіацій у *Otus scops*.

Значущими також виявилися сім параметрів середньочастотної області (MFr1-MFr7), що узгоджується з загальною тенденцією до більшої мінливості спектральних характеристик у центральному та високому частотних діапазонах. Окрім цього, статистично значущими залишилися два параметри низькочастотного блоку (BFr2 та BFr4) та один параметр LFr5. Це вказує на те, що хоча низькочастотні характеристики демонструють меншу структурованість між підвидами, окремі з них все ж беруть участь у формуванні підвидової специфіки сигналу.

Можна стверджувати, що найбільш інформативними для розмежування підвидів є спектральні параметри середніх та високих частот, тоді як тривалісні параметри (Dur) та інтенсивнісні характеристики (Int) не продемонстрували статистично значущих міжпідвидових відмінностей (Рис. 3.4).

Розподіл статистично значущих акустичних параметрів за підвидами

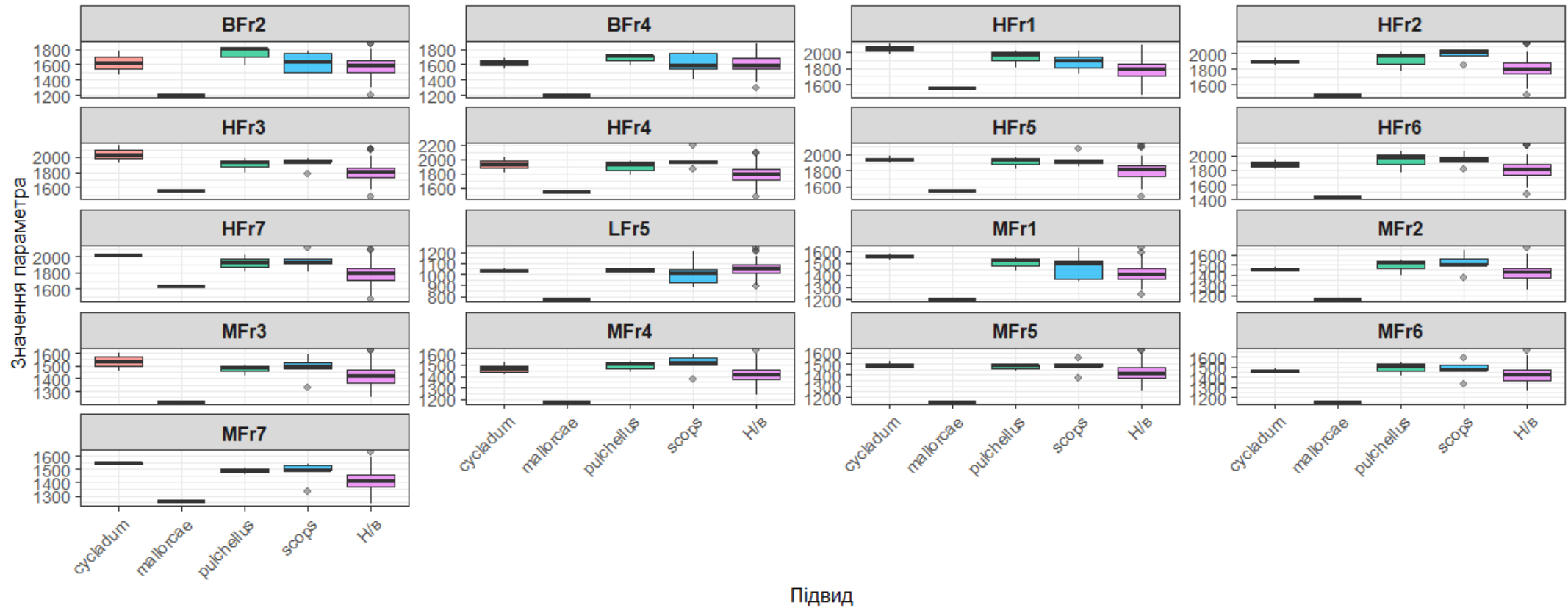


Рисунок 3.4 – Боксплоти результатів ANOVA для статистично значущих параметрів сигналу між п'ятьма підвидами *Otus scops*.

Отримані результати свідчать про те, що підвиди *Otus scops* відрізняються насамперед за спектральними характеристиками, тоді як структурні параметри голосу залишаються більш уніфікованими. Це узгоджується з наявними у літературі даними щодо біоакустики совок, де частота сигналу часто виступає ключовим таксономічним маркером. Важливим спостереженням є те, що підвиди не утворюють повністю ізольованих акустичних кластерів – значення параметрів перекриваються, але розподілені таким чином, що формують статистично значущі зрушення у середніх значеннях. Така картина є типовою для видів із широким і неперервним ареалом, де дивергенція відбувається поступово, а не стрибкоподібно.

У біологічному сенсі виявлені відмінності частотних параметрів можуть відображати як історичні процеси формування підвидів (острівна ізоляція, колонізаційні хвилі, бар'єри ареалу), так і екологічні чинники, пов'язані зі структурою середовища та локальними умовами акустичної комунікації. Деякі підвиди, зокрема *O. s. mallorcae*, відомі як географічно ізольовані та демонструють більш виняткові значення частот, що також підтверджується кластеризацією у PCA. Натомість номінативний підвид *scops* демонструє розширений діапазон і значну внутрішньопопуляційну варіабельність, що типово для значно поширених таксонів.

Узагальнюючи результати ANOVA, можна зробити висновок, що акустичні параметри *Otus scops* демонструють статистично підтверджені, але не абсолютні підвидові відмінності, які мають характер плавних зрушень, а не різко окреслених акустичних меж. Це підкреслює складність підвидової диференціації виду та підтверджує, що система сигналів формується як під впливом спадкових факторів, так і під дією просторових та екологічних градієнтів. У поєднанні з результатами PCA та регресійного аналізу ANOVA формує цілісне уявлення про структуру акустичної мінливості *Otus scops* та її значення для розуміння таксономії й біогеографічних процесів у межах виду.

4. ОБГОВОРЕННЯ

Отримані результати узгоджуються з сучасними уявленнями про вокальну мінливість у совиних, де частотні параметри голосу формуються під впливом комплексу морфологічних, екологічних та географічних чинників. Дослідження Chandra Sagar та ін. (2024) демонструє, що частота вокалізації сильно пов'язана з морфологією птаха – зокрема, масою тіла, будовою голосового апарату та об'ємом резонуючих порожнин. У цьому ж контексті екологічні особливості середовища, тип ландшафту та структурні характеристики акустичного простору також здатні зумовлювати зсуви спектральних параметрів. З огляду на те, що різні підвиди *Otus scops* займають різні частини ареалу, які відрізняються умовами середовища, отримані частотні відмінності цілком вписуються у очікуваний спектр географічної варіабельності.

Відомо, що у совок і близьких таксонів частотні параметри в середньому нижчі у більших за розмірами особин (Bou.org.uk), що пов'язано з анатомічними обмеженнями вокального апарату. За даними цієї роботи окремі підвиди демонструють зрушення середніх частот у межах, які можуть відповідати відмінностям у типових розмірах тіла, особливостям середовища або поєднанню цих чинників. Проте широка внутрішньопідвидова варіабельність і значне перекриття частотних діапазонів свідчать, що морфологічні детермінанти не можуть повністю пояснити спостережувану картину.

Соціальна поведінка є додатковим чинником варіабельності: самці *Otus scops* здатні швидко змінювати частоту свого сигналу у відповіді на сусіда чи під час територіальних конфліктів (Bou.org.uk). Ця короткочасна пластичність призводить до того, що індивідуальні та ситуативні зміни накладаються на підвидові патерни, роблячи акустичний простір менш структурованим. Такий

ефект добре узгоджується з результатами PCA, де групи не формують окремих кластерів, а займають розмиті ділянки багатовимірного простору.

Важливим аспектом є те, що ANOVA також показала статистично значущі відмінності між підвидами лише для частини спектральних параметрів. Боксплоти демонструють зсуви медіан, але водночас значне перекриття інтерквартильних інтервалів, що вказує на слабкий ступінь групової акустичної дивергенції. Подібні висновки роблять Wu та Rheindt (2023) щодо інших близьких до *Otus* груп: межі вокальних типів часто не відповідають традиційним таксономічним межам, оскільки вокальні ознаки можуть змінюватися поступово уздовж географічного градієнта або під впливом локальних екологічних умов.

Отримані результати не вказують на чітко окреслені підвидові межі у вокалізації, але підтверджують наявність певних тенденцій у спектральних зсувах, які можуть бути пов'язані з морфологією, географією чи екологією. Проміжне положення деяких груп на PCA та широкий внутрішній розкид частотних параметрів у підвидів із великим ареалом свідчать про те, що структура голосових сигналів *Otus scops* є континуальною і не має виразної дискретності. Це відповідає загальному патерну видів із широким ареалом та високим потенціалом до змішування популяцій.

Інтерпретуючи отримані дані, слід враховувати певні обмеження. Різне представлення підвидів у вибірці може впливати на стабільність оцінок, а умови запису варіювалися між локаціями, що спричиняло додатковий шум у спектральних характеристиках. Категорія «Н/в» (невизначений підвид) могла включати записи з різних регіонів, збільшуючи загальну амплітуду варіації. Відсутність генетичних даних також не дозволяє чітко співвіднести акустичні відмінності зі спадковими межами між групами.

При цьому важливо враховувати, що низка досліджень демонструє високу індивідуальну стабільність вокалізації сов. Зокрема, Penteriani показав, що у *Otus scops* значна частина особин зберігає характерні ознаки голосу впродовж сезону, що дозволяє надійно розрізняти індивідів [44].

Аналогічні результати отримано для *Otus lempiji*, де точність розпізнавання індивідів досягала 97,1 % [39]. Стабільність індивідуальних вокальних ознак для совиних підтверджує також огляд, присвячений ролі акустичної індивідуальності у збереженні видів [54].

Водночас наявні дані свідчать, що географічна варіація вокалізації не завжди проявлена чітко, а значна частина мінливості може пояснюватися індивідуальними відмінностями та умовами запису. Як зазначають Stowell та співавт., для виявлення структур вокальної мінливості необхідно враховувати вплив технічних та екологічних конфаундів, які часто переважають географічні ефекти [53].

Таким чином, хоча певні міжпідвидові акустичні відмінності для *Otus scops* зафіксовано, вони проявляються лише в окремих параметрах сигналу і не формують чітко відмежованих акустичних кластерів. Це свідчить про складну взаємодію морфологічних, екологічних і соціобіологічних факторів у формуванні вокальної мінливості та підкреслює необхідність подальших комплексних досліджень із залученням широких географічних вибірок, генетичних методів і сучасних підходів машинного навчання. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення географічного охоплення, залучення додаткових спектральних характеристик та інтеграцію акустичного аналізу з молекулярними методами. Машинне навчання та автоматизований аналіз великих аудіобаз даних можуть значно підвищити точність виявлення прихованих структур вокальної мінливості.

Загалом, отримані результати демонструють, що акустичні відмінності між підвидами *Otus scops* існують, але вони частково узгоджуються з морфологічними та географічними чинниками і проявляються лише у деяких параметрах сигналу. Це свідчить про складну взаємодію морфології, екології та соціальної поведінки у формуванні вокальної мінливості, підкреслюючи потребу в подальших комплексних дослідженнях для повнішого розуміння підвидової структури.

5. ВИСНОВКИ

В результаті аналізу аудіозаписів шлюбно-територіальних сигналів совки євразійської *Otus scops* з різних частин ареалу з урахуванням підвидової приналежності та географічної локалізації кожного запису було зроблено наступні висновки:

1) Темпоральні характеристики сигналу не демонструють статистично значущих зв'язків із просторовими змінними. Це свідчить про їх відносну стабільність та консервативність у межах усього ареалу виду. Отже, тривалість сигналу не формується під впливом географічних умов.

2) Для частотних параметрів, насамперед середньої (MFr) та максимальної частоти (HFr) продемонстровано найбільш послідовні тенденції зміни вздовж широтного градієнта: у північних популяцій показники частоти мають тенденцію до підвищення. Зв'язок частотних параметрів із довготою не утворює однозначного просторового тренду. Це відповідає складнішій структурі ареалу *Otus scops* вздовж осі схід-захід, де межі між підвидами частково перекриваються, а географічні бар'єри не є такими однозначними.

3) Констатовано відсутність різко окреслених акустичних кластерів, що свідчить про континуальний характер вокальної мінливості у вокальному сигналі *Otus scops*.

4) Підвиди *Otus scops* відрізняються насамперед за спектральними характеристиками, тоді як структурні параметри голосу залишаються більш уніфікованими. Це узгоджується з наявними у літературі даними, де частота сигналу часто виступає ключовим таксономічним маркером. Високочастотні спектральні характеристики є найбільш чутливими у розрізненні підвидів.

5) Підвиди не утворюють повністю ізольованих акустичних кластерів, але розподілені таким чином, що формують статистично значущі відмінності

у середніх значеннях. Однак, деякі підвиди, зокрема *O. s. mallorcae*, відомі як географічно ізольовані та демонструють більш виняткові значення частот.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Abdi H., Williams L. J. Principal component analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics. 2010. Vol. 2(4). P. 433–459. DOI: 10.1002/wics.101.

Avibase – The World Bird Database. Otus scops (Eurasian Scops Owl) –map. URL: <https://avibase.bsc-eoc.org/species.jsp?lang=EN&avibaseid=2C7AA1546D80617E&sec=map&ssver=1> (дата звернення: 13.11.2025). Модифіковано автором.

Avilés J. M., Rodríguez-Ruiz J., Cruz-Miralles E., Abad-Gómez J. M., Parejo D. Migratory pathways, stopover locations and wintering grounds of southern Spanish Eurasian Scops Owls *Otus scops*. 2022.

Barbraud C., et al. The demography of an increasing insular Eurasian Scops Owl population and the influence of Sahel rainfall on survival. *Biological Conservation*. 2021.

Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B*. 1995. 57, 289–300.

BirdLife International. Species factsheet: Cyprus Scops Owl (*Otus cyprius*). 2024. URL: <https://datazone.birdlife.org/species/factsheet/cyprus-scops-owl-otus-cyprius>

BirdLife International. Species factsheet: Otus scops (Eurasian Scops Owl). 2019 (оновлено 2024). URL: <https://datazone.birdlife.org>

Bruno J. H. et al. Birdsong Learning and Culture: Analogies with Human Spoken Language. *Annual Review of Linguistics*. 2020. T. 7, № 1. URL: <https://doi.org/10.1146/annurev-linguistics-090420-121034>

BMC Bioinformatics. Control procedures and estimators of the false discovery rate [Електронний ресурс]. 2018. URL:

<https://bmcbioinformatics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12859-018-2081-x>
(дата звернення: 15.11.2025).

Budka M., Osiejuk T. S. Geographic variability in Scops Owl calls: evidence for local dialects? *Ethology*. 2013. Vol. 119(2). P. 109–120.

Clements J. F., Schulenberg T. S., Iliff M. J., Billerman S. M., Fredericks T. A., Sullivan B. L., Wood C. L. The eBird/Clements Checklist of Birds of the World: v2023. *Cornell Lab of Ornithology*, Ithaca, NY, 2023. – URL: <https://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/download/>

Cramp S. (Ed.). Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa. Vol. IV: Terns to Woodpeckers. - Oxford: Oxford University Press, 1985.

del Hoyo J., Elliott A., Sargatal J., Christie D. A., de Juana E. Handbook of the Birds of the World Alive. Barcelona: Lynx Edicions, 2019. – URL: <https://www.hbw.com/>

Dormann C. F., McPherson J. M., Araújo M. B. et al. Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data: a review. *Ecography*. 2007. Vol. 30. P. 609–628.

Dragonetti M. Individuality in Scops Owl *Otus scops* vocalizations. *Bioacoustics*. 2006. 16(2), 147-172.

EBCC – European Bird Census Council. EBBA2 – Maps: *Otus scops* / breeding. — URL: <https://ebba2.info/maps/species/Otus-scops/ebba2/breeding/>

Fagerlund S. Acoustics and physical models of bird sounds. — Espoo, Finland: Aalto University, 2004. – URL: <http://legacy.spa.aalto.fi/research/avesound/pubs/akusem04.pdf>

Fletcher N. H. Aeroacoustics of the Syrinx in Birds. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2000. 108(3), 1235–1242.

Flint P., Whaley D., Kirwan G. M., Charalambides M., Schweizer M., Wink M. Reprising the taxonomy of Cyprus Scops Owl *Otus (scops) cyprius*, a neglected island endemic. *Zootaxa*. 2015. 4040(3), 301-316.

Galeotti P., Sacchi R. Turnover of territorial Scops Owls *Otus scops* as estimated by spectrographic analyses of male hoots. *Journal of Avian Biology*. 2001. 32(3), 256–262. — URL: <https://doi.org/10.1111/j.0908-8857.2001.320308.x>

Gill F., Donsker D., Rasmussen P. (Eds.). IOC World Bird List (v14.2). 2024. URL: <https://www.worldbirdnames.org/>

Grava T., Mathevon N. Individuality in the calls of Eastern Screech-Owl *Megascops asio*. *Bioacoustics*, 2009. Vol. 19, no. 2–3. P. 193–205.

Grieco F. Pervasive low-frequency vocal modulation during territorial contests in Eurasian Scops Owls (*Otus scops*). *Ibis*. 2021. URL: <https://doi.org/10.1111/ibi.12989>

Jolliffe I. T. Principal Component Analysis. 2nd ed. New York : Springer, 2002. 487 p.

Jolliffe I. T., Cadima J. Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 2016. Vol. 374. DOI: 10.1098/rsta.2015.0202.

Kepler.gl. 2025. — URL: <https://kepler.gl>

König C., Weick F. Owls: A Guide to the Owls of the World. London: Christopher Helm, 2008.

Krebs C. J. Ecological Methodology. 2nd ed. Menlo Park: Benjamin Cummings, 1999. 620 p.

Legendre P. Spatial autocorrelation: Trouble or new paradigm? *Ecology*. 1993. Vol. 74(6). P. 1659–1673.

Li, A., & Barber, R. F. (2016). Multiple testing with the structure-adaptive Benjamini–Hochberg algorithm. arXiv. <https://arxiv.org/abs/1606.07926>

LibreTexts. One Way ANOVA [Электронный ресурс]. URL: [https://stats.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Statistics/Mostly_Harmless_Statistics_\(Webb\)/11:_Analysis_of_Variance/11.01:_One-Way_ANOVA](https://stats.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Statistics/Mostly_Harmless_Statistics_(Webb)/11:_Analysis_of_Variance/11.01:_One-Way_ANOVA) (дата звернения: 15.11.2025).

Linhart P., Svoboda M., Slabbekoorn H. The effect of habitat and social context on song structure of the Eurasian Scops Owl. *Behaviour*. 2012. Vol. 149(13-14). P. 1463-1481.

Linnaeus C. *Systema Naturae per Regna Tria Naturae*. 10th ed. Stockholm: Laurentius Salvius, 1758.

Macaulay Library. Otus scops audio recordings. 2025. – URL: <https://macaulaylibrary.org>

Marks J. S., Cannings R. J., Mikkola H. Family Strigidae (Typical Owls). In: del Hoyo J., Elliott A., Sargatal J. (Eds.), *Handbook of the Birds of the World*, Vol. 5: Barn-owls to Hummingbirds, 76–242. Lynx Edicions, Barcelona, 1999.

Martens J., Bahr N. Vocalizations and taxonomic relationships of Palaearctic scops owls (genus *Otus*). *Bonn Zoological Bulletin*. 2000. 49(2), 93-136.

Martin G. R., Mikkola H. Northward records and range shifts in Eurasian Scops Owl: possible links to climate variability. *Journal of Avian Biology*. 2019.

Migration Atlas. Otus scops species account. 2024. – URL: <https://migrationatlas.org>

Norhayati A., Belabut D., Shahrul A. N. Vocal Individuality of Sunda Scops-Owl (*Otus lempiji*) in Peninsular Malaysia // *Journal of Raptor Research*. 2016. Vol. 50(4). P. 370–378. DOI: 10.3356/JRR-15-76.1.

Odom K. Vocalizations, vocal behaviour, and geographic variation in the calls, duets, and duetting behaviour of a nonpasserine, the Barred Owl (*Strix varia*). *Electronic Theses and Dissertations*. 2009. 297. – URL: <https://scholar.uwindsor.ca/etd/297>

Oiseaux.net. Eurasian Scops Owl (*Otus scops*) – Voice: sounds by Xeno-canto. 2025. – URL: <https://www.oiseaux.net/birds/eurasian.scops.owl.html>

Park C. E., Kim M. C., Pernites Ibal J. C., Pham H. Q., Park H. C., Shin J. H. The complete mitochondrial genome sequence of *Otus scops* (Aves, Strigiformes, Strigidae). *Mitochondrial DNA Part B: Resources*. 2019. 4(1), 764-765.

Pavia M., et al. Molecular systematics and evolutionary history of Eurasian scops owls (*Otus spp.*). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2022. 173, 107-126.

Penteriani V. Individuality in Scops Owl (*Otus scops*) vocalizations. *Bioacoustics*. 2002. Vol. 12(2–3). P. 115-130.

Raven Pro. Version 1.6. Cornell Lab of Ornithology, 2022.

Reid J. et al. Breeding status shapes territoriality and vocalization patterns in spotted owls. 2022. – DOI: <https://doi.org/10.1111/jav.02952>

Sangster G., et al. Taxonomic recommendations for Western Palearctic birds: 9th report. *Ibis*. 2013. 155(4), 898–907.

Sarà M., Zanca L. Habitat preferences and prey selection of the Eurasian Scops Owl *Otus scops* in a Mediterranean agro-ecosystem. *Avian Research*. 2018. 9(1), 5–12.

Šálek M., Chrenková M., Schröpfer L., Grill S. Population decline of the Eurasian Scops Owl (*Otus scops*) in Central Europe: Habitat loss or climate change? *Bird Conservation International*. 2016. 26(3), 270–283.

Sagar H. S. S. C., et al. Global analysis of acoustic frequency characteristics in birds. *Proc. R. Soc. B*. 2024. 291(2034). – URL: <https://doi.org/10.1098/rspb.2024.1908>

Seltman H. One Way ANOVA [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://www.stat.cmu.edu/~hseltman/309/Book/chapter7.pdf> (дата звернения: 15.11.2025).

Skowronski M. D., Harris J. G. Acoustic detection and analysis of passerines. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2006. 120(4): 1792–1801.

Stowell D., Gill L., Clayton D. Automatic acoustic identification of individual animals: improving generalisation across species and recording conditions // arXiv preprint. 2018. arXiv:1810.09273.

Terry A. M. R., McGregor P. K. The role of vocal individuality in conservation. *Bird Conservation International*. 2005. Vol. 15(3). P. 265–280.

The Sound Approach. Eurasian Scops Owl *Otus scops*. 2025. – URL: <https://books.soundapproach.co.uk/species/eurasian-scops-owl>

Vrezec A., Bertonecelj I. Territory monitoring of Tawny Owls *Strix aluco* using playback calls is a reliable population monitoring method. *Bird Study*. 2018. 65(sup1), S52–S62. – URL: <https://doi.org/10.1080/00063657.2018.1522527>

Wink M., Sauer-Gürth H. Phylogenetic relationships in owls (Strigiformes) based on nucleotide sequences of mitochondrial and nuclear marker genes. In: König C., Weick F. (Eds.), *Owls: Evolution and Ecology*. 2004. 39-57.

Wu M. Y., Rheindt F. E. Continent-wide vocal leapfrog pattern in collared scops owls obfuscates species boundaries. *Avian Research*. 2023. 100141.

xeno-canto Foundation. Xeno-canto: Sharing bird sounds worldwide. 2025. — URL: <https://www.xeno-canto.org>

Yee, S. A., Puan, C. L., Chang, P. K., & Azhar, B. Vocal Individuality of Sunda Scops-Owl (*Otus lempiji*) in Peninsular Malaysia. *Journal of Raptor Research*, 2016, 50(4), 379–390. DOI: <https://doi.org/10.3356/JRR-15-76.1>

ANNOTATION

The vocal characteristics of birds can serve as a sensitive indicator of both morphological differentiation among populations and the influence of environmental factors on communicative systems. In the case of *O. scops* – a species with a wide distribution range covering Europe, Western and Central Asia, North Africa, and numerous Mediterranean islands – there are strong prerequisites for the formation of vocal differentiations associated with ecological conditions, geographic barriers, and population history.

The methodological framework of the study includes spectral analysis of audio files using Raven Pro (version 1.6.5), statistical processing in the RStudio environment (version 2025.09.2), and the application of multivariate statistical methods-principal component analysis, regression models, correlation tests, and analysis of variance. A total of 91 recordings of mating-territorial calls were analyzed, five of which include information on subspecies identity.

The study confirms the presence of correlations between the frequency parameters of the call and latitude, as well as the absence of sharply defined acoustic clusters within the vocal signal of *Otus scops*. The subspecies of *Otus scops* differ primarily in high-frequency spectral characteristics, which are particularly sensitive for subspecies discrimination. The subspecies do not form fully isolated acoustic clusters but are distributed in a way that results in statistically significant differences in mean values. Some subspecies, particularly *O. s. mallorcae*, are geographically isolated and demonstrate more exceptional frequency values.

The thesis contains 84 pages, 10 figures, 4 tables, 2 formulas, and 5 appendices. The list of references includes 60 sources.

ДОДАТКИ

Додаток А.

Додаток А1. Повна таблиця акустичних параметрів сигналів *Otus scops*

Повну таблицю у форматі .xlsx можна переглянути за посиланням: <https://url-shortener.me/13CN> (доступ відкритий для перегляду).

Додаток А2. Результати PCA-тесту

PC	Std. deviation	Prop. of variance	Cumulativ e
PC1	4.6992	0.4507	0.4507
PC2	3.0370	0.1882	0.6389
PC3	2.4037	0.1179	0.7568
PC4	2.11030	0.09089	0.84770
PC5	1.43611	0.04209	0.88979
PC6	1.17222	0.02804	0.91783
PC7	0.94628	0.01827	0.93611
PC8	0.73472	0.01102	0.94712
PC9	0.69968	0.00999	0.95711
PC10	0.63266	0.00817	0.96528
PC11	0.55283	0.00624	0.97152
PC12	0.43396	0.00384	0.97536
PC13	0.42713	0.00372	0.97908
PC14	0.40677	0.00338	0.98246
PC15	0.40262	0.00331	0.98577
PC16	0.36105	0.00266	0.98843

PC1 7	0.29482	0.00177	0.99020
PC1 8	0.28971	0.00171	0.99192
PC1 9	0.25941	0.00137	0.99329
PC2 0	0.23966	0.00117	0.99446
PC2 1	0.22576	0.00104	0.99550
PC2 2	0.20384	0.00085	0.99635
PC2 3	0.18862	0.00073	0.99708
PC2 4	0.18296	0.00068	0.99776
PC2 5	0.16291	0.00054	0.99830
PC2 6	0.14219	0.00041	0.99871
PC2 7	0.12542	0.00032	0.99903
PC2 8	0.12130	0.00030	0.99930
PC2 9	0.08995	0.00017	0.99950
PC3 0	0.08491	0.00015	0.99965

PC3 1	0.07252	0.00011	0.99975
PC3 2	0.06701	0.00009	0.99985
PC3 3	0.05488	0.00006	0.99991
PC3 4	0.04006	0.00003	0.99994
PC3 5	0.03053	0.00002	0.99996
PC3 6	0.02557	0.00001	0.99997
PC3 7	0.02130	0.00001	0.99998
PC3 8	0.02013	0.00001	0.99999
PC3 9	0.01465	0.00000	0.99999
PC4 0	0.01277	0.00000	1.00000
PC4 1	0.007883	0.000000	1.000000
PC4 2	0.005860	0.000000	1.000000
PC4 3	1.031e-15	0.000000	1.000000
PC4 4	7.586e-16	0.000000	1.000000

PC4 5	6.513e-16	0.000000	1.000000
PC4 6	3.044e-16	0.000000	1.000000
PC4 7	3.044e-16	0.000000	1.000000
PC4 8	2.29e-16	0.000000	1.000000
PC4 9	2.044e-16	0.000000	1.000000

Додаток А3. Таблиця розподілу нормальності даних за Шاپіро-Вілком тестом

variable	n	statistic	p.value	p adj FDR	normal at alpha	normal after FDR
BFr1	91	0.9662746	0.058	0.091	ІСТИНА	ІСТИНА
BFr2	91	0.97368	0.0618	0.125	ІСТИНА	ІСТИНА
BFr3	91	0.9803521	0.185	0.268	ІСТИНА	ІСТИНА
BFr4	91	0.9755212	0.084	0.15	ІСТИНА	ІСТИНА
BFr5	91	0.9742439	0.068	0.131	ІСТИНА	ІСТИНА
BFr6	91	0.971084	0.052	0.085	ІСТИНА	ІСТИНА
BFr7	91	0.9712028	0.053	0.086	ІСТИНА	ІСТИНА
Dur1	91	0.9260794	0.018	0.034	ЛОЖЬ	ІСТИНА
Dur2	91	0.8832388	0.012	0.028	ЛОЖЬ	ЛОЖЬ
Dur3	91	0.9021218	0.015	0.031	ЛОЖЬ	ІСТИНА
Dur4	91	0.8974852	0.014	0.03	ЛОЖЬ	ІСТИНА
Dur5	91	0.8900709	0.016	0.033	ЛОЖЬ	ІСТИНА
Dur6	91	0.8781891	0.011	0.027	ЛОЖЬ	ЛОЖЬ
Dur7	91	0.8962339	0.0145	0.03	ЛОЖЬ	ІСТИНА
EFr1	91	0.941565	0.03	0.056	ЛОЖЬ	ІСТИНА
EFr2	91	0.9427258	0.031	0.058	ЛОЖЬ	ІСТИНА
EFr3	91	0.9864684	0.471	0.557	ІСТИНА	ІСТИНА
EFr4	91	0.9452189	0.033	0.061	ЛОЖЬ	ІСТИНА
EFr5	91	0.9784129	0.135	0.213	ІСТИНА	ІСТИНА
EFr6	91	0.9430425	0.0315	0.058	ЛОЖЬ	ІСТИНА
EFr7	91	0.9414972	0.029	0.055	ЛОЖЬ	ІСТИНА
HFr1	91	0.9864446	0.47	0.557	ІСТИНА	ІСТИНА
HFr2	91	0.9879001	0.57	0.612	ІСТИНА	ІСТИНА
HFr3	91	0.9883305	0.601	0.625	ІСТИНА	ІСТИНА

HFr4	91	0.9858613	0.433	0.549	ІСТИНА	ІСТИНА
HFr5	91	0.988004	0.577	0.612	ІСТИНА	ІСТИНА
HFr6	91	0.9870154	0.508	0.574	ІСТИНА	ІСТИНА
HFr7	91	0.9874066	0.535	0.592	ІСТИНА	ІСТИНА
Int1	91	0.9683974	0.052	0.085	ІСТИНА	ІСТИНА
Int2	91	0.8096816	0.02	0.037	ЛОЖЬ	ІСТИНА
Int3	91	0.8308288	0.022	0.039	ЛОЖЬ	ІСТИНА
Int4	91	0.8425725	0.025	0.043	ЛОЖЬ	ІСТИНА
Int5	91	0.8667529	0.03	0.056	ЛОЖЬ	ІСТИНА
Int6	91	0.8750422	0.028	0.052	ЛОЖЬ	ІСТИНА
Int7	91	0.8699505	0.027	0.051	ЛОЖЬ	ІСТИНА
LFr1	91	0.9794921	0.161	0.24	ІСТИНА	ІСТИНА
LFr2	91	0.973754	0.0626	0.125	ІСТИНА	ІСТИНА
LFr3	91	0.9776007	0.118	0.192	ІСТИНА	ІСТИНА
LFr4	91	0.9847294	0.368	0.49	ІСТИНА	ІСТИНА
LFr5	91	0.9761523	0.093	0.161	ІСТИНА	ІСТИНА
LFr6	91	0.9748082	0.0745	0.138	ІСТИНА	ІСТИНА
LFr7	91	0.982332	0.255	0.358	ІСТИНА	ІСТИНА
MFr1	91	0.9891518	0.661	0.674	ІСТИНА	ІСТИНА
MFr2	91	0.985528	0.413	0.537	ІСТИНА	ІСТИНА
MFr3	91	0.9833502	0.298	0.408	ІСТИНА	ІСТИНА
MFr4	91	0.986738	0.489	0.565	ІСТИНА	ІСТИНА
MFr5	91	0.9769337	0.106	0.178	ІСТИНА	ІСТИНА
MFr6	91	0.9863989	0.467	0.557	ІСТИНА	ІСТИНА
MFr7	91	0.9935481	0.941	0.941	ІСТИНА	ІСТИНА

Таблиця А4. Результати лінійної регресії

Parameter	term	estimate	std.error	statistic	p.value
Dur1	(Intercept)	0.283932	0.050118	5.665288	1.82E-07
Dur1	`Географічна широта`	2.14E-05	0.001101	0.019434	0.984539
Dur1	`Географічна довжина`	0.000151	0.00031	0.486916	0.627528
Dur2	(Intercept)	0.299529	0.050723	5.905197	6.49E-08
Dur2	`Географічна широта`	-0.00015	0.001114	-0.13264	0.894779
Dur2	`Географічна довжина`	-0.00022	0.000314	-0.71333	0.477527
Dur3	(Intercept)	0.308169	0.049639	6.208259	1.72E-08
Dur3	`Географічна широта`	-0.00035	0.00109	-0.32108	0.74891
Dur3	`Географічна довжина`	-0.00026	0.000307	-0.85443	0.395188
Dur4	(Intercept)	0.305432	0.049567	6.161965	2.11E-08
Dur4	`Географічна широта`	-0.00026	0.001088	-0.23821	0.812271
Dur4	`Географічна довжина`	-0.00016	0.000307	-0.5144	0.608264
Dur5	(Intercept)	0.30043	0.04939	6.08285	2.99E-08
Dur5	`Географічна широта`	-0.00011	0.001085	-0.10059	0.920108
Dur5	`Географічна довжина`	-0.00022	0.000305	-0.71696	0.475299
Dur6	(Intercept)	0.291903	0.049871	5.853128	8.13E-08
Dur6	`Географічна широта`	6.68E-05	0.001095	0.060954	0.951534
Dur6	`Географічна довжина`	-0.00015	0.000308	-0.47931	0.632905
Dur7	(Intercept)	0.280691	0.048309	5.810278	9.78E-08
Dur7	`Географічна широта`	0.000203	0.001061	0.191724	0.8484
Dur7	`Географічна довжина`	-1.5E-05	0.000299	-0.04953	0.960612
Int1	(Intercept)	3.162121	0.236555	13.36739	6.7E-23
Int1	`Географічна широта`	-0.01413	0.005195	-2.72014	0.007863
Int1	`Географічна довжина`	-0.00334	0.001463	-2.28618	0.024645

Int2	(Intercept)	3.437089	0.297267	11.5623	2.4E-19
Int2	`Географічна широта`	-0.01987	0.006528	-3.04415	0.003077
Int2	`Географічна довжина`	-0.00286	0.001839	-1.55737	0.122973
Int3	(Intercept)	3.412472	0.283785	12.02487	2.85E-20
Int3	`Географічна широта`	-0.01939	0.006232	-3.11172	0.002508
Int3	`Географічна довжина`	-0.00266	0.001755	-1.51449	0.133485
Int4	(Intercept)	3.419961	0.277553	12.32181	7.36E-21
Int4	`Географічна широта`	-0.01952	0.006095	-3.20212	0.001899
Int4	`Географічна довжина`	-0.00308	0.001717	-1.79348	0.076332
Int5	(Intercept)	3.429853	0.279186	12.28521	8.69E-21
Int5	`Географічна широта`	-0.02017	0.006131	-3.28975	0.001443
Int5	`Географічна довжина`	-0.00251	0.001727	-1.4521	0.150029
Int6	(Intercept)	3.40893	0.276727	12.31876	7.46E-21
Int6	`Географічна широта`	-0.01938	0.006077	-3.18858	0.001981
Int6	`Географічна довжина`	-0.00275	0.001712	-1.60944	0.111102
Int7	(Intercept)	3.405894	0.261548	13.02207	3.12E-22
Int7	`Географічна широта`	-0.01961	0.005743	-3.41433	0.000969
Int7	`Географічна довжина`	-0.0025	0.001618	-1.5435	0.126299
BFr1	(Intercept)	1612.214	109.711	14.6951	2.07E-25
BFr1	`Географічна широта`	-0.74433	2.409211	-0.30895	0.75809
BFr1	`Географічна довжина`	-0.32888	0.678562	-0.48467	0.629116
BFr2	(Intercept)	1589.87	109.8709	14.47035	5.41E-25
BFr2	`Географічна широта`	-0.17349	2.412721	-0.07191	0.94284
BFr2	`Географічна довжина`	0.357638	0.679551	0.526285	0.600014
BFr3	(Intercept)	1625.079	101.4795	16.01386	8.22E-28
BFr3	`Географічна широта`	-0.73973	2.228451	-0.33195	0.740716

BFr3	‘Географічна довжина’	-0.24465	0.62765	-0.38979	0.697635
BFr4	(Intercept)	1622.159	95.49496	16.98686	1.61E-29
BFr4	‘Географічна широта’	-0.36057	2.097032	-0.17194	0.863878
BFr4	‘Географічна довжина’	-0.17407	0.590636	-0.29472	0.768904
BFr5	(Intercept)	1625.856	97.24994	16.71833	4.7E-29
BFr5	‘Географічна широта’	-0.72439	2.135571	-0.3392	0.735267
BFr5	‘Географічна довжина’	-0.20056	0.60149	-0.33345	0.739591
BFr6	(Intercept)	1606.943	97.01677	16.56356	8.77E-29
BFr6	‘Географічна широта’	-0.50791	2.130451	-0.23841	0.81212
BFr6	‘Географічна довжина’	-0.03417	0.600048	-0.05695	0.954714
BFr7	(Intercept)	1581.96	97.86381	16.16491	4.43E-28
BFr7	‘Географічна широта’	-0.21524	2.149051	-0.10016	0.920448
BFr7	‘Географічна довжина’	0.221244	0.605287	0.36552	0.715601
EFr1	(Intercept)	1158.228	58.55422	19.78044	3.83E-34
EFr1	‘Географічна широта’	2.650285	1.285828	2.061151	0.04224
EFr1	‘Географічна довжина’	-0.62166	0.362158	-1.71655	0.08958
EFr2	(Intercept)	1139.153	59.95073	19.00148	6.77E-33
EFr2	‘Географічна широта’	3.082641	1.316495	2.341552	0.021462
EFr2	‘Географічна довжина’	-0.21811	0.370795	-0.58821	0.557897
EFr3	(Intercept)	1147.48	55.4851	20.68087	1.51E-35
EFr3	‘Географічна широта’	2.890402	1.218431	2.372233	0.01986
EFr3	‘Географічна довжина’	-0.18529	0.343175	-0.53992	0.590619
EFr4	(Intercept)	1121.934	59.23668	18.93985	8.53E-33
EFr4	‘Географічна широта’	3.548694	1.300814	2.728056	0.007691
EFr4	‘Географічна довжина’	-0.46989	0.366379	-1.28254	0.203023
EFr5	(Intercept)	1141.923	57.93087	19.71183	4.92E-34

EFr5	`Географічна широта`	3.001009	1.272139	2.359026	0.020536
EFr5	`Географічна довжина`	-0.30785	0.358302	-0.85919	0.392571
EFr6	(Intercept)	1131.03	60.34342	18.74323	1.78E-32
EFr6	`Географічна широта`	3.203578	1.325118	2.417579	0.017687
EFr6	`Географічна довжина`	-0.21406	0.373224	-0.57353	0.567748
EFr7	(Intercept)	1135.566	59.68664	19.02547	6.19E-33
EFr7	`Географічна широта`	3.204564	1.310695	2.444934	0.016481
EFr7	`Географічна довжина`	-0.3902	0.369162	-1.05698	0.293412
LFr1	(Intercept)	939.4179	61.36285	15.30923	1.53E-26
LFr1	`Географічна широта`	2.496456	1.347504	1.852652	0.067284
LFr1	`Географічна довжина`	-0.12873	0.379529	-0.33917	0.735288
LFr2	(Intercept)	931.419	62.47153	14.9095	8.28E-26
LFr2	`Географічна широта`	2.798763	1.37185	2.040137	0.044334
LFr2	`Географічна довжина`	-0.43173	0.386386	-1.11735	0.266887
LFr3	(Intercept)	945.5398	58.6006	16.13532	5E-28
LFr3	`Географічна широта`	2.478705	1.286846	1.926185	0.057309
LFr3	`Географічна довжина`	-0.37739	0.362444	-1.04124	0.300614
LFr4	(Intercept)	914.0729	64.03403	14.2748	1.26E-24
LFr4	`Географічна широта`	3.007766	1.406162	2.138989	0.035206
LFr4	`Географічна довжина`	-0.13324	0.39605	-0.33643	0.737348
LFr5	(Intercept)	935.9335	59.94376	15.61353	4.3E-27
LFr5	`Географічна широта`	2.573308	1.316342	1.954893	0.05377
LFr5	`Географічна довжина`	-0.33457	0.370752	-0.90242	0.369299
LFr6	(Intercept)	953.3007	59.70857	15.96589	1E-27
LFr6	`Географічна широта`	2.319767	1.311177	1.769225	0.080321

LFr6	‘Географічна довжина’	-0.45447	0.369297	-1.23064	0.221737
LFr7	(Intercept)	923.7116	60.10319	15.36876	1.19E-26
LFr7	‘Географічна широта’	2.826887	1.319843	2.141837	0.03497
LFr7	‘Географічна довжина’	-0.27609	0.371738	-0.74271	0.459634
HFr1	(Intercept)	1925.916	104.6118	18.41013	6.29E-32
HFr1	‘Географічна широта’	-2.90953	2.297233	-1.26654	0.208663
HFr1	‘Географічна довжина’	0.203888	0.647023	0.315117	0.753419
HFr2	(Intercept)	1836.315	108.3047	16.95508	1.82E-29
HFr2	‘Географічна широта’	-0.1944	2.378329	-0.08174	0.935041
HFr2	‘Географічна довжина’	-0.3472	0.669864	-0.51832	0.605536
HFr3	(Intercept)	1882.57	102.2217	18.41653	6.14E-32
HFr3	‘Географічна широта’	-1.50546	2.24475	-0.67066	0.504195
HFr3	‘Географічна довжина’	-0.16625	0.632241	-0.26295	0.793205
HFr4	(Intercept)	1899.277	106.0065	17.9166	4.18E-31
HFr4	‘Географічна широта’	-1.92363	2.327862	-0.82635	0.41084
HFr4	‘Географічна довжина’	-0.1536	0.65565	-0.23427	0.815322
HFr5	(Intercept)	1857.914	98.54162	18.8541	1.18E-32
HFr5	‘Географічна широта’	-0.93844	2.163936	-0.43367	0.665588
HFr5	‘Географічна довжина’	-0.16791	0.609479	-0.27549	0.783584
HFr6	(Intercept)	1818.465	108.58	16.74769	4.18E-29
HFr6	‘Географічна широта’	0.147017	2.384375	0.061659	0.950974
HFr6	‘Географічна довжина’	-0.32672	0.671567	-0.48651	0.627815
HFr7	(Intercept)	1917.935	102.6128	18.69098	2.17E-32
HFr7	‘Географічна широта’	-2.45254	2.253338	-1.0884	0.279388
HFr7	‘Географічна довжина’	0.024759	0.63466	0.039012	0.968969
MFr1	(Intercept)	1432.667	66.21949	21.63512	5.45E-37

MFr1	`Географічна широта`	-0.20654	1.454154	-0.14203	0.887379
MFr1	`Географічна довжина`	0.037581	0.409567	0.091758	0.927099
MFr2	(Intercept)	1383.867	68.42297	20.22518	7.67E-35
MFr2	`Географічна широта`	1.302182	1.502542	0.866653	0.388489
MFr2	`Географічна довжина`	-0.38947	0.423196	-0.9203	0.359934
MFr3	(Intercept)	1414.055	63.55652	22.24877	6.77E-38
MFr3	`Географічна широта`	0.486622	1.395676	0.348664	0.728174
MFr3	`Географічна довжина`	-0.27182	0.393097	-0.69148	0.491082
MFr4	(Intercept)	1406.675	64.88119	21.68078	4.66E-37
MFr4	`Географічна широта`	0.542069	1.424766	0.380462	0.70452
MFr4	`Географічна довжина`	-0.14342	0.40129	-0.3574	0.72165
MFr5	(Intercept)	1396.924	60.83082	22.96407	6.27E-39
MFr5	`Географічна широта`	0.817434	1.335821	0.611934	0.542159
MFr5	`Географічна довжина`	-0.25124	0.376238	-0.66777	0.50603
MFr6	(Intercept)	1385.883	66.43759	20.85992	8.05E-36
MFr6	`Географічна широта`	1.233392	1.458944	0.845401	0.40018
MFr6	`Географічна довжина`	-0.3906	0.410916	-0.95055	0.344435
MFr7	(Intercept)	1420.823	61.23737	23.2019	2.87E-39
MFr7	`Географічна широта`	0.187172	1.344749	0.139187	0.88962
MFr7	`Географічна довжина`	-0.12567	0.378753	-0.33179	0.740835

Таблиця А5. Результати ANOVA з FDR-корекцією

Parameter	term	df	statistic	p.value	p_adj_FDR
Dur1	Підвид	4	0.31759	0.865497	0.986264
Dur2	Підвид	4	0.076022	0.989354	0.998275
Dur3	Підвид	4	0.086063	0.986542	0.998275
Dur4	Підвид	4	0.129793	0.971164	0.998275
Dur5	Підвид	4	0.106013	0.98013	0.998275
Dur6	Підвид	4	0.029641	0.998275	0.998275
Dur7	Підвид	4	0.178385	0.94899	0.998275
Int1	Підвид	4	1.153235	0.337222	0.481024
Int2	Підвид	4	0.705045	0.590639	0.723532
Int3	Підвид	4	0.649188	0.628982	0.75171
Int4	Підвид	4	1.041967	0.390418	0.51704
Int5	Підвид	4	0.620987	0.64876	0.756887
Int6	Підвид	4	0.786802	0.536865	0.674522
Int7	Підвид	4	0.789309	0.535264	0.674522
BFr1	Підвид	4	2.10929	0.086553	0.192778
BFr2	Підвид	4	3.293564	0.014626	0.042158
BFr3	Підвид	4	1.929062	0.112848	0.240415
BFr4	Підвид	4	3.436326	0.01179	0.036107
BFr5	Підвид	4	2.879038	0.027347	0.070526
BFr6	Підвид	4	2.354921	0.060081	0.140189
BFr7	Підвид	4	1.69071	0.15952	0.289499
EFr1	Підвид	4	1.208535	0.31312	0.473183
EFr2	Підвид	4	1.195478	0.318674	0.473183
EFr3	Підвид	4	1.780193	0.140184	0.274761
EFr4	Підвид	4	1.106386	0.358842	0.488424
EFr5	Підвид	4	2.909331	0.026126	0.070526
EFr6	Підвид	4	1.326576	0.266587	0.435426
EFr7	Підвид	4	1.249955	0.296046	0.467944
LFr1	Підвид	4	1.821369	0.132051	0.269604
LFr2	Підвид	4	1.704505	0.156384	0.289499
LFr3	Підвид	4	1.139185	0.343588	0.481024
LFr4	Підвид	4	2.535982	0.04582	0.112259
LFr5	Підвид	4	3.787795	0.006939	0.022668
LFr6	Підвид	4	1.348078	0.258799	0.435426
LFr7	Підвид	4	1.438522	0.228215	0.399377
HFr1	Підвид	4	4.636452	0.001946	0.010966
HFr2	Підвид	4	5.285279	0.000745	0.010966
HFr3	Підвид	4	4.640255	0.001935	0.010966

HFr4	Підвид	4	4.688133	0.001802	0.010966
HFr5	Підвид	4	3.986985	0.005142	0.020997
HFr6	Підвид	4	4.285746	0.003285	0.016096
HFr7	Підвид	4	4.9497	0.001223	0.010966
MFr1	Підвид	4	5.16282	0.000892	0.010966
MFr2	Підвид	4	4.61336	0.002014	0.010966
MFr3	Підвид	4	3.857265	0.00625	0.022668
MFr4	Підвид	4	4.867771	0.00138	0.010966
MFr5	Підвид	4	4.708463	0.001748	0.010966
MFr6	Підвид	4	3.831163	0.0065	0.022668
MFr7	Підвид	4	3.98844	0.005131	0.020997