



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ИНСТИТУТ ПО БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ЕКОСИСТЕМНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Кристина Рашкова Панова

**Пасивен акустичен мониторинг на птици в букови гори, повлияни в
различна степен от човешка дейност**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационния труд

за придобиване на научна и образователна степен „доктор”

Докторска програма:

Екология и опазване на екосистемите

Научен ръководител: доц. д-р Борис Николов

Научен консултант: проф. д-р Цветан Златанов

София, януари 2025

Дисертацията е разработена в рамките на редовна докторантура в Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания – БАН.

Дисертационният труд е обсъден и насочен към защита на разширено заседание на отдел „Животинско разнообразие и ресурси“ на Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания, БАН, състояло се на 21 януари 2025 г.

Дисертационният труд е с общ обем 52 страници и съдържа 7 основни раздела, включително 5 таблици и 4 фигури. Списъкът на цитираната литература съдържа 118 заглавия, повечето от които на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои в заседателната зала на ИБЕИ-БАН, База 1, ул. „Майор Юрий Гагарин“ № 2, гр. София, наот часа на открито заседание на избраното Научно жури (назначено със Заповед на Директора на ИБЕИ-БАН №) в състав:

Вътрешни членове:

1. проф. д-р Павел Зехтинджиев, ИБЕИ-БАН
2. доц. д-р Михаела Илиева, ИБЕИ-БАН

Външни членове:

3. проф. д-р Даниела Симеоновска-Николова, Биологически факултет, СУ „Св. Климент Охридски“
4. проф. д-р Георги Попгеоргиев, Национален природонаучен музей, БАН (НПМ-БАН)
5. доц. д-р Тихомир Стефанов, НПМ-БАН

Резервни членове:

1. доц. д-р Димитър Димитров, ИБЕИ-БАН – вътрешен член
2. доц. д-р Ивелин Моллов, ПУ „Паисий Хилендарски“ – външен член

Технически секретар на Научното жури: гл. ас. д-р Албена Йорданова Власева, ИБЕИ-БАН.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в библиотеката на Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания – БАН, база 1.

I. Увод

Птиците са сред най-изявените вокализиращи организми, способни да издават изключително голямо разнообразие от звуци. Вокализациите могат да бъдат разделени в две категории – обаждания и песни. Обаждането е кратка и проста вокализация, която се използва през цялата година – при полет, за вдигане на тревога, за комуникация с близки или измолване на храна (Hamilton, 1962; Bond & Diamond, 2005; Gill & Bierema, 2013; Klenova, 2015). Песента е дълга и сложна вокализация, която се възпроизвежда по време на размножителния период и има две основни функции – за привличане на женски и за защита на територия (Catchpole & Slater, 2008). Вокализациите са специфични за всеки вид и това ги прави полезни при мониторинг на популациите на птици, особено на труднодостъпни места или в гъста растителност, където е по-лесно птиците да бъдат чути, отколкото наблюдавани визуално. През последните години все по-широко се прилага пасивен акустичен мониторинг на птици посредством употребата на звукозаписващи устройства за оценка на видовия състав, обилието, видовото богатство, плътността и заетостта (Dawson & Efford, 2009; Wimmer et al., 2013; Lambert & McDonald, 2014; Furnas & Callas, 2015; Sebastián-González et al., 2018; Pérez-Granados & Traba, 2021; Baroni et al., 2023; Winiarska et al., 2024). Използването на автоматични звукозаписващи устройства има редица предимства пред традиционните методи – намалява се безпокойството от човешко присъствие, увеличава се времевият и пространствен обхват (множество локации могат да бъдат изследвани едновременно за продължителни периоди от време), значително се намалява субективността на наблюденията, осигуряват се непрекъснати записи, които могат да бъдат прослушвани многократно от различни експерти, за да се валидират видовете (Shonfield & Bayne, 2017). Интензивният режим на работа прави автоматичните звукозаписващи устройства подходящи за изследване на редки, потайни или по друг начин трудни за установяване видове (Frommolt & Tauchert, 2014; Zwart et al. 2014; Campos-Cerqueira & Aide, 2016; Bobay et al., 2018; Williams et al. 2018; Manzano-Rubio et al., 2022; Duarte et al., 2024).

Съществуват редица софтуерни програми, които предлагат инструменти за звуков анализ и автоматизирано разпознаване на видове, за да се улесни обработката на записите. Тези програми изискват големи набори от данни за обучение и въпреки това могат да доведат до висок процент фалшиво положителни резултати (погрешно идентифициране на целевите видове) и фалшиво отрицателни резултати (неуспешно

откриване на целевите видове). Ръчният метод за анализ на акустични данни (чрез прослушване на записи и разглеждане на спектограми) дава по-добри резултати, но отнема много време и усилия (Swiston & Mennill, 2009; Joshi et al., 2017; Marchal et al., 2022). Използването на акустични индекси решава проблема с анализирането часове наред на записи, получени от звукозаписващите устройства. Чрез прилагане на математически и статистически техники, те измерват различни аспекти на звука като интензитет, честота, ритъм, амплитуда и сложност на звуковите сигнали. Акустичните индекси могат да послужат за мониторинг на биоразнообразието, въз основа на допускането, че по-голямото видово богатство произвежда по-широк спектър от звукови сигнали, което води до по-голямо акустично разнообразие (Sueur et al., 2008, 2014; Eldridge et al., 2018). Поради факта, че индексите анализират акустичните характеристики на звуковия пейзаж, без да идентифицират конкретни видове, точната оценка на видовото богатство се затруднява в среди със значително геофонно и антропофонно звуково влияние (Fairbrass et al., 2017; Sánchez-Giraldo et al., 2020; Hyland et al., 2023; Ducas & Pease, 2024). Последните проучвания показват, че зависимостите между акустичните индекси и видовото богатство или обилие могат да варират от незначими до силни. Комбинираното прилагане на акустични индекси компенсира ограниченията на отделните показатели и води до по-точна оценка на биоакустичната активност (Depraetere et al., 2012; Gasc et al., 2015; Mammides et al., 2017; Buxton et al., 2018; Bradfer-Lawrence et al., 2019, 2020; Alcocer et al., 2022; Budka et al., 2023; Gaspar et al., 2023; Kotian et al., 2024).

Автоматичните звукозаписващи устройства могат да бъдат ценен инструмент за мониторинг в отдалечени и труднодостъпни райони с пресечен терен като планината Беласица. Видовият състав на птиците в горите с доминиране на обикновен бук в Беласица е изследван до 800 метра надморска височина (Prostov, 1963). Липсват систематични проучвания върху орнитофауната над тази височина, във високопланинския пояс на буковите гори, което насочи избора на мястото за провеждане на изследването, представено в този дисертационен труд. Изследването включва анализ между вокалната активност на полубеловратата мухоловка (*Ficedula semitorquata*) и основни параметри на горските местообитания. Видът е регистриран като гнездящ в горите от обикновен кестен в Беласица между 400 и 900 метра надморска височина (Nikolov et al., 2011), но състоянието му в буковите гори, които се намират над кестеновите гори, остава непроучено.

Акустичните записи предоставят възможност за проследяване на въздействието на различни горско-стопански практики (като сечи или възстановяване на гори) върху биоразнообразието, като регистрират промените в присъствието и вокалната активност на различни видове. Този подход е от ключово значение за вземане на информирани решения относно опазването и устойчивото управление на горските екосистеми (Burivalova et al., 2018, 2021; Pillay et al., 2019; Owen et al., 2020; Ramesh et al., 2023; Glass & Arcilla, 2024).

Пасивният акустичен мониторинг все още е слабо и недостатъчно използван метод в България, което разкрива перспективи за множество и различни проучвания, в частност определя и актуалността на текущата тема и нейната цел и задачи.

II. Цел и задачи

Целта на настоящата дисертационна работа е характеризирани с помощта на акустични данни на съобщества от гнездящи видове птици в букови гори, повлияни в различна степен от човешка дейност.

Във връзка с изпълнението на тази цел са поставени следните задачи:

1. Характеризиране на гнездовите съобщества от птици посредством акустични индекси.
2. Сравнение на гнездовите съобщества от птици посредством данни от пасивен акустичен мониторинг в неповлияни букови гори (във фаза на старост) и стопанисвани зрели букови гори.
3. Сравнение на гнездовите съобщества от птици посредством данни от пасивен акустичен мониторинг в стопанисвани зрели букови гори и стопанисвани млади букови гори.

Основен предмет на изследване са съобществата от гнездящи видове птици, но поради наличието на достатъчно голяма извадка са анализирани целево и данните за присъстващия в района консервационно значим вид полубеловрата мухоловка (*Ficedula semitorquata*), за която данните в литературата са оскъдни, вероятно поради ограничения ареал на вида (Cramp & Perrins, 1993; Taylor et al., 2020).

Изследователската хипотеза е, че съществуват разлики между гнездовите съобщества от птици в букови гори, повлияни в различна степен от човешка дейност.

Очакванията бяха, че в неповлияните зрели гори видовото богатство ще е най-голямо и ще се поддържат повече редки и застрашени видове птици.

III. Материали и методи

Изследването се проведе по време на размножителния период (март-юни) през 2022 г. и 2023 г. на дванадесет локации по северните склонове на планината Беласица, включително в горната част на резерват „Конгура“. Релефът е планински, с надморска височина между 1100 м и 1450 м. В три типа букови гори бяха разположени по четири автоматични звукозаписващи устройства (Song Meter Micro © Wildlife Acoustics):

- 1) неповлияни зрели гори (във фаза на старост) – в резерват „Конгура“;
- 2) стопанисвани зрели гори (на възраст 80-130 години, стопанисвани чрез дългосрочно-постепенна сеч);
- 3) стопанисвани млади гори (сформирани в резултат на гола или ускорена краткосрочно-постепенна сеч през 1960-те години).

Рекордерите всеки път бяха монтирани на едни и същи дървета на височина приблизително 2 м. Разстоянието между две съседни устройства беше 200 м. Във връзка с повишената вокална активност на птиците през ранните сутрешни и вечерни часове звукозаписващите устройства бяха програмирани да записват по 2 часа преди и 3 часа след изгрев и съответно – 3 часа преди и 2 часа след залез с продължителност 3 минути през интервали от 15 минути.

Теренните данни за оценка на параметрите на структурата на трите типа гори са събрани през май 2022 г., както е описано от Hossain (2022). Покритието на короните е измерено със сферичен денсиометър модел А. Всички стоящи мъртви дървета с диаметър на височината на гърдите (DBH) по-голям от 7 см са измерени по отношение на DBH и височина и е изчислен обемът на стоящата мъртва дървесина (m^3/ha). Записани са фазите на гниене и състоянието на хралупите в живите и мъртвите дървета, като дълбоки гниеци кухини и полуотворени стволоче с диаметър по-малък от 30 см и е изчислен броят на тези дървета на хектар.

Събраните акустични данни са анализирани ръчно посредством софтуер за генериране на спектрограми и редактиране на звук Ocenaudio, версия 3.11.15 (<https://www.ocenaudio.com>) за идентифициране на всички вокализиращи видове птици, както и установяване на честотата на вокална активност на полубеловратата мухоловка (*Ficedula semitorquata*). За изчисляване на акустични индекси (Acoustic Complexity Index

– ACI, Acoustic Diversity Index – ADI, Acoustic Evenness Index – AEI, Bioacoustic Index – BI) е използван софтуерът Kaleidoscope Pro, версия 5.6.0 (Wildlife Acoustics, Inc., Massachusetts, USA).

За изследване на връзката между стойностите на акустичните индекси, изчислени за всеки тирминутен звукозапис и видовото богатство на съобществата от птици, установено чрез прослушване на подизвадка от събраните звукозаписи, е използван рангов корелационен коефициент на Spearman. Използван е Kruskal-Wallis ANOVA тест за сравняване на стойностите на акустичните индекси между трите типа букови гори (неповлияни зрели гори, стопанисвани зрели гори и стопанисвани млади гори). За сравняване по двойки между различните типове гори са приложени Post-hoc тестове на Tukey и Dunn. За сравнение на всеки от четирите акустични индекса между двата гнездови сезона (2022 г. и 2023 г.) е използван тестът на Wilcoxon за две свързани извадки. Анализите са извършени със статистическата програма Statistica, версия 12.0 (StatSoft, Inc. Tulsa, OK, USA).

За да бъде изключена възможността за пространствена зависимост на честотата на вокална активност на полубеловратата мухоловка при съседни записващи устройства поради по-високите темпове на пеене на индивиди в съседни територии са приложени два различни подхода. Първо, за да бъде проверена пространствената независимост на сумарната честота на вокална активност между записващите устройства е направен тест на Moran I, използвайки базирани на съседство тегловни стойности на точки, получени от полигоните на Thiessen с помощта на програмата GeoDa 1.22. Второ, за да бъдат идентифицирани възможни клъстери с високи или ниски нива на вокална активност в хода на сезона е използван модел за пространствено-времева пермутация за извършване на ретроспективен пространствено-времеви анализ с помощта на програмата SaTScan v10.2.4.

За изследване на връзката между честотата на вокална активност на полубеловратата мухоловка, регистрирана във всеки триминутен запис от всяко записващо устройство, и измерените параметри на структурата на гората, е използван генерализиран линеен смесен модел (GLMM) с отрицателно биномно разпределение. Избран е GLMM с нулева инфлация поради положителното асиметрично разпределение на вокалната активност, причинено от прекомерно големия брой нули. Като фиксирани ефекти (независими променливи) са зададени структурните характеристики на гората, а като произволни ефекти са включени индивидуалният номер на записващото устройство и датата. За определяне значимостта на всяка връзка е използван Wald хи-квадрат тест.

За да бъде установено дали в различните типове гори честотата на вокална активност на полубеловратата мухоловка се изменя по подобен начин с хода на времето (датата и фазата на деня) е приложен друг GLMM с отрицателно биномно разпределение с нулева инфлация. Като зависима променлива е зададена честотата на вокална активност, а като фиксирани ефекти са включени датата, дневната фаза (сутрин и следобед), типа гора (неповлияни зрели гори, стопанисвани зрели гори и стопанисвани млади гори) и всички двустранни взаимодействия. Индивидуалният номер на записващото устройство е включен като случаен ефект. Двата статистически модела са извършени в R-среда с помощта на пакета glmmTMB. При наличието на значими взаимодействия са направени Post-hoc сравнения по двойки по метода на Tukey с помощта на R-пакета emmeans (v1.10.4).

IV. Резултати и обсъждане

Резултатите от изследването, свързано с темата на докторантурата, са публикувани в следните две статии, които са част от дисертационния труд:

Статия 1:

Panova, K. R., Zlatanov, T. M. & Nikolov, B. P. (2024) Avian Diversity Monitoring in Mountain Beech Forests using Acoustic Indices: a Case Study in the Belasitsa Nature Park, Bulgaria. *Acta Zoologica Bulgarica*, 76 (3): 323-331.

Статия 2:

Panova, K. R., Marinov, M. P. & Nikolov, B. P. Vocal activity rate of the Semi-collared Flycatcher *Ficedula semitorquata* in breeding sites is associated with forest features: a case study from differently managed beech forests – приета за печат в *Ardeola: International Journal of Ornithology*.

V. Заключение

1. Обобщение

Настоящото изследване демонстрира ефективността на пасивния акустичен мониторинг на птици в букови гори, повлияни в различна степен от човешка дейност. Първата задача е да се характеризират гнездовите съобщества от птици посредством различни акустични индекси. Задачата е изпълнена като за целта са събрани и анализирани акустични данни през размножителния период на 2022 г. и 2023 г. от три типа букови гори – неповлияни зрели гори, стопанисвани зрели гори и стопанисвани млади гори. Направено е сравнение между видовото богатство на съобществата от птици, установено чрез прослушване на събраните звукови записи и четири акустични индекса: индекс на акустична сложност (ACI), индекс на акустично разнообразие (ADI), индекс на акустична равномерност (AEI) и биоакустичен индекс (BI). Резултатите са представени подробно и обсъдени в **статия 1**. Според тези резултати акустичните индекси ACI, AEI и BI корелират положително с видовото богатство, докато ADI показва обратна зависимост. Индексът BI се оказва най-надежден за оценка на видовото богатство.

Задачи 2 и 3 са изпълнени като са сравнени стойностите на акустичните индекси между различните типове букови гори. По-високите стойности на ACI, AEI и BI показват по-голямо видово богатство и обилие на птици. Равномерното разпределение на звукови сигнали между различните честоти дава по-високи стойности на ADI, докато сложните песни, които обхващат широк честотен диапазон, генерират по-ниски стойности (Boelman et al., 2007; Pieretti et al., 2011; Villanueva-Rivera et al., 2011). Противно на първоначалните очаквания неповлияните зрели гори и стопанисваните зрели гори показват минимални разлики в акустичните индекси. И в двата типа гори е отчетено по-голямо видово богатство в сравнение със стопанисваните млади гори, вероятно поради наличието на по-разнообразни местообитания в тях. Стопанисваните млади гори показват значително по-ниски стойности на индексите ACI, AEI и BI, и по-високи на ADI, което индикира по-ниска екологична стойност. Отсъстват и консервационно значими видове, гнездящи в хралупи, като белогръбия кълвач (*Dendrocopos leucotos*) и полубеловратата мухоловка (*Ficedula semitorquata*).

От друга страна, както в стопанисваните зрели гори, така и в неповлияните зрели гори са регистрирани пеещи мъжки полубеловрати мухоловки, без съществени разлики в честотата на вокална активност между двата типа гори. Това вероятно се дължи на по-високата плътност на пеещи мъжки или повишена вокална активност на доминантен мъжки екземпляр на местата, предлагащи по-добри условия за гнездене. Получените резултати, описани в **статия 2**, тук са представени обобщено. Вокалната активност на полубеловратата мухоловка е по-висока на места с по-рядко покритие на короните на дърветата и повече дървета с хралупи с размери под 30 см. Тези резултати подчертават предпочитанията на вида към дърветата с хралупи, даващи възможност за гнездене и по-откритите местообитания, които се характеризират с по-добра видимост и комуникация между индивидите през размножителния период, повече достъп на светлина и хранителни ресурси. Не е установена статистически достоверна зависимост между количеството на стоящата мъртва дървесина и честотата на вокална активност на полубеловратата мухоловка.

Полубеловратата мухоловка пее през месеците април и май. Постоянно нарастване на вокалната активност през целия сезон и по-висок процент в сутрешните, отколкото в привечерните часове, се наблюдава само в неповлияните зрели гори.

Този труд цели не само да представи конкретни резултати, но и да положи основите за бъдещи изследвания, насочени към усъвършенстване и разширяване на приложението на пасивния акустичен мониторинг. Въпреки значителните предимства на метода, съществуват обективни ограничения, които следва да бъдат внимателно оценени и взети под внимание при неговото прилагане. Едно от основните ограничения на пасивния акустичен мониторинг е невъзможността еднозначно да се разграничат мигриращите от гнездящите птици само въз основа на записаните вокализации. Регистрирането на вокалната активност на даден вид последователно през целия размножителен период може да служи като индикатор за гнездене, но това предположение изисква допълнително потвърждение чрез комбиниране на пасивния акустичен мониторинг с други методи, като наблюдения на гнезда, маркиране на индивиди или проследяване на териториално поведение. Важно е да се подчертае, че звукозаписващите устройства предоставят данни за вокално активните видове, което означава, че тихите или по-слабо вокализиращите птици остават подценени или незабелязани, особено по време на сутрешния птичи хор. Освен това, интерпретацията на данните често изисква значителни усилия за анализ и експертно познаване на вокализацията на различните видове.

2. Изводи

Въз основа на проведеното изследване могат да бъдат направени следните основни изводи:

1. Пасивният акустичен мониторинг посредством автоматични звукозаписващи устройства е обещаващ и перспективен метод за дългосрочен мониторинг на гнездови съобщества от птици в планински букови гори.
2. Публикувани са за първи път в България анализи на акустични данни от звукозаписващи устройства за характеризиране на птици по време на гнездовия сезон.
3. Изследването потвърждава, че акустичните индекси (ACI, ADI, AEI и BI) са ефективни за оценка на видовото богатство на птици и могат да отразяват разликите в качеството на горските местообитания.
4. Неповлияните и стопанисваните зрели гори са с по-висока екологична стойност от стопанисваните млади гори. Зрелите гори поддържат повече редки и защитени видове, особено такива, които гнездят в хралупи.
5. Пасивният акустичен мониторинг е полезен метод, както за установяване на присъствието, така и за дългосрочен мониторинг на консервационно значимия вид полубеловрата мухоловка (*Ficedula semitorquata*) в труднодостъпни планински букови гори.
6. Основни параметри на структурата на гората, в това число покритието на короните на дърветата, броят на дърветата с хралупи и стоящата мъртва дървесина допринасят статистически достоверно за обясняване на честотата на вокалната активност на полубеловратата мухоловка.
7. Полубеловратата мухоловка не се среща в стопанисваните млади букови гори, възстановени след гола или краткосрочно-ускорена сеч преди около 60 години, което потвърждава резултатите от проучване на Georgiev et al. (2018), че подходящи за мухоловката са гори на възраст над 75 години.
8. Стопанисването на горите по начин, който обезпечава формирането на хетерогенна пространствена структура (в случая на настоящото изследване – стопанисваните зрели гори) и запазването на стари дървета с хралупи (биотопни дървета), създава благоприятни условия за гнездене на полубеловратата мухоловка.

3. Приноси

Научни приноси:

1. Валидирани са четири акустични индекса (ACI, ADI, AEI и BI) като показатели за видовото богатство на птици в букови гори, което разширява приложението на акустичните методи в екологичните проучвания.
2. Резултатите от изследването показват как стойностите на акустичните индекси варират между различни типове букови гори (неповлияни зрели гори, стопанисвани зрели гори и стопанисвани млади гори), предоставяйки ценна информация за екосистемните характеристики и местообитанията.
3. Получените данни от акустичния мониторинг на гнездови съобщества от птици в букови гори позволяват сравнение с аналогични горски екосистеми в други части на Европа.
4. Представени са основни параметри на структурата на букови гори (покриване на короните на дърветата, брой дървета с хралупи, стояща мъртва дървесина), свързани с вокалната активност на полубеловратата мухоловка в гнездовите ѝ местообитания. Това може да бъде полезно за бъдещи мониторингови програми и проследяване на промените в екосистемите вследствие на горско-стопански практики.

Научно-приложни приноси:

5. Изследването потвърждава значимостта и надеждността на пасивния акустичен мониторинг като ефективен инструмент за дългосрочен мониторинг на птици в отдалечени и труднодостъпни места.
6. Получените резултати могат да намерят приложение в разработването на стратегии за устойчиво стопанисване на букови гори, като акцентират върху необходимостта от запазване на гори във фаза на старост и формиране на хетерогенна пространствена структура в стопанисваните гори, при оставяне на достатъчно биотопни дървета. Такива гори поддържат голямо разнообразие от укрития, места за гнездене и хранителни ниши, включително и които са подходящи за по-редки и застрашени видове птици.

7. Изследването предоставя информация, която може да бъде използвана за вземане на управленски решения, свързани с предлагане на мерки за опазването на гнездовата орнитофауна и практически насоки за минимизиране отрицателното въздействие от страна на горско-стопанските практики.
8. Натрупаният опит при използването на автоматични звукозаписващи устройства може да послужи за усъвършенстването и развитието на мониторинговите схеми на биоразнообразието в страната.

4. Декларация за оригиналност и достоверност

ДЕКЛАРАЦИЯ

за оригиналност и достоверност

от Кристина Рашкова Панова

Във връзка с провеждането на процедура за защита на дисертация за придобиване на ОНС „доктор” в Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания при БАН, еднозначно декларирам:

- a. Резултатите, обсъжданията и изводите в научната продукция, които предоставям в процедурата, са оригинални и не са заимствани без цитиране от изследвания и публикации, в които нямам участие.
- b. Представената от мен информация във вид на копия на документи и публикации, лично съставени справки и др. съответства на обективната истина.

07.01.2025 г.

гр. София

Декларатор:

/К. Панова/

VI. Благодарности

Благодаря на научния си ръководител доц. д-р Борис Николов за предложената тема на дисертационния труд и оказаната помощ.

Изказвам дълбока благодарност на гл. ас. д-р Мартин Маринов за ентузиазма, мотивацията, добрите идеи, напътствията и компетентните съвети. Благодаря му за експертната помощ при статистическата обработка и анализ на данните, както и за предадените професионален опит и знания в областта на акустиката.

Искрено благодаря на колегите от отдел „Животинско разнообразие и ресурси” на ИБЕИ-БАН за споделените конструктивни коментари и препоръки по време на заседанието за насочване на дисертацията за защита.

Специални благодарности изказвам на Благовеста Димитрова и доц. д-р Симеон Луканов за подкрепата, помощта и за това, че бяха винаги насреща, когато имах нужда от съдействие или разяснения по административни въпроси през трите години на докторантурата.

Благодаря за оказаната помощ на терен на д-р инж. Георги Гогушев, както и на Sarowar Hossain и проф. д-р Цветан Златанов за извършването на теренните изследвания за оценка на параметрите на структурата на гората, на последния и за предоставената методическа помощ.

Най-топли благодарности изказвам на проф. д-р Бойко Георгиев за безрезервната подкрепа, насърчението и доброто отношение.

Сърдечно благодаря на моята майка Катя Панова за това, че ме подкрепя във всяко ново начинание, за безкрайното търпение и неизчерпаемата вяра в мен.

Докторантурата е подпомогната финансово от Националната пътна карта за научна инфраструктура (2020-2027 г.), споразумение с МОН № ДО1-163/28.07.2022 г. (LTER-BG) и от Програмата на Европейския съюз за научни изследвания и иновации „Хоризонт 2020“, споразумения № 871126 (eLTER PPP) и № 871128 (eLTER PLUS).

Списък на научните публикации по темата на дисертацията

1. **Panova, K. R.**, Zlatanov, T. M. & Nikolov, B. P. (2024) Avian Diversity Monitoring in Mountain Beech Forests using Acoustic Indices: a Case Study in the Belasitsa Nature Park, Bulgaria. *Acta Zoologica Bulgarica*, 76 (3): 323-331 [Journal Impact Factor Web of Science 2023 = 0.4; Scopus Journal Rank (SJR) 2023 = 0.22; Q4]
2. **Panova, K. R.**, Marinov, M. P. & Nikolov, B. P. Vocal activity rate of the Semi-collared Flycatcher *Ficedula semitorquata* in breeding sites is associated with forest features: a case study from differently managed beech forests – приета за печат в *Ardeola: International Journal of Ornithology* [Journal Impact Factor Web of Science 2023 = 1.4; Scopus Journal Rank (SJR) 2023 = 0.43; Q2]

Списък на участията в научни форуми, докладващи резултати по дисертацията

1. 4th Interdisciplinary PhD Forum with International Participation, гр. Сандански, май 2023 г., с постер на тема: „Avian diversity monitoring in mountain beech forests using acoustic indices”.
2. 5th Interdisciplinary PhD Forum with International Participation, гр. Кюстендил, април 2024 г., с постер на тема: „Vocal activity rate as a proxy for Semi-collared Flycatcher *Ficedula semitorquata* breeding site preference in beech forests through acoustic monitoring”.

Passive acoustic monitoring of birds in beech forests affected to varying degrees by human activity

PhD Thesis

Kristina Rashkova Panova

Institute of Biodiversity and Ecosystem Research – Bulgarian Academy of Sciences

Supervisor: Assoc. Prof. Boris Nikolov, PhD,

Co-supervisor: Prof. Tzvetan Zlatanov, PhD

Sofia, 2025

The present study aims to characterise bird breeding communities in beech forests, affected to varying degrees by human activity, through acoustic data. For the implementation of this goal, the following three tasks were set: 1) Characterisation of bird breeding communities using acoustic indices; 2) Comparison of bird breeding communities in old-growth forests and mature managed forests using data from passive acoustic monitoring; 3) Comparison of bird breeding communities in mature managed forests and pre-mature managed forests using data from passive acoustic monitoring. Due to the availability of a sufficiently large sample, data on the presented in the region species of conservation significance, the Semi-collared Flycatcher (*Ficedula semitorquata*), were also analysed.

The study was conducted during the breeding season (March-June) in 2022 and 2023 at twelve locations in Belasitsa Nature Park. The relief is mountainous, with an altitude between 1100 m and 1450 m. Four autonomous sound recorders (Song Meter Micro © Wildlife Acoustics) were placed in three types of beech forests: 1) old-growth forests in the Kongura Reserve; 2) mature forests managed by irregular-shelterwood system (80-130 years of age); 3) pre-mature even-aged managed forests (subjected to clearcut some 60 years ago).

Collected acoustic data were analysed manually to identify all vocalising bird species, as well as to determine the vocal activity rate of the Semi-collared Flycatcher. Kaleidoscope Pro software (Wildlife Acoustics, Inc.) was used to calculate acoustic indices (Acoustic Complexity Index – ACI, Acoustic Diversity Index – ADI, Acoustic Evenness Index – AEI, Bioacoustic Index – BI).

The relationship between acoustic index values and bird species richness, determined by listening to a subsample of the collected sound recordings, was investigated. Acoustic index

values were compared among the three types of beech forests and between two breeding seasons. Additionally, the relationship between the vocal activity rate of the Semi-collared Flycatcher and key forest features (canopy cover, trees with cavities and standing dead wood) was analysed. The results of the present study are described in the following publications:

Panova, K. R., Zlatanov, T. M. & Nikolov, B. P. (2024) Avian Diversity Monitoring in Mountain Beech Forests using Acoustic Indices: a Case Study in the Belasitsa Nature Park, Bulgaria. *Acta Zoologica Bulgarica*, 76 (3): 323-331.

Panova, K. R., Marinov, M. P. & Nikolov, B. P. Vocal activity rate of the Semi-collared Flycatcher *Ficedula semitorquata* in breeding sites is associated with forest features: a case study from differently managed beech forests – accepted for print in *Ardeola: International Journal of Ornithology*.

In conclusion, the conducted study demonstrated that passive acoustic monitoring can be an effective tool for bird monitoring in remote and hard-to-reach places.