

**БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ  
ИНСТИТУТ ПО БИОРАЗНООБРАЗИЕ И  
ЕКОСИСТЕМНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ**

**Боян Танев Мичев**

**РАЗВИТИЕ И ПРИЛОЖЕНИЕ НА РАДАРНИ  
МЕТОДИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА  
МИГРАЦИЯТА НА ПТИЦИТЕ НАД ТЕРИТОРИЯТА  
НА БЪЛГАРИЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**Докторантска програма**

***„Екология и опазване на екосистемите“***

**Научен ръководител:**

**проф. д-р Павел Зехтинджиев**

**София, 2021 г.**

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 "Екосистемни изследвания, екологичен риск и консервационна биология" на ИБЕИ – БАН, състояло се на 12.04.2021 г.

Дисертационният труд се състои от 100 страници и съдържа 2 фигури. Списъкът на цитираната литература съдържа 36 заглавия на кирилица и 188 – на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на

.....от ..... часа в

.....,

на открито заседание на избраното научно жури (назначено със Заповед на Директора на ИБЕИ-БАН № .....) в състав:

Външни членове:

проф. дбн Златозар Боев - Национален природонаучен музей при БАН

проф. д-р Даниела Симеоновска – БФ- СУ

доц. д-р Диана Златанова – БФ- СУ

Вътрешни членове:

проф. д-р Павел Зехтинджиев – ИБЕИ-БАН

доц. д-р Борис Николов – ИБЕИ-БАН

Резерви:

Външен

доц. д-р Петър Шурулинков- Национален природонаучен музей при БАН

Вътрешен

доц. д-р Димитър Димитров– ИБЕИ-БАН

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

*Посвещавам този дисертационен труд на светлата памет на баща ми доц. Таню Мичев, доказал се като голям природозащитник и орнитолог, основоположник на радарната орнитология в България*

## **УВОД**

Миграцията на птиците многократно е изследвана по отношение на различни аспекти, обобщени от Alerstam (1990), Bethold (2001), Bildstein (2006) и Newton (2010). Но все още редица въпроси, свързани с причините и динамиката на миграциите, чакат своето решение. Сезонната миграция на птиците е адаптация, чрез която видовете поддържат висока численост на популациите си като напускат гнездовите местообитания през периодите с влошени условия на средата, водещи до ограничаване или пълното отсъствие на трофични ресурси, екстремни температури и др. (Winger et al. 2019). В този процес на адаптиране птиците са развили конкретни морфологични и физиологични приспособления за енергиен баланс (Phillips et al. 2018; Somveille et al. 2018), позволяващи им да осъществяват редовни сезонни прелети между гнездовите ареали и местата за зимуване (Michev et al. 2020). Тази адаптация е позволила на мигриращите птици не само да минимизират въздействието на хищниците, но и да оцелеят при дългогодишни климатични промени (Alerstam 1990; McKinnon et al. 2010; Newton 2010).

Мигриращите птици могат да се разделят на две основни групи в зависимост от основния тип полет, който използват (Мичев 1984) :

1. Птици, мигриращи с активен полет. Основните представители в групата са птици с малки размери, каквито са преобладаващата част от разредите

вработоподобни и дъждосвирцови птици. Тези видове, съставляващи най-голяма част сред мигриращите птици, летят поединично с активен махащ полет средно на 500 м над земната повърхност и предимно нощем. В умерените ширини миграцията им е на широк фронт главно поради факта, че ландшафтът като цяло и повечето от отделните части на ландшафтната мозайка са пригодни за обитание от тях, в една или друга степен. Миграцията на широк фронт се благоприятства и от активния полет, който не изисква термики и който позволява да се преодоляват най-често срещаните релефни форми в равнините и ниските планини.

2. Птици, мигриращи с планиращ полет, редуван с реещ полет за набиране на височина. Основните представители в групата са с големи размери, каквито са редица водолубиви птици и дневни хищни птици, обединени под названието „реещи се птици“ (soaring birds). Поради необходимост от възходящи въздушни течения (термики), налични само над сушата, те формират големи концентрации в райони на морски проливи, както и при други специфични топографски условия свързани с релефа. Местата с голяма концентрация на прелетни птици се наричат *bottle neck areas* или в превод „**места с тесен фронт на миграция**“. Те са описани в детайли от Zalles and Bildstein (2000). Тези автори обосновават критерии, на които трябва да отговаря дадено място, за да се приеме като място с тесен фронт на миграция. Zalles and Bildstein (2000) приемат Босфора и Бургаския залив като такива точки за Балканския полуостров.

През територията на Западна Палеарктика преминават два основни миграционни пътя: 1) Западноевропейски, разположен по протежение на атлантическото крайбрежие на Европа с голяма концентрация на реещи се птици при Гибралтар; 2) Източноевропейски, преминаващ над

Балканския полуостров с най-голяма концентрация на птиците при Босфора (Мичев 1984).

Част от този втори път, следващ черноморското крайбрежие на България, е известен още и като *Via Pontica*, получил името си от едноименния римски крайморски път, разположен по западния бряг на Черно море, което в античността се е наричало *Pontus Euxinus*. Поради това той често е наричан още Западночерноморски прелетен път (Мичев 1984).

В сравнение с редица държави от континенталните райони с широки равнинни територии в Северна и Централна Европа, миграцията през територията на България е много по-значима както в количествено, така и във видово отношение (Дончев 1980; Bildstein and Zalles 1995; Zehtindjiev 2001a; Michev et al. 2011; Shurulinkov et al. 2011). Това я прави не само интересен природен феномен, но и важен фактор, чието познаване има съществено научно-приложно значение за редица сфери на икономиката - селското стопанство, добив и преноса на електроенергия, въздушен транспорт, здравеопазване. Характеристиките на миграцията определят значима част от структурата на Националната екологична мрежа Natura 2000 в България, която е най-мощният инструментариум за опазване на биоразнообразието в страната.

Познаването на особеностите на прелета има голямо практическо значение за безопасността на полетите на гражданската и военната авиация, за да се осигури избягването на сблъсъци на птиците със самолетите (Мичев 1984 и др.). С въвеждането и развитието на подхода за оценка и управление на екосистемните услуги бе показано, че в районите с интензивна миграция трябва да се отчита екосистемната услуга, свързана с наблюдението на птиците и развитието на познавателния туризъм.

Бурното развитие на вятърната енергетика в началото на настоящия век и навлизането ѝ в България при условията на съществуващото природозащитно законодателство се яви като предпоставка за интензификацията на проучванията на миграцията на птиците в България (Michev et al. 2012; Zehindjiev and Whitfield 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Те са необходими с оглед предотвратяването на сблъсъци с ветрогенераторите и намаляване на евентуалната добавъчната смъртност на птиците (Larsen and Madsen 2000; Langston and Pullan 2003; De Lucas et al. 2007; Barrios and Rodrigues 2007; Michev et al. 2012; Zehindjiev and Whitfield 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).

За да се оцени значимостта на риска и въздействието от страна на ветропарковете върху птиците е необходимо наред с проучванията, свързани с ветропарковете да се проведат и проучвания върху другите антропогенни обекти, за които те могат да оказват значимо влияние, каквито са трафикът по наземния транспорт, високоволтовата електропреносна мрежа, фотоволтаичните паркове и др. За съжаление, такива системни проучвания са малко или напълно отсъстват за големи райони на страната. Значението на допълнителната смъртност на птиците по автомобилните пътища и магистрали е сериозен проблем в целия свят (Erritzoe et al. 2003) и също често е изследвана поради необходимост от цялостна оценка на антропогенните въздействия на нашето време върху мигриращите популации на птиците (Нанкинов и Тодоров 1983; Van der Grift et al. 2008; Kambourova-Ivanova et al. 2012).

Световният опит от използване на радари в края на XX век показва, че огромна част от мигриращите птици не могат да се отчетат само чрез използване на оптични

инструменти. Това е валидно както по отношение на нощната миграция, така и на дневната миграция на по-големи височини (Farnsworth 2005, Farnsworth et al. 2016).

В България Michev et al. (1987) първи използват радар за орнитологични цели. Със закупуването и използването в България на нови радари с по-добра разделителна способност се откриват нови възможности за приложението им в орнитологията (Michev et al. 2017, 2020).

Настоящият дисертационен труд е посветен на изследването на възможностите за усъвършенстване на методите за изучаване на миграцията с оглед обективна оценка на миграционните потоци въз основа на оригинални данни за прелета по *Via Pontica*, получени с радарни методи в краткосрочен (денонощен и сезонен) и дългосрочен (дългогодишен) аспект и посочване на възможностите за приложението им.

## ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

Отделните аспекти на миграцията на птиците са предмет на проучвания, публикувани в голям брой научни статии и монографии. В настоящия обзор са включени най-значимите от тях, като са избрани тези, които имат пряко отношение към темата на дисертационния труд. Разгледан е периодът от 1940 г. насам, когато е предложен терминът RADAR (Radio Detection And Ranging =радио откриване и определяне на разстояние) и е обърнато специално внимание на изследванията в България, започнали с ипрадари на летищата при Варна и Бургас, комбинирани с визуални наблюдения (Michev et al. 1987).

В резултат на направения преглед беше установено, че въпреки натрупания опит в проучванията върху миграцията на реещите се птици в България, все още не са

известни динамиката и височинното разпределение на движението на птиците, данните за които имат теоретично и практическо значение. Основната причина за това е обективната ограниченост на визуалните наблюдения, прилагани като основен метод в досегашните изследвания.

## **ФИЗИКО-ГЕОГРАФСКА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ИЗСЛЕДВАНИЯ РАЙОН И ОБХВАТ НА ПРОУЧВАНЕТО**

Тази глава представя основните физико-географски особености на изследвания район, който попада в Добруджанския подрайон и Черноморския подрайон на Севернобългарския район и Черноморския биогеографски район на страната (Груев 1988). В изследваната територия попада Франгенското плато, въздушното пространство над което се обхваща от основния миграционен път *Via Pontica*, характеризиращ се с висока концентрация на мигранти (Michev et al. 2012). В южната част на Франгенското плато е разположен метеорадар на РВД (43°16'37.66"N и 27°47'49.54"E), използван от нас за изследване на миграцията на птиците.

## **ЦЕЛ И ЗАДАЧИ**

**Целта на настоящото изследване** е чрез радарни методи да се установи динамиката на миграциите на птиците над територията на България в краткосрочен (денонощен и сезонен) и дългосрочен (дългогодишен) аспект и да се посочат възможностите за приложение на получените данни.

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



- Проследяване на денонощната динамика на миграцията на птиците;
- Установяване на вариациите на количеството мигранти през различните дни;
- Установяване на вариациите на числеността на мигрантите през отделните сезони и в пределите на всеки миграционен сезон;
- Проследяване на дългогодишните промени в хода на миграциите;
- Установяване на пространствените характеристики на миграциите – основните височинни зони и посоки на полета.

За изпълнението на тези задачи бяха поставени следните **подзадачи**:

- Избор на подходящ радар и пункт за наблюдение;
- Сравняване на данни от различни радарни системи;
- Избор на статистически методи за анализ и оценка на данните;
- Тестване на хипотеза за връзка между динамиката на миграцията на птици и динамиката на смъртността им, в резултат от антропогенни фактори като метод за верифициране достоверността на радарните данни от миграцията на птиците в изследвания район;
- Тестване на хипотези за връзка между параметри на миграцията и температурата на въздуха;
- Установяване на основните височинни зони на прелета и на времевите интервали на най-интензивния прелет;
- Създаване на архиви от радарни данни като база за бъдещи изследвания.

## МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

В резултат на проведените предварителни срещи с организациите, разполагащи с радари в България, бяха открити следните възможни за работа радари и съответните им райони: 1) Радар в района на гр. Варна на Държавно предприятие „Ръководство на въздушното движение“ (ДП РВД); 2) Три налични X-band радара на територията на ЗЗ „Калиакра“; 3) Радари на Изпълнителна агенция „Борба с градушките“ в районите на Враца, Пловдив и Сливен.

От тях бяха избрани един X-band радар на територията на ЗЗ „Калиакра“ и C-band радарът в района на гр. Варна. Изборът беше обусловен от местоположението и наличните софтуерни програми, а също така и от високата им пригодност за орнитологични проучвания. Така например, използването на трите радара на Изпълнителна агенция „Борба с градушките“ не бе възможно поради това, че не е разработен още прецизен софтуер за извличане на данни за биологични цели от този тип радарни системи.

В резултат на членството ни в споменатата вече програма „ENRAM“ и свързаните с това възможности за сътрудничество имаме възможността да получим софтуер за обработка на C-band радарни данни, както и да преминем курс по обработването им. Това ни позволи да съберем повече нови данни и да извлечем параметрите за сезонната (пролетна и есенна) миграция, а също така и да проследим дневната и нощна динамика.

### **Основни характеристики на радарите, използвани при настоящото проучване и обработка на наличната информация**

За целите на нашето изследване ние използвахме два радара: 1) Швейцарски радар BirdScan MS1

(<https://www.swiss-birdradar.com/birdscan-ms.html>), разположен в Североизточна България, собственост на ветроенергиен парк „AES GeoEnergy“.; 2) C-band радар Meteor 250 с хоризонтална единична поляризация. Радарът е собственост на „Ръководство въздушно движение“ (РВД-BULATSA) и е разположен до гр. Аксаково, Варненска област.

**Швейцарският радар BirdScan MS1** е мобилна радарна система с фиксиран лъч и е разработена специално за изследване на миграцията на птиците от Швейцарския орнитологичен институт. Тя се основава на морски радар с мощност 25 кв (Bridgemaster) с дължина на вълната 3 см (X-band). Чрез използване на параболична антена с лъч (еквивалентен на швейцарския проследяващ радар „Superfledermaus“), обхватът на откриване се увеличава в сравнение със стандартната антена с Т-лента. Антената позволява движение по хоризонтална и вертикална ос с насочване в необходимия за наблюдение сектор. Антената може да бъде настроена на различни стационарни височини (радарът е с „неподвижен лъч“, тъй като не той се движи търсейки цели, а целите преминават през него). Номиналният ъгъл на линията на лъча е приблизително 2.2°. Системата работи в автоматичен режим. Оборудвана е с импулсен хоризонтален радар тип Bridgemaster 65825H (Bruderer 2007; Bruderer et al. 2012).

За да потвърдим измерването на нощната миграция чрез **BirdScan**, беше направено проучване, целящо да установи връзка между интензивността на нощната миграция на врабчоподобни птици, измерена чрез радарната система и смъртността на птиците на 9-километров път през периода 27 август–30 септември 2014 г. Радарна система X-band е с обхват на откриване приблизително 4 км за отделна малка птица (например пойна птица) до 7.5 км за отделна по-голяма птица (например гъска). Ние направихме

непрекъснати радарни сканирания през времевия интервал 20:00 h–04:10 h ЕЕТ за целия период на изследване. Използвахме 15 минутен цикъл на всеки час, както следва:

- Четири минути при ъгъл на кота  $1.7^\circ$  (еквивалентно на приблизително 25–275 м надморска височина при 5 км разстояние);
- Четири минути при ъгъл на кота от  $8.4^\circ$  (еквивалентно на 675–825 м на 5 км разстояние);
- Четири минути при ъгъл на кота  $39.4^\circ$  (еквивалентно на 3375–3625 м на 5 км разстояние).

Приложихме специално разработен софтуер (FixBeam) за извличане от радарни данни на единични сигнали от птици и разграничаване на птиците от други цели (Zaugg et al. 2008). Въз основа на типа махове на крилата на птицата по време на полет бе извличено ехо, от което бяха класифицирани пет различни летателни класа според Bruderer (1969, 1997a): Водолюбиви (Wader class), Вrabчоподобни (Passerine class), Бързолети (Swift class), Единични едри птици (Large single bird class), Неизвестни (Unknown class).

Ние използвахме стандартна мерна единица MTR (=Migration Traffic Rate) за количествено определяне на интензитета на мигриращите птици (Lowery 1951; Liechti et al. 1995). Тя предоставя информация за средния брой птици, пресичащи въображаема вертикална повърхност с ширина 1 км за 1 час. MTR е единица, която може да се използва за сравняване на резултати от различни радарни системи и пунктове за наблюдение на миграционните групи. Ние използвахме този параметър при изследване на връзката между интензивността на нощната миграция, измерена с радар и антропогенната смъртност на птици, причинени от автомобилен трафик и вятърни турбини.

За да потвърдим резултатите на C-band радара използвахме специализиран птичи X-band-BirdScan1

радар в независимо изследване на две радарни системи чрез изчисляване на коефициента на корелация между измерванията. Проведохме проучване между 1<sup>-ви</sup> и 30<sup>-ти</sup> септември 2014 г. и в часови интервал през нощта между 19:00 ч. - 03:10 ч. UTC като разстоянието между двата радара е около 50 км. За обработка на радарните данни използвахме софтуер, описан по-долу в текста.

**C-band радар Meteor 250 с хоризонтална единична поляризация** предоставя данни във формат Rainbow 5 SELEX-SI (бивш Gematronik). Ширината на лъча е около 1 градус (1°), данните се свалят последователно по радиални „лъчи“, които са през един градус по азимут. Данните върху всеки лъч са през 250 м. След като направи всичките 360 лъча антената се позиционира на следващата елевация. Завъртането на 360 градуса става за около половин минута. Скановете на радара се състоят от 13 елевации, като някои от тях са с максимален обхват (250 км), при който не се събира доплерова информация. Възможностите на този радар позволяват събирането на доплерова информация само на разстояние до 120 км и това ограничение произтича от характеристиките на радара, както и за по-бързо опресняване на картината. Чрез тази информация е възможно да се измери радиалната скорост, която варира от -47 м сек<sup>-1</sup> до +47 м сек<sup>-1</sup>, като се използва филтър за потискане на диапазон от ниски радиални скорости от -5.72 до +5.72 м сек<sup>-1</sup>. Един цикъл на сканиране се изпълнява за около 4 минути и 40 секунди и се повтаря на всеки 5 минути.

Откриването на биологични обекти зависи от радарните сечения (напречно - RCS) и от дължината на вълната. Ако размерите на целта са по-малки с една трета от дължината на вълната, възможността за откриване на целта намалява в пъти и отразената от целта енергия става недостатъчна за целите на орнитологията (Doter et al. 2018).

За извличане на биологична информация от метеорологичните радарни данни са използвани данни с ниско ниво, а именно данни за полярния обем, наричани също данни ниво II в САЩ. Полярният обем е съвкупност от азимутни сканирания в пълен кръг при различни височини на радарната антена, които заедно предоставят извадка от атмосферата на всички изследвани височини (Doter et al. 2018).

Използваният масив от данни, събран за четири последователни години, е разделен на съответни части за есенна и пролетна миграция, както и на дневна и нощна такава. Разпределени по дни, това са 478 дни и нощи през пролетта и 623 дни и нощи през есента, или общо 1101 дни и нощи от четиригодишен период (2014–2017). Приложени са обемно сканиране (в обхват от 5 до 25 км от позицията на радара) и данни за радиална скорост на обектите, като по този начин се определят скоростта и посоката на движещите се цели, в случая птици. При получените радарни данни е приложен алгоритъм за количествено определяне на птици, разработен и тестван в редица предишни проучвания в Европа (Dokter et al. 2011).

За обработка на тези данни са използвани език и среда за статистически изчисления R (R Core Team) за анализ и визуализация на биологични сигнали от метеорадари. Това е висококачествен софтуер с отворен код, широко използван в биологията и екологията. С пакет bioRad и алгоритъм vol2bird към R, разработен за единични и двойнополяризационни C-band радари и програмата Docker за Windows могат да се генерират вертикални профили на птици (VP), визуализация (PPI–plan position indicator), а също така и да се прави обобщение на тази биологична информация за определени височини и времеви периоди <http://adriaandokter.com/bioRad/articles/bioRad.html>.

Алгоритъмът `vol2bird` е написан на C-език и е съвместим с европейски и американски радарни формати. За въвеждане на команди в R е използвана програма RStudio. Параметрите на сканирането могат да се представят визуално върху екран на предварително заложена картографска или сателитна карта чрез диаграма PPI.

Алгоритъмът `vol2bird` се базира на съществуващите алгоритми за профил на вятъра, разработени за доплерови метеорологични радари и се основава на анализ на радиалната скорост на обектите в атмосферата. Радиалната скорост е скоростта, с която обектите в обемната проба се приближават или се отдалечават от радара, която е измерена чрез анализ на честотното изместване на отразените радиовълни или т.нар. ефект на Доплер. Алгоритъмът `vol2bird` представя вертикален профил на височината, плътността и направлението на птиците на всеки 5 мин, през 200 м височинен слой и покрива територия от 5 до 25 км.

Обемът на събраните сурови радарни данни за една календарна година е около 78 GB. Изходният продукт от анализа на `vol2bird` е отделен в текстови файл (txt) за всеки ден с информация за датата и часа, скоростта, посоката, височината, стандартното отклонение, броя на засечените цели и `dBZBird` (отразяваща способност в единици  $Z$  в логаритмична скала в децибели). Следва конвертиране от текстови в ексел формат на Microsoft Office с няколкокостотин хиляди реда и обем на таблицата от около 140 MB.

За определянето на присъствието или отсъствието на птици е използвано минимално стандартно отклонение на радиалната скорост от  $2 \text{ m sec}^{-1}$  (Holleman et al. 2008) и максимален праг на отразяваща способност от 5 dBZ.

При метеорологичните радари интензитетът на върнато или отразено радарно ехо, получено от валежи, обикновено се дава като коефициент на отражателност  $Z$  (или  $Z$  в dBZ), чрез което става по-лесно неговата интерпретация.  $Z$  е универсална мерна единица за различни дължини на вълните в случай на слабо отражение, каквито са валежите. Капките при валежите са много по-малки от дължината на вълната, поради което те силно се отразяват и разсейват. Това явление на еластично разсейване на електромагнитни вълни от частици, които имат по-малък диаметър от дължината на вълната, е познато като разсейване на Рейли. Поради това за целите на орнитологията се работи под границата на разсейване на Рейли. Птиците са извън границата на Рейли, защото те са с подобен размер като радарната дължина на вълната.

При работа с отражение от биологични обекти се използва мярка за силата на ехото, която е радарна отражателна способност  $\eta$  (Dokter et al. 2018a). Отчетените стойности на радарния коефициент на отражателност от метеорологичните радари могат лесно да се преобразуват в радарна отражателна способност.

Полученият сигнал, или отразяващата способност, се измерва като линейна величина  $Z$  или в логаритмична скала в децибел (DBZ) и се използва като индикатор за интензивността на потока на птиците. Като  $Z=10^{(dBZ/10)}$  (van Gasteren et al. 2008):

$$\eta = \frac{10^3 \pi^5}{\lambda^4} |K_m|^2 Z_e = \overline{\rho_{bird} \sigma_{bird}}$$

където:  $\eta$  е отражаемост;  $\lambda$  е дължина на вълната;  $K_m$  е комплексен показател на пречупване;  $Z$  е радарният коефициент на отражателност и е оценка на еквивалентното напречно сечение на течната маса на птиците;  $\rho_{bird}$  са птици на  $\text{km}^{-3}$ ;  $\sigma_{bird}$  е напречно сечение на птиците.



Коефициентът на отразяване се преобразува в плътност на птиците (птици на  $\text{km}^{-3}$ )  $\rho_{bird}$  чрез разделяне на  $\eta$  в уравнението на средно напречно сечение на птиците  $\sigma_{bird}$ , в нашето изследване е определено като  $11 \text{ cm}^2$  за нощната миграция (Dokter et al. 2011) и  $50 \text{ cm}^2$  за дневната миграция, въз основа на видовия състав на мигрантите, които са описани за същия регион в дългосрочни визуални мониторингови проучвания (Michev et al. 2011, 2012, 2018; Gerdzhikov et al. 2014).

За да може получените данни да се използват за сравняване на резултати от различни радарни системи и пунктове за наблюдение на миграционните групи, плътността на птиците (отчитана като птици на  $\text{km}^{-3}$ ) е преобразувана в MTR (стандартна единица за количествено определяне на миграция на птици (Lowery 1951; Liechti et al. 1995)). Тя предоставя информация за средния брой птици, пресичащи въображаема вертикална повърхност с ширина 1 км за 1 час. Ние изчисляваме MTR по Nilsson et al. (2018), където  $\text{MTR} = \text{индивиди } \text{km}^{-3} * \text{скорост на полета (км час}^{-1}) * \text{височина на лъча (0.2 км)}$ .

Коефициентът на отражение, използван за количествено определяне плътността на птиците, е сравнен с визуално идентифицираните летящи птици. За валидиране на радарните данни в нашето проучване бяха използвани две добре разпознаваеми групи птици. Първата група е на белия щъркел (*Ciconia ciconia*). Тя има относително постоянна фенология през есента и е с ясно изразени пикове на миграция, като видът мигрира на големи ята от хиляди птици. Същата динамика на белите щъркели се потвърждава и в редица публикувани предишни проучвания, базирани на визуални наблюдения в същия регион и в непосредствена близост до настоящото радарно проучване (Michev et al. 2011, 2012, 2018; Gerdzhikov et al.

2014). Втората група птици за валидиране на данните включва няколко вида чайки (*Larus spp.*), които през зимния сезон извършват ежедневни хранителни прелитания между гр. Варна и градското сметище.

Измерванията са проведени във височинния диапазон между 300 до 1500 м над земната повърхност (м н.з.п.). Над височината от 1500 м получените данни са с големи грешки и поради това бяха изключени от нашия анализ. Слойт с най-ниска височина (0-300 м н.з.п.) е отстранен от набора данни поради големите смущения, които дава Земята при отразяване на радарния сигнал и различните траектории на птиците, които подбират своята височина на полет според местообитанието и условията на вятъра (Buurma et al. 1986; Bruderer and Liechti 1999; LWVT / SOVON 2002; van Gasteren et al. 2008).

#### **Статистически анализ**

За да потвърдим наличието на птици в радарната извадка на C-band радар с помощта на специализиран птичи X-band радар, изчислихме коефициент на корелация на Пиърсън между две измервания на MTR, направени с двете радарни системи. За да нормализираме суровите данни, използвахме процедурата за трансформация на Vox-Cox. Статистическият анализ беше извършен при използване на STATISTICA, версия 8.0 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, САЩ).

За да бъде установено дали смъртността на птици мигранти в резултат от сблъсък с превозни средства е свързана с динамиката на миграцията, беше изчислен коефициент на корелация на Пиърсън между MTR и броя на трупове на нощно-мигриращи птици. В анализа бяха включени само установените трулове на мигранти, представители на разред Вrabчоподобни (Passeriformes) за период от 34 дни през есента на 2014 г. Преди да бъдат

анализирани, данните бяха трансформирани с помощта на Вох-Сох преобразуване, за да бъдат нормализирани.

За да бъде обяснена изменчивостта на височината на полета на птиците (км н.з.п.) в зависимост от температурата (°C) по време на есенната дневна и нощна миграция е използван регресионен анализ (Ordinary Least Squares, OLS). Пригодността на регресионните модели беше оценена чрез коефициентите на детерминация ( $R^2$ ) и F-тест за значимост на регресията. Изменчивостта на средната плътност на птиците между периодите на наблюдение е изследвана чрез еднофакторен дисперсионен анализ (Wilcox 2013). Анализите са извършени с помощта на Statistica 8 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, USA).

За изчисляване на средната посока на мигриращите птици и дължината на средния вектор е използвана програма за статистически анализ на данни в кръговата статистика ORIANA 3.0 (KOVACH COMPUTING SERVICES 2009).

### **Изследвани групи птици**

В настоящето проучване са изследвани две групи птици, определени в зависимост от начина и времето за тяхното придвижване в пространството:

1. Мигранти с активен полет. Тази група се характеризира с птици с малки размери, каквито са преобладаващата част от пойните птици разред Врбчоподобни (Passeriformes), но включва и представители на други разреди. Тук се отнасят както постоянни видове, така и пълни мигранти. Тези видове, съставляващи най-голяма част сред мигриращите птици, летят поединично с активен махащ полет средно на 500 м н.з.п. и предимно нощем. Прелетът им се извършва на широк фронт поради равномерното разпределение на техните местообитания в умерените ширини.

2. Мигранти с планиращ полет, редуван с реещ полет за набиране на височина. Характеризира се с птици с големи размери, каквито са редица водолюбиви и грабливи видове, наричани още реещи се птици (soaring birds). Към тях спадат 5 вида от разредите Пеликаноподобни (Pelecaniformes), Щъркело-подобни (Ciconiiformes) и Жеравоподобни (Gruiformes), представлящи подгрупата реещи се водолюбиви птици и 35 вида от разред Ястребоподобни (Accipitriformes), представлящи подгрупата реещи се дневни хищни птици. Реещите се птици са пълни и частични мигранти, които се придвижват предимно на относително тесен фронт от местата за гнездене до зимовищата (най-вече в Африка) само през деня чрез планиращ полет и използване на възходящи въздушни течения (термики, термали) за набиране на височина. Тези птици не пресичат големи водни площи и образуват концентрации при стесняване на сушата в района на проливи, морски носове, както и при обширни заливи. Тези места с голяма концентрация са известни като „bottle neck areas” (Zalles and Bildstein 2000). Видовете от тази група имат най-голямо значение при определяне на риска от сблъсъци на птици с ветрогенератори. В Европа такива известни места на струпване на голям брой реещи се птици са районът на Фалстербо в юго-източния край на Швеция, проходът Оргамбидекска във френските Пиринеи, Гибралтар (по Атлантическия маршрут), Босфорът и Бургаският залив (на Западния Черноморски път).

## **РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ**

Резултатите от изследванията, свързани с темата на докторантурата, са представени в постер и са публикувани и обсъдени в двете статии, представени по-долу. Първата

статия е пилотна, ориентирана към първа оценка и калибриране на радарни данни за птици от специализиран птичи X-band радар, при сравнение с данните от визуални наблюдения. В резултат на извършените проучвания, България успешно участва в обмена на радарни данни в Европа чрез общоевропейска мрежа от радари за наблюдение на движението на животни – ENRAM (European Network for the Radar surveillance of Animal Movement).

**Постер:** За да потвърдим наличието на птици в радарната извадка на C-band радара беше използван специализиран птичи X-band радар, този на ветропарк "Свети Никола" на територията на 33 Калиакра. С помощта на статистически анализ успяхме да потвърдим значителна положителна корелация ( $r=0.55$ ,  $p=0.002$ ) между две независими измервания на нощната миграция с две радарни системи за един и същ период. Те са предмет на постер на тема: „Study of bird migration using a meteorological radar.“, представен на Втората национална конференция за млади учени “Биологически науки за по-добро бъдеще” в гр. Пловдив през октомври 2015 г.

**Статия 1:** MICHEV, B., ZENTINDJIEV, P., MARINOV, M. P. AND LEICHTI, F. 2017. Relationship between the intensity of nocturnal migration measured by radar and the anthropogenic mortality of birds. *Acta zoologica bulgarica* 69 (2): 229-237. SJR:0.217, ISI IF:0.369 (*Приложение 1*).

**Статия 2:** MICHEV, B., ZENTINDJIEV, P., MARINOV, M. P. AND ZLATANOV, T. 2020. Patterns of Bird Migration Defined by a Weather Radar at Part of the East European Flyway (*Via Pontica*). *Acta zoologica bulgarica* 72 (2): 263-277. SJR:0.21, ISI IF: 0.354 (*Приложение 2*).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Обобщено резюме на получените резултати

Резултатите от изследването за връзка между интензивността на нощната миграция, измерена чрез радарната система **BirdScan** и смъртността на птиците са представени подробно и обсъдени в **статия 1**. Според тези резултати числеността на мигриращите врабчоподобни птици, убити на пътя, корелира статистически значимо с интензивността на нощната миграция на врабчоподобните птици, измерена през нощта, предшестваща мониторинга на смъртността по пътя ( $r = 0.36$ ,  $p = 0.037$ ,  $n = 34$ ).

С помощта на статистически анализ бе установена статистически значима положителна корелация ( $r = 0.55$ ,  $p = 0.002$ ) между две независими измервания на нощната миграция с две радарни системи (специализиран птичи X-band и C-band радар) за един и същ период.

Въз основа на проведените от нас проучвания в рамките на 1101 дни и нощи през изследвания четиригодишен период са събрани ценни сведения, в резултат на което е получена цялостна, комплексна картина на пролетната (дневна и нощна) и есенната (дневна и нощна) миграция в ключов район от прелетния път на птиците *Via Pontica*. Доказани са съществени разлики във времевата динамика на дневните и нощните миграции през есента и пролетта, в часовете на най-интензивния прелет, във височината на полетите и наличие на разлики през отделните години на изследване. Получените резултати, описани в **статия 2**, тук са представени обобщено последователно за всеки отделен тип миграция и позволяват лесното им сравняване.

По време на дневната есенна миграция (ДЕМ) няма съществени разлики в средните стойности за количествено определяне интензитета на мигриращи птици (MTR) и по

отношение на плътността/обилието на птици през изследваните години, с изключение на месеците август и септември 2016 и 2017 г., когато миграцията е била най-многобройна. Най-интензивната дневна миграция е осъществявана в края на м. август с отделни високи стойности, регистрирани в средата на м. септември за две последователни години. Най-интензивна е миграцията в интервала 10–14 часа, а височината на полета е съсредоточена между 300 и 900 м н.з.п. при логично очаквана еднотипна посока на полета (северозапад-югоизток).

Установени са много близки средни стойности на MTR по време на нощната есенна миграция (НЕМ) през изследваните години, с относително най-високи стойности, получени за 2014 г. Най-интензивната НЕМ е протичала от края на август до началото на септември. Тогава миграцията е била най-активна в първите часове на нощта през м. август и м. септември, но е била относително еднаква през цялата нощ през м. октомври. Максималната височина на полетите по време на НЕМ е достигала 900 м н.з.п.

Дневната пролетна миграция (ДПМ) е била относително по-постоянна през изследваните месеци, без наличие на големи и статистически доказани разлики, с пикови дни 16–18 април и няколко дни в края на май. Най-многобройната ДПМ е била през 2015 г. Най-интензивната ДПМ е била в интервала между 11 и 14 часа, а височината на полета е била съсредоточена между 300 и 700 м н.з.п. при логично очаквана еднотипна посока на полета.

За разлика от дневната, нощната пролетна миграция (НПМ) е с много по-ясни разлики в отделните месеци и с ясни пикове около 21 март, 16-28 април, 4–май, 11-12 май и 21 май. Часовете на интензивната нощна миграция са с ясна разлика през отделните месеци – около 23 часа през

март и между 21 и 22 часа през април и май. Основната височина на полета е между 300 и 900 м н.з.п., а посоката на полета, както би следвало да се очаква, е била еднотипна през всички изследвани месеци.

Регресионният анализ разкрива съществена зависимост между температурата на въздуха и височината на полета по време на есенната миграция. Наблюдава се нарастване на височината на полета на дневните и нощните мигриращи птици при повишаване на температурата на въздуха. Тази закономерност е по-силно проявена при дневната миграция ( $R^2 = 0.28$ ,  $p < 0.001$ ) и може да бъде обяснена с нарастващата интензивност на възходящите топли въздушни течения с увеличаване на температурата и използването им от реещите птици за набиране на височина по време на полет. Вероятната причина за установената връзка между температурата на въздуха и височината на полета при птиците нощни мигранти ( $R^2 = 0.09$ ,  $p < 0.001$ ) е, че поддържането на топлинния и водния баланс на тялото при активен махов полет може да се постигне чрез охлаждане при по-ниска температура на въздуха, каквато е налична при по-голяма височина (Pennycuik 1969).

В заключение, може да се твърди, че така получените резултати показват, че поставената цел и съответните ѝ задачи са изпълнени при разработването на настоящия дисертационен труд.

#### **Основни изводи**

Резултатите от количественото характеризирание миграцията на птиците от *Via Pontica* над територията на България чрез данни от метеорологичен радар позволяват да се направят следните изводи:

1. Радарните данни са обективен и незаменим източник на информация при мониторингово проучване на прелета на птиците над големи площи, в голям пространствен



обем, при денонощни наблюдения и диференциране на екологични групи в зависимост от характеристиките на полета им;

2. Данните от радарите на Държавно предприятие „Ръководство на въздушното движение“ (ДП РВД) и на BirdScan MS1 на ветроенергиен парк AES GeoEnergy са най-подходящи за извършване на радарно-орнитологични проучвания и за създаване на многогодишен архив;

3. Основният миграционен поток е съсредоточен предимно във виочинната зона до 900 м н.з.п.;

4. Интензивността на есенната миграция в сравнение с пролетната е по-голяма, като различията се демонстрират много по-убедително при сравнение на нощната есенна с нощната пролетна миграция;

5. Интензивността на нощната миграция в сравнение с дневната е статистически значимо по-голяма;

6. Числеността на мигриращите птици може да се променя значително през отделните години, като най-висока численост е отбелязана през пролетта (НПМ) на 2016 г. и през есента (НЕМ) на 2014 г.;

7. Количествената информация за миграцията, извлечена от радарните данни, е подходяща за управление на риска при планиране и експлоатация на ветропаркове, както и при осигуряване на безопасността на гражданската и военна авиация.

## **ПРИНОСИ**

Въз основа на проведените проучвания е получена цялостна, комплексна картина на пролетната (дневна и нощна) и есенната (дневна и нощна) миграция в ключов район от прелетния път на птиците *Via Pontica*.

Получените приноси са разделени на три групи: научни, методични и научно-приложни.

**Научни приноси:**

1. За първи път с помощта на метеорологичен радар количествено е характеризирана миграцията на птиците от *Via Pontica* над територията на България (публ. 2). Установени са:

- статистически значими разлики между интензивността на нощната и дневната миграция, като интензивността на нощната е по-голяма;
- сезонни разлики в динамиката на миграцията, като по-интензивна е есенната миграция в сравнение с пролетната, и особено нощната есенна миграция е по-интензивна в сравнение с пролетната;
- разлики в часовите интервали и височината на прелета през различните сезони, а също така и през деня и нощта.

2. Доказани са достоверни разлики в числеността на мигрантите през отделните години и сезони, като най-голяма е била числеността през пролетта (НПМ) на 2016 г. и през есента (НЕМ) на 2014 г. (публ. 2).

**Методични приноси:**

3. Създаден е архив от радарни данни, събрани от три радара, два на Държавно предприятие „Ръководство на въздушното движение“ (ДП РВД) и един BirdScan MS1 радар на AES GeoEnergy ветроенергиен парк ) за около десетгодишен период.

4. Публикуван е за първи път в България анализ на радарни данни чрез използване на методика за специализиран птичи радар (публ. 1).

5. За анализ на радарни данни от метеорологичен радар е разработена и приложена за първи път в България специална методика (публ. 2).

6. В резултат на проведените изследвания е доказано, че за експресни мониторингови изследвания е достатъчно наблюденията върху миграцията на птиците да се ограничат във височинния интервал 300-900 м. н.з.п. (публ. 2).

7. Осъществен е обмен на данни от радари в Европа чрез участие в общоевропейска мрежа от радари за наблюдение на движението на животни – ENRAM (European Network for the Radar surveillance of Animal Movement) с консервационна стойност и заедно със 70 метеорологични радара от Западна Европа България е поставена на радарната карта на Европа.

8. За първи път България участва в международна програма за проучване на миграция на птиците чрез мрежа от радари в цяла Европа.

**Научно-приложни приноси:**

9. Събрани са оригинални данни за състава и динамиката на птиците по време на миграция в ЗЗ „Калиакра“ и прилежащите територии, които може да се използват при подготовка на планове за управление на тази зона (публ. 1).

10. Събраната количествена информация за миграцията е подходяща за използването ѝ в система за мониторинг и управление на риска при построяване и експлоатация на ветропаркове и сигурността на полетите в Североизточна България (публ. 2).

11. Конкретните стойности, получени за височините при отделните групи птици и съответни периоди (часови и сезонни) на миграцията позволяват детайлно планиране на строителни и други дейности, на работата на ветрогенераторите и планирането на граждански и други полети с оглед на тяхната безопасност (публ. 2).

12. Установена е статистически достоверна зависимост между интензивността на прелета и смъртността на птиците по пътищата (публ. 1).

13. Резултатите от проучване на миграцията при използване на радарни данни показват, че очертанието на морската крайбрежна линия в района има водеща роля за посоката на миграция (публ. 2).

14. Потвърдена е ролята на температурата като съществен климатичен фактор за фенологията и характеристиката на миграциите (публ. 2).

### **ДЕКЛАРАЦИЯ**

#### **за оригиналност и достоверност от Боян Танев Мичев**

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

1. 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.
2. Представената от мен информация във вид на копия на документи и публикации, лично съставени справки и др. съответства на обективната истина.

12.04.2021 г.

Декларатор:

гр. София

/Б. Мичев/

#### **Списък на публикациите по темата на дисертацията**

Резултатите от изследванията, свързани с темата на докторантурата, са публикувани в следните две статии и постер, представени като приложения:

##### **Статия 1:**

MICHEV, B., ZEHINDJIEV, P., MARINOV, M. P. AND LEICHTI, F. 2017. Relationship between the intensity of nocturnal migration measured by radar and the anthropogenic mortality of birds. Acta zoologica bulgarica 69 (2): 229-237. SJR:0.217, ISI IF:0.369 (*Приложение 1*).

**Статия 2:**

MICHEV, B., ZEHINDJIEV, P., MARINOV, M. P. AND ZLATANOV, T. 2020. Patterns of Bird Migration Defined by a Weather Radar at Part of the East European Flyway (*Via Pontica*). Acta zoologica bulgarica 72 (2): 263-277. SJR:0.21, ISI IF: 0.354 (*Приложение 2*).

**Постер:**

Автори. MICHEV, B., ZEHINDJIEV, P., MARINOV, M. P. „Study of bird migration using a meteorological radar.“. Втора национална конференция за млади учени “Биологически науки за по-добро бъдеще”, Пловдив, през октомври 2015 г.

**Списък на цитиранията на трудовете по темата на дисертацията**

Брой цитирани публикации:1.Брой цитиращи източници:5.  
MICHEV, B., ZEHINDJIEV, P., MARINOV, M. P. AND LEICHTI, F. 2017. RELATIONSHIP BETWEEN THE INTENSITY OF NOCTURNAL MIGRATION MEASURED BY RADAR AND THE ANTHROPOGENIC MORTALITY OF BIRDS. ACTA ZOOLOGICA BULGARICA 69 (2): 229-237. SJR:0.217, ISI IF:0.369

Цитира се в:

SILVA I., CRANE M. AND SAVINI T. 2020a. High roadkill rates in the Dong Phrayayen-Khao Yai World Heritage Site: 587 conservation implications of a rising threat to wildlife. - Anim Conserv: acv.12560.

- GRUYCHEV G. V. 2018. Animal Road Mortality (Aves & Mammalia) from the New Section of the Maritsa Highway (South Bulgaria). – *Ecologia Balkanica* 10(1): 11–18.
- WELTI N. 2017. Spatio-temporal variation in small carcass use in urban and rural areas: The effect of site characteristics and predictability. Master's Thesis. Swiss Ornithological Institute / University of Zurich
- CAPOTOSTIA S, SCACCOA M, NELLIC L, DELL'OMOA G. AND PANUCCIOA M. 2019. Hypatia-trackRadar: A software for animal tracking using marine surveillance radars- - *Ecological Informatics*, Volume 53, September 2019.
- GRUYCHEV G. V. AND ANGELOV E. E. 2018. Density of Grey Partridge (*Perdix perdix* Linnaeus, 1785) Population in Sakar Mountain (SE Bulgaria) and the Effect of Weather and Habitats. – *Ecologia Balkanica* 11(1): 51–62.

**Списък с участията в научни форуми с доклади и постери, отразяващи изследванията по дисертацията**

Участие с постер във Втората национална конференция за млади учени “Биологически науки за по-добро бъдеще” октомври 2015 г.; със заглавие – „Study of bird migration using a meteorological radar“.

Участие с доклад на Европейската мрежа за радарно наблюдение на движението на животните (ENRAM) - COST Акция № ES1305, Септември 2015 г., Утрехт, Нидерландия. „Correlation between weather radar and bird radar in Bulgaria“.

Участие с постер в Първата международна конференция по радарна аероекология „ Приложения и перспективи“, февруари 2017 г., Рим, Италия, със заглавие – „Bird target validation in doppler radar “Meteor 250” data from NE Bulgaria“.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Изказвам най-искрените си благодарности на проф. д-р Павел Зехтинджиев за цялостната помощ и подкрепа, която ми оказва по време на докторантурата. Благодарен съм на проф. д-н Майя Стойнева-Гертнер за помощта, подкрепата, за разбирането, търпението и безценните съвети. Безценна за мен бе помощта на проф. д-н Бойко Георгиев с неговите ценни предложения и препоръки, отзивчивостта и съдействието през целия период на докторантурата. Изказвам огромни благодарности на г-н Антони Коларов и г-жа Виктория Фитова от Държавно предприятие „Ръководство на въздушното движение“ (ДП РВД), за предоставените радарни данни и голямата помощ по време на тяхната обработка. Благодаря за подкрепата и за любезно предоставените данни от AES Geo Energy Wind Park St. Nikola. Благодаря на Европейската мрежа за Радарното наблюдение на движението на животните (ENRAM) за предоставеният софтуер, както и за тяхната ценна подкрепа и помощ. Благодаря на проф. д-р Вълко Бисерков, проф. д-р Златозар Боев, проф. д-р Цветан Златанов, д-р Мартин Маринов, д-р Невена Камбурова-Иванова, д-р Николай Коджабашев, д-р Теодора Теофилова, Кирил Бедев и за тяхната съпричастност, подкрепа и ценни съвети. Приятелско разбиране и подкрепа получих от всички колеги, с които работя в ИБЕР, за които им благодаря.

I am very grateful to Professor Felix Liechti for the valuable discussions, advice and support he gave me, as well as, for the great opportunity to visit Swiss Ornithological Institute.

Не на последно място искам да благодаря на своите родители, семейство и приятели, които са винаги до мен.

Настоящият докторат е подпомогнат с частична финансова помощ от проектите с ФНИ по договори ДН13/9 от 15.12.2017, КП-06-ОПР03/18 от 19.12.2018г. и КП-06-ОПР06/2 от 18.12.2018 г.

# **DEVELOPMENT AND APPLICATION OF RADAR METHODS FOR INVESTIGATION OF BIRD MIGRATION PARAMETERS OVER THE TERRITORY OF BULGARIA**

Boyan Tanev Michev

Institute of Biodiversity and Ecosystem Research, Bulgarian Academy of Sciences, 2 Gagarin Str., BG-1113, Sofia, Bulgaria

Supervisor: Prof. Pavel Zehindjiev, PhD

PhDThesis, 2021

The aim of the present study is to use radar methods to examine and outline the dynamics of bird migrations over the territory of Bulgaria in the short-term (daily and seasonal) and long-term (long-term) aspect and to indicate the possibilities for application of the obtained data. For the implementation of this goal, the following five tasks were set: 1) Following the 24-hours dynamics of bird migration; 2) Establishing the variations in the number of migrants on different days; 3) Establishing the variations in the number of migrants during the different seasons and within each migration season; 4) Following the long-term changes in the course of migrations; 5) Establishing the spatial characteristics of migrations - the main altitude zones and flight directions.

The investigation was based on X-band radar situated in Kaliakra protected area and C-band radar in the region of Varna town. The data set used, collected for four consecutive years, is divided into respective parts for autumn and spring migration, as well as day and night migration. Distributed by days, these are 478 days and nights in the spring and 623 days and nights in the autumn, or a total of 1101 days and nights from a four-year period (2014–2017).

Volumetric scanning (in the range of 5 to 25 km from the radar position) and radial velocity data of the objects were applied, thus determining the speed and direction of the moving targets, in this case birds. An algorithm for quantification of birds, developed and tested in a number of previous studies in Europe (Dokter et al.



2011), was applied. For data processing a language and environment for statistical calculations R (R Core Team) were used for analysis and visualization of biological signals from meteorological radars.

The obtained results were presented in a poster and were published and discussed in both articles, attached as appendices to the thesis:

MICHEV, B., ZEHTINDJIEV, P., MARINOV, M. P. AND LEICHTI, F. 2017. Relationship between the intensity of nocturnal migration measured by radar and the anthropogenic mortality of birds. *Acta zoologica bulgarica* 69 (2): 229-237. SJR:0.217, ISI IF:0.369.

MICHEV, B., ZEHTINDJIEV, P., MARINOV, M. P. AND ZLATANOV, T. 2020. Patterns of Bird Migration Defined by a Weather Radar at Part of the East European Flyway (*Via Pontica*). *Acta zoologica bulgarica* 72 (2): 263-277. SJR:0.21, ISI IF: 0.354.

MICHEV, B., ZEHTINDJIEV, P., MARINOV, M. P. „Study of bird migration using a meteorological radar

The results obtained on the quantitative characterization of the migration of birds over the territory of Bulgaria by data from meteorological radar allow to draw the following conclusions:

1. Radar data are a valuable and indispensable source of information in the study of the flight of birds over large areas, in a large spatial volume, in round-the-clock observations and differentiation of ecological groups depending on the characteristics of their flight;

2. The radar data of the State Enterprise "Air Traffic Management" (SE ATC) and BirdScan MS1 of the AES GeoEnergy wind farm are most suitable for conducting radar ornithological surveys and for creating a multi-year archive;

3. The intensity of the autumn migration in comparison with the spring one is greater, with the best demonstrated differences in the night migration;

4. The intensity of night migration compared to day migration is statistically significantly higher;

5. The number of migratory birds may vary significantly from year to year, with the highest numbers recorded in spring 2016 and autumn 2014;

6. The main migration flow is concentrated mainly in the zone up to 900 m above sea level;

7. Quantitative information on migration derived from radar data shall be appropriate for use in a monitoring and risk management system for the construction and operation of wind farms and for the security of civil and other flights

8. The species composition of birds killed by moving vehicles and the dynamics of road mortality corresponds to the established by radar flight class "Sparrow-like birds" and to the dynamics of their migration during the same time period;

9. Our radar studies confirm the thesis of Gordo (2007) and other authors about the role of temperature as an essential climatic factor for the phenology and characteristics of migrations;

10. Mortality from vehicles during the flight is among the main negative anthropogenic factors during migration, as the mortality is highest near the places of rest and feeding of birds, near roads. It is necessary to assess the risk of motor vehicles when creating management plans for protected species and for management plans for protected species and protected areas, and appropriate conservation measures can and should be applied to mitigate this factor.

In conclusion, it is possible to state that the conducted studies allowed to obtain a complete, complex picture of the spring (day and night) and autumn (day and night) migration in a key area of the migratory route of the birds *Via Pontica*.