



UNIVERSITATEA “BABEȘ-BOLYAI” CLUJ-NAPOCA
Facultatea de Biologie și Geologie
Departamentul de Taxonomie și Ecologie

Evaluarea vulnerabilității nișei ecologice la
***Pseudophilotes bavius hungarica* în raport cu utilizarea**
terenurilor și a schimbărilor climatice folosind tehnici GIS

Rezumatul tezei de doctorat

Doctorand:
Andrei CRIȘAN

Îndrumător științific:
Prof. Dr. László RÁKOSY

Cluj-Napoca, 2012

Cuprinsul rezumatului tezei

| | |
|---|----|
| Introducere | 2 |
| Scopul și obiectivele | 2 |
| Capitolul 1. Studiu morfologic, biologic, ecologic și dinamica populațională a taxonului <i>Pseudophilotes bavius hungarica</i> | 3 |
| 1.1. Descrierea zonei de studiu | 4 |
| 1.2. Materiale și metode | 4 |
| 1.3. Aspecte de morfologie | 5 |
| 1.4. Aspecte de dinamică populațională | 7 |
| Capitolul 2. Măsuri de protecție și conservare pentru <i>P. bavius hungarica</i> la Suatu, Cluj | 8 |
| Capitolul 3. Evaluarea vulnerabilității nișei ecologice la <i>P. bavius hungarica</i> în raport cu utilizarea terenurilor și a schimbărilor climatice folosind tehnici GIS | 10 |
| 3.1. Modelarea habitatelor potențiale prin suprapunerea rasterelor și a vectorilor (Overlay) | 11 |
| 3.1.1. Harta distribuției habitatelor potențiale actuale | 11 |
| 3.1.2. Harta distribuției habitatelor potențiale pentru anul 2050 | 12 |
| 3.1.3. Rezultate | 14 |
| 3.2. Modelarea habitatelor potențiale folosind Maxent | 19 |
| 3.2.1. Harta distribuției habitatelor potențiale actuale | 19 |
| 3.2.2. Harta distribuției habitatelor potențiale pentru anul 2050 | 20 |
| 3.2.3. Rezultate | 20 |
| Considerații finale | 22 |
| Bibliografie selectivă | 24 |
| Lista publicațiilor | 31 |
| Mulțumiri | 33 |

Cuvinte cheie: *Pseudophilotes bavius hungarica*, morfologie, ecologie, dinamică populațională, conservare, vulnerabilitate, GIS, distribuția habitatelor potențiale, schimbări climatice, utilizarea terenurilor, fragmentarea și izolarea habitatelor, Maxent

Introducere

Pseudophilotes bavius hungarica este o subspecie endemică pentru Transilvania care a fost descrisă pentru prima dată de către Diószeghy în anul 1913. *P. bavius* figurează pe anexele Directivei 92/43/EEC referitoare la conservarea habitatelor naturale și a faunei și florei sălbatice (II and IV), Lista Roșie a Fluturilor Europeni (van Swaay *et al.* 2010), și în legislația națională (OUG nr. 57/2007 aprobată cu modificări de către Legea 49/2011, privind regimul ariilor naturale protejate, conservarea habitatelor naturale, a florei și faunei sălbatice), și Lista Roșie a Fluturilor din România (EN) (Rákosy 2002).

Numele *Pseudophilotes bavius hungaricus* a fost deseori folosit în mod eronat în literatură (Higgins & Riley, 1970, 1978; Rákosy *et al.* 2003, Tolman & Lewington 2008 ș.a.). Dorim să accentuăm faptul că numele corect al taxonului este *Pseudophilotes bavius hungarica*.

Scopul și obiectivele

Ne-am propus evaluarea vulnerabilității nișei ecologice la *P. bavius hungarica* în raport cu utilizarea terenurilor și a schimbărilor climatice folosind tehnici GIS.

Un prim obiectiv a fost caracterizarea ecologică a taxonului studiat (Partea I). Studiul bibliografic a fost completat de un studiu de Capturare-Marcare-Recapturare (MRR – Mark-Release-Recapture) la Suatu pentru obținerea informațiilor referitoare la estimarea mărimii populației, dinamica populațională, durata medie de viață etc. Analiza a depășit dimensiunea ecologică și au fost înregistrate și observații care țin de morfologia și biologia subspeciei, care ulterior au fost sintetizate și transformate într-un articol (Crișan *et al.* 2011) (Capitolul 1.).

În Capitolul 2. ne-am propus să dezvoltăm aspectele referitoare la conservarea acestui valoros taxon endemic din Transilvania. Partea teoretică am îmbinat-o cu cea practică, demarând procedurile legale pentru realizarea unui coridor ecologic pentru *P. bavius hungarica* la Suatu.

În a doua parte a tezei am dezvoltat o modelare GIS pentru identificarea habitatelor potențiale la *P. bavius hungarica* pornind de la datele de prezență certă cunoscute și un set de variabile de mediu (altitudine, expoziție, pantă, utilizarea terenurilor etc.). Apoi, folosind diferite scenarii climatice și de utilizare a terenurilor am realizat încă o dată modelarea distribuției subspeciei *P. bavius hungarica* cu principalul scop de a evidenția modificările habitatelor potențiale în timp. În acest fel a fost pusă în evidență vulnerabilitatea taxonului în special la izolare ca urmare a restrângerii și fragmentării habitatelor.

Un alt scop a fost realizarea unei tehnici reproductibile care să poată fi aplicată și la alte specii rare sau periclitate pentru evaluarea impactului schimbărilor condițiilor de mediu asupra habitatelor speciilor, la nivelul României.

1. Studiu de morfologie, biologie, ecologie și dinamică populațională a taxonului *Pseudophilotes bavius hungarica*

Date referitoare la morfologia și biologia taxonului *P. bavius hungarica* au fost furnizate de König (1992) și Jutzeler *et al.* (1997), dar incomplete, cu mai puține detalii decât cele prezentate în lucrarea de față. Albăstrelul transilvan așa cum a fost denumit de Rákosy (Kovács *et al.* 2001) poate fi găsit doar în zonele cu vegetație stepică și unde este prezentă planta gazdă *Salvia nutans*.

Una dintre cele mai viguroase populații cunoscute ale acestui taxon este localizată în județul Cluj, comuna Suatu (în interiorul și împrejurimile rezervației naturale botanice: Suatu I) (Fig. 1).

Cea mai mare parte a studiului acestui taxon s-a desfășurat în acest areal, dar observații referitoare la stadiul larvar și cel de pupă au mai fost realizate și la Valea Florilor (Sit de Importanță Comunitară: ROSCI0238 Suatu-Cojocna-Crairât și ROSPA0113 Cânepiști) și la Bărâi (Sit de Importanță Comunitară: ROSCI0099 Lacul Știucilor-Sic-Puini-Bonțida), ambele din județul Cluj.



Fig. 1. Terase cu *S. nutans* la Suatu

Studiul asupra stadiilor de dezvoltare preimaginale și al adulților s-a realizat atât în teren cât și în laborator, în perioada 15 aprilie – 15 iunie 2010 și 2011. În aceeași perioadă au fost de asemenea înregistrate: baza trofică, intensitatea zborului, preferințele femelelor pentru ovipozitare, fenologia și densitatea plantei gazdă, precum și valorile principalilor parametri meteorologici. Au fost aduse și crescute în laborator 27 de larve (împreună cu plantele gazdă și cuiburile de furnici din imediata vecinătate în ghivece).

1.1. Descrierea zonei de studiu

Folosința tradițională a terenului sub forma pășunatului extensiv o perioadă de cca. 25-30 de ani pe întreg frontul de cuestă, care cuprinde rezervația de la Suatu I a permis o succesiune ecologică naturală de la culturi agricole (viță de vie) la vegetație stepică.

Managementul inițial al rezervației prevedea cosiri târzii de toamnă mozaicate și pășunat extensiv, dar care în ultimele decade nu au mai fost puse în practică, astfel încât habitatele cunosc în prezent un proces de degradare tradus în special prin dezvoltarea pâlcurilor de arbuști (Mihuț *et al.* 2001, Cremene *et al.* 2005, Baur *et al.* 2006, Enyedi *et al.* 2008, Rákosy 2011). Pentru stabilizarea versanților mai abrupti, în urmă cu cca. 25 de ani s-au efectuat plantații de *Robinia pseudoacacia* în zonele adiacente rezervației.

1.2. Materiale și metode

Au fost delimitate două perimetre cu suprafețe egale subdivizate fiecare în 12 parcele cu latura de 25 de m în care densitatea de *S. nutans* era maximă.

Una dintre parcele se află în cadrul rezervației naturale, cealaltă pe terasele viticole necultivate de cca. 30-35 ani (Fig. 1) distanța dintre ele este de cca. 1 km. Parcelele sunt parțial izolate printr-un brâu de tufărișuri dominate de *R. pseudoacacia*.

S-a folosit metoda “capturare-marcare-recapturare” (MRR) pentru estimarea mărimii populației, duratei de viață, structura pe sexe, precum și distanța de zbor a indivizilor aparținând populației de *P. bavius hungarica* de la Suatu.

În anul 2010 studiul de MRR s-a desfășurat în perioada 23 aprilie – 11 mai, de la apariția primilor indivizi, până la sfârșitul perioadei de zbor. Pentru fiecare individ s-a înregistrat sexul, ora și locul unde a fost capturat, precum și unele observații referitoare la activitatea premergătoare capturării.

Pentru estimarea distanței medii zilnice de zbor s-a calculat media aritmetică a segmentelor determinate de punctele de capturare, respectiv recapturare a indivizilor (diferențiat pentru masculi și femele) și s-a împărțit la numărul de zile scurse între cele 2 momente (Billeter *et al.* 2003). Analiza statistică a datelor referitoare la distanța de zbor a fost realizată cu aplicația StatView pour Windows 5.0 (<http://www.statview.com>).

Folosind programul ArcMap, pe baza ortofotoplanului aferent anului 2004, a fost posibilă calcularea suprafeței acoperită de tufărișuri. Folosind aplicația Google Earth, deoarece imaginile pentru zona de la Suatu au fost actualizate în septembrie 2009, s-a calculat din nou suprafața acoperită de tufărișuri. În acest fel s-a pus în evidență extinderea tufărișurilor în cinci ani (Fig. 2).

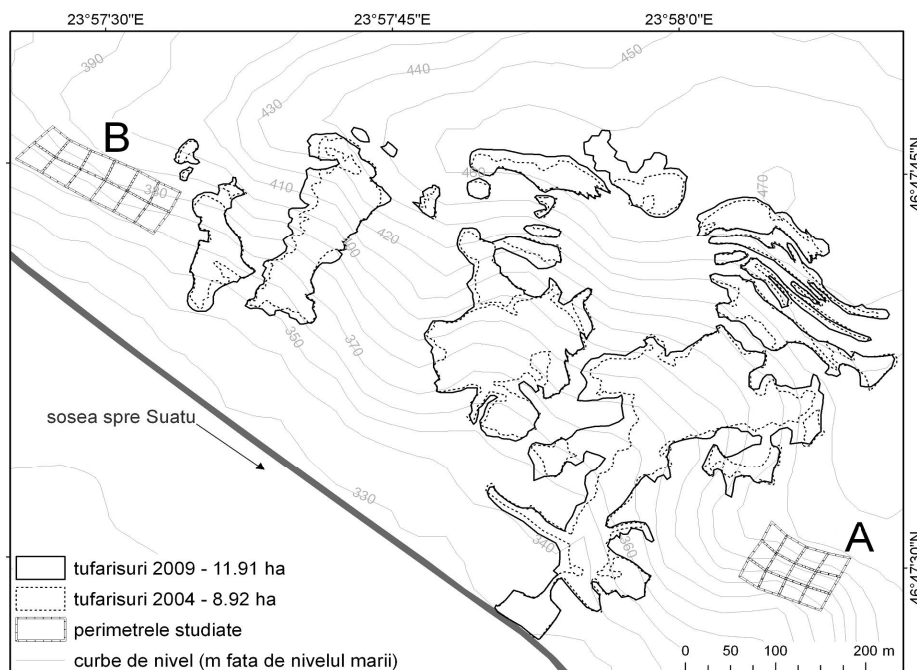


Fig. 2. Evoluția suprafețelor acoperite de pădure/tufărișuri dintre perimetrele de studiu de la Suatu (2004 - linie punctată, 2009 – linie continuă)

1.3. Aspecte de morfologie¹

Pentru o descriere cât mai exactă a taxonului au fost realizate fotografiile detaliate (macro și cu microscopul electronic de tip scanning) la ou, larvă, pupă și adult (Fig. 3).

¹ Aspectele de morfologie și biologie cuprinse în acest capitol stau la baza articolului: Crișan A., Sitar C., Craioveanu C., Rákósy L. 2011. The Protected Transylvanian Blue (*Pseudophilotes bavius hungarica*): new information on the morphology and biology. *Nota lepidopterologica* 34(2):163-168.

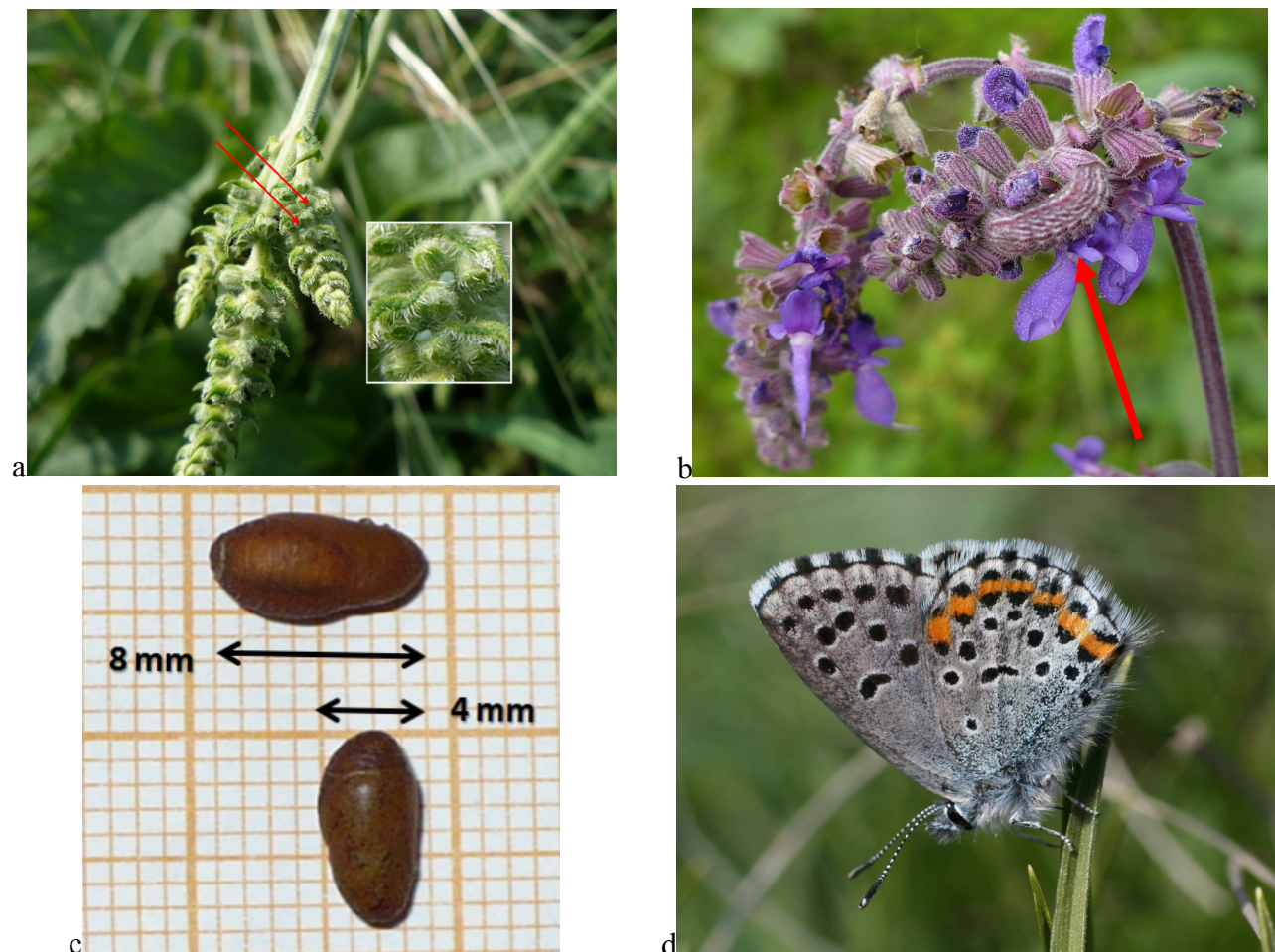


Fig. 3. Ou (a), larvă (b), pupă (c) și adult (d – foto: Rákosy) de *P. bavius hungarica*

Perioada de zbor a adulților începe spre sfârșitul lunii aprilie, dar în funcție de particularitățile climatice ale fiecărui an poate varia semnificativ (Fig. 4).

| | ian | feb | mar | apr | mai | iun | iul | aug | sept | oct | nov | dec |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| adult | | | | ■ | ■ | | | | | | | |
| ou | | | | ■ | ■ | | | | | | | |
| larvă | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| pupă | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

Fig. 4. Ciclul de viață la *P. bavius hungarica*

Observațiile noastre de teren au confirmat următoarele plante ca bază trofică pentru adulții de *P. bavius hungarica*: *Veronica prostrata* (Scrophulariaceae), *Fragaria viridis* (Rosaceae), *Thymus marschallianus* (Labiatae) și *Euphorbia seguieriana* (Euphorbiaceae) (Crișan *et al.* 2011).

1.4. Aspecte de dinamică populațională

Pentru studiul de față au fost evaluate două colonii din cadrul populației de *P. bavius hungarica* de la Suatu, pentru fiecare dintre ele s-a evaluat mărimea, structura pe sexe și durata medie de viață a indivizilor. De asemenea s-a urmărit efectul diferitelor tipuri de folosință a terenului asupra populației acestui fluture (Schmitt & Rákosy 2007): arie naturală protejată fără nicio intervenție antropică și terasele cultivate în anul 1962 cu viță de vie, dar care în prezent sunt pășunate extensiv (Șuteu 2002, Rákosy 2011). Un alt parametru deosebit de important pentru studiul de față l-a constituit calculul distanței medii/maxime de zbor pentru indivizii acestui taxon.

În cadrul studiului de Marcare-Recapturare desfășurat în aprilie-mai 2010 s-au obținut următoarele rezultate:

În perimetrul din interiorul rezervației (A) au fost capturați 147 de indivizi, din care 74 masculi și 73 femele. Au fost recapturați 12 indivizi (<10%), din care 9 masculi și 3 femele.

În perimetrul din afara rezervației (B) au fost marcați 331 de indivizi, din care 119 masculi și 212 femele. Au fost recapturați 117 indivizi (>35%), din care 37 masculi, respectiv 80 de femele. 37 de indivizi din care 17 masculi și 20 de femele (cca. 11%) au fost recapturați de două sau mai multe ori.

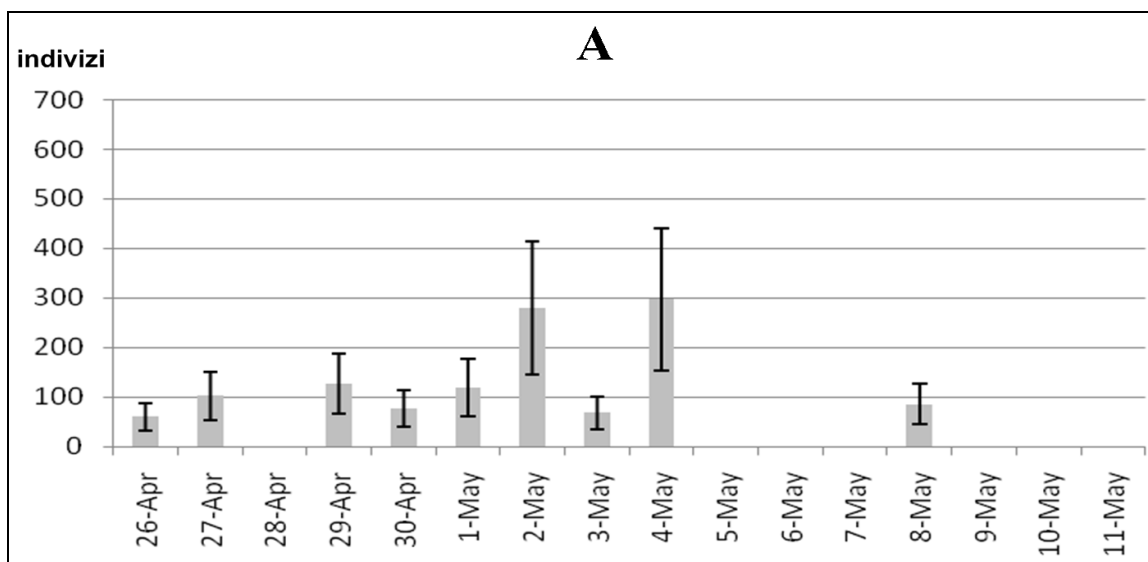


Fig. 5. Numărul de indivizi de *P. bavius hungarica* estimați în rezervația naturală botanică (A)

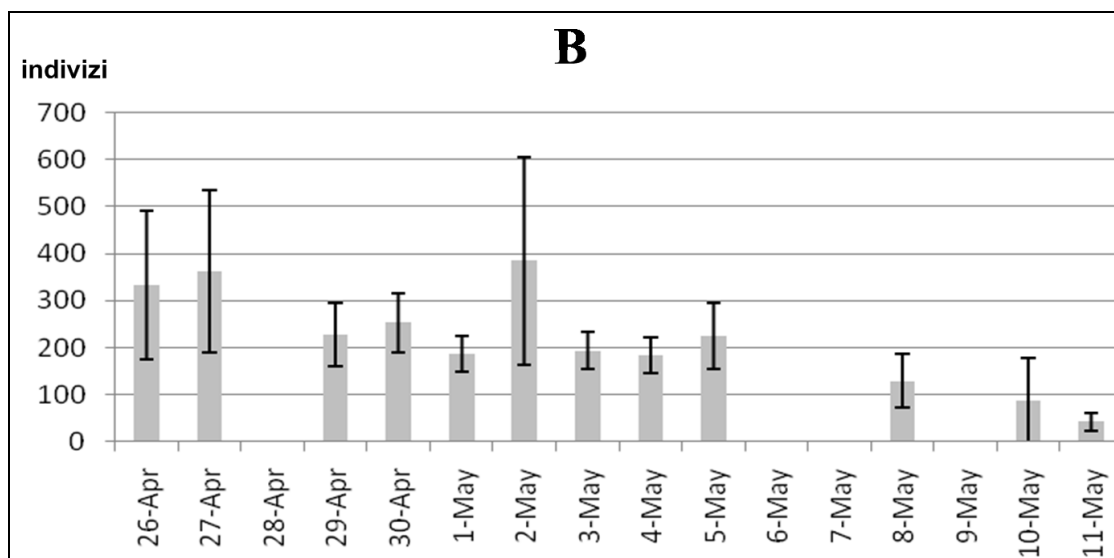


Fig. 6. Numărul de indivizi de *P. bavius hungarica* estimați în cadrul B (fostele terase viticole)

Pentru cadrul din rezervație (A) s-a estimat o populație de cca. 661 indivizi (Fig. 5), și o durată de viață de cca. 2.4 zile. Durata maximă de viață înregistrată la un individ (femelă) a fost de 5 zile. Pentru cadrul B s-a estimat o populație de cca. 1019 indivizi (Fig. 6), și o durată de viață medie de cca. 3 zile. Durata maximă de viață înregistrată la un individ (mascul) a fost 12 zile.

Media distanței zilnice de zbor pentru indivizii de *P. bavius hungarica* a fost de 31 m pentru masculi și 29 m pentru femele (Tabel 2). Au fost înregistrate 2 excepții: o femelă marcată în perimetrul B a fost recapturată în rezervație (A) după 5 zile (cca. 167 m/zi), și un mascul marcat în perimetrul A a fost recapturat în extremitatea vestică a perimetrului B după 4 zile (cca. 200 m/zi).

În prezent vegetația arbustivă, dominată de *R. pseudoacacia* și completată de specii precum *Crataegus monogyna*, *Prunus spinosa*, *Rosa canina* se extinde, formând o barieră între cele 2 colonii de *P. bavius hungarica* studiate. Dacă în 2004 tufărișurile ocupau 8.92 ha, după 5 ani, în 2009 acopereau deja 11.91 ha (creștere de cca. 30%) (Fig. 23).

2. Măsuri de protecție și conservare pentru *P. bavius hungarica* la Suatu, Cluj

Degradarea structurilor de habitat și mai ales compactarea vegetației prin dominarea speciilor de graminee (*Brachypodium* sp. și *Carex* sp.) în detrimentul *S. nutans* se datorează lipsei oricărui management în rezervație (Enyedi *et al.* 2008, Rákosy 2011). Ca urmare a degradării habitatului din perimetrul rezervației, efectivul populațional de *P. bavius hungarica* a scăzut mult chiar și în anii cu

densități populaționale maxime. Foarte probabil degradarea habitatului a dus și la o scădere a resurselor disponibile de hrană, inducând la rândul ei o scădere progresivă a mărimii populației (Kudrna 1986, Ausden 2007, Dover *et al.* 2011).

Dacă înainte de anul 1990 rezervația era supusă unui pășunat extensiv, ocazional cu 2-3 vaci și o cosire totală sau parțială în luna august, ulterior aceste măsuri au fost eliminate, rezervația fiind parțial îngrădită după anul 2000, accesul animalelor fiind complet interzis (Rákosy 2011).

Cu toate că cele 2 colonii sunt parțial izolate de un brâu compact de tufărișuri dominate de *R. pseudoacacia* care se extinde, a fost identificat un coridor situat aproape de vârful dealului, unde au fost observați mai mulți indivizi de *P. bavius hungarica*. Pentru restabilirea contactului se impune străpungerea brâului de tufărișuri și menținerea coridorului de pasaj (Fig. 7).

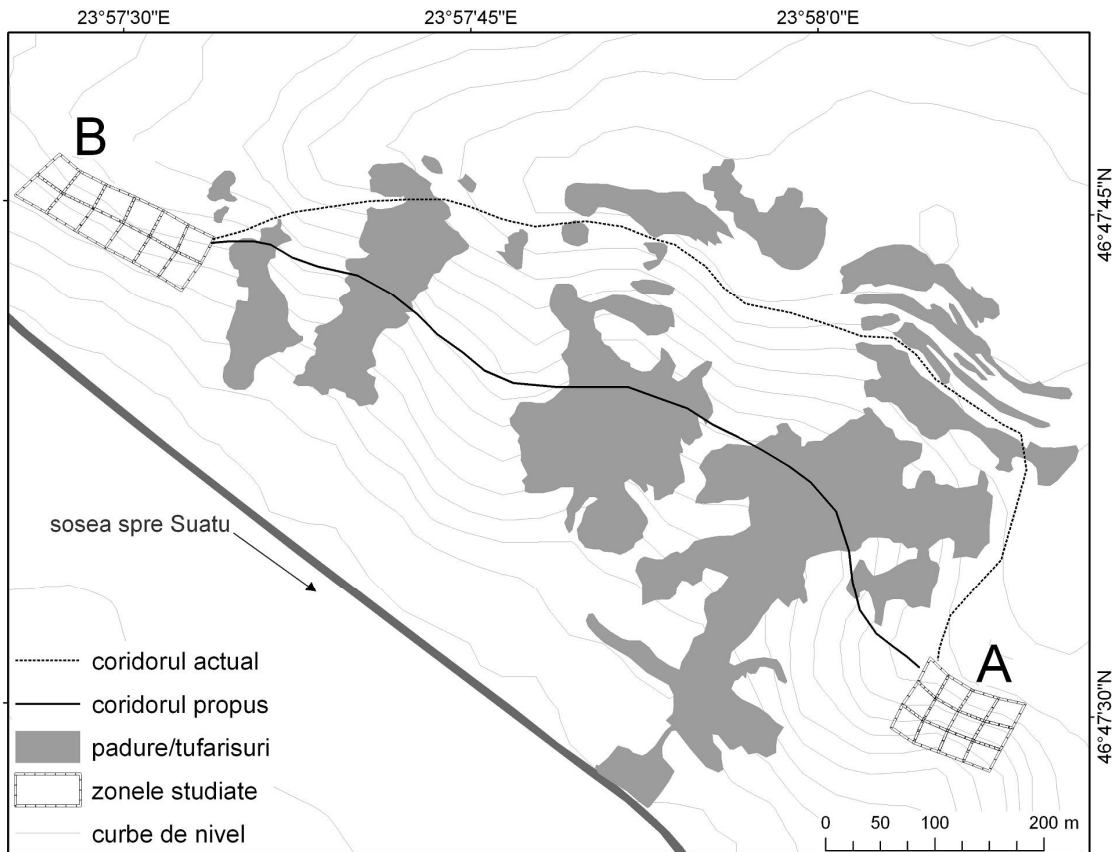


Fig. 7. Hartă schematică a coridorului actual folosit de indivizii *P. bavius hungarica* (linia punctată) și coridorul propus (linia continuă).

Populațiile mici cu distanțe scurte de zbor sugerează o capacitate redusă de migrare, cum de altfel a mai fost pusă în evidență și la alte specii aparținând familiei Lycaenidae sau chiar a genului *Pseudophilotes* (Lewis *et al.* 1997, Gutierrez *et al.* 1999, Hanski *et al.* 2000, James *et al.* 2003). Distribuția acestui

taxon este restricționată, așa cum s-a mai amintit de prezența plantei gazdă *S. nutans*.

Măsuri de protecție și conservare sugerate:

- Cosirea alternativă la începutul lunii august pe aproximativ 30% din suprafața ariei naturale protejate, sau pășunarea extensivă (pentru 2-3 luni) cu 3-4 vite (în special pe suprafețele cu o pantă mai puțin accentuată);

- Fragmentarea sau îndepărtarea totală a brâului de *R. pseudoacacia* care obstrucționează fluxul de gene dintre cele două colonii;

- Includerea aspectelor menționate anterior în regulamentul, respectiv planul de management integrat al sitului ROSCI0238 Suatu – Cojocna – Crairât.

3. Evaluarea vulnerabilității nișei ecologice la *Pseudophilotes bavius hungarica* în raport cu utilizarea terenurilor și a schimbărilor climatice folosind tehnici GIS

Evaluarea vulnerabilității nișei ecologice pentru o specie, în special pentru una periclitată cum este *P. bavius hungarica* (Rákosy 2002), reprezintă unul din primii pași în vederea propunerii unor măsuri eficiente de protecție a ei.

Cu toate că s-au formulat o serie întregă de definiții pentru conceptul de nișă ecologică, Pulliam (2000) și Guisan & Zimmermann (2000) consideră că cea dată de G. Evelyn Hutchinson în anul 1957 este încă potrivită. Așadar, prin nișă ecologică vom înțelege un hipervolum n-dimensional în care fiecare punct corespunde unei stări de mediu care permite unei specii să existe un termen nedefinit.

Cunoașterea biologiei și ecologiei taxonului pentru toate stadiile de dezvoltare: adult, ou, larvă, pupă este deci vitală pentru evaluarea vulnerabilității nișei ecologice (Araújo & Guisan 2006) și în mod evident pentru etapa propunerii acțiunilor de conservare necesare.

Având în vedere faptul că, (cel puțin o parte din) populațiile de *P. bavius hungarica* din Câmpia Transilvaniei funcționează ca o metapopulație este deosebit de important de studiat posibilitățile de schimb de gene dintre ele. Practic soarta populației ca întreg depinde de structura și dinamica metapopulației (Pulliam 1991, Thomas 1994, Lacher 1998, Hanski *et al.* 2000, Summerville & Crist 2000, Santana *et al.* 2011). Modelarea a inclus și etapa realizării hărții de distribuție potențială a taxonului studiat. Modelele de distribuție a speciilor (Species Distribution Models - SDMs) sunt folosite pe scară largă în biogeografie și conservarea biologică ca metode de proiectare a distribuției potențiale a speciilor sau evaluarea impactului recentelor schimbări climatice asupra răspândirii lor, pentru diferite orizonturi de timp (Guisan & Zimmermann 2000,

Raxworthy *et al.* 2003, Thuiller 2004, Guisan & Thuiller 2005; Lütolf *et al.* 2006, Pearson *et al.* 2006; Raes & ter Steege 2007; Diniz-Filho *et al.* 2009, Gherghel *et al.* 2009, Hartel *et al.* 2010a ș.a.). Asemenea modele sunt bazate pe o corelație statistică între datele referitoare la distribuția observată a unei specii și o serie de parametri de mediu relevanți (Schweiger 2010). Așadar relația strânsă dintre ocurența unei specii și diferitele variabile de mediu permite proiectarea distribuției potențiale într-un anumit spațiu geografic (Luoto *et al.* 2002, Phillips *et al.* 2006).

Trebuie menționat că atât dimensiunea fișierelor (care deseori depășesc dimensiunea de 1 GB), cât mai ales operațiile aferente modelărilor GIS (care necesită un efort computațional considerabil) impun ca tehnica de calcul folosită să fie una performantă (Peterson 2003, Reginster *et al.* 2010).

Chiar dacă sunt prezentate separat, modelările habitatelor potențiale (cea realizată prin suprapunerea rasterelor și a vectorilor și cea pentru care s-a utilizat Maxent) au fost efectuate în paralel.

3.1. Modelarea habitatelor potențiale prin suprapunerea rasterelor și a vectorilor (Overlay)

3.1.1. Harta distribuției habitatelor potențiale actuale

Pentru realizarea hărții de distribuție potențială la *P. bavius hungarica* au fost parcurse următoarele etape:

- S-au editat toate locațiile cunoscute (prezență certă) a populațiilor de *P. bavius hungarica* din Câmpia Transilvaniei. În vederea asigurării preciziei necesare modelării, marcarea punctelor s-a bazat pe coordonatele GPS (GPS Map 60 CSx, colectate pe teren), sau pe localizarea pe o hartă topografică detaliată (1:25000). În urma investigațiilor de teren din anul 2011 s-au adăugat o serie de puncte noi la cele cunoscute până în prezent: Gădălin, Băraii, Geaca și Valea Florilor. Având în vedere că analiza s-a realizat la scara de 100x100 m, nu s-a permis ca într-o celulă de 1 ha să existe mai mult de o singură înregistrare (Lütolf *et al.* 2009), astfel că dintr-un total de 63 de puncte inițiale au rămas 47 de înregistrări.

- Au fost pregătite “straturi tematice” (tematic layers) pentru modelarea propriu zisă:

1. **Modelul digital de elevație** (Digital Elevation Model - DEM) realizat pe baza rezultatelor obținute de: “The Shuttle Radar Topography Mission”, versiunea 4.1 (<http://srtm.csi.cgiar.org>), cu rezoluția de 90 m.

2. **Harta folosinței terenurilor** cu rezoluția de 100 metri de la Agenția Europeană de Mediu – “Corine Land Cover 2006” versiunea 13 (<http://www.eea.europa.eu/>).

3. **Hărți ale celor mai importante variabile bioclimatice** descărcate de la WorldClim – Global Climate Data (Hijmans *et al.* 2005, <http://www.worldclim.org/>) – 19 variabile bioclimatice pentru situația actuală.

- În ArcMap au fost încărcate: fișierul vector de tip punct (.shp) cu localizarea populațiilor cunoscute de *P. bavius hungarica*, Modelul digital de elevație (DEM), harta folosinței terenurilor (CLC) și variabilele bioclimatice. Au fost extrase valorile aferente fiecărui parametru (predictor) pentru toate punctele de prezență certă cunoscute.

- S-au sintetizat datele din fișierele rezultate și s-a întocmit un tabel cu valorile tuturor parametrilor folosiți în modelare.

- Folosind programul SPSS 16 a fost realizat o analiză referitoare la corelațiile dintre predictorii și fenomenul de prezență/absență, corelații dintre predictorii, regresie GLM pentru stabilirea predictorilor cu cea mai mare importanță în distribuția taxonului.

- Pe baza informațiilor obținute în etapa anterioară au fost desemnate intervalele reprezentative, respectiv valorile necesare pentru fiecare din parametrii folosiți în modelare. Pentru expoziție s-a folosit intervalul 135⁰-260⁰, respectiv SSE-S-SV. Pentru înclinația versanților s-a folosit intervalul 7,5⁰-20⁰. Au fost selectate următoarele clase de folosință a terenurilor: 221 – terenuri cultivate cu viță de vie, 231 – pășuni, 243 – teren cu funcție preponderent agricolă dar cu un procent ridicat de vegetație naturală („Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation”), 333 – zone cu vegetație slabă/săracă („sparsely vegetated areas”). Pentru BIO3 s-au folosit clasele: 31-33. Pentru precipitațiile celei mai uscate luni s-a folosit intervalul 26-28 mm.

- S-a creat un model care pe baza hărților pregătite în etapa anterioară, prin înmulțire (suprapunere) a realizat Harta distribuției habitatelor potențiale actuale pentru *P. bavius hungarica* (Fig. 8). Operațiile incluse în model pot fi rulate independent, dar au fost integrate astfel pentru a permite gestionarea lor ulterioară cu o mai mare ușurință.

3.1.2. Harta distribuției habitatelor potențiale pentru anul 2050

Pentru realizarea prognozei habitatelor potențiale la *P. bavius hungarica* pentru diferite orizonturi de timp și diferite scenarii, în primul rând a fost nevoie de pregătirea straturilor tematice adecvate.

În ce privește utilizarea terenurilor au fost elaborate 2 scenarii. S-a dorit cuantificarea modificărilor suprafeței și structurii habitatelor potențiale la *P. bavius hungarica* în condițiile de abandon al terenurilor (creșterea suprafețelor acoperite de tufărișuri), respectiv de intensificare a agriculturii (extinderea suprafețelor de teren arabil).

Pentru fiecare din ele a fost creat câte un model în ArcGIS care pe baza unor fișiere vector (poligon) derivate din harta folosinței terenurilor (CLC 2006) și a unor parametri introduși de utilizator, a realizat Harta folosinței terenurilor conform scenariilor propuse. Apoi, la fel ca pentru situația actuală, prin înmulțire (suprapunere) s-a realizat Harta distribuției habitatelor potențiale pentru *P. bavius hungarica* (scenariul pentru anul 2050).

Pentru a pune în evidență fragmentarea habitatelor s-au calculat distanțele existente între fiecare parcelă și cea mai apropiată parcelă învecinată (distanța dintre punctele centrale ale habitatelor). Această metodă este citată în literatură (Bender *et al.* 2003, Santana *et al.* 2011 ș.a.), cu precizarea că relevanța ei scade pe măsură ce valoarea indicelui de neregularitate/alungire a parcelelor analizate crește. Așadar, atât pentru situația prezentă cât și pentru fiecare scenariu, a fost evaluată mai întâi forma parcelelor pe baza raportului perimetru/arie corectat (CPA), care oferă indicații privind gradul de alungire în raport cu cercul de aceeași arie (Austin 1984, Gafta 2002). Formula folosită pentru calculul CPA a fost:

$$CPA = P / (2\pi \sqrt{A/\pi})$$

unde P-perimetrul și A-aria parcelelor cu habitate adecvate pentru *P. bavius hungarica*. Cu cât valoarea CPA este mai mare decât 1 cu atât forma parcelei este mai alungită/neregulată, cu un efect de margine mai pronunțat (Gafta 2002).

Având în vedere faptul că parcelele cu habitate potențiale adecvate pentru *P. bavius hungarica* prezintă valoare moderată a CPA (indice de alungire/neregularitate), distanța dintre centrele poligoanelor este un indicator relevant (Bender *et al.* 2003):

Pentru studiul fragmentării habitatelor s-a utilizat suplimentar și metoda „buffer area” (Bender *et al.* 2003) care presupune crearea unei zone tampon în jurul fiecărei parcele echivalentă cu distanța pe care teoretic un individ de *P. bavius hungarica* o poate parcurge pe durata existenței sale (distanța zilnică de zbor * durata medie de viață (număr de zile)) și apoi calcularea interconectivității parcelelor. Pentru calcul distanței s-a considerat maximul distanței zilnice de zbor (200 m) și durata medie de viață (3 zile), astfel s-a obținut valoarea de 600 m. A fost creată, așadar o zonă tampon (buffer) în jurul fiecărui habitat potențial de 300 m. Apoi s-a verificat câte habitate au devenit în acest fel interconectate (Fig 13).

Trei din habitatele potențiale pentru *P. bavius hungarica* evidențiate în urma modelării au fost testate în teren, în sezonul 2011, iar în două din ele s-a confirmat prezența speciei.

Fiind vorba totuși de un model este de așteptat ca o parte din habitatele rezultate să nu prezinte corespondent real în teren. Este cunoscut faptul că incertitudinile asociate modelării nu pot fi eliminate, ci doar minimizate (Zimmermann 2004, Rocchini *et al.* 2011). Dintre aspectele care nu au fost integrate în model și care pot constitui surse (considerabile) de incertitudini/erori amintim: cuvertura edafică (în strânsă legătură cu suportul geologic) (Coudun *et al.* 2006, Titeux *et al.* 2009), suprapășunarea, extinderea tufărișurilor (Schmitt & Rákósy 2007, Enyedi *et al.* 2008), incendierea pajiștilor (Dincă *et al.* 2011).

Cu toate acestea, modelarea constituie un instrument important în identificarea zonelor care pot adăposti populații de *P. bavius hungarica*.

3.1.3. Rezultate

Au rezultat o serie de hărți cu distribuția habitatelor potențiale la *P. bavius hungarica*:

- Situația prezentă (Fig 8);
- Situația prognozată conform scenariului de extindere a suprafețelor acoperite de tufărișuri cu cca. 300%, pentru anul 2050 (Fig 9);
- Situația prognozată conform scenariului de extindere a suprafețelor arabile cu cca. 300%, pentru anul 2050 (Fig 10).

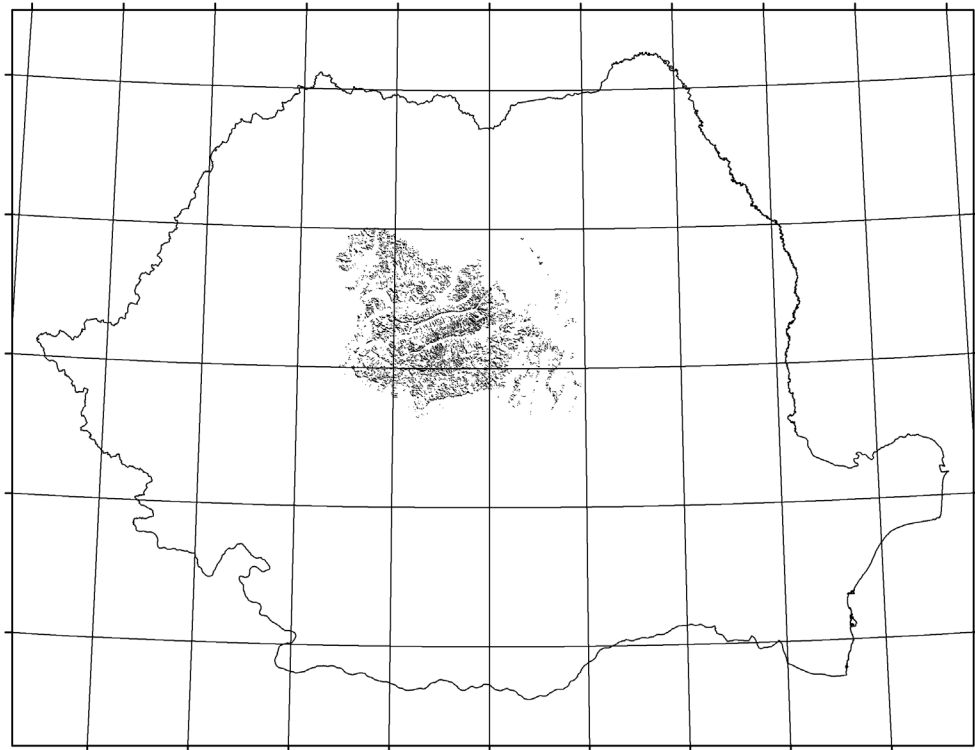


Fig. 8. Harta distribuției habitatelor potențiale actuale pentru *P. bavius hungarica*

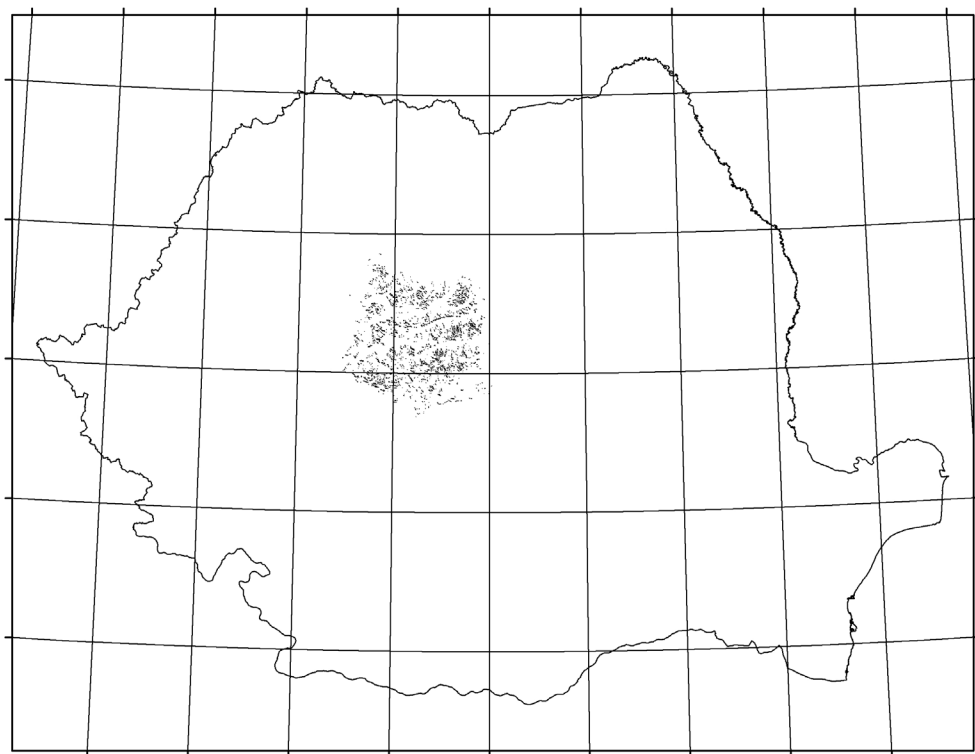


Fig. 9. Harta distribuției habitatelor potențiale din anul 2050 pentru *P. bavius hungarica* conform scenariului de abandon al terenurilor (extindere tufărișuri)

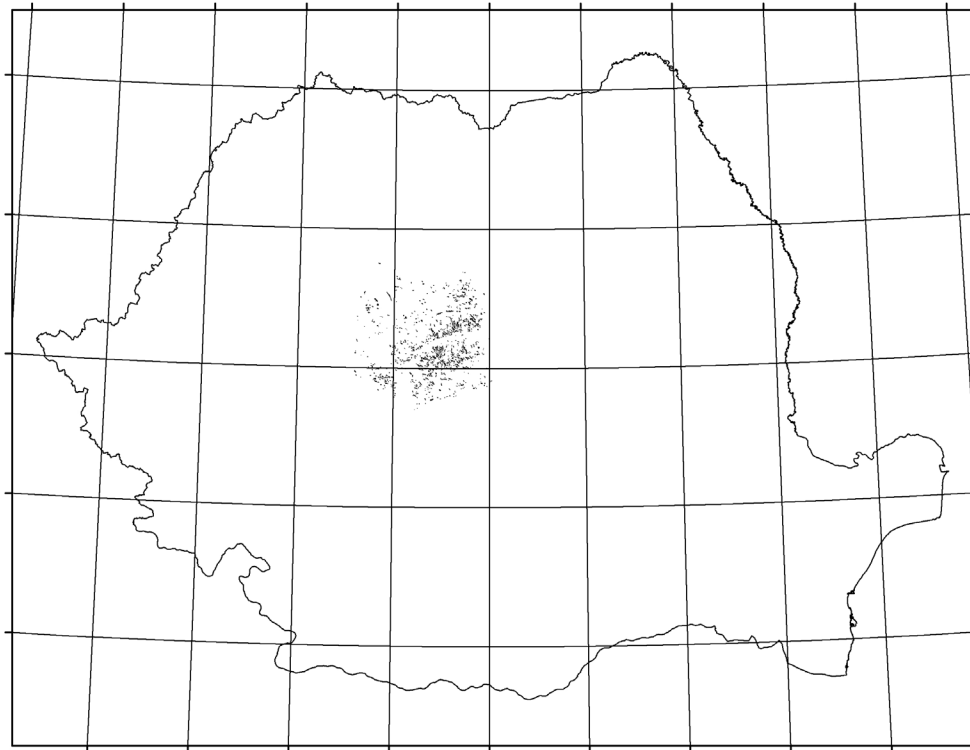


Fig. 10. Harta distribuției habitatelor potențiale din anul 2050 pentru *P. bavius hungarica* conform scenariului de intensificare a agriculturii (extindere terenuri arabile)

Numărul parcelelor cu habitate potențiale pentru *P. bavius hungarica* a scăzut de la 9732 câte sunt în prezent la 3231, conform celui mai pesimist scenariu de extindere al tufărișurilor (anul 2050), respectiv la 1986 conform celui mai pesimist scenariu de extindere al terenurilor arabile (anul 2050).

Suprafața habitatelor potențiale pentru *P. bavius hungarica* a scăzut de asemenea de la 87934 ha (9.04 ha/parcelă) cât este în prezent, la 26822 ha (8.30 ha/parcelă) conform celui mai pesimist scenariu de extindere al tufărișurilor (anul 2050) (Fig. 11), respectiv la 14563 ha (7.33 ha/parcelă) conform celui mai pesimist scenariu de extindere al terenurilor arabile (anul 2050) (Fig. 12).

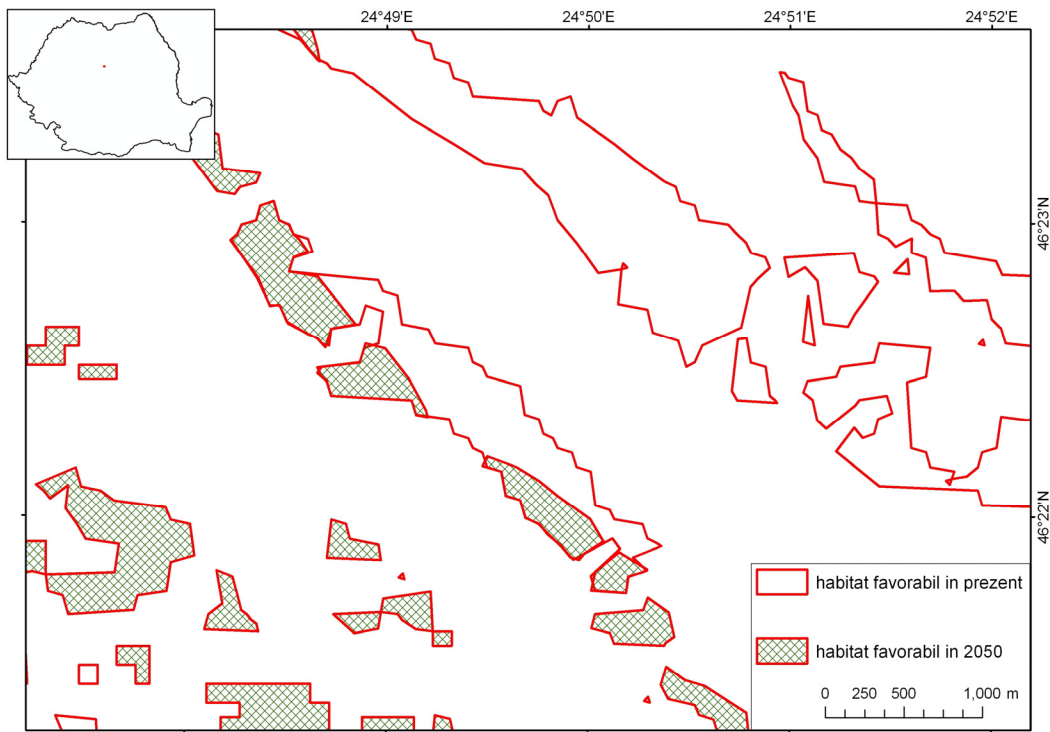


Fig. 11. Exemplificarea rezultatului modelării habitatelor potențiale pentru *P. bavius hungarica* conform scenariului de extindere a tufărișurilor

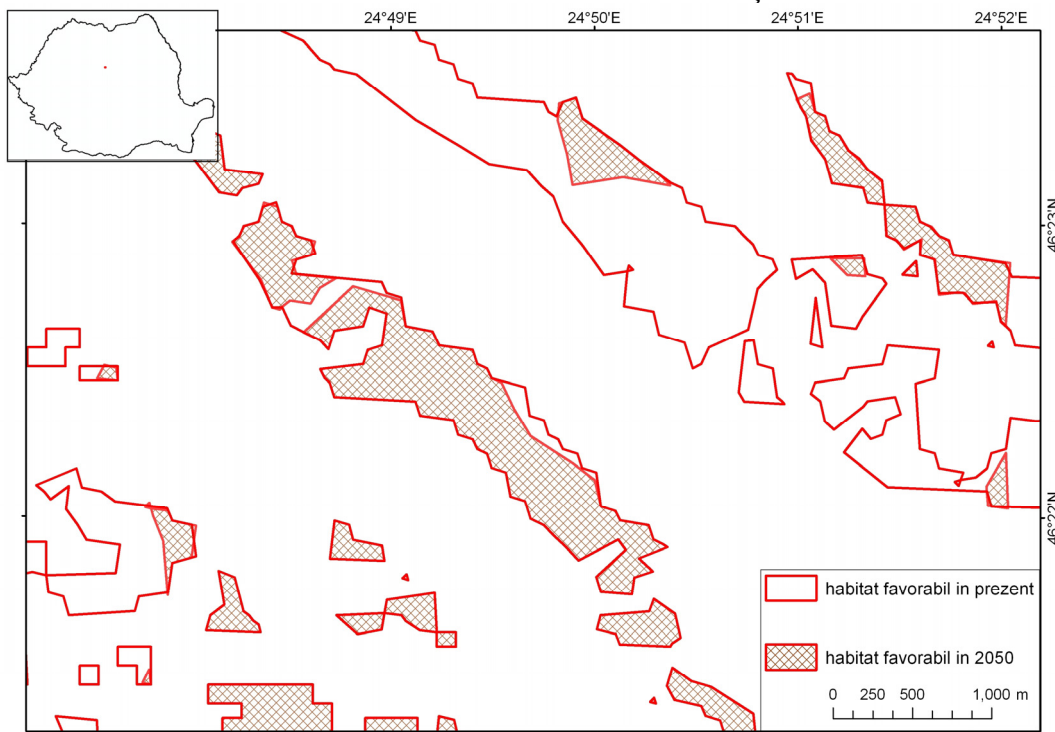


Fig. 12. Exemplificarea rezultatului modelării habitatelor potențiale pentru *P. bavius hungarica* conform scenariului de creștere a suprafeței terenurilor arabile

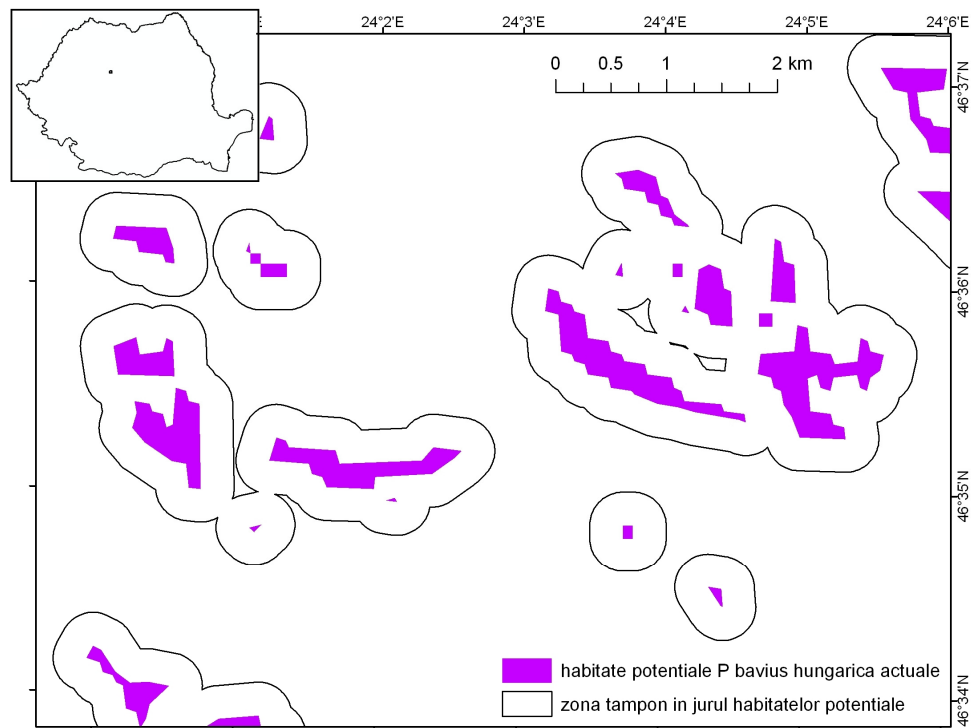


Fig. 13. Exemplificarea interconectivității habitatelor potențiale pentru *P. bavius hungarica* actuale, prin crearea zonei tampon (buffer)

Alte studii de asemenea au pus în evidență influența negativă atât a abandonului folosinței terenurilor, cât și a intensificării practicilor agricole asupra biodiversității în general și a fluturilor în special (Schmitt & Rákósy 2007, Enyedi *et al.* 2008, Lütolf 2009, Hartel *et al.* 2010b, Rákósy 2011).

Media distanțelor minime dintre habitatele potrivite pentru *P. bavius hungarica* în prezent este de 517 m. Conform scenariului de extindere a tufărișurilor valoarea acesteia va crește la 672 m, iar conform scenariului de extindere a terenurilor arabile valoarea acestui parametru va fi de 605 m. Ambele scenarii prevăd (deloc surprinzător) creșterea distanței dintre habitatele potrivite pentru *P. bavius hungarica* peste „pragul” izolării de 600 de metri. Se evidențiază în acest fel efectul negativ pe care îl au fiecare din cele două moduri de folosință a terenurilor, suprapuse cu modificarea parametrilor climatici.

Fragmentarea și izolarea habitatelor devine la fel de evidentă și prin aplicarea metodei „buffer area”. Din cele 9732 de parcele (habitate potențiale pentru *P. bavius hungarica*), în urma aplicării zonei tampon au rămas neconectate 1849 (19%). În schimb, din cele 3231 de parcele rezultate conform scenariului de extindere a tufărișurilor, au rămas neconectate 1007 (31%), iar din cele 1986 de parcele rezultate conform scenariului de extindere a terenurilor arabile au rămas neconectate 626 (32%).

Cunoscând faptul că distanța medie zilnică de zbor a indivizilor de *P. bavius hungarica* este sub valoarea de 35 m, distanța maximă parcursă în timpul vieții nu depășește 600 m (în mod excepțional 1 km), se justifică afirmația că o mare parte din populațiile acestui taxon sunt vulnerabile din punct de vedere al fragmentării habitatelor, respectiv al izolării.

3.2. Modelarea habitatelor potențiale folosind Maxent

3.2.1. Harta distribuției habitatelor potențiale actuale

Deoarece se recomandă ca modelarea distribuției potențiale să se realizeze prin mai multe metode, am ales ca metodă suplimentară aplicația Maxent (www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent) – care în urma testărilor a dat rezultate mulțumitoare chiar cu eșantioane reduse (<50) (Wisiz *et al.* 2008). Maxent este dotat cu un aparat statistic robust, care identifică zonele de răspândire a unei specii pe baza datelor de prezență certă și a parametrilor de mediu introduși în modelare folosind principiul entropiei maxime (Phillips *et al.* 2004, 2006, Heikkinen *et al.* 2006, Elith *et al.* 2010).

Pentru modelarea distribuției habitatelor potențiale folosind Maxent s-au parcurs următoarele etape:

1. S-a întocmit o bază de date în format .csv cu locațiile unde a fost identificat taxonul (s-a folosit același set de date ca și în prelucrarea anterioară).

2. Au fost pregătite “straturi tematice” (tematic layers) pentru modelarea propriu zisă:

a. S-au descărcat, dezarhivat date climatice cu rezoluția de 30” (cca. 1 km) de la WorldClim – Global Climate Data (Hijmans *et al.* 2005) – 19 variabile bioclimatice;

b. S-au uniformizat straturile ca rezoluție și delimitare geografică prin metoda interpolării.

3. S-a rulat aplicația Maxent v. 3.3.3a cu setările implicite. (Phillips *et al.* 2004, 2006; Elith *et al.* 2010) (Fig. 57).

4. Au fost excluse din modelarea finală straturile cu un coeficient (Pearson) de corelare: $R^2 > 0.75$ (Habel *et al.* 2011).

5. S-au păstrat pentru modelarea finală doar 4 dintre ele, cele cu cea mai mare contribuție la realizarea modelului:

- BIO3 – izotermalitatea
- BIO14 - precipitațiile celei mai uscate luni din an
- BIO6 - temperatura minimă a celei mai reci luni din an
- Harta hipsometrică.

Modelarea a pus în evidență caracterul endemic al taxonului, distribuția habitatelor potențiale fiind exclusiv în Depresiunea Transilvaniei (Fig. 15a).

3.2.2. Harta distribuției habitatelor potențiale pentru anul 2050

Pentru studiul nostru am folosit un model climatic dezvoltat de Hadley Centre for Climate Prediction and Research (HadCM3), scenariul A2 (<http://www.worldclim.org/>). Conform Beaumont *et al.* 2008 scenariul A2 este unul pesimist, care prevede o creștere substanțială a emisiilor de gaze cu efecte de seră, pe fondul unei dezvoltări economice inegale, o populație globală de 15 miliarde de locuitori și o dependență ridicată de combustibili fosili.

La fel ca pentru realizarea hărții habitatelor potențiale prezente, și pentru prognoza habitatelor potențiale din anul 2050 au fost folosite în aplicație următoarele 4 rastere: altitudinea, izotermalitatea (BIO 3), precipitațiile celei mai uscate luni din an (BIO 14) și temperatura minimă a celei mai reci luni din an (BIO 6).

Aplicația a fost rulată de mai multe ori, cu parametri diferiți, la rezoluții diferite, până când s-a obținut cea mai bună performanță a modelului: AUC = 0.99 (Fig. 14)

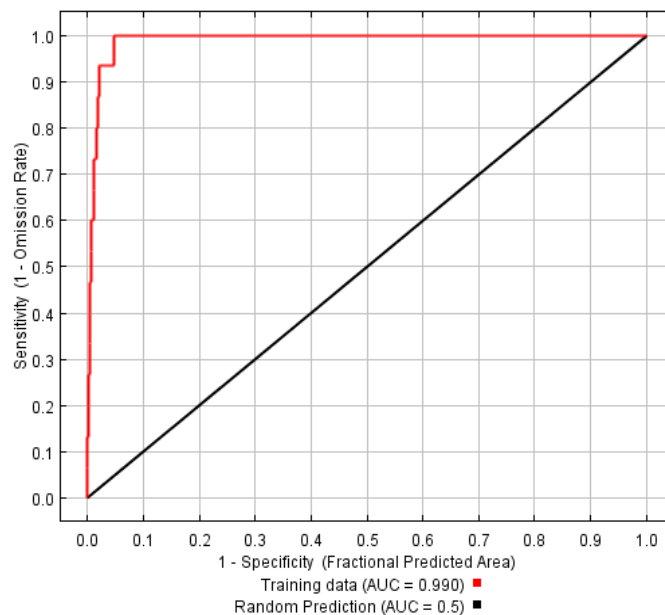


Fig. 14. Performanța modelării cu Maxent (AUC - suprafața delimitată de linia roșie = 0.99) în raport cu distribuția aleatorie (suprafața delimitată de linia neagră = 0.5)

3.2.3. Rezultate

Rezultatul modelării cu Maxent nu a fost surprinzător și a pus în evidență reducerea semnificativă a suprafețelor habitatelor potențiale pentru *P. bavius*

hungarica în condițiile creșterii emisiilor de dioxid de carbon și în consecință a încălzirii climei globale (Beaumont *et al.* 2008) (Fig. 15b).

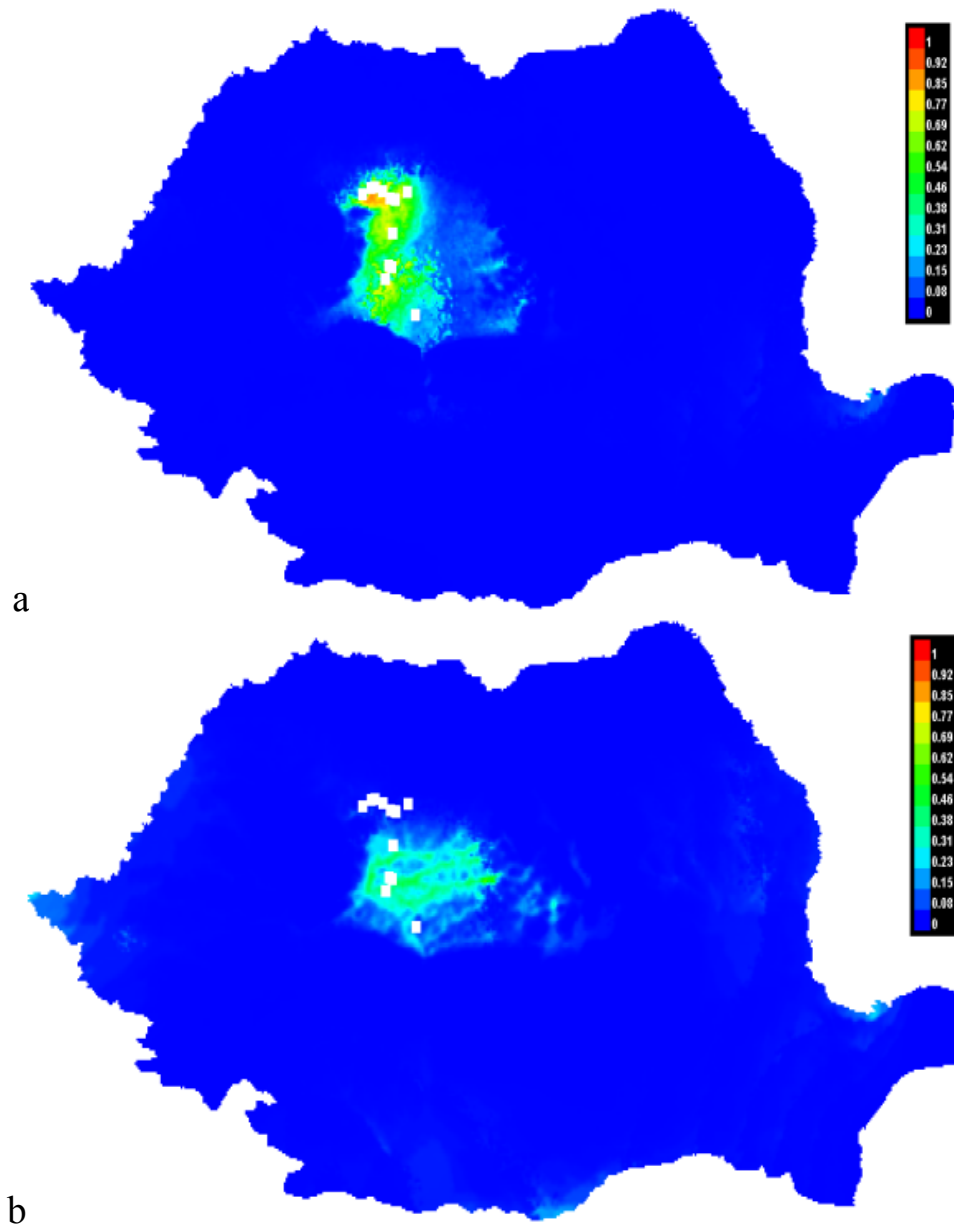


Fig. 15. Harta habitatelor potențiale pentru *P. bavius hungarica* rezultate prin metoda entropiei maxime (Maxent):

a) situația actuală. b) situația prognozată pentru anul 2050.

S-a folosit colorația graduală pe o scară de la 0 la 1, unde 1 înseamnă habitat favorabil, iar 0 habitat necorespunzător. Cu alb sunt reprezentate locațiile cu populații de *P. bavius hungarica* cunoscute în prezent.

Concluzii finale

- Numele corect al taxonului este *Pseudophilotes bavius hungarica* (nu *hungaricus*).
- Aspectele de morfologie au fost detaliate și completate cu informații noi și cu fotografii de înaltă rezoluție (macro și SEM), atât pentru adult cât și pentru toate celelalte faze preimaginale (ou, larvă, pupă).
- Perioada de zbor a adulților începe spre sfârșitul lunii aprilie și în mod normal durează 15-17 zile, dar poate să varieze semnificativ în funcție de particularitățile climatice ale fiecărui an.
- În cadrul studiului din teren s-au observat următoarele plante care constituie bază trofică pentru adulții de *P. bavius hungarica*: *Veronica prostrata*, *Fragaria viridis*, *Thymus marschallianus* și *Euphorbia seguieriana*.
- Larvele fluturilor pot fi parazitare de: *Apanteles* sp. și de dipterul *Aplomya confinis*.
- Observațiile din laborator au confirmat mirmecofilia facultativă. Pentru prima dată a fost menționată specia de furnici *Camponotus atricolor* în compania larvelor de *P. bavius hungarica*.
- În urma studiului de MRR și a prelucrării statistice a datelor în MARK, pentru perimetrul din rezervație pentru anul 2010 s-a estimat o populație de cca. 661 indivizi. Pentru perimetrul situat în zona teraselor cultivate în trecut cu viță de vie, pentru anul 2010 s-a estimat o populație de cca. 1019 indivizi.
- Media distanței zilnice de zbor calculată pentru indivizii de *P. bavius hungarica* a fost de 31 m pentru masculi și 29 m pentru femele. Distanța maximă zilnică parcursă de o femelă a fost de cca. 167 m, iar cea parcursă de un mascul a fost de cca. 200 m.
- La Suatu, în vecinătatea rezervației naturale botanice, vegetația arbustivă, dominată de *R. pseudoacacia* se extinde. În 2004 tufărișurile ocupau 8.92 ha, iar după 5 ani, în 2009 acopereau deja 11.91 ha (creștere de cca. 30%).
- După 3-5 ani cu o populație de cca. 1000 sau mai mulți indivizi/an, urmează ani în care numărul indivizilor scade dramatic, uneori neputând fi observat nici măcar un exemplar, din cauze care nu sunt pe deplin elucidate.
- Rezultatul modelărilor GIS (prin suprapunerea rasterelor și a vectorilor și Maxent) a pus în evidență **reducerea semnificativă** a terenurilor cu habitate potențiale pentru *P. bavius hungarica* (parcele) în condițiile creșterii emisiilor de dioxid de carbon (a încălzirii climei globale) și a schimbării claselor de folosință a terenurilor:
 - Numărul parcelelor va scădea de la 9732 la 3231 conform celui mai pesimist scenariu de abandon al terenurilor (extinderea tufărișurilor),

respectiv la 1986 conform celui mai pesimist scenariu de intensificare a agriculturii (extinderea terenurilor arabile).

- Suprafața habitatelor potențiale pentru *P. bavius hungarica* va scădea de asemenea de la 87934 ha (9.04 ha/parcelă) cât este în prezent, la 26822 ha (8.30 ha/parcelă) conform celui mai pesimist scenariu de extindere al tufărișurilor (anul 2050), respectiv la 14563 ha (7.33 ha/parcelă) conform celui mai pesimist scenariu de extindere al terenurilor arabile (anul 2050).
- Distanța medie dintre parcele va crește de la 517 m, la 672 m conform scenariului de extindere a tufărișurilor, respectiv 605 m conform scenariului de extindere a terenurilor arabile.
- Din cele 9732 de parcele actuale, doar 19% (1849 parcele) nu sunt interconectate (adică se află la o distanță mai mare de 600 de metri unele de celelalte), în schimb din cele 3231 de parcele rezultate conform scenariului de extindere a tufărișurilor, vor fi neconectate 31% (1007 parcele), iar din cele 1986 de parcele rezultate conform scenariului de extindere a terenurilor arabile vor fi neconectate 32% (626).

Cunoscând faptul că distanța medie zilnică de zbor a indivizilor de *P. bavius hungarica* este sub valoarea de 35 m, distanța maximă parcursă în timpul vieții nu depășește 600 m (în mod excepțional 1 km), se justifică afirmația că o mare parte din populațiile acestui taxon sunt vulnerabile din punct de vedere al fragmentării habitatelor, respectiv al izolării.

Modelul dezvoltat pentru *P. bavius hungarica* poate fi aplicat și la alte specii de lepidoptere, precum și alte organisme cu condiția adaptării la particularitățile și cerințele ecologice ale taxonului modelat.

Bibliografie

- Akaike H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. În: Petrov B.N., Csaki F. (eds.) Second international symposium on information theory. Akademiai Kiado, Budapest. pp 267–281.
- Araújo M.B., Guisan A. 2006. Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography* 33:1677–1688.
- Austin R.F. 1984. Measuring and comparing two-dimensional shapes. In: Gaile G.L., Willmott. C.J. & Reidel D. (eds.) *Spatial Statistics and Models*. Publishing Company, Dordrecht, The Netherlands. pp. 293-312.
- Baur B., Cremene C., Groza G., Rakosy L., Schileyko A.A., Baur A., Stoll P., Erhardt A. 2006. Effects of abandonment of subalpine hay meadows on plant and invertebrate diversity in Transylvania, Romania. *Biological Conservation* 132:261–273.
- Beaumont L.J., Hughes L., Pitman A.J. 2008. Why is the choice of future climate scenarios for species distribution modelling important? *Ecology Letters* 11:1135–1146.
- Bender D.J., Tischendorf L., Fahrig L. 2003. Using patch isolation metrics to predict animal movement in binary landscapes. *Landscape Ecology* 18:17–39.
- Billeter R., Sedivy I., Diekötter T. 2003. Distribution and dispersal patterns of the ringlet butterfly (*Aphantopus hyperantus*) in an agricultural landscape. *Bulletin of the Geobotanical Institute ETH* 69:45–55.
- Burnham K.P., Anderson D.R. 2001. *Model selection and multi-model inference: a practical information-theoretic approach* (second edition). Springer, New York.
- Cooch E., White G. (eds.) 2010. *Program MARK “A Gentle Introduction”* (ninth edition). Cornell University, US.
- Coudun C., Gégout J.C., Piedallu C., Rameau J.C. 2006. Soil nutritional factors improve models of plant species distribution: an illustration with *Acer campestre* (L.) in France. *Journal of Biogeography* 33:1750-1763.
- Crăciun A.I. 2011. Estimarea indirectă, cu ajutorul GIS, a umezelii solului în scopul modelării viiturilor pluviale: aplicații în Munții Apuseni. Teză de doctorat. Universitatea “Babeș-Bolyai”, Facultatea de Geografie, Cluj-Napoca.
- Cremene C., Groza G., Rakosy L., Schileyko A.A., Baur A., Erhardt A., Baur B. 2005. Alterations of Steppe-Like Grasslands in Eastern Europe: a Threat to Regional Biodiversity Hotspots. *Conservation Biology* 19:1606-1618.
- Cristea V. 1994. La réserve botanique de Suatu (Départament de Cluj, Roumanie). *La Riserva Naturale di Toricchio, Camerino, Italia*, 8:19-25.

- Crișan A., Sitar C., Craioveanu C., Rákosy L. 2011. The Protected Transylvanian Blue (*Pseudophilotes bavius hungarica*): new information on the morphology and biology 34(2):163 – 168.
- Dincă V., Cuvelier S., Mølgaard M.S. 2011a. Distribution and conservation status of *Pseudophilotes bavius* (Lepidoptera: Lycaenidae) in Dobrogea (south-eastern Romania). – Phegea 39(2):59-67.
- Dincă V., Zakharov E.V., Hebert P.D.N., Vila R. 2011b. Complete DNA barcode reference library for a country's butterfly fauna reveals high performance for temperate Europe. Proc. R. Soc. B vol. 278 no. 1704:347-355.
- Diniz-Filho J.A., Bini L.M., Rangel T.F., Loyola R.D., Hof C., Noguees-Bravo D., Araújo M.B. 2009. Partitioning and mapping uncertainties in ensembles of forecasts of species turnover under climate change. Ecography 32:897–906.
- Diószeghy L. 1913. Adatok a *Lycaena bavius* Ev. életmódjához. Rovartani Lapok, Budapest 20:105-109.
- Dover J.W., Rescia A., Fungariño S., Fairburn J., Carey P., Lunt P., Arnot C., Dennis R.L.H., Dover C.J. 2011. Land-use, environment, and their impact on butterfly populations in a mountainous pastoral landscape: individual species distribution and abundance. Journal of Insect Conservation 15:207–220.
- Elith J., Phillips S.J., Hastie T., Dudík M., En Chee Y., Yates C.J. 2010. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity and Distributions 17:43–57.
- Engler R., Guisan A., Rechsteiner L. 2004. An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. Journal of Applied Ecology 41:263–274.
- Enyedi Z.M., Ruprecht E., Deák M. 2008. Long-term effects of the abandonment of grazing on steppe-like grasslands. Applied Vegetation Science 11:55-62.
- Gafta D. 2002. Influența antropo-zoogenă asupra pădurilor periurbane. În: Cristea V., Baciuc C., Gafta D. (eds.) Municipiul Cluj-Napoca și zona periurbană. Editura Accent, Cluj-Napoca, România. pp. 241-274.
- Gherghel I., Strugariu A., Zamfirescu Ș. 2009. Using maximum entropy to predict the distribution of a critically endangered reptile species (*Eryx jaculus*, Reptilia: Boidae) at its Northern range limit. AES Bioflux 1(2):65-72.
- Guisan A., Zimmermann N.E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. Ecological Modelling 135:147–186.
- Guisan A., Thuiller W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. Ecology Letters 8:993–1009.
- Gutiérrez D., Thomas C.D., León-Cortés J.L. 1999. Dispersal, distribution, patch network and metapopulation dynamics of the dingy skipper butterfly (*Erynnis tages*). Oecologia 121:506–517.

- Habel J.C., Rödder D., Schmitt T., Nève G. 2011. Global warming will affect the genetic diversity and uniqueness of *Lycaena helle* populations. *Global Change Biology* 17:194–205.
- Hanski I., Alho J., Moilanen A. 2000. Estimating the parameters of survival and migration of individuals in metapopulations. *Ecology* 81:239–251.
- Hartel T., Nemes S., Öllerer K., Cogălniceanu D., Moga C., Arntzen J.W. 2010a. Using connectivity metrics and niche modelling to explore the occurrence of the northern crested newt *Triturus cristatus* (Amphibia, Caudata) in a traditionally managed landscape. *Environmental Conservation* 37 (2):195–200.
- Hartel T., Schweiger O., Öllerer K., Cogălniceanu D., Arntzen J.W. 2010b. Amphibian distribution in a traditionally managed rural landscape of Eastern Europe: Probing the effect of landscape composition. *Biological Conservation* 143:1118–1124.
- Heikkinen R.K., Luoto M., Araújo M.B., Virkkala R., Thuiller W., Sykes M.T. 2006. Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography* 30:751–777.
- Higgins L.G., Riley N.D. 1970. *A field Guide to the Butterflies of Britain and Europe*. Collins Publishers, London.
- Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25:1965–1978.
- Hurvich C.M., Tsai C. 1989. Regression and time series model selection in small samples. *Biometrika* 76:297–307.
- Hutchinson G.E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 22(2):415–427.
- James M., Gilbert F., Zalat S. 2003. Thyme and isolation for the Sinai baton blue butterfly (*Pseudophilotes sinaicus*). *Oekologia* 134:445–453.
- Jarvis A., Reuter H.I., Nelson A., Guevara E. 2008. Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- Jutzeler D., Rákósy L., Bros E. 1997. Observation et élevage de *Pseudophilotes bavius* (Eversmann, 1832) des environs de Cluj; distribution de cette espèce en Roumanie. Une nouvelle plante nouricière de *Colias alfacariensis* (Ribbe, 1905). *Bulletin de la Société Entomologique de Mulhouse*: Avril-juin:23–30.
- König F. 1986. Date morfologice, biologice și ecologice referitoare la *Philotes bavius hungarica*, Diószeghy 1913 (Lepidoptera, Lycaenidae). *Lucrările celei de a IV-a Conferințe Naționale de Entomologie, Cluj-Napoca, 29–31 mai*.

- König F. 1992. Morphologische, biologische und ökologische Daten über *Philotes bavius hungarica* Diószeghy 1913. Lepidoptera. Lycaenidae. Entomologische Zeitschrift, Jhg. 102, Nr. 9-10: 168-172, 188-191.
- Kovács S., Rákósy L., Kovács Z., Cremene C., Goia M. 2001. Lepidoptera (Fluturi). În: Rákósy L., Kovács S. (eds.) Rezervația Naturală „Dealul cu fluturi” de la Viișoara. Societatea Lepidopterologică Română. pp. 81-114.
- Kudrna O. 1986. Aspects of the Conservation of Butterflies in Europe. În: Kudrna O. (ed.) Butterflies of Europe, Volumul 8. AULA-Verlag GmbH, Wiesbaden, Germany.
- Lacher T.E. 1998. The Spatial Nature of Conservation and Development. În: Savitsky B.G., Lacher T.E. (eds.) GIS methodologies for developing conservation strategies: tropical forest recovery and wildlife management in Costa Rica. Columbia University Press, New York.
- Lewis O.T., Thomas C.D., Hill J.K., Brookes M.I., Crane T.P.R., Graneau Y.A., Mallet J.L.B., Rose O.C. 1997. Three ways of assessing metapopulation structure in the butterfly *Plebejus argus*. Ecological entomology 22:283–293.
- Luoto M., Kuussaari M., Toivonen T. 2002. Modelling butterfly distribution based on remote sensing data. Journal of Biogeography 29:1027–1037.
- Lütolf M., Kienast F., Guisan A. 2006. The ghost of past species presences: improving species distribution models for presence-only data. Journal of Applied Ecology 43:802–815.
- Lütolf M., Bolliger J., Kienast F., Guisan A. 2009. Scenario-based assessment of future land use change on butterfly species distributions. Biodiversity and Conservation 18:1329–1347.
- May P., White M. 2006. Preparing and Maintaining a Collection of Butterflies and Moths. The Amateur Entomologists’ Society, Orpington, England.
- Mihali C. 2010. Caracterizarea unor taxoni endemici la insecte din România utilizând tehnici de microscopie electronică și biologie moleculară. Teză de doctorat. Universitatea “Babeș-Bolyai”, Facultatea de Biologie și Geologie, Cluj-Napoca.
- Mihuț S., Groza G., Mătase D., Tăuț M. 2001. Rezervațiile de la Suatu. Inspectoratul de Protecție a Mediului Cluj. Cluj-Napoca.
- Niculescu E., König F. 1970. Fauna R.P.R. Insecta, Volumul XI, Fascicula 10, Lepidoptera – partea generală. Editura Academiei, București.
- Nowicki P., Bonelli S., Barbero F., Balletto E. 2009. Relative importance of density-dependent regulation and environmental stochasticity for butterfly population dynamics. Oecologia 161:227–239.

- Pearson R.G., Dawson T.E. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography* 12:361–372.
- Pearson R.G., Thuiller W., Araújo M.B. 2006 Model-based uncertainty in species' range prediction. *Journal of Biogeography* 33:1704–1711.
- Pearson R.G. 2007. Species' Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. Synthesis. American Museum of Natural History. Disponibilă la: <http://ncep.amnh.org>.
- Peterson A.T. 2003. Predicting the Geography of Species' Invasions via Ecological Niche Modeling. *The Quarterly Review of Biology* 78(4):419-433.
- Phillips S.J., Dudík M., Schapire R.E. (eds.) 2004. A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning. Banff, Canada.
- Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231–259.
- Pulliam H.R. 2000. On the relationship between niche and distribution. *Ecology Letters* 3:349-361.
- Raes N., ter Steege H. 2007. A null-model for significance testing of presence-only species distribution models. *Ecography* 30:727–736.
- Rákosy L. 2000. Lepidopterologische Biodiversität eines kleinräumigen steppenartigen Naturschutzgebietes in Siebenbürgen (Suatu, Transsylvanien, Rumänien). *Entomologica romanica* 4(1999):49-68.
- Rákosy L. 2002. Lista roșie pentru fluturii diurni din România. *Buletinul informativ al Societății Lepidopterologice Române* 13(1-4):9-26.
- Rákosy L., Goia M., Kovács Z. 2003. Catalogul Lepidopterelor României/Verzeichnis der Schmetterlinge Rumäniens. Societatea Lepidopterologică Romană, Cluj-Napoca.
- Rákosy L. 2011. Originea și geneza landschaftului natural-cultural din Transilvania. În: Rákosy L., Momeu L. (eds.). *Ecologia în România – Tradiții și Perspective*. Prof. univ. dr. Bogdan Stugren: volum comemorativ. Presa Universitară Clujeană. Cluj-Napoca. pp.: 27-38.
- Ramírez J., Bueno-Cabrera A. 2009. Working with climate data and niche modeling. Creation of bioclimatic variables. Cali, Colombia, International Center for Tropical Agriculture (CIAT).
- Reginster I., Rounsevell M., Butler A., Dendoncker D. 2010. Land Use Change Scenarios for Europe. În: Settele J., Penev L.D., Georgiev T.A., Grabaum R., Grobelnik V., Hammen V., Klotz S., Kotarac M., Kühn I. (eds.) *Atlas of Biodiversity Risk*. Pensoft Publishers. Sofia-Moscova.

- Resmeriță I. 1971. Rezervația botanică de la Suatu. *Ocrotirea Naturii*, București. 15(2):129-138.
- Reuter H.I., Nelson A., Jarvis A. 2007. An evaluation of void filling interpolation methods for SRTM data, *International Journal of Geographic Information Science* 21:9, 983-1008.
- Rocchini D., Hortal J., Lengyel S., Lobo J.M., Jiménez-Valverde A., Ricotta C., Bacaro G., Chiarucci A. 2011. Accounting for uncertainty when mapping species distributions: The need for maps of ignorance. *Progress in Physical Geography* 35(2):211-226.
- Samways M.J., McGeoch M.A., New T.R. 2010. *Insect Conservation - A Handbook of Approaches and Methods*. Oxford University Press, Oxford.
- Santana G.H., Pretus J.L., Chust G. 2011. Evaluación de atributos geométricos y proporción espacial del hábitat en una selva baja caducifolia del Estado de Guerrero, México para macrolepidópteros nocturnos (Insecta: Lepidoptera). *SHILAP Revista de lepidopterología* 39(154):189-203.
- Schmitt T., Rákosy L. 2007. Changes of traditional agrarian landscapes and their conservation implications: a case study of butterflies in Romania. *Diversity and Distributions* 13:855–862.
- Schwarz C.J., Arnason A.N. 1996. A general methodology for the analysis of capture-recapture experiments in open populations. *Biometrics* 52:860–873.
- Schweiger O., Araújo M.B., Hanspach J., Heikkinen R.K., Kühn I., Luoto M., Ohlemüller R., Virkkala R. 2010. Assessing Risks for Biodiversity with Bioclimatic Envelope Modelling. În: Settele J., Penev L.D., Georgiev T.A., Grabaum R., Grobelnik V., Hammen V., Klotz S., Kotarac M., Kühn I. (eds.) *Atlas of Biodiversity Risk*. Pensoft Publishers, Sofia-Moscova.
- Settele J., Kudrna O., Harpke A., Kühn I., van Swaay C., Verovnik R., Warren M., Wiemers M., Hanspach J., Hickler T., Kühn E., van Halder I., Veling K., Vliegenthart A., Wynhoff I., Schweiger O. 2008. *Climatic Risk Atlas of European Butterflies*. Pensoft Publishers, Sofia-Moscova.
- Soberón J., Peterson A.T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2:1–10.
- Spangenberg J.H., Fronzek S., Hammen V., Hickler T., Jäger J., Jylhä K., Maxim L., Monterroso I., O'Connor M., Omann I., Reginster I., Rodriguez-Labajos B., Rounsevell M., Sykes M.T., Vighi M., Settele J. 2010. The ALARM scenarios. Storylines and simulations for analysing biodiversity risks in Europe. În: Settele J., Penev L.D., Georgiev T.A., Grabaum R., Grobelnik V., Hammen V., Klotz S., Kotarac M., Kühn I. (eds.) *Atlas of Biodiversity Risk*. Pensoft Publishers, Sofia-Moscova.

- Summerville K.S., Crist T.O. 2000. Effects of experimental habitat fragmentation on patch use by butterflies and skippers (Lepidoptera). *Ecology* 82:1360–1370.
- Szabó A. 1982. Contribuții referitoare la distribuția speciilor *Lycaena helle* Schiff. și *Philotes bavius* Ev. (Lepidoptera, Lycaenidae) în România. Studii și Comunicări. Societatea de Științe Biologice din Republica Socialistă România, filiala Reghin, vol. 2:299-330.
- Șuteu M.A. 2002. Cercetări asupra biologiei speciei endemice *Astragalus péterii* Jáv. Teză de doctorat. Universitatea “Babeș-Bolyai”, Facultatea de Biologie și Geologie, Cluj-Napoca.
- Thuiller W. 2004. Patterns and uncertainties of species range shifts under climate change. *Global Change Biology* 10:2020–2027.
- Titeux N., Maes D., Marmion M., Luoto M., Heikkinen R.K. 2009. Inclusion of soil data improves the performance of bioclimatic envelope models for insect species distributions in temperate Europe. *Journal of Biogeography* 36:1459-1473.
- Tolman T., Lewington R. 2008. Collins Field Guide to the Butterflies of Britain and Europe. Third edition. Harper Collins, London.
- Turlure C., Van Dyck H., Schtickzelle N., Baguette M. 2009. Resource-based definition of the habitat, niche overlap and conservation of two glacial relict butterflies. *Oikos* 118:950–960.
- Turlure C., Choutt J., Van Dyck H., Baguette M., Schtickzelle N. 2010. Functional habitat area as a reliable proxy for population size: case study using two butterfly species of conservation concern. *Journal of Insect Conservation* 14:379-388.
- van Swaay C., Cuttelod A., Collins S., Maes D., López M.M., Šašić M., Settele J., Verovnik R., Verstrael T., Warren M., Wiemers M., Wynhoff I. 2010. European Red List of Butterflies. – International Union for Conservation of Nature. 1-10 + 1- 47 pp.
- Vodă R., Timuș N., Paulini I., Popa R., Mihali C., Crișan A., Rákossy L. 2010. Demographic parameters of two sympatric *Maculinea* species in a Romanian site (Lepidoptera: Lycaenidae). *Entomologica romanica* 15:25-32.
- Wisz M.S., Hijmans R.J., Peterson A.T., Graham C.H., Guisan A. 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions* 14:763–773.
- Zimmermann F. 2004. Conservation of the Eurasian Lynx (*Lynx lynx*) in a fragmented landscape – habitat models, dispersal and potential distribution. l’Université de Lausanne. (teză de doctorat).

Lista publicațiilor:

Articole:

Crișan A., Sitar C., Craioveanu C., Rákosy L. 2011. The Protected Transylvanian Blue (*Pseudophilotes bavius hungarica*): new information on the morphology and biology. *Nota lepidopterologica* 34(2): 163-168.

Crișan A., Craioveanu C., Rákosy L. (in press). Effects of alterations of Romania's forestry stock area and structure on diurnal Lepidoptera – a GIS approach. Conference Proceedings of “Integrated Management of Environmental Resources”. Suceava Forestry Faculty, 2011.

Timuș N., Vodă R., Paulini I., **Crișan A.**, Popa R., Rákosy L., 2011. Managementul pajiștilor mezohigrofile de pe Dealurile Clujului Est (Transilvania) pentru protecția și conservarea speciei *Maculinea teleius* (Bergsträsser 1779) (Lepidoptera: Lycaenidae). Volumul de lucrări al Simpozionului “Biodiversitatea și Managementul Insectelor din România”, Suceava, 24-25 septembrie 2010, în memoria entomologului bucovinean Ioan Nemeș: 29-46.

Vodă R., Timuș N., Paulini I., Popa R., Mihali C., **Crișan A.**, Rákosy L. 2010. Demographic parameters of two sympatric *Maculinea* species in a Romanian site (Lepidoptera: Lycaenidae). *Entomologica romanica* 15: 25-32.

Lucrări pregătite pentru trimitere spre publicare:

Crișan A., Sitar C., Craioveanu C., Rákosy L. Insufficient habitat management threatens the Transylvanian endemic butterfly *P. bavius hungarica*.

Crișan A., Maloș C., Craioveanu C., Sitar C., Rákosy L. *Pseudophilotes bavius hungarica* (Diószeghy, 1913) ecological niche vulnerability due to habitat fragmentation and climate change.

Participări la workshop-uri, congrese, conferințe și simpozioane internaționale:

Cristina Craioveanu, **Andrei Crișan**, László Rákosy. Effects of alterations of Romania's forestry stock area and structure on diurnal Lepidoptera – a GIS approach. Integrated Management of Environmental Resources. Suceava, 4-6 noiembrie 2011.

Andrei Crișan, Cristian Sitar, Natalia Timuș, László Rákosy. The fragmentation of grassland habitats as a consequence of land use and land use

abandonment. Ethnic Landscapes & Ethno-Ecosystems - interdisciplinary workshop. Cluj-Napoca, România, 19-21 mai 2011.

Andrei Crișan, Cristian Sitar, Cristina Craioveanu, László Rákosy. *Pseudophilotes bavius hungarica* (Diószeghy, 1913) ecological niche vulnerability due to habitat fragmentation and climate change. the XVIIth European Congress of Lepidopterology. Luxemburg, 09-13 mai 2011.

Andrei Crișan, Raluca Vodă, Cristian Sitar, Cristina Craioveanu, László Rákosy. Structure and dynamics of the *Pseudophilotes bavius hungarica* (Dioszeghy, 1913) metapopulation from Suatu (Cluj), Romania. Biodiversity and Land use systems. Laufen, Germania, 22-26 noiembrie 2010.

Inge Paulini, Marius Bărbos, **Andrei Crișan** și Gwyn Jones. HNV grassland identification in the Hills of Cluj - a pre-condition for support and protection. High Nature Value grasslands: securing the ecosystem services of European farming post 2013. Sibiu, România, 7-9 septembrie 2010.

Andrei Crișan. Danube Clouded Yellow (*Colias myrmidone*) needs a lifeboat. High Nature Value grasslands: securing the ecosystem services of European farming post 2013. Sibiu, România, 7-9 septembrie 2010.

Katalin Varga, **Andrei Crișan**, Szabolcs Lengyel. Short-term, weather-related changes in landscape structure and complexity in grasslands and marshes. Landscape structures, functions and management: response to global ecological change. Brno – Praga, Cehia, 3-6 septembrie 2010.

Cosmin Ovidiu Mancu, **Andrei Crișan**, Cristian Domșa. Theoretical model of spatial distribution over Romania for two dragonfly species, *Calopteryx virgo* and *Calopteryx splendens* (Insecta: Odonata: Calopterygidae). 1st European Congress on Odonatology. Vairão-Vila do Conde, Portugalia, 2-5 iulie 2010.

Inge Paulini, Sabin Bădărău, Cristian Maloș, Monica Beldean, Raluca Vodă, Natalia Timuș, **Andrei Crișan**, László Rákosy. Vegetation survey of the hay meadows in the proposed Natura 2000 site „Eastern Hills of Cluj” (Transylvania, Romania). 7th European Dry Grassland Meeting. Smolenice, Slovacia, 28-31 mai 2010.

Participări la congrese, conferințe și simpozioane naționale:

Andrei Crișan. Ecologie și sociologie în hărțile proiectului Mozaic. Simpozion al Proiectului Mozaic, Cluj-Napoca, România, 20 aprilie 2011.

- Andrei Crișan**, Cristian Sitar, Cristina Craioveanu, László Rákosy. Vulnerabilitatea nișelor ecologice ale subspeciei *Pseudophilotes bavius hungarica* (Lepidoptera: Lycaenidae) datorată fragmentării habitatelor și a schimbărilor climatice. Al XXI-lea Simpozion Național al Societății Lepidopterologice Române. Cluj-Napoca, România, 16-17 aprilie 2011.
- Iulia Muntean, Cristian Sitar, **Andrei Crișan**, László Rákosy. Noutăți faunistice pentru Transilvania și/sau România. Al XXI-lea Simpozion Național al Societății Lepidopterologice Române. Cluj-Napoca, România, 16-17 aprilie 2011.
- Natalia Timuș, Raluca Vodă, **Andrei Crișan**, Cristian Sitar, Cristina Craioveanu, Silvia Griger, László Rákosy. Dinamica populațională la *Maculinea teleius* (Bergsträsser, 1779) și *M. nausithous kijevensis* (Sheljuzhko, 1928) (Lepidoptera: Lycaenidae) din Fânațul Domnesc (Dealurile Clujului Est). Al XXI-lea Simpozion Național al Societății Lepidopterologice Române. Cluj-Napoca, România, 16-17 aprilie 2011.
- Natalia Timuș, Raluca Vodă, Cristina Craioveanu, **Andrei Crișan**, Cristian Sitar, Dagmar Schmidt, Silvia Griger, Alexandra Rus, László Rákosy. Date preliminare referitoare la dinamica populațională a speciei *Maculinea alcon* (Denis & Schiffermüller, 1775) (Lepidoptera: Lycaenidae) din Fânațul Domnesc (Dealurile Clujului Est). Al XXI-lea Simpozion Național al Societății Lepidopterologice Române. Cluj-Napoca, România, 16-17 aprilie 2011.
- Cosmin-Ovidiu Mancu, **Andrei Crișan**, Cristian Domșa. Model teoretic de distribuție spațială în România pentru două specii de libelule: *Calopteryx virgo* și *C. Splendens*. Al XX-lea Simpozion Național al Societății Lepidopterologice Române. Cluj-Napoca, România, 24-25 aprilie 2010.

Mulțumiri

Mulțumesc în primul rând d-lui **Prof. Dr. László Rákosy** pentru că a avut încredere în mine, și a acceptat o temă aflată la granița dintre ecologie și geografie.

Mulțumesc de asemenea d-lui profesor pentru că m-a provocat să mă implic într-o serie de proiecte de cercetare prin care mi-am dezvoltat abilități de lucru pe teren, studiu de laborator, prelucrare, sintetizare și interpretare a rezultatelor.

Mulțumesc colegilor Dr. Cristian Maloș, Cristian Domșa și Adrian Mureșan pentru sfaturile referitoare la prelucrările GIS.

Mulțumesc de asemenea și echipei de ecologi de la Universitatea din Debrecen - Dr. Szabolcs Lengyel și Katalin Varga, pentru optimizarea modelărilor GIS.

Mulțumesc colegilor Dr. Cristina Craioveanu, Cristian Sitar, Raluca Vodă, Natalia Timuș, Inge Paulini și Răzvan Popa pentru ajutorul acordat la munca de teren, traducerea și elaborarea materialelor științifice.

Mulțumesc colegilor Tibor-Csaba Vizauer și Bogdan Adumitroaiei pentru informațiile despre populația de *P. bavius hungarica* de la Suatu din 2004.

Mulțumesc d-nei Conf. Univ. Dr. Anuța Buiga și d-lui Dr. Piotr Nowicki pentru ajutorul acordat la prelucrarea statistică a datelor populaționale la *P. bavius hungarica* (programul SPSS 16, respectiv MARK 6.0).

Mulțumesc d-lor profesori Dr. Zoltán Varga și Dr. Thomas Schmitt pentru sfaturile prețioase referitoare la redactarea articolelor științifice.

Mulțumesc pentru ajutorul acordat la determinarea unor insecte specialiștilor: Dr. Balint Marko (*Camponotus atricolor*), Dr. Joachim Ziegler (*Aplomya confinis*) și Dr. Andreas Taeger (*Apanteles* sp.).

Mulțumesc d-nei Șef Lucr. Dr. Irina Goia pentru determinarea plantelor - bază trofică pentru adulții de *P. bavius hungarica*, precum și pentru alte sugestii referitoare la teza de doctorat.

Mulțumesc pentru fotografiile de o calitate deosebită primite de la Dr. Ciprian Mihali (*P. bavius hungarica*: ou, larvă, parazitoid, solz de aripă la adult - SEM), Cristian Sitar (*P. bavius hungarica* mascul și femelă imago; baza trofică adulți) și Prof. dr. László Rákosy (*P. bavius hungarica* imago ventral).

Mulțumesc pentru suportul financiar din Programul co-finanțat de Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013, Contract nr: POSDRU/6/1.5/S/3: „Studii Doctorale: prin Știință spre Societate”.

Mulțumesc echipei de management al proiectului, care a făcut posibilă finanțarea burselor pe întreaga perioadă a stagiului de doctorat și care s-a străduit ca birocrăția aferentă rapoartelor/ordinelor de deplasare/fișelor de prezență etc. să devină suportabilă: D-na Prorector Prof. dr. Luminița-Silaghi Dumitrescu, Camelia Morar, Gabriela Crișan, Adela Mățiș, Erzsébet Bogya, Zsuzsánna Borbáth și (colegul) dr. Cristian Coman.

Nu în ultimul rând mulțumesc soției mele **Claudia-Tabita** (biolog), care a fost alături de mine și m-a susținut de la înscrierea la doctorat până la redactarea finală a tezei.