

**UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI**  
**FACULTATEA DE BIOLOGIE**  
**Școala de Studii Universitare Doctorale în Ecologie /**  
**Domeniul Știința Mediului**

# **REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT**

**Evaluarea stării ecologice a ecosistemelor acvatice lotice:  
compoziția și structura faunei bentale**



Coordonator Științific,  
**Prof. CS I Dr. Sergiu CRISTOFOR**

Doctorand,  
**CS Cătălina STOICA**

București  
2016

---

*Cuprins*

---

	Pag. teza	Pag. rezumat
Lista Tabelelor.....	6	
Lista Figurilor.....	9	
Lista Anexelor.....	13	
<b>1. Introducere</b>	14	4
1.1. Considerații generale privind evaluarea integrității ecologice a sistemelor lotice.	16	
1.2. Justificarea alegerii tematicii programului individual de cercetare.....	22	
<b>2. Analiza, sinteza și integrarea informațiilor privind macronevertebratele bentonice și evaluarea stării ecologice a ecosistemelor lotice</b>	25	7
2.1. Identificarea și selectarea surselor de informații.....	25	
2.2. Istoricul cercetărilor compartimentului faunei bentonice.....	26	
2.3. Structura și compoziția faunei bentonice .....	29	
2.4. Rolul faunei bentonice în cadrul sistemelor acvatice lotice.....	33	
2.5.Importanța utilizării macronevertebratelor bentonice pentru evaluarea integrității ecosistemelor acvatice lotice.....	37	
<b>3. Organizarea programului individual de cercetare</b>	44	7
3.1. Modelul conceptual.....	44	7
3.2. Scopul și obiectivele programului individual de cercetare.....	46	9
3.3. Organizarea spațială și temporală a programului individual de cercetare.....	48	9
3.3.1. Caracterizarea stațiilor și frecvența de prelevare.....	49	
3.3.2. Caracteristici hidrologice și hidrografice.....	53	
3.3.3. Localizare și caracterizare tipologică a sistemelor ecologice.....	55	
3.4. Identificarea variabilelor de stare.....	58	14
3.5. Materiale și metode de studiu.....	60	15
3.5.1. Metode de prelevare, conservare și prelucrare primară a probelor.....	61	15
3.5.2. Metode de identificare și analiză taxonomică.....	62	15
3.5.3. Metode de determinare a parametrilor fizico-chimici din cadrul ecosistemelor studiate.....	63	15
3.5.4. Metode de prelucrare și analiză a datelor.....	63	16

3.5.5. Metode de estimarea principalilor indici ce caracterizează starea ecosistemelor lotice pe baza compoziției și structurii macronevertebratelor bentonice.....	64	16
<b>4. Rezultate</b>	71	17
4.1. Caracterizarea unităților hidrogeomorfologice.....	71	17
4.1.1. Dinamica parametrilor hidromorfologici în sistemul acvatic lotic studiat în perioada 2012-2013.....	71	17
4.1.2. Dinamica parametrilor fizico-chimici în sistemul acvatic lotic studiat în perioada 2012-2013.....	76	17
4.2. Caracterizarea modulelor trofodinamice care influențează dinamica macronevertebratelor bentonice-compoziție și distribuție spațio-temporală.....	84	19
4.3. Compoziția și structura faunei bentale în sistemul acvatic lotic în perioada 2012-2013.....	90	19
4.3.1. Compoziția taxonomicăși frecvența de apariție a grupelor de organisme componente.....	91	19
4.3.2. Dinamica densității numerice a taxonilor identificați.....	96	21
4.3.3. Diversitatea și echitabilitatea macronevertebratelor bentonice studiate la nivelul sistemului acvatic lotic.....	97	23
4.4. Identificarea principalilor factori de comandă.....	101	25
4.5. Evaluarea integrată a stării ecologice a ecosistemelor acvatice lotice.....	105	29
4.5.1. Evaluarea stării chimice.....	112	29
4.5.2. Evaluarea integrității ecologice pe baza macronevertebratelor bentonice.....	113	31
<b>5. Discuții</b>	124	35
5.1. Dinamica structurii comunităților bentonice și a variabilelor de stare la nivelul sistemului acvatic lotic studiat.....	124	35
5.2. Evaluarea integrității ecologice a complexelor de ecosisteme acvatice studiate....	134	43
<b>6. Concluzii</b>	141	44
<b>7. Bibliografie</b>	153	48
<b>8. Anexe</b>		

## *1. Introducere*

Lucrarea de doctorat cu titlu: “*Evaluarea stării ecologice a ecosistemelor acvatice lotice: compoziția și structura faunei bentale*” a fost enunțată cu scopul de a completa și consolida cunoștințele privind relevanța compoziției și structurii faunei bentonice pentru evaluarea stării ecologice a ecosistemelor lotice din Delta Dunării, în vederea transpunerii în practică a prevederilor directivelor UE<sup>1</sup> (în special DCA<sup>2</sup>) și a convențiilor internaționale privind conservarea, reconstrucția și utilizarea durabilă a ecosistemelor acvatice.

Presiunile exercitate de modificările regimului climatic cu efecte la scară globală, alături de modificările în modul de utilizare și acoperire al terenului, lucrările hidrotehnice, supra-exploatarea resurselor și poluarea au avut un impact negativ asupra structurii și funcțiilor sistemelor socio-ecologice, în speță a sistemelor acvatice lotice. Aceste modificări au condus la reducerea diversității specifice și taxonomice, prin reconfigurarea structurală și funcțională, prin extinderea sau restrângerea distribuției spațiale a diferitelor tipuri de ecosisteme, conducând la diminuarea resurselor și serviciilor oferite de acestea, alterând circuitul hidrologic și circuitele biogeochimice.

În Europa, adoptarea DCA în 2000 a schimbat percepția Statelor Membre ale UE privind managementului resurselor de apă prin considerarea integrității ecosistemelor ca bază a deciziilor manageriale (EC<sup>3</sup>, 2000). Scopul principal al DCA a fost acela de a stabili un cadru pentru implementarea strategiilor durabile de management ale apei în vederea protecției pe termen lung a resurselor de apă. Principalele obiective se referă la protecția și îmbunătățirea calității mediului acvatic și atingerea “stării bune” pentru toate apele de suprafață și subterane până în 2015 (EC, 2000) sau cel târziu până în 2027 (Poikane și colab., 2014).

În ultimii ani, în Europa au fost realizate progrese impresionante în dezvoltarea și armonizarea metodelor de evaluare a stării ecologice utilizând comunitățile biotice (Birk și colab., 2012, 2013); un pas important a fost făcut la sfârșitul anului 2012 prin intercalibrarea a 230 metode din 28 de țări (EC, 2013a). În ciuda eforturilor mari investite în exercițiul de intercalibrare, atât ca timp, cât și ca resursă umană, nu toate metodele de evaluare a stării ecologice au fost armonizate., iar aproximativ 100 metode (30% din totalul metodelor) nu sunt dezvoltate sau / și nu sunt intercalibrate (Reyjol și colab., 2014).

Printre motivele care au condus la lipsa rezultatelor, pot fi menționate:

- lipsa seturilor de date adecvate și comparabile între țări;
- caracterizarea nepotrivită a factorilor de comandă la nivelul grupurilor geografice de intercalibrare;
- absența unor situri de referință în unele țări sau regiuni;
- dificultate în compararea metodelor cu indici complet diferiți și / sau concept de evaluare;
- atenție insuficientă semnificației ecologice a metodelor de evaluare, exercițiul de intercalibrare s-a concentrat îndeosebi pe efortul statistic de armonizare a sistemului de clasificare între Statele Membre (Poikane și colab., 2014).

<sup>1</sup> Uniunea Europeană

<sup>2</sup> Directiva Cadru privind Apa 2000/60/CE

<sup>3</sup> European Commission

În România, pentru evaluarea stării ecologice a sistemelor acvatice lotice, s-au înregistrat progrese semnificative, în ceea ce privește identificarea principalelor surse de poluare, adaptarea permanentă a programului de monitorizare și implicarea semnificativă a părților interesate, însă, cu toate acestea, în actualul PMBH<sup>4</sup> există încă o serie de incertitudini. Incertitudini care vizează, în principal, testarea eficienței metodelor de evaluare a integrității ecologice, armonizarea între criteriile abiotice și cele biotice caracteristice fiecărei zone biogeografice, dezvoltarea continuă a sistemului de monitorizare pentru a acoperi toate elementele de calitate (biologice, hidromorfologice și fizico-chimice) și toate mediile de investigare (apă, sedimente și biota), acordând o importanță deosebită monitorizării poluanților specifici și substanțelor prioritare, iar monitorizarea să fie efectuată cu o frecvență care să asigure niveluri de confidență și precizie ridicate în evaluarea stării corpurilor de apă (Moldoveanu, 2014; Newton și colab., 2014).

*Aria tematică specifică* a prezentei teze de doctorat se încadrează în preocupările științifice naționale, dar și internaționale prin problematica abordată ce permite evaluarea stării ecologice a ecosistemelor acvatice lotice în contextul transpunerii în practică a prevederilor DCA privind conservarea, reconstrucția și utilizarea durabilă a ecosistemelor acvatice lotice din zona de studiu, Delta Dunării, Brațul Sfântu Gheorghe. Zona de sud-est a Deltei Dunării a fost aleasă ca zonă de studiu datorită importanței pe care acest complex de ecosisteme o are pentru susținerea și înțelegerea dinamicii funcțiilor ecologice la nivel local, regional, și internațional în cadrul sistemului socio-ecologic Dunăre – Marea Neagră: i) sisteme ce constituie suportul bio-fizic care generează o gamă largă de resurse și servicii pentru susținerea sistemelor socio-economice cu care sunt integrate și ii) transformările structurii hidrogeomorfologice relativ recente care au antrenat importante modificări ale dinamicii de stare a ecosistemelor componente.

Problematica ce face obiectul acestui program individual de cercetare derivă atât din tematica programelor de cercetare ale Centrului de Cercetare în Ecologie Sistemică, Ecodiversitate și Sustenabilitate, și respectiv, ale Școlii Doctorale în domeniul Ecologie a Universității din București, cât și din implementarea unor programe naționale (Programe Nucleu) și internaționale (Programul de finanțare B.EN.A<sup>5</sup> – Tuborg) derulate în perioada 2003-2015, în cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Ecologie Industrială – ECOIND București, ce au contribuit la evidențierea domeniului de fluctuație a unor factori de comandă și au permis considerarea faunei bentonice, prin prisma compoziției și structurii acesteia, ca un instrument util în cadrul procesului de evaluare a stării ecologice a sistemelor acvatice lotice, reprezentate de Brațul Sfântu Gheorghe.

S-a scontat că rezultatele obținute în cadrul acestui program individual de cercetare doctorală vor contribui la fundamentarea științifică a deciziilor și practicilor de management la nivel local și regional al sistemelor acvatice lotice prin intermediul diferențierii și testării unor metode de evaluare a stării ecologice pe baza cunoașterii structurii populațiilor bentonice, dar și prin actualizarea cunoașterii stării populațiilor bentonice din zona de sud-est a Deltei Dunării (Brațul Sf. Gheorghe) atât pe baza observațiilor proprii, cât și a analizei pe termen lung a datelor.

<sup>4</sup> Planul de Management al Bazinelor Hidrografice – reprezintă instrumentul pentru implementarea DCA reglementat prin Articolul 13 și anexa VII și are ca scop gospodărirea echilibrată a resurselor de apă, precum și protecția ecosistemelor acvatice, având ca obiectiv principal atingerea unei “stări bune” a apelor de suprafață și subterane.

<sup>5</sup> Balkan Environmental Association

Lucrarea a fost structurată în cinci capitole:

- în **Introducere** au fost clarificate aspectele generale cu privire la necesitatea evaluării integrității ecologice a sistemelor acvatice lotice și justificarea alegerii temei programului individual de cercetare;
- **Capitolul 2** a înglobat analiza critică, sinteza, integrarea cunoașterii și a rezultatelor cu privire la fauna bentonică și evaluarea stării ecologice a ecosistemelor acvatice lotice;
- în **Capitolul 3** a fost prezentate coordonatele cadrului conceptual, a scopului și obiectivelor tezei de doctorat, caracterizarea zonei de studiu și identificarea variabilelor de stare cu descrierea metodelor de analiză utilizate;
- **Capitolul 4** cuprinde rezultatele obținute în urma activităților din teren, din laborator și cele de prelucrare statistică a datelor cu ajutorul programelor PAST și PRIMER 6+PERMANOVA-add-on.
- **Capitolul 5** tratează dinamica comunităților de nevertebrate bentonice în relație cu modificările variabilelor de stare în diferite perioade de timp ca urmare a presiunii exercitate de factorii de comandă naturali (clima, regim hidrologic) și antropici (socio-economici).

Elementele de noutate care au fost aduse prin prezenta teză de doctorat pot fi sumarizate, astfel:

- ✓ completarea cunoștințelor privind compoziția și structura faunei la nivelul complexelor de ecosisteme reprezentate de Brațul Sf. Gheorghe și 62 km amonte pe Dunăre având în vedere o abordare integrată, interdisciplinară;
- ✓ testarea indicilor propuși la nivel național în metodologia de clasificare și evaluare a stării ecologice a corpurilor de apă aflate pe cursurile de apă naturale (Anexa 6.1.1.B a PMBH care coincid Anexei 6.1.1.C a noului PMBH);
- ✓ evaluarea integrată a stării ecologice a ecosistemelor acvatice (“corpurilor de apă”) aparținând categoriilor tipologice RO14 și RO15 pe baza modulelor trofo-dinamice (MTD<sup>6</sup>) („elementelor biologice”) – macronevertebrate bentonice și a unitatilor hidrogeomorfologice (UHGM<sup>7</sup>) („elementelor fizico-chimice”).

<sup>6</sup> MTD-populații cu aceleași caracteristici dinamice (rate de reciclare a biomasei) și aceeași funcție (nișă funcțională) în rețeaua trofică, care coexistă în același interval de timp și spațiu (Pahl Wostl, 1995; Vădineanu, 1998; Rîșnoveanu, 2011)

<sup>7</sup> UHGM- în abordarea sistemică, aceasta este echivalentă cu componentele abiotice ale capitalului natural la diferite scări de organizare, complexe de ecosisteme locale sau regionale sau cu biotopul, la nivelul de organizare ecologică elementară-ecosistem.

---

## *2. Analiza, sinteza și integrarea informațiilor privind macronevertebratele bentonice și evaluarea stării ecologice a ecosistemelor lotice*

---

Analiza critică, sinteza și integrarea cunoștințelor și a informațiilor cu privire la fauna bentonică și evaluarea stării ecologice a ecosistemelor acvatice lotice au fost efectuate cu scopul stabilirii coordonatelor cadrului conceptual, a identificării principalelor constrângeri ce trebuie elucidate, a identificării achizițiilor științifice și metodologice în aria tematică a prezentei teze. Din volumul surselor de informații, s-au selectat și au fost analizate lucrările care au vizat aspecte referitoare la:

- documentele legislative din domeniul calității apelor;
- specificul cercetărilor faunei de nevertebrate bentonice la nivel național și internațional:
  - o *aspecte structurale și / sau funcționale;*
  - o *modul de organizare și distribuție la scară spațială sau temporală;*
  - o *răspunsul nevertebratelor bentonice la diferiți factori de comandă;*
  - o *distribuția în funcție de acești factori;*
- rolul faunei bentonice în cadrul ecosistemelor acvatice lotice;
- importanța utilizării macronevertebratelor bentonice pentru evaluarea integrității ecosistemelor acvatice lotice;
- metodele propuse în România pentru evaluarea stării ecologice a sistemelor lotice.

---

## *3. Organizarea programului individual de cercetare*

---

### **3.1. Modelul conceptual**

Programul de cercetare a fost dezvoltat într-o manieră extensivă (la scara complexului de ecosisteme reprezentat de Brațul Sf. Gheorghe și tronsonului 62 km amonte al Dunării) și intensivă (în perioada martie 2012-septembrie 2013, cu o frecvență lunară de prelevare a probelor), integrat în cadrul unor programe unitare de cercetare a diversității ecologice a sistemelor acvatice din Delta Dunării și Sistemul de Zone Umede al Dunării Inferioare dezvoltate de echipa Institutului Național de Cercetare Dezvoltare pentru Ecologie Industrială - ECOIND București în colaborare cu Universitatea București, Facultatea de Biologie, Departamentul de Ecologie Sistemică și Sustenabilitate. Aceste programe au asigurat cadrul general și suportul financiar care au permis, pe de o parte realizarea obiectivelor majore, dar și derularea programului individual de lucru și atingerea obiectivelor specifice, privind *evaluarea stării ecologice a ecosistemelor acvatice lotice pe baza compoziției și structurii faunei bentale* la scara complexelor de ecosisteme din zona de sud-est a Deltei Dunării, pe Brațul Sfântu Gheorghe.

În figura 3.1 sunt identificați factorii de comandă a căror influență poate provoca răspunsuri ale populației de nevertebrate bentonice, concretizate prin valorile înregistrate ale parametrilor de

stare ce permit stabilirea unor relații funcționale prin care se poate înțelege, explica și modela dinamica faunei de nevertebrate bentonice.

Ținând cont de coordonatele modelului conceptual, obiectivele programului individual de cercetare s-au concentrat pe răspunsul următoarelor întrebări:

- ✓ Cum a înregistrat sistemul lotic Brațul Sfântu Gheorghe efectele lucrărilor de rectificare a meandrelor, dezvoltării navigației, introducerii substanțelor chimice (fertilizatori, pesticide) pentru nevoile agriculturii, supraexploatării resurselor biologice, activităților turistice și de recreere, surselor fixe cu potențial de producere a poluărilor accidentale din perspectiva regimului hidromorfologic și fizico-chimic?
- ✓ Cum s-a modificat distribuția spațială și temporală a populațiilor faunei bentonice în ultimul secol la nivelul sistemului ecologic Dunăre-Brațul Sfântu Gheorghe?
- ✓ Sistemul acvatic lotic Brațul Sfântu Gheorghe satisface cerințele de calitate DCA privind evaluarea biologică integrată a macrozoobentosului și starea ecologică bună?

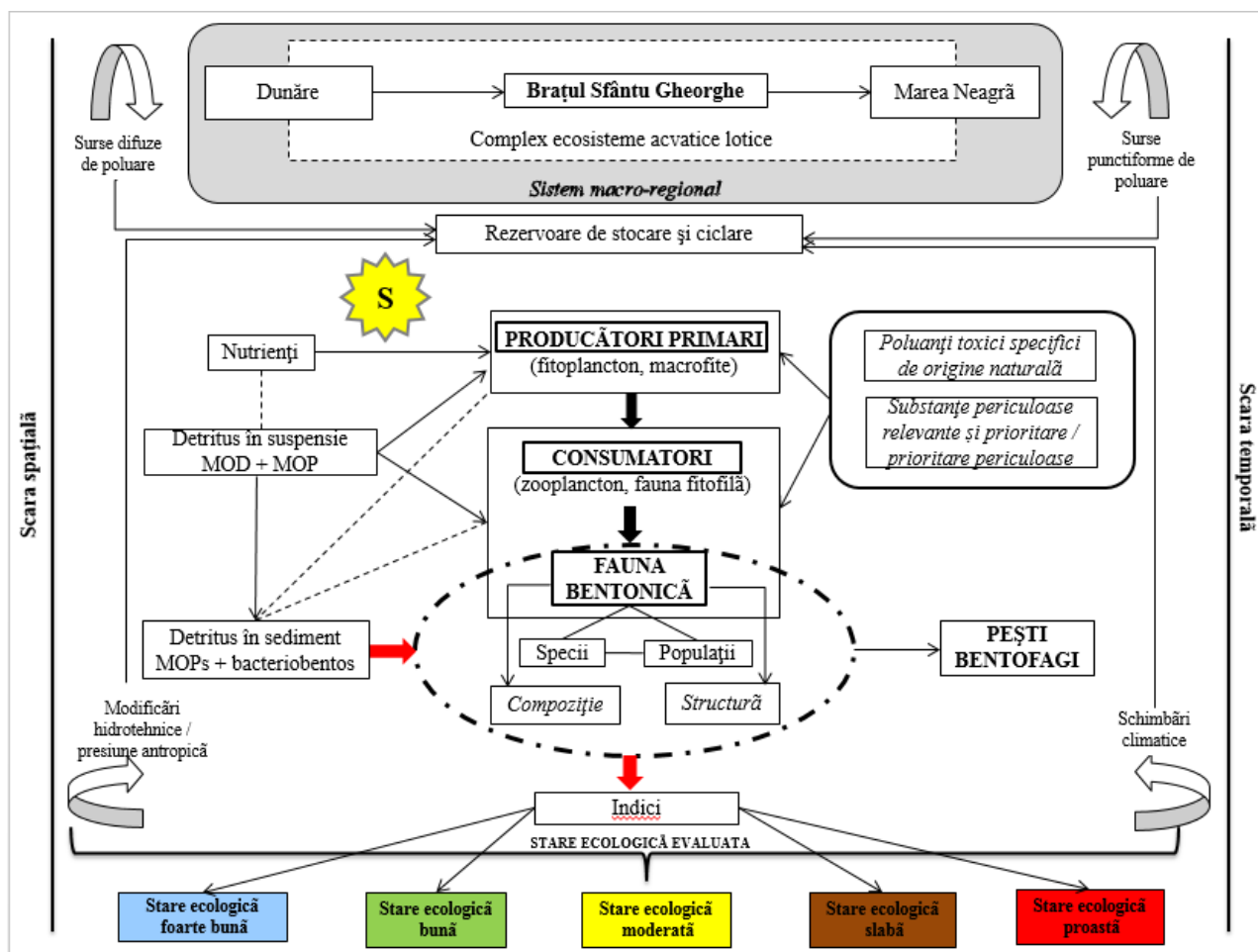


Fig. 3.1. Modelul conceptual de organizare a programului individual de cercetare în cadrul complexelor de ecosisteme acvatice lotice Brațul Sfântu Gheorghe (Legendă: S-energia solară, → efect direct, ---- interacțiune, → influența)

### 3.2. Scopul și obiectivele programului individual de cercetare

Scopul programului individual de cercetare este de a contribui la completarea și consolidarea cunoștințelor privind relevanța caracterizării compoziției și structurii faunei bentonice pentru evaluarea stării ecologice a ecosistemelor lotice din Delta Dunării (Brațul Sfântu Gheorghe), în vederea transpunerii în practică a prevederilor directivelor UE (în special DCA) și convențiilor internaționale privind conservarea, reconstrucția și utilizarea durabilă a ecosistemelor acvatice, iar *obiectivele și activitățile de cercetare* care au stat la baza acestui program individual de cercetare sunt prezentate detaliat în tabelul 3.1.

**Tabelul nr. 3.1**

Obiectivele și activitățile propuse în cadrul programului individual de cercetare

<b>OBIECTIVE ȘTIINȚIFICE DENUMIREA OBIECTIVULUI</b>	<b>ACTIVITĂȚI ASOCIATE</b>
<b>1.</b> Clarificarea conceptelor cu privire la evaluarea stării ecologice a ecosistemelor acvatice lotice și caracterizarea stadiului actual al cunoașterii privind compoziția și structura faunei bentale	<i>1.1. Identificarea și selectarea surselor de informații; 1.2. Stabilirea criteriilor de grupare a informațiilor; 1.3. Analiza și organizarea informațiilor și cunoștințelor cu evidențierea realizărilor, lipsurilor și incertitudinilor.</i>
<b>2.</b> Caracterizarea compoziției și structurii faunei bentonice din Brațul Sfântu Gheorghe al Deltei Dunării în perioada martie 2012 – septembrie 2013 în relație cu dinamica factorilor de comandă	<i>2.1. Proiectarea și stabilirea programului de investigare și monitorizare a UHGM și MTD; 2.2. Caracterizarea dinamicii UHGM; 2.3. Analiza compoziției și structurii nevertebratelor bentonice; 2.4. Diferențierea principalilor factori de comandă și de presiune asupra dinamicii faunei bentonice.</i>
<b>3.</b> Aplicarea metodologiei de evaluare a stării ecologice ecosistemelor acvatice lotice în conformitate cu cerințele DCA	<i>3.1. Selectarea și testarea indicilor propuși pentru evaluarea stării corpurilor de apă pe baza comunităților de macronevertebrate; 3.2. Interpretarea rezultatelor cercetării și evaluarea stării ecologice a ecosistemului acvatic lotic investigat pe baza comunităților bentonice.</i>
<b>4.</b> Transferul informațiilor obținute în urma aplicării metodologiei de evaluare a stării ecologice pentru ecosistemele acvatice studiate către sistemele de decizie și categoriile de utilizatori	<i>4.1. Participarea la conferințe și simpozioane în domeniu; 4.2. Publicarea de articole și lucrări de cercetare în publicații științifice. 4.3. Transferul rezultatelor cercetării către diferiți utilizatori.</i>

### 3.3. Organizarea spațială și temporală a programului individual de cercetare

Organizarea spațială și temporală a programului de cercetare asupra sistemului ecologic Dunăre-Delta Dunării a urmărit evidențierea interacțiunilor pe termen lung dintre dinamica stării faunei bentale și modificările intervenite în organizarea UHGM. Astfel, programul de cercetare a fost dimensionat în spațiu - la scara complexului de ecosisteme reprezentat de Brațul Sfântu

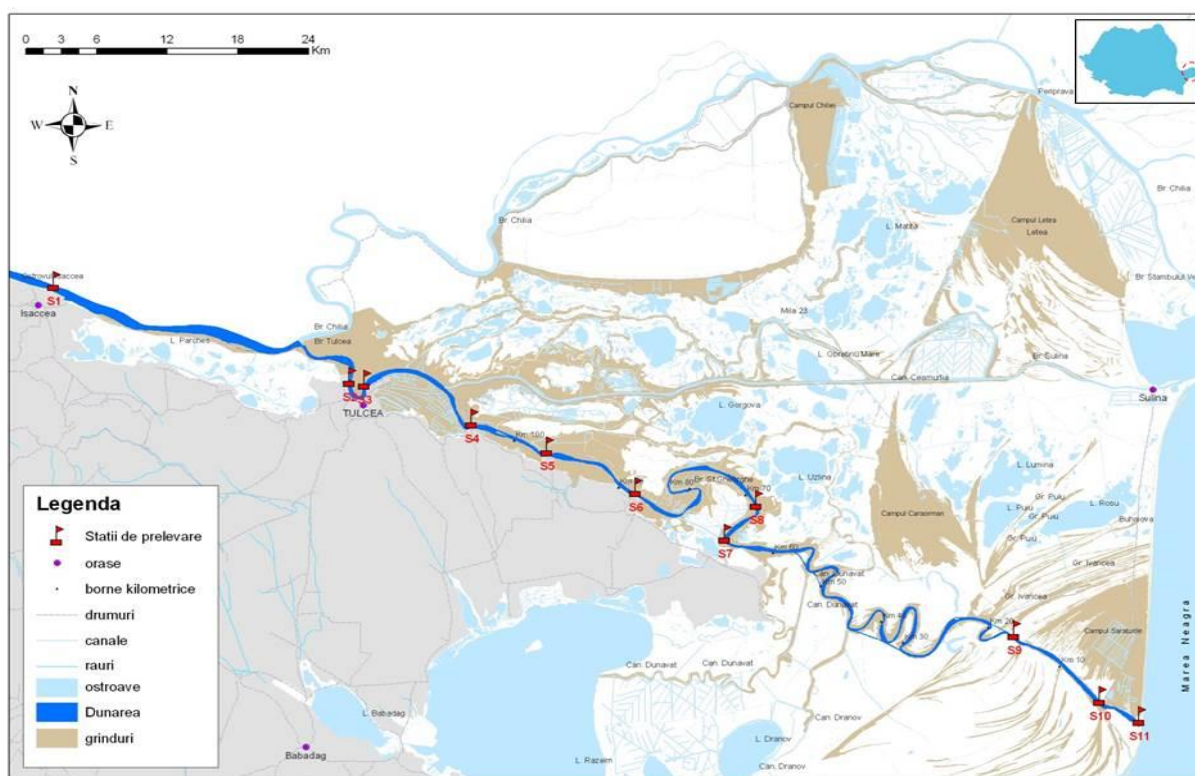
Gheorghe și a tronsonului de 62 km amonte al Dunării (Figura 3.2), și în timp - pe o perioadă de 1 an și jumătate, astfel încât să surprindă:

- heterogenitatea componentelor biotice (modulelor trofodinamice asociate);
- un domeniu minim de fluctuație a parametrilor de stare ai populațiilor (structura și compoziția faunei bentonice);
- variabilitatea spațială și temporală a UHGM (caracteristicile fizico-chimice ale apei și sedimentelor) și ecosistemelor integratoare (parametrii morfometrici și indicatori de stare ecologică).

Pentru realizarea obiectivelor programului individual de cercetare, s-au stabilit atât pe cursul Dunării, cât și în Delta Dunării, pe Brațul Sfântu Gheorghe, unsprezece stații de prelevare, corespunzătoare a două corpuri de apă încadrate în categorii tipologice distincte, distribuite astfel:

- *Dunăre*: Isaccea (km 103);
- *Brațul Tulcea*: Amonte Tulcea (km 82), Aval Tulcea (km 70);
- *Brațul Sfântu Gheorghe*: Nufăru (km 101), Băltenii de Sus (km 97), Mahmudia (km 90), Murighiol (km 64), Uzlina (km 70), Ivancea (km 16), Sfântu Gheorghe Port (km 5), ieșire Mare (km 0).

Amplasarea stațiilor de prelevare s-a realizat în funcție de modificările produse în structura Brațului Sfântu Gheorghe ca răspuns a presiunii exercitate de factorii de comandă (Tabelul 3.2).



**Fig.3.2.** Organizarea în spațiu a programului individual de cercetare și amplasarea stațiilor în sistemul Dunăre-Delta Dunării (Brațul Sfântu Gheorghe)

Aceasta a fost stabilită astfel încât să surprindă atât etapele importante ale ciclurilor de viață, domeniile de fluctuație ale variabilelor de stare, modificările în structura comunităților

bentonice, cât și amploarea și sensul în care se produce evoluția sistemelor. Totuși, în timpul campaniilor de prelevare a probelor au fost întâmpinate o serie de limite; limite generate fie de inaccesibilitatea în anumite zone (centru) și în anumite momente de timp datorate condițiilor hidrologice (debit), morfologice (viteza) și meteorologice (vânt), fie de carențele pregătirii logistice.

Complexele de ecosisteme lotice reprezentate de Dunăre și Delta Dunării, conform Anexei XI a DCA, aparține Ecoregiunii Pontice (12), iar tipologia a fost realizată pe baza unui sistem armonizat elaborat în cadrul Proiectului GEF/UNDP<sup>8</sup> Danube Regional Project – *Tipologia și condițiile de referință pentru fluviul Dunărea*, utilizând contribuțiile naționale ale țărilor dunărene. Pe baza parametrilor descriși în cadrul Sintezei Proiectelor Planurilor de Management la nivel de Bazine/Spații Hidrografice (2014), pentru Dunăre și Delta Dunării au fost definite următoarele 4 categorii tipologice dintre care, doar două fac parte din zona de studiu: RO12 – zona Cazanelor; RO13 – Cazane – Călărași; **RO14 – Chiciu – Isaccea și RO15 - Delta Dunării**. Astfel, cele unsprezece stații de prelevare la care facem referire în cadrul studiului aparțin la două “corpuri de apă” diferite: stația S1 aparține categoriei tipologice Dunărea – Călărași – Isaccea (RO14), iar celelalte zece stații (S2-S11) localizate în Delta Dunării aparțin categoriei tipologice RO15.

**Tabelul nr. 3.2**

Potențiale surse de presiune identificate la nivelul sistemului ecologic Dunăre-Delta Dunării (Brațul Sfântu Gheorghe)

<i>Stația</i>	<i>Potențiale surse de presiune</i>	<i>Observații</i>
<b>Isaccea S1</b>	- aglomerare umană >2000 loc. pe malul drept al Dunării, la cca. 35 km N-V amonte de municipiul Tulcea; poluare din surse agricole;	-gradul de racordare la sistemele de colectare <40%; -stație de epurare cu treaptă mecano-biologică.
<b>Amonte Tulcea S2</b>	- aglomerare umană >2000 loc. pe malul drept al Dunării, amonte de Vama Tulcea; sursă punctiformă de poluare industrială: S.C. ROMIT S.A Tulcea: fabricarea produselor din carne	- gradul de racordare la sistemele de colectare 40-75%; -stație de epurare cu treaptă mecano-biologică.
<b>Aval Tulcea S3</b>	- aglomerare umană >2000 loc. pe malul drept al Dunării, la cca. 4 km aval de Vama Tulcea; sursa punctiformă de poluare industrială: S.C. ALUM S.A Tulcea: procesarea bauxitei și obținerea aluminei calcinate VARD Tulcea-șantier naval, activitate industrială, construcție nave, țevi	- gradul de racordare la sistemele de colectare 40-75%; -stație de epurare cu treaptă mecano-biologică.
<b>Nufăru S4</b>	- aglomerare umană >2000 loc. pe malul drept al Brațului Sfântu Gheorghe, la 10 km aval de Tulcea; sursă punctiformă de poluare industrială: S.C. CARNIPROD SRL Tulcea, fabrică de preparate din carne, abator și fermă de porci	-gradul de racordare la sistemele de colectare <40%; -stație de epurare prevăzut/nefinalizat

<sup>8</sup> Global Environment Facility / United Nations Development Programme

<b>Bălteni de Sus S5</b>	- aglomerare umană < 150 loc. pe malul drept al Brațului Sfântu Gheorghe; activitățile locuitorilor sunt cele cu specific agricol și piscicol; poluare din surse agricole; -sursa difuză de poluare, management necorespunzător al deșeurilor menajere	- fără sistem de racordare la sistemele de colectare; - stație de epurare inexistentă
<b>Mahmudia S6</b>	- aglomerare umană > 2000 loc. pe malul drept al Brațului Sfântu Gheorghe; dană de acostare a ambarcațiunilor de agrement; poluare din surse agricole; deversări ape reziduale rezultate din activități turistice.	-gradul de racordare la sistemele de colectare < 40%; -stație de epurare prevazut/nefinalizat
<b>Murighiol S7</b>	- aglomerare umană > 2000 loc. pe malul drept al Brațului Sfântu Gheorghe; activitățile locuitorilor sunt cele cu specific agricol și piscicol; poluare din surse agricole; dană de acostare a ambarcațiunilor de agrement;	- gradul de racordare la sistemele de colectare < 40%; -stație de epurare cu treaptă mecano-biologică.
<b>Uzlina S8</b>	- aglomerare umană < 100 loc. pe meandra Brațului Sf. Gheorghe, activitățile locuitorilor sunt cele cu specific agricol și piscicol; poluare din surse agricole; dană de acostare a ambarcațiunilor de agrement; deversări ape reziduale rezultate din activități turistice.	- fără sistem de racordare la sistemele de colectare; - stație de epurare inexistentă
<b>Ivancea S9</b>	-zona de final a meandrelor, km 16 amonte Marea Neagră	-
<b>Sfântu Gheorghe S10</b>	- aglomerare umană < 1000 loc. și port pe malul stâng al Brațului Sfântu Gheorghe; activitățile locuitorilor sunt cele cu specific agricol și piscicol; poluare din surse agricole; dană de acostare a ambarcațiunilor de agrement; deversări ape reziduale rezultate din activități turistice. -sursa difuză de poluare, management necorespunzător al deșeurilor menajere	- fără sistem de racordare la sistemele de colectare; - stație de epurare inexistentă
<b>Ieșire Marea Neagră S11</b>	- zona de vărsare a Dunării în Marea Neagră	-

În ceea ce privește *organizarea la scară temporală*, programul de cercetare s-a desfășurat în intervalul *martie 2012 – septembrie 2013* (Tabelul 3.3, Diagrama Gantt). Frecvența *lunară* de prelevare a probelor a fost direct influențată de particularitățile compartimentului, de extinderea spațio-temporală și de scopul cercetării.

Tabelul nr. 3.3

Diagrama Gantt a programului individual de cercetare

Obiective științifice / Activități asociate	2011		2012		2013		2014	
	Semestre							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>O1. Clarificarea conceptelor cu privire la evaluarea stării ecologice a ecosistemelor acvatice lotice și caracterizarea stadiului actual al cunoașterii privind compoziția și structura faunei bentale</b>								
<i>A1.1. Identificarea și selectarea surselor de informații</i>								
<i>A1.2. Stabilirea criteriilor de grupare a informațiilor</i>								
<i>A1.3. Analiza și organizarea informațiilor și cunoștințelor cu evidențierea realizărilor, lipsurilor și incertitudinilor</i>								
<b>O2. Caracterizarea compoziției și structurii faunei bentonice din Brațul Sfântu Gheorghe al Deltei Dunării în perioada martie 2012 – septembrie 2013 în relație cu dinamica factorilor de comandă</b>								
<i>A2.1. Proiectarea și stabilirea programului de investigare și monitorizare a UHGM și MTD</i>								
<i>A2.2. Caracterizarea dinamicii UHGM</i>								
<i>A2.3. Analiza compoziției și structurii nevertebratelor bentonice</i>								
<i>A2.4. Diferențierea principalilor factori de comandă și de presiune asupra dinamicii faunei bentonice</i>								
<b>O3. Aplicarea metodologiei de evaluare a stării ecologice ecosistemelor acvatice lotice în conformitate cu cerințele DCA</b>								
<i>A3.1. Selectarea și testarea indicilor propuși pentru evaluarea stării corpurilor de apă pe baza comunităților de macronevertebrate</i>								
<i>A3.2. Interpretarea rezultatelor cercetării și evaluarea stării ecologice a ecosistemului acvatic lotic investigat pe baza comunităților bentonice</i>								
<b>O4. Transferul informațiilor obținute în urma aplicării metodologiei de evaluare a stării ecologice pentru ecosistemele acvatice studiate către sistemele de decizie și categoriile de utilizatori</b>								
<i>A4.1. Participarea la conferințe și simpozioane în domeniu</i>								
<i>A4.2. Publicarea de articole și lucrări de cercetare în publicații științifice</i>								
<i>A4.3. Transferul rezultatelor cercetării către diferiți utilizatori</i>								

### 3.4. Identificarea variabilelor de stare

Pentru caracterizarea UHGM și a principalilor factori de comandă răspunzători de dinamica faunei bentale, s-a impus stabilirea domeniilor de fluctuație a parametrilor hidrogeomorfologici și fizico-chimici care influențează starea populațiilor și caracterizarea altor MTD (producători primari, comunitățile microbiene) care prin diverse procese biologice condiționează compoziția populațiilor bentonice (Tabelul 3.4). Totodată, evaluarea acestor elemente menționate mai sus, poate oferi informații referitoare la condițiile naturale, eventuale alterări ale acestora sau amploarea impactului antropic, respectiv starea calității corpurilor de apă în perioada martie 2012 – septembrie 2013.

**Tabelul nr. 3.4**

Variabile de stare care controlează structura și compoziția faunei bentale pentru evaluarea stării ecologice a sistemului Dunăre – Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe)

<b>I</b>		<b>UNITATEA HIDROGEOMORFOLOGICĂ</b>
Variabile ale localizării geografice	Coordonate geografice	Latitudine
		Longitudine
Variabile ale stațiilor de prelevare	<b>Parametrii hidromorfologici care influențează starea populațiilor</b>	
	Regim hidrologic	Debit, turbiditate, aluviuni în suspensie
	Condiții morfologice	Nivel, suprafața secțiunii, viteza, lățimea medie, adâncimea medie
Variabile ale rezervoarelor de stocare și ciclare	<b>Parametri chimici și fizico-chimici care influențează starea populațiilor</b>	
	Parametrii generali	
	Condiții termice	Temperatura
	Condiții de oxigenare	Oxigen dizolvat (OD) Consum chimic de oxigen (CCOCr) Consum biochimic de oxigen (CBO <sub>5</sub> )
	Salinitate	Conductivitate, reziduu filtrabil uscat la 105°C
	Nivel de acidifiere	pH
	Concentrațiile nutrienților	Amoniu (N-NH <sub>4</sub> ) Azotați (N-NO <sub>3</sub> ) Azotiți (N-NO <sub>2</sub> ) Azot total (Nt) Ortofosfați solubili (P-PO <sub>4</sub> ) Fosfor total (Pt)
	Poluanți toxici specifici de origine naturală	Metale (arsen, cadmiu, crom total, cupru, plumb, mercur, zinc, nichel, fier, cobalt)
	Substanțe periculoase relevante și prioritare / prioritare periculoase	Compuși aromatici mononucleari și polinucleari Bifenili policlorurați Produse petroliere Pesticide
	<b>II</b>	
Variabile ale rezervoarelor de stocare și ciclare	Parametrii microbiologici	Coliformi totali Coliformi fecali Streptococci fecali
	Producătorii primari	Abundența fitoplanctonului Mărimea populației (μg Chl a/L)

### 3.5 Materiale și metode de studiu

#### 3.5.1. Metode de prelevare, conservare și prelucrare primară a probelor

În cadrul programului individual de cercetare, s-a optat pentru prelevarea probelor de bentos atât în conformitate cu metodologiile indicate de ghidurile specifice naționale și internaționale (SR EN ISO 5667-1:2008; SR ISO 5667-6:2014; SR ISO 5667-12:2001), cât și având în vedere opinia mai multor autori (Lie și colab., 1965; Ankar, 1977; Riddle, 1989; Blomqvist, 1991; Rîșnoveanu, 2006). În acest caz, prelevarea a fost cantitativă și s-a utilizat *draga de tip Van Veen*, potrivită pentru prelevarea a diferite tipuri de substrat, menținerea integrității probei și pentru surprinderea unei dispersii mari a organismelor. Suprafața unității de probă a fost de 250 cm<sup>2</sup>, iar adâncimea de prelevare de 10 cm. Pentru a obține o bună precizie în estimarea parametrilor structurali ai faunei bentonice, proba a fost prelevată randomizat de-a lungul fiecărui transect transversal: mal stâng-centru-mal drept și a fost formată din 3 unități de probă. Astfel, în total au fost analizate 1306 unități de probă. Probele colectate în teren au fost puse în pungi de plastic, conservate cu formol de concentrație 4% și etichetate corespunzător. În laborator, acestea au fost spălate prin site cu dimensiunile ochiurilor de 500 μm și 200 μm, iar materialul spălat a fost transferat în pahare Berzelius de 600 ml și pregătit pentru triere. Triajul a fost efectuat manual cu ajutorul stereomicroscopului Motic, unde organismele au fost separate de substrat, detritus, frunze, lemne, alge, etc., numărate și distribuite în flacoane de sticlă pe grupe taxonomice pentru identificare. Organismele păstrate pentru identificare au fost conservate cu alcool etilic 70% până la prelucrarea finală. Colectarea probelor pentru analiza parametrilor fizico-chimici s-a realizat conform ghidurilor specifice menționate anterior, pentru apă în recipiente de plastic (2L) și sticla (1L) (pentru analiza hidrocarburilor), iar pentru sediment în flacoane de sticlă (400g). Pentru analiza microbiologică, probele au fost prelevate în flacoane din sticlă 1 L (pentru apă) și 400 g (pentru sediment) sterilizate la 160°C.

Pentru analiza organismelor fitoplanctonice, probele de apă s-au colectat în recipiente de plastic de 1L și au fost conservate cu soluție de formaldehida 4%. Pentru determinarea concentrației de clorofilă "a", probele de apă au fost prelevate în flacoane de sticlă brună (1L). Toate probele au fost conservate la o temperatură de 4-5°C pe durata deplasării și analizate la recepția lor în laborator.

#### 3.5.2. Metode de identificare și analiză taxonomică

Macronevertebratele bentonice separate în etapa de triere pe grupe taxonomice au fost identificate cu ajutorul stereomicroscopului Motic și a cheilor de determinare ale lui Chiriac și Udrescu (1965), Holsinger (1972), McDonald și colab. (1991), Brinkhurts (1971), Milligan și Hulbert (1997), Witt și colab. (1997), Thorp și Covich (2001), Godeanu (2002), Bouchard (2004), Walker (2006), Grintsov și Sezgin (2011), și chei de determinare vizuale. Nematodele au fost identificate la nivel de încregătură, Oligochaetele la nivel de subclasă, iar identificarea organismelor din ordinul Diptera s-a efectuat la nivel de familie.

#### 3.5.3. Metode de determinare a parametrilor fizico-chimici din cadrul ecosistemelor studiate

Parametrii de calitate chimici și fizici care influențează starea populațiilor și caracterizează procesele ecologice de la nivelul sistemelor acvatice au fost determinați cu ajutorul echipei din cadrul Laboratorului Calitate Apă, Sol, Deșeuri a Departamentului Control Poluare (INCD

ECOIND), acreditat RENAR, conform cerințelor referențialului SR EN ISO/CEI 17025:2005. Metodele de analiză a parametrilor fizico-chimici au inclus determinări prin tehnici volumetrice, gravimetrice, spectrofotometrice, spectrometrice de absorbție atomică (AAS), spectroscopice de emisie atomică cu plasmă cuplată prin inducție (ICP-EOS) și cromatografice în fază lichidă de înaltă performanță cu detecție UV. Concentrația oxigenului dizolvat (O<sub>2</sub>) (mg/L), temperatura apei (T) (°C), pH-ul (unități de pH) și conductivitatea (μS/cm) au fost măsurate in-situ utilizând sonda multiparametrică 350i, Sentix 41-3, ConOx-3 (WTW, Germania).

#### *3.5.4. Metode de prelucrare și analiză a datelor*

Prelucrarea statistică a datelor s-a efectuat utilizând Microsoft Office Excel 2013. Pentru caracterizarea dinamicii populațiilor bentonice, estimarea indicilor structurali și interpretarea cantitativă ale acestora, datele au fost prelucrate statistic utilizând programele PRIMER 6 & PERMANOVA+ (Clarke și Gorley, 2006) și PAST (Hammer și colab., 2001).

#### *3.5.5. Metode de estimare a principalilor indici care caracterizează starea ecosistemelor lotice pe baza compoziției și structurii macronevertebratelor bentonice*

Baza oricărei analize biocenotice o reprezintă descrierea compoziției și structurii populațiilor componente. În acest scop, s-a impus testarea unor indici specifici, prin intermediul unor tehnici de analiză statistică univariată și multivariate astfel încât să putem aprecia starea ecosistemelor integroare. *Compoziția taxonomică* a reprezentat indicele care relevă sub aspect calitativ structura și bogăția taxonomică a comunităților bentale, indice considerat a fi și o măsură a diversității (diversitatea taxonomică) și variabilității acestora (Clarke și Warwick, 2001; Rîșnoveanu și Popescu, 2011). Pentru caracterizarea diversității populațiilor bentonice s-a utilizat o serie de indici structurali, precum: *bogăția taxonomică*, *indice de constanță (C)*, *indice dedominanță (D)*, *indice de semnificație ecologică (W)*, *abundența relativă (A.n. %)*, indici de diversitate: indicele de diversitate Shannon-Wiener (H'), indicele Brillouin, indicele de diversitate Margalef, indicele de dominanță Simpson (D), *echitabilitatea* și indici biotici (*indicele biotic Hilsenhoff (IBH)*). Pentru evaluarea stării ecologice a corpurilor de apă s-au testat indicii propuși la nivel național în metodologia de clasificare și evaluare a stării ecologice a corpurilor de apă aflate pe cursurile de apă naturale (Anexa 6.1.1.B a PMBH care coincid Anexei 6.1.1.C a noului PMBH). Evaluarea pe baza elementelor fizico-chimice s-a efectuat pe baza calculului percentilelor fiecărui indicator pentru care s-au elaborate limite (Anexa 6.1.3A a PMBH care coincid Anexei 6.1.3A a noului PMBH). *Pe baza rezultatelor obținute atât din evaluarea componentei biotice, cât și a celei abiotice, s-a considerat starea ecologică finală în funcție de „cea mai defavorabilă situație” / „one out all out principle”.*

Pentru evidențierea relevanței structurii și compoziției faunei bentonice în evaluarea stării ecologice a ecosistemelor acvatice lotice, am utilizat analiza statistică multivariată pe baza fie a unor procedee de clasificare (*analiza cluster* (Clarke și Warwick, 1994)) sau a tehnicilor de ordonare (*nMDS* (non-metric Multi-Dimensional-Scaling), *PCO* (Principal Coordinates Ordination), *PCA* (*Principal Component Analysis*) și *DistLM* (*distance-based linear models*)).

## 4. Rezultate

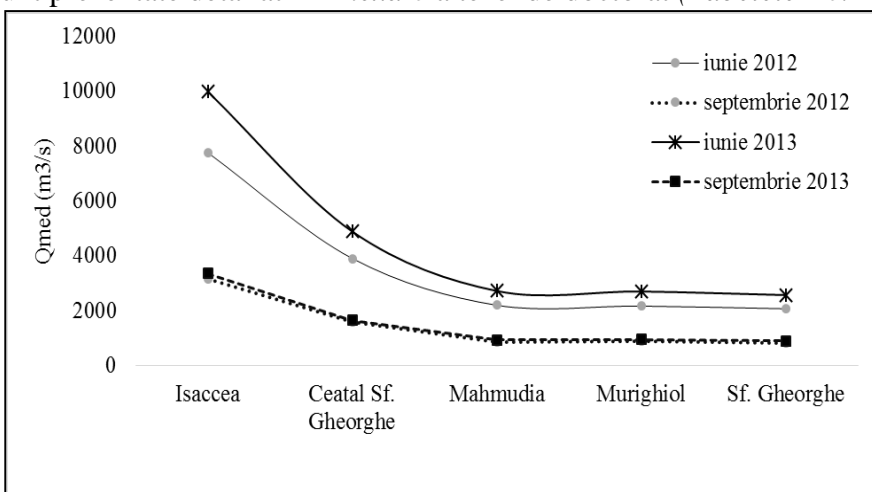
### 4.1. Caracterizarea unităților hidrogeomorfologice

#### 4.1.1. Dinamica parametrilor hidromorfologici în sistemul acvatic lotic studiat în perioada 2012-2013

Caracterizarea regimului hidrologic și a condițiilor morfologice a fost posibilă datorită măsurătorilor puse la dispoziție, la cerere, de Administrația Bazinală de Apă “Dobrogea-Litoral”, SGA Tulcea, măsurători efectuate la stațiile hidrometrice Isaccea pe Dunăre, Ceatal Sf. Gheorghe pe Brațul Tulcea, Mahmudia, Murighiol și Sf. Gheorghe pe Brațul Sf. Gheorghe.

Tendința de variație în ecosistemele Deltei Dunării urmează cu o anumită latență dinamica regimului fluviului în amonte, amplitudinea de variație este sensibil atenuată de la stația hidrometrică Isaccea către interiorul deltei, datorită controlului exercitat de regimul Mării Negre și desigur, efectului tampon al proceselor hidrologice specifice deltei.

Variațiile lunare de nivel (H), debit (Q), turbiditate și aluviuni în suspensie măsurate în perioada martie 2012-septembrie 2013 în fiecare stație hidrometrică a sistemelor acvatice lotice sunt prezentate detaliat în *Anexa 6* a tezei de doctorat (*Tabelele A6.1÷A6.5*).



**Fig.4.1.** Variația debitului mediu lunar înregistrat în lunile iunie și septembrie (2012-2013) pe Dunăre-Brațul Sf. Gheorghe

Analiza debitelor a arătat că cele mai mari valori s-au înregistrat în luna iunie atât în 2012, cât și în 2013, debit rezultat prin propagarea debitelor mari din lunile de primăvară, iar cele mai mici debite au fost înregistrate la sfârșitul verii, începutul toamnei (luna septembrie) asociate cu temperaturile crescute din timpul verii (Figura 4.1).

Aceste modificări ale regimului hidrologic pot influența anumite procese biochimice care au loc la interfața apă-sediment, ce pot determina disponibilitatea nutrienților, a oxigenului dizolvat, esențiale pentru viața organismelor, dar și procese precum sedimentarea materiei organice particulare legate în principal de viteza curentului, care determină o heterogenitate ridicată a sedimentelor atât pe orizontală cât și pe verticală, cu implicații asupra structurii populațiilor bentonice.

#### 4.1.2. Dinamica parametrilor fizico-chimici în sistemul acvatic lotic studiat în perioada 2012-2013

Variația indicatorilor de calitate fizico-chimici (în apă și sediment) determinați în perioada martie 2012-septembrie 2013 în sistemul ecologic Dunăre-Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe) a

fost prezentată în *Anexa 7* a tezei de doctorat (*Tabelele A7.1 și A7.2*) ca valori minime, maxime și medii. Abaterrea standard a fost calculată din concentrații măsurate lunar și a fost aplicată mediei acestor determinări. În perioada 2012-2013 nu s-au evidențiat fenomene naturale deosebite, astfel că elementele de calitate fizico-chimice au prezentat fluctuații sezoniere normale, în sensul concentrațiilor crescute vara și toamna și scăzute în timpul primăverii și iarna.

Concentrația oxigenului dizolvat a avut un domeniu larg de variație, iar concentrațiile scăzute au fost datorate proceselor de degradare a materiei organice, identificate îndeosebi la S7 (Murighiol). O diminuare ușoară a încărcării organice a fost evidențiată în 2013 față de 2012, concentrații maxime fiind semnalate în timpul verii la S7 (Murighiol). Reducerea aportului de materie organică biodegradabilă s-a datorat fie construcției sau re tehnologizării stațiilor de epurare, fie reducerii intensității activității socio-economice.

Salinitatea a fost caracterizată de fluctuații cu amplitudini similare în toate stațiile de prelevare, mai ridicate la S7 (Murighiol) și S11 (Ieșire Mare).

Concentrațiile nutrienților au variat sezonier (2012-2013) în sensul creșterii acestora în timpul verii și toamnei. Creșterea concentrației nutrienților (în speță, N-NO<sub>3</sub>) a fost asociată cu scăderea concentrației oxigenului dizolvat la S3 (Aval Tulcea), S5 (Bâltanii de Sus), S7 (Murighiol), S8 (Uzlina), S9 (Ivancea) și S10 (Sf.Gheorghe) ca rezultat al procesului de nitrificare și inputului generat de activitățile antropice aval de orașul Tulcea. La S7 (Murighiol), fluxul de materie și energie a fost mai intens datorită populațiilor de nevertebrate bentonice care au favorizat schimburile de la interfața sediment/apă prin metabolizarea compușilor organici sedimentați și implicit facilitarea “turnover-ului” nutrienților.

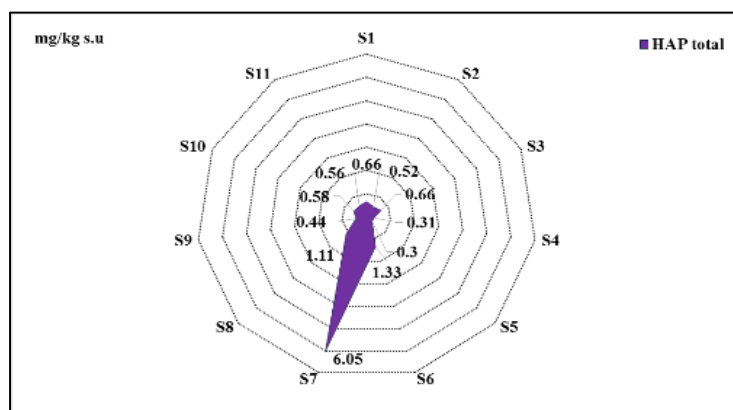
Dinamica temporală și spațială a concentrației metalelor determinate în apă la nivelul complexelor de ecosisteme acvatice studiate în perioada martie 2012 – septembrie 2013 a evidențiat prezența acestora preponderent la stațiile situate pe Dunăre, S1 (Isaccea) și pe Brațul Tulcea, S2 (Amonte Tulcea) și S3 (Aval Tulcea).

Dinamica poluanților specifici de tip sintetic (organici) (PCB, pesticide organoclorurate și  $\gamma$  – HCH (lindan)) în apă au fost sub limita de detecție a metodei, în timp ce concentrațiile maxime înregistrate pentru hidrocarburile petroliere au prezentat variații spațiale, cele mai mari valori fiind determinate la S7 (Murighiol).

În sediment, concentrațiile metalelor au evidențiat unele diferențe între stațiile de prelevare care au fost explicate prin poziția locației în raport cu sursele de presiune antropică (deversări ape industriale), poluarea istorică sau factorii climatici. S-a constatat o dinamică asemănătoare a cuprului, zincului, nichelului și plumbului în sensul că, în majoritatea stațiilor de prelevare concentrațiile acestor metale în probele de sediment, au prezentat valori maxime vara și toamna, spre deosebire de probele de apă, unde concentrațiile cele mai ridicate s-au obținut preponderent la începutul primăverii, fapt pentru care s-a stabilit că *nu există o corelație semnificativă între concentrația metalelor determinate în apă și cea din sediment*.

Concentrațiile hidrocarburilor aromatice policiclice (HAP) în sediment au prezentat variații relativ constante în perioada de studiu, cu excepția stației S7 (Murighiol), unde a fost determinate cea mai mare valoare în luna august 2013 (Figura 4.2).

Prezența în sediment a poluanților: pesticide organoclorurate, DDT/DDE/DDD,  $\gamma$ -HCH și metale au fost peste limita de detecție a metodei.



**Fig.4.2.** Variația spațială a concentrațiilor medii a HAP din probele de sediment prelevate în perioada 2012-2013 de la nivelul sistemului ecologic Dunăre-Brațul Sf. Gheorghe

#### 4.2. Caracterizarea modulelor trofodinamice care influențează dinamica macronevertebratelor bentonice-compoziție și distribuție spațio-temporală

Au fost identificate bacterii cu potențial patogen (bacterii coliforme totale, *Escherichia coli* și enterococci) atât în structura bacterioplanctonului, cât și a bacteriobentosului. Dinamica bacteriilor în probele de apă a prezentat aceleași trăsături pentru CT, EC și ENT. Dezvoltarea bacteriană crește progresiv la stațiile din interiorul deltei, față de cele de pe Dunăre și Brațul Tulcea. În ceea ce privește densitatea numerică a bacteriobentosului, la nivelul sistemului Dunăre-Brațul Sf. Gheorghe, media densității numerice calculată pentru probele de sediment a fost de două ori mai mare decât media densităților populațiilor bacteriene determinate în probele de apă. Distribuția acestora prezintă o fază de lag (“delay”) în sediment față de dinamica bacteriilor în apă, și a fost determinată de condițiile de aerare și de dinamica substratului nutritiv la interfața apă-sediment.

Analiza calitativă a organismelor fitoplanctonice existente la nivelul sistemului ecologic Dunăre-Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe) în perioada martie 2012-septembrie 2013 a evidențiat prezența speciilor aparținând claselor Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Euglenophyceae și Cyanophyceae. În toate stațiile de prelevare au dominat speciile oligo-betamezosaprobe, betamezosaprobe, beta-alfamezosaprobe și alfamezosaprobe. Diversitatea taxonomică a fitoplanctonului a cuprins 64 de specii de alge (date nepublicate) (Anexa 8 a tezei de doctorat, Tabelul A8.1). Densitatea numerică a fitoplanctonului a crescut de la stația Isaccea (S1) situată pe Dunăre spre stațiile localizate pe Brațul Sf. Gheorghe.

#### 4.3. Compoziția și structura faunei bentale în sistemul acvatic lotic în perioada 2012-2013

##### 4.3.1. Compoziția taxonomică și frecvența de apariție a grupelor de organisme componente

Analiza compoziției taxonomice a macronevertebratelor bentonice în perioada martie 2012-septembrie 2013 la nivelul complexelor de ecosisteme acvatice reprezentate de Dunăre și Brațul Sf. Gheorghe a permis identificarea a 12 grupe taxonomice, din care 6 la nivel supraspecific (Oligochaeta, Nematoda, Diptera: Psychodidae, Ceratopogonidae, Tipulidae și Chironomidae) și 41 la nivel de specii (Tabelul 4.1).

Tabelul nr. 4.1

Principalele grupe taxonomice identificate la nivelul sistemului ecologic Dunăre-Brațul Sf. Gheorghe în perioada martie 2012 – septembrie 2013

Nr. crt.	Grup taxonomic	Specie	Stația de prelevare											F* %	D** %	W*** %	
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11				
1.	CL. OLIGOCHAETA	VARIA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	C4	ED	W5
2.	INCR. NEMATODA	VARIA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	C4	R	W3
3.	ORD. DIPTERA	Psychodidae ( <i>Psychoda</i> sp.) Latreille													C1	SR	W1
		Ceratopogonidae ( <i>Ceratopogon</i> sp.) Meigen								✓	✓				C2	SR	W2
		Tipulidae ( <i>Tipula</i> sp.) Linnaeus														C1	SR
4.	FAM. CHIRONOMIDAE	VARIA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	C4	R	W3	
5.	CL. HIRUDINEA	<i>Helobdella stagnalis</i> Linnaeus			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	C3	SR	W2	
6.	ORD. ISOPODA	<i>Asellus aquaticus</i> Linnaeus	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	C4	R	W2	
7.	ORD. AMPHIPODA	<i>Corophium curvispinum</i> Sars	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	C4	D	W4	
		<i>Echinogammarus ischnus</i> Stebbing	✓	✓		✓									C2	R	W2
		<i>Dikergammarus villosus</i> Martynov	✓	✓		✓		✓				✓	✓		C3	SD	W3
		<i>Dikergammarus haemobaphes</i> Eichwald	✓	✓	✓	✓		✓	✓			✓	✓		C3	SD	W3
8.	CL. BIVALVIA	<i>Spaerium cornutum</i> Linnaeus	✓	✓		✓		✓	✓	✓		✓			C3	SR	W2
		<i>Unio pictorum</i> Linnaeus	✓			✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		C3	SR	W2
		<i>Dreissena polymorpha</i> Pallas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		C4	D	W2
		<i>Corbicula fluminea</i> O.F. Muller	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		C4	R	W3
		<i>Anodonta cygnea</i> Linnaeus		✓	✓			✓	✓	✓		✓	✓		C3	SR	W2
		<i>Pseudanodonta complanata</i> Rossmassler								✓	✓				C1	SR	W1
		<i>Sinanodonta</i> sp.								✓	✓		✓	✓	C2	SR	W2
		<i>Mya arenaria</i>										✓	✓	✓	C2	ED	W3
		<i>Cardium</i> sp.										✓	✓	✓	C2	SR	W2
		<i>Scapharca</i> sp.											✓	✓	C1	SR	W1
		<i>Mytilus galoprovincialis</i>											✓	✓	C1	SR	W1
		<i>Abra alba</i>									✓		✓	✓	C1	SR	W1
<i>Donacilla</i> sp.											✓	✓	C1	SR	W1		
9.	CL. GASTEROPODA	<i>Hydrobia arenarium</i>								✓		✓	✓	C2	R	W2	
		<i>Bithynia tentaculata</i> Linnaeus	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		C4	R	W3
		<i>Galba truncatula</i> O.F. Muller		✓						✓	✓		✓		C2	SR	W2
		<i>Valvata piscinalis</i> O.F. Muller	✓							✓	✓	✓	✓		C2	SR	W2
		<i>Esperiana acicularis</i> Ferrussac	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		C4	R	W3
		<i>Esperiana esperi</i> Ferrussac	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		C4	R	W3
		<i>Lithoglyphus naticoides</i> C. Pfeiffe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		C4	ED	W5
		<i>Theodoxus fluviatilis</i> C. Pfeiffe	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		C4	SD	W3
		<i>Theodoxus danubialis</i> C. Pfeiffe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		C4	SD	W3
		<i>Theodoxus transversalis</i> C. Pfeiffe	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			C4	R	W3
		<i>Segmentina nitida</i> O.F. Muller	✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓	✓		C3	SR	W2
		<i>Lymnea stagnalis</i> Linnaeus				✓				✓	✓		✓		C2	SR	W2
		<i>Radix ovata</i> Draparnaud								✓	✓		✓		C1	SR	W1
		<i>Planorbis cornutus</i> Linnaeus	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		C4	R	W3
		<i>Planorbis planorbis</i> Linnaeus	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		C4	R	W3
		<i>Viviparus acerosus</i> Bourguignat	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		C4	R	W3
		<i>Viviparus viviparus</i> Linnaeus		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		C3	R	W2
		<i>Physa fontinalis</i> Linnaeus				✓				✓	✓	✓	✓		C2	SR	W2
<i>Physella acuta</i> Draparnaud	✓		✓					✓	✓	✓	✓		C3	SR	W2		
10.	CL. OSTRACODA	<i>Eucypris</i> sp.											✓	C1	SR	W1	
11.	ORD. DECAPODA	<i>Astacus leptodactylus</i> Escholtz								✓				C1	SR	W1	
12.	ORD. TRICHOPTERA	<i>Hydropsyche bulgaromanorum</i> McLachlan												✓	C1	SR	W1

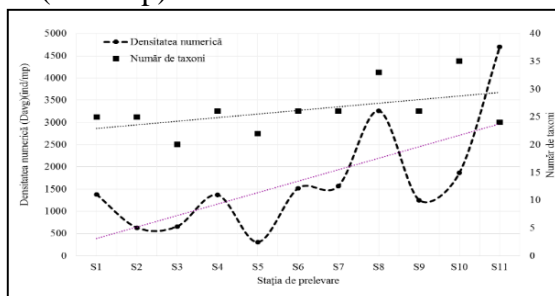
Legenda: ✓ - prezent

\* C<sub>1</sub> - specii accidentale (<25.0%); C<sub>2</sub> - specii accesorii (25.1-50.0%); C<sub>3</sub> - specii constante (50.1-75.0%); C<sub>4</sub> - specii euconstante (75.1-100%).

\*\* SR - specii subrecedente (<1.1%); R - specii recedente (1.2-2%); SD - specii subdominante (2.1-5%); D - specii dominante (5.1-10%); ED - specii eudominante (>10.1%).

\*\*\* W<sub>1</sub> - specii subrecedente (<0.1%); W<sub>2</sub> - specii recedente (0.1-1%); W<sub>3</sub> - specii subdominante (1.1-5%); W<sub>4</sub> - specii dominante (5.1-10%); W<sub>5</sub> - specii eudominante (>10%).

*Bogația taxonomică* a fost descrisă ca numărul de taxoni prezenți în perioada martie 2012-septembrie 2013 la nivelul comunităților bentonice ale Brațului Sf. Gheorghe și 62 km amonte pe Dunăre. Numărul de taxoni au fost reprezentați grafic în Figura 4.3 în raport cu densitatea numerică medie (ind. /mp).



**Fig. 4.3.** Distribuția spațială a numărului de taxoni raportat la densitatea numerică medie (ind. /mp) anevertebratelor bentonice identificate în sistemul ecologic Dunăre Brațul Sf. Gheorghe în perioada 2012-2013

Valorile au fluctuat în sensul creșterii acestora la stațiile din interiorul deltei, față de cele stabilite pe Dunăre și Brațul Tulcea. Analiza datelor a demonstrat existența unei corelații pozitive între bogația taxonomică și densitatea numerică medie a grupelor taxonomice din structura faunei bentale. Valorile minime a acestui indice s-au evidențiat la S3 (Aval Tulcea) și S5 (Bălteni de Sus), 20 taxoni și respectiv, 22 taxoni, iar cele maxime la S8 (Uzlina) și S10 (Sf. Gheorghe), 33 taxoni și respectiv, 35 taxoni.

Pentru a identifica diferențele numărului de taxoni între stații sau între maluri a fost efectuată analiza varianței; testul a fost considerat semnificativ atunci când  $p < 0.05$ . În acest caz, diferențele au fost ne semnificative pentru valorile numărului de taxoni determinate pentru maluri (two-way ANOVA,  $F=1.61$ ,  $p=0.23$ ), dar semnificative între stațiile de prelevare (two-way ANOVA,  $F=3.12$ ,  $p=0.04$ ). Considerăm că diferențele pot fi datorate particularităților stațiilor, a factorilor de presiune (Tabelul 3.2) care acționează asupra lor și proceselor biologice, fizico-chimice și hidromorfologice de la acest nivel. Dinamica indicilor structurali este exemplificată în Tabelul nr.4.1.

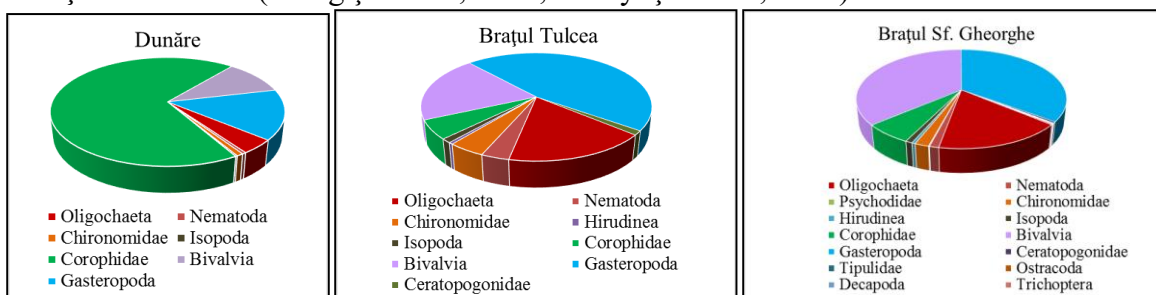
#### 4.3.2. Dinamica densității numerice a taxonilor identificați

Determinarea densității numerice totale a faunei bentonice în perioada de studiu (martie 2012-septembrie 2013) a permis caracterizarea dinamicii pe termen scurt a acestui compartiment biotic la scară spațială și temporală la nivelul sistemelor acvatice lotice Dunăre – Brațul Sf. Gheorghe. Valorile densității numerice au fost prelucrate din seturile de date calculate pentru fiecare unitate de probă (3 unități de probă prelevate pe gradienti transversali) în parte. Pentru fiecare stație de prelevare s-a efectuat media densității numerice și, ulterior, pentru exprimarea temporală s-a calculat densitatea numerică totală a comunității de nevertebrate bentonice analizate. Analiza datelor a evidențiat următoarele particularități ale structurii populațiilor de nevertebrate bentonice din cadrul sistemelor lotice studiate, și anume:

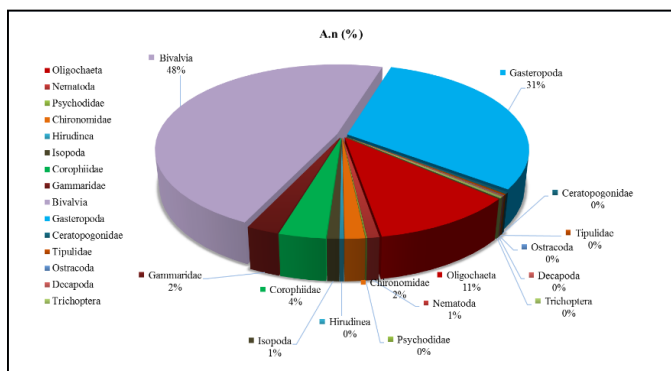
- ✓ densitățile numerice medii a comunităților de nevertebrate bentonice în cele unsprezece stații stabilite la nivelul complexelor de ecosisteme ale Dunării și Brațul Sf. Gheorghe în perioada 2012-2013 s-au încadrat în intervalul 120 ind./ mp la S5 (Bălteni de Sus) în 2012 și 7940 ind./mp la S8 (Uzlina) în 2013;
- ✓ valorile maxime au fost înregistrate la stațiile din interiorul deltei, pe Brațul Sf. Gheorghe, valori explicate pe de o parte de influența regimului hidrologic și condițiilor morfologice, a regimului de oxigen, concentrațiilor nutrienților, dar și datorită modificărilor în structura MTD asociate, pe de altă parte;

- ✓ în toate stațiile de prelevare, s-a constatat că densitatea numerică urmează o ascensiune primavara, atinge maximul vara, stagnează toamna și se reduce iarna.
- ✓ densitatea scăzută la stațiile pe Brațul Tulcea, S2 (Amonte Tulcea) și S3 (Aval Tulcea), dar și la S5 (Băltenii de Sus);
- ✓ la S4 (Nufăru), valorile densității au fost mai crescute în 2012 comparativ cu aceeași perioadă a anului 2013;
- ✓ densitățile numerice determinate la S6 (Mahmudia) – S10 (Sf. Gheorghe) au variat cu o amplitudine similară;
- ✓ perioadele de maxim în lunile august și septembrie se datorează pe de o parte scăderii nivelului apei, a debitului de la S1 (Isaccea) spre aval și, pe de alta parte, intensificării proceselor degradative din masa acesteia, corelat cu intensificarea valorile crescute ale densității nevertebratelor bentonice în lunile noiembrie 2012 și ianuarie 2013. Acesta datorită dezvoltării de către organisme a formelor de rezistență, sau datorită faptului că anumite specii (de exemplu, *Lampodrilus isoporus*) (Brinkhurst, 1965) își reactivează ciclul reproductiv numai în timpul iernii, ciclul succedat de o dezvoltare accelerată a acestora. Ulterior, aceasta este favorizată de condițiile prielnice de habitat al zonei de mal, caracterizată de o stabilitate spațială și resurse de hrană abundente (Scarsbrook și Townsend, 1993).
- ✓ diferențele dintre densitățile numerice determinate (MS-MD) nu au fost semnificative (two-way ANOVA,  $F=0.48$ ,  $p=0.69$ ) pentru maluri, dar semnificative între stațiile de prelevare (two-way ANOVA,  $F=2.84$ ,  $p=0.01$ ).

Totodată, densitatea numerică a grupelor taxonomice care au colonizat substratul la stația S1 (Isaccea) pe Dunăre a fost cu aproximativ 25 % mai redusă decât densitatea numerică medie înregistrată la stațiile stabilite pe Brațul Sf. Gheorghe și de două ori mai mare decât cea determinată la stațiile situate pe Brațul Tulcea (Figura 4.4). Acest lucru se explică prin valorile măsurate ale regimului hidrologic (*Anexa 6* a tezei de doctorat, *Tabelul A6.1*), care facilitează modificarea stabilității substratului (Moog și colab., 2000; Csányi și colab., 2012).



**Fig.4.4.** Variația spațială a mediei densității numerice a grupelor taxonomice identificate în structura faunei bentale din cadrul sistemului ecologic Dunăre-Brațul Sf. Gheorghe în perioada martie 2012-septembrie 2013



**Fig. 4.5.** Abundenta numerică (%) a grupelor taxonomice bentonice la nivelul sistemului lotic Dunare- Brațul Sf. Gheorghe în perioada 2012-2013

Ca și în cazul reprezentării spațiale, ponderea numerică a Gasteropodelor, Bivalvelor și Oligochetelor a fost regăsită și în reprezentarea temporală (Figura 4.5). Astfel, A.n (%) ridicate s-au obținut pentru Bivalvia (53%), Gasteropoda (48%), Oligochaeta (11%). Speciile aparținând grupurilor Corophiidae (4%), Gammaridae (2%), Chironomidae (2%), Nematoda (1%), Isopoda (1%) au avut o pondere mai redusă.

#### 4.3.3. Diversitatea și echitabilitatea macronevertebratelor bentonice studiate la nivelul sistemului acvatic lotic

Indicii de diversitate (indicele de diversitate Shannon-Wiener ( $H'$ ), indicele Brillouin, indicele de dominanță Simpson ( $D$ ), indicele Margalef și indicele de echitabilitate Pielou ( $J'$ )) au completat imaginea structurii comunităților bentonice, care au fost calculați pentru aprecierea anumitor aspecte de similaritate sau disimilaritate între acestea (Botnariuc și Vădineanu, 1982; Clarke și Warwick, 2001). Aceștia au fost calculați cu ajutorul programului PAST (Hammer și colab., 2001), utilizând numărul de taxoni din unitatea de probă. Variațiile în spațiu și timp ale diversității și echitabilității macronevertebratelor bentonice studiate au fost analizate comparativ între stațiile stabilite la nivelul sistemului ecologic Dunăre-Brațul Sf. Gheorghe și de asemenea între momente diferite de prelevare în perioada martie 2012 – septembrie 2013 (Tabelele 4.2 și 4.3).

**Tabelul nr. 4.2**

Variația spațială a indicilor de diversitate și echitabilitate a comunităților bentonice la nivelul sistemelor acvatice lotice Dunăre-Brațul Sf. Gheorghe. Valorile minime marcate cu verde și cele maxime cu negru (în bold).

	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>	<i>S4</i>	<i>S5</i>	<i>S6</i>	<i>S7</i>	<i>S8</i>	<i>S9</i>	<i>S10</i>	<i>S11</i>
<i>Nr. taxoni</i>	26	25	<b>20</b>	26	22	26	26	33	26	<b>35</b>	26
<i>Indice Shannon-Wiener (<math>H'</math>)</i>	2.81	2.89	<b>2.47</b>	2.99	2.84	3.01	2.96	3.25	3.00	<b>3.33</b>	2.89
<i>Indice Brillouin</i>	2.54	2.61	<b>2.21</b>	2.79	2.63	2.79	2.73	3.04	2.78	<b>3.09</b>	2.64
<i>Indice Margalef</i>	4.92	4.89	<b>4.11</b>	4.68	<b>4.11</b>	4.74	4.84	5.74	4.74	<b>6.15</b>	4.62
<i>Dominața</i>	0.08	0.07	<b>0.11</b>	0.06	0.07	0.06	0.06	0.04	0.06	<b>0.04</b>	0.06
<i>Indice Simpson (1-D)</i>	0.92	0.93	<b>0.89</b>	0.94	0.93	0.94	0.94	<b>0.96</b>	0.94	<b>0.96</b>	0.94
<i>Indice de echitabilitate (<math>J'</math>)</i>	0.87	0.89	<b>0.82</b>	0.92	0.92	0.92	0.91	<b>0.93</b>	0.92	<b>0.93</b>	0.91
<i>Uniformitate</i>	0.66	0.72	<b>0.59</b>	0.77	0.78	0.78	0.74	0.78	0.77	<b>0.79</b>	0.75

Tabelul nr. 4.3

Variația temporală a indicilor de diversitate și echitabilitate a comunităților bentonice în perioada 2012-2013 la nivelul sistemelor acvatice lotice Dunăre-Brațul Sf. Gheorghe. Valorile minime marcate cu verde și cele maxime cu negru (în bold).

	2012									
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
Nr. taxoni	11	11	11	11	11	11	11	7	11	
Indice Shannon-Wiener ( $H'$ )	2.30	2.30	2.30	2.31	2.32	2.35	2.36	1.85	2.34	
Indice Brillouin	2.13	2.13	2.12	2.14	2.17	2.21	2.22	1.69	2.18	
Indice Margalef	2.12	2.13	2.15	2.12	2.04	2.00	2.01	1.42	2.06	
Dominanța ( $D$ )	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.17	0.10	
Indice Simpson ( $1-D$ )	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.90	0.90	0.83	0.90	
Indice de echitabilitate ( $J$ )	0.96	0.96	0.96	0.96	0.97	0.98	0.99	0.95	0.97	
Uniformitate	0.91	0.91	0.91	0.91	0.92	0.95	0.97	0.91	0.94	
	2013									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Nr. taxoni	11	11	11	11	9	11	11	11	11	
Indice Shannon-Wiener ( $H'$ )	2.35	2.33	2.33	2.28	2.09	2.33	2.33	2.38	2.33	
Indice Brillouin	2.18	2.12	2.17	2.07	1.87	2.15	2.15	2.21	2.16	
Indice Margalef	2.11	2.26	2.07	2.25	1.95	2.17	2.14	2.10	2.11	
Dominanța ( $D$ )	0.10	0.10	0.10	0.11	0.13	0.10	0.10	0.09	0.10	
Indice Simpson ( $1-D$ )	0.90	0.90	0.90	0.89	0.87	0.90	0.90	0.91	0.90	
Indice de echitabilitate ( $J$ )	0.98	0.97	0.97	0.95	0.95	0.97	0.97	0.99	0.97	
Uniformitate	0.95	0.93	0.94	0.89	0.90	0.94	0.93	0.98	0.94	

Indicele biotic Hilsenhoff (IBH) a fost calculat pentru aprecierea efectelor factorilor de stres, a poluării organice, asupra faunei de nevertebrate bentonice. Determinarea IBH s-a bazat pe numărul total de taxoni identificați în cele 11 stații de prelevare și a valorilor de toleranță a diferiților taxoni (după Mandaville, 2002). IBH aplicat faunei de nevertebrate bentonice identificate la nivelul complexelor de ecosisteme reprezentate de Dunăre și Brațul Sf. Gheorghe a permis identificarea câtorva aspecte cu privire la efectele poluării organice asupra calității apei (Figura 4.6).

Valorile IBH au variat în domeniul 6.46-7.64 ce încadrează sistemele lotice studiate în trei clase de calitate: nesatisfăcătoare, slabă și foarte slabă, cu un grad de poluare organică substanțială, gravă și respectiv, severă. Astfel, valorile IBH de 6.77 la S1 (Isaccea), 7.16 la S2 (Amonte Tulcea), 6.83 la S4 (Nufăru), 6.77 la S5 (Bălteni de Sus) și 6.71 la S10 (Sf. Gheorghe) s-au încadrat în intervalul 6.51-7.25 corespunzător clasei de calitate slabă cu gradul de poluare gravă.

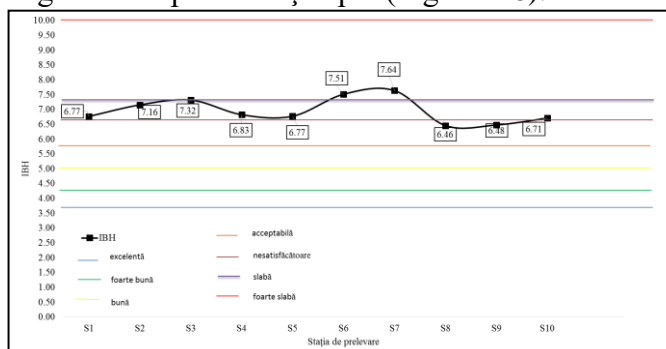
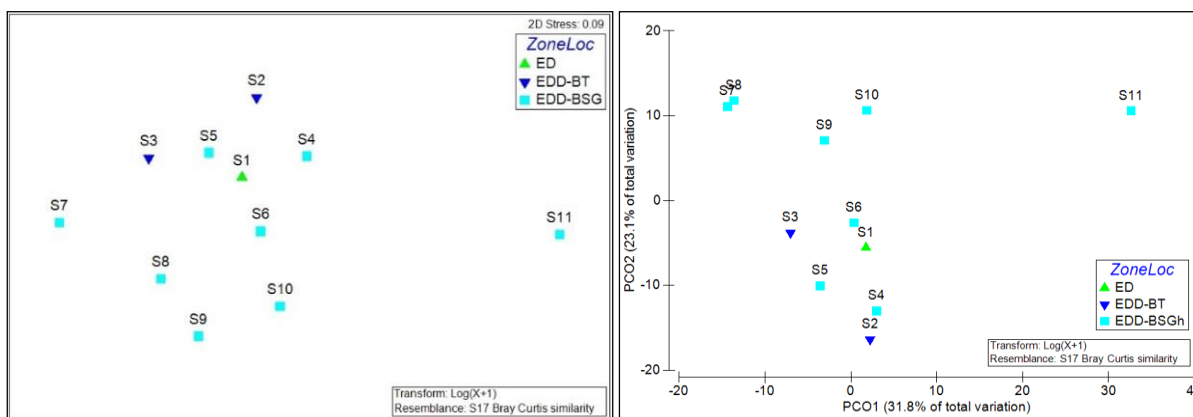


Fig.4.6. Variația spațială a indicelui biotic Hilsenhoff (IBH) și încadrarea sistemului ecologic Dunăre-Brațul Sf. Gheorghe în clasele de calitate și gradele de poluare organică echivalente

La S3 (Aval Tulcea), S6 (Mahmudia) și S7 (Murighiol), valorile IBH de 7.32, 7.51 și respectiv, 7.64, au identificat un grad de poluare organică severă și o calitate a apei foarte slabă. Aceste valori sunt susținute de prezența în structura faunei bentonice a speciilor cu un grad de toleranță ridicat la presiunea exercitată de prezența / remanența compușilor organici (pesticide organoclorurate, DDT/DDE/DDD,  $\gamma$ -HCHși HAP). La stațiile S8 (Uzlina) și S9 (Ivancea), valorile IBH au fost ușor reduse; raportate la intervalul 5.76-6.50, în aceste stații s-a evidențiat un grad de poluare substanțial iar calitatea apei a fost nesatisfăcătoare.

#### 4.4. Identificarea principalilor factori de comandă

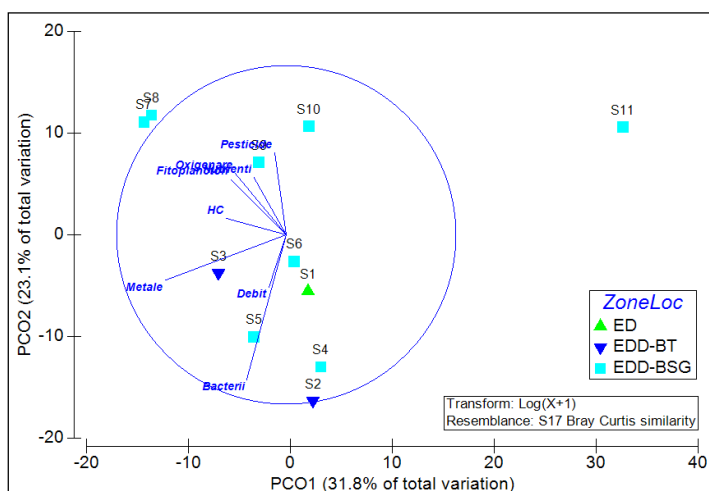
Inițial, pentru a proceda cu analiza statistică multivariată, abundențele taxonilor identificați la nivelul sistemului au fost transformate în logaritmi. O imagine de ansamblu asupra distribuției, similarității și diferențe în structura comunităților bentonice între stațiile de prelevare aparținând sistemelor lotice Dunăre (ED), Brațul Tulcea (EDD-BT) și Brațul Sf. Gheorghe (EDD-BSG) s-a obținut cu ajutorul analizei **nMDS (non-metric Multi-Dimensional-Scaling)** reprezentată grafic în Figura 4.7 (a). Aceasta ilustrează diferențele dintre stațiile cercetate, utilizând similaritatea Bray-Curtis; se constată o diferențiere clară între S11 (Ieșire Marea Neagră) și celelalte stații, dar nu la fel de evidențiată în cazul S7 (Murighiol).



**Fig. 4.7 (a)** Analiza nMDS a nevertebratelor bentonice (abundența transformată în logaritmi) identificate la nivelul sistemului ecologic Dunăre-Brațul Sf.Gheorghe în perioada martie 2012-septembrie 2013  
Zona de studiu: estul României (E); stația marcată cu triunghi verde este situată pe Dunăre (ED), stațiile marcate cu triunghi albastru sunt situate pe Brațul Tulcea (Delta Dunării) (EDD-BT), iar stațiile marcate cu pătrat bleu sunt pe Brațul Sf. Gheorghe(Delta Dunării)(EDD-BSGh).

**(b)** Analiza PCO a nevertebratelor bentonice (abundența transformată în logaritmi) identificate la nivelul sistemului ecologic Dunăre-Brațul Sf.Gheorghe în perioada martie 2012-septembrie 2013

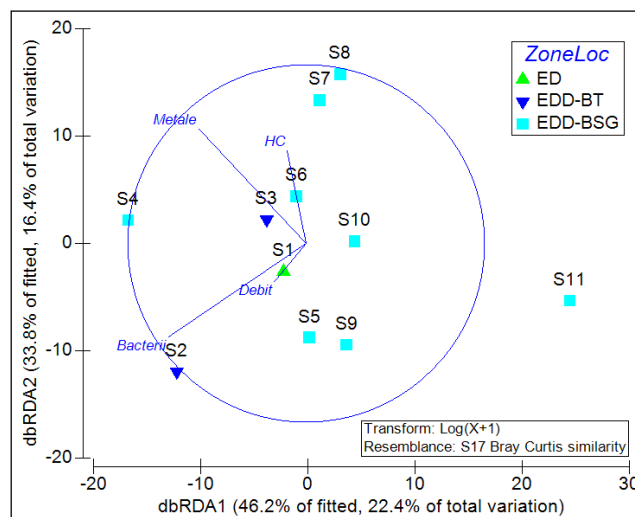
Analiza PCO (figura 4.7 (b)) a arătat următoarele: pe abscisă (PCO1), se constată o variație de 31.8 % între stații, iar pe ordonată (PCO2) o variație de 23.1 %, ceea ce reprezintă un total de 54.9 % variație între seturile de date. Acesta este un procent destul de ridicat, de unde reiese că 45.1% reprezintă variație din alte surse. Pentru a explica această variație, s-au luat în considerare variabilele de stare identificate a acționa asupra sistemului (Figura 4.8).



**Fig.4.8 (a).** Analiza PCO și principalele variabile de stare care acționează asupra structurii faunei de nevertebrate bentonice. Pe grafic s-au luat în considerare următoarele variabile de stare: debit ( $Q_{med}$ ), metale (Hg, Cu, Zn, Pb), nutrienți ( $N-NO_3$ ,  $N$  total,  $P-PO_4$  și  $P$  total), oxigenarea (oxigen dizolvat,  $CCOCr$  și  $CBO_5$ ), hidrocarburi (PP și HAP), pesticide (DDT/DDE/DDD) și alte module trofodinamice (fitoplancton (FPK) și comunitățile microbiene (bacterii) - bacteriobentos (coliformi totali (CT), *Escherichia coli* (EC), enterococci (ENT)).

La S7 (Murighiol), S8 (Uzlina), S9 (Ivancea) și S10 (Sf. Gheorghe) structura comunităților bentonice a fost influențată de creșterea HAP-urilor, a produselor petroliere, a nutrienților și pesticidelor, ce au determinat încărcare organică ridicată și densități numerice mari ale organismelor fitoplanctonice.

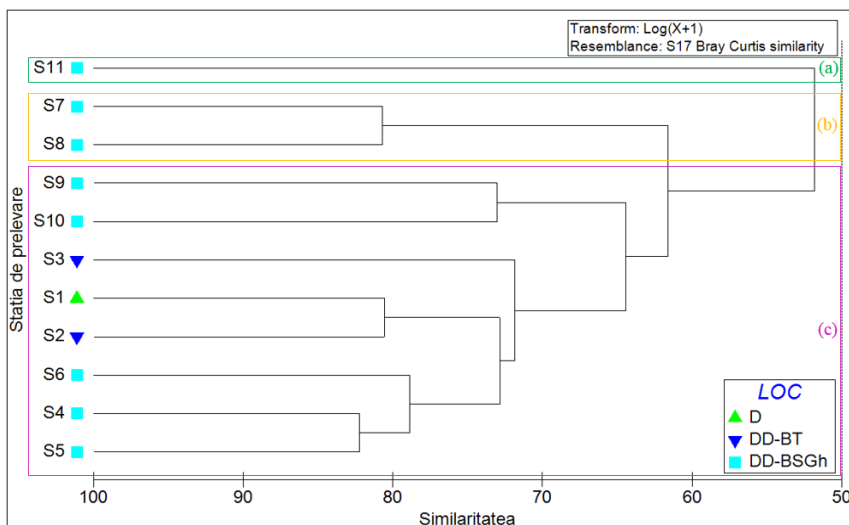
Totodată, DistLM (distance-based linear models) a fost utilizat pentru modelarea relației dintre abundențele nevertebratelor bentonice și variabilele de stare. Variabilele de stare care au fost integrate sunt aceleași ca în cazul analizei PCO. Rezultatele DistLM au arătat că există o corelație semnificativă între abundența nevertebratelor bentonice și concentrația metalelor ( $p < 0.05$ ) și între abundența nevertebratelor bentonice și bacteriobentos ( $p < 0.05$ ). Modelarea utilizând DistLM ( $R^2 = 0.80417$ ) explică o variație de 80 % la nivelul faunei de nevertebrate bentonice din cadrul sistemului ecologic Dunăre- Brațul Sf. Gheorghe, variație indusă de variabilele de stare (Figura 4.8 (b)).



**Fig.4.8 (b).** Analiza DistLM și principalele variabile de stare care acționează asupra structurii faunei de nevertebrate bentonice.

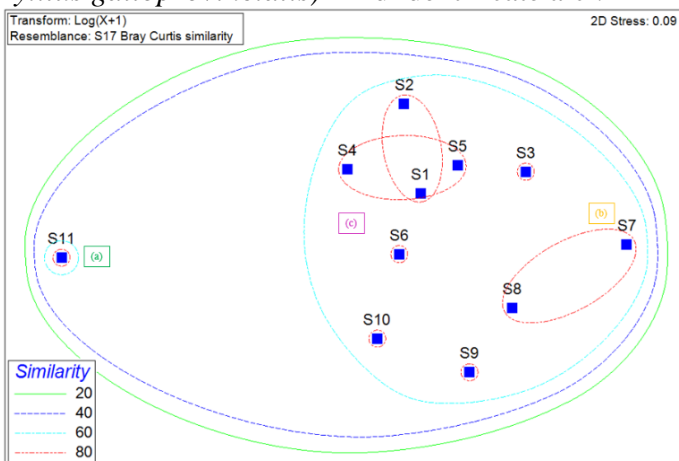
S-a observat o corelație între abundența taxonilor și variabilele de stare identificate la nivelul sistemului integrator. O serie de caracteristici ale stațiilor de prelevare au fost diferențiate la nivelul sistemului ecologic Dunăre-Brațul Sf. Gheorghe, trăsături induse de variațiile regimului hidrologic (debit) la stațiile S1 (Isaccea), S2 (Amonte Tulcea), S4 (Nufăru), S6 (Mahmudia) și S5 (Bălteni de Sus), la cea din urmă stație se adaugă și modificările în structura comunităților microbiene. La S3 (Aval Tulcea), variațiile sunt influențate de creșterea concentrațiilor de metale ca urmare a activităților industriale desfășurate în orașul Tulcea.

**Analiza cluster** a fost efectuată pentru definirea unor grupări cu caracteristici similare în ceea ce privește distribuția spațială și temporală a comunităților bentonice și diferențele între stațiile cercetare (Figura 4.9).



**Fig. 4.9.** Diagrama cluster de similaritate a abundenței faunei de nevertebrate bentonice de la nivelul sistemelor acvatice lotice Dunăre-Delta Dunării (Brațul Sf.Gheorghe) în perioada 2012-2013 și S10 (Figura 4.9)

Din diagramele reprezentate în Figurile 4.9 și 4.10, s-a constatat că gruparea (a) nu aparține niciunui grup de similaritate. Gruparea (a) cuprinde abundențele nevertebratelor bentonice obținute la S11 (Ieșire Marea Neagră), a căror structură este diferită de a celorlate stații datorită influenței Mării Negre, un număr considerabil de specii caracteristice (*Mya arenaria*, *Mytilus galloprovincialis*) fiind identificate aici.



**Fig. 4.10.** Diagrama de ordonare nMDS care susține analiza cluster de similaritate a abundenței faunei de nevertebrate bentonice în perioada 2012-2013 la nivelul sistemelor acvatice lotice Dunăre-Delta Dunării (Brațul Sf.Gheorghe). Cele trei grupări au fost reprezentate cu aceeași culoare ca în diagrama cluster.

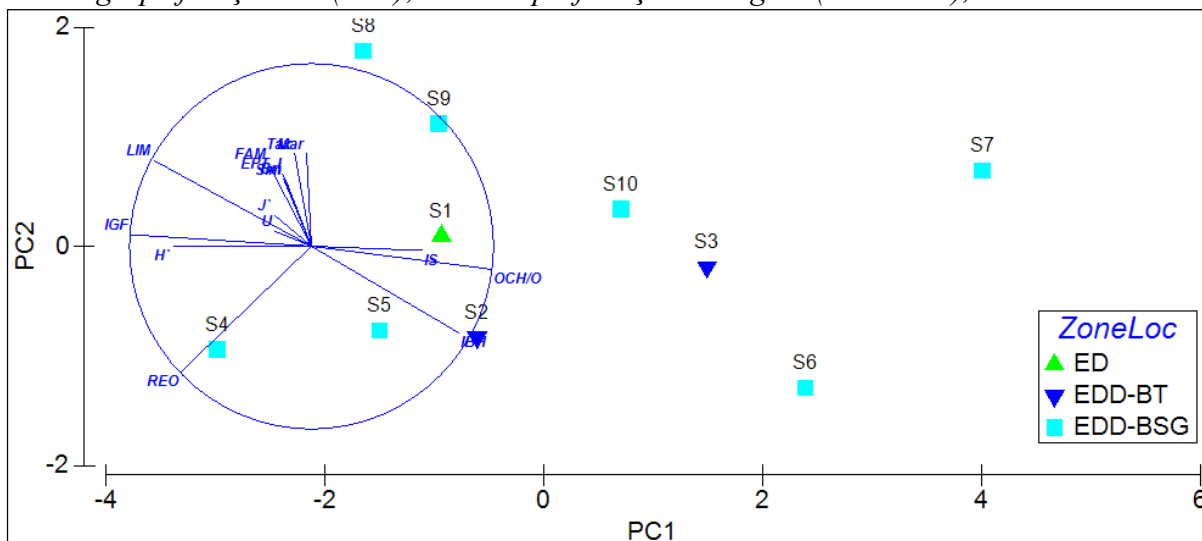
Analiza cluster de similaritate efectuată a scos în evidență existența a trei grupări principale de similaritate, grupări în structura cărora s-au înregistrat modificări asemănătoare. Toate grupările analizei cluster de la nivelul sistemului ecologic studiat au avut un grad de similaritate mai mare de 50%, similaritate confirmată și de analiza nMDS, astfel:

(a) S11; (b) S7, S8 și (c) S1, S2, S3, S4, S5, S6, S9 și S10 (Figura 4.9)

Gruparea (b) cu gradul de similaritate >80% a abundenței comunităților bentonice cuprinde stațiile S7 (Murighiol) și S8 (Uzlina).

Gruparea (c) cuprinde stațiile S1 (Isaccea), S2 (Amonte Tulcea), S3 (Aval Tulcea), S4 (Nufăru), S5 (Băltanii de Sus), S6 (Mahmudia), S9 (Ivanca) și S10 (Sf.Gheorghe) cu un grad de similaritate >70%, structura nevertebratelor bentonice la aceste stații prezentând caracteristici relativ similare. În plus, pentru a valida rezultatele analizelor cluster și nMDS, datele s-au bazat pe măsurătorile indicilor care au fost facute cu ajutorul analizei principalelor componente (PCA - "Principal Component Analysis") (Figura 4.11).

Această metodă de ordonare are capacitatea de a reduce informațiile redundante (Radinger, 2010), astfel că o gamă largă de indici au fost integrați în analiză, printre care menționăm: bogăția taxonomică (*Tax*); indicele de diversitate Shannon-Wiener ( $H'$ ); indicele Brillouin (*Bri*); indicele de dominanță Simpson (*Sim*); indicele Margalef (*Mar*); indicele de echitabilitate Pielou (*J*); uniformitatea (*U*); indicele biotic Hilsenhoff (*IBH*); indicele saprob (*IS*); indicele OCH/O; indicele grupe funcționale (*IGF*); indicele preferință de curgere (*REO/LIM*), indicele EPT.



**Fig. 4.11.** Analiza PCA la nivelul sistemelor acvatice lotice Dunăre-Brațul Sf.Gheorghe pe baza indicilor unicriteriali ai faunei de nevertebrate bentonice

Analiza PCA confirmă faptul că stația S11 aparținând grupării (a) se distinge de celelalte stații aparținând celorlalte două grupări (b) și (c), mai ales în ceea ce privește compoziția speciilor, așa cum a fost ilustrat și prin intermediul analizei nMDS (Fig.4.7 (a)), astfel că anumiți indicii unicriteriali nu au fost calculați la această stație.

A doua grupare (b) cuprinde stațiile S7 și S8 cu caracteristici relativ similare prin prisma condițiilor morfologice (viteza de curgere mai scăzută a apei) și ratelor de sedimentare mai intense, dar diferite prin prisma valorilor indicilor unicriteriali. Aceste condiții sunt determinate de poziția celor două stații în raport cu celelalte grupări. Din analiza PCA, reiese că OCH/O și IS sunt reprezentativi la S7 (Murighiol), fapt explicat de poziția stației pe canalul care facilitează accesul din braț în comuna Murighiol, și respectiv, S6 (Mahmudia), S10 (Sf. Gheorghe), S3 (Aval Tulcea). Fauna de nevertebrate bentonice a fost cel mai bine reprezentată la S8 (Uzlina), indicii de diversitate, bogăția taxonomică, numărul de familii, indicele de dominanță cresc în această direcție (Figura 4.22). Localizarea stației pe meandra naturală, aproape de localitatea Uzlina, contribuie la o bună reprezentare a populațiilor de nevertebrate bentonice.

A treia grupare (c) cuprinde opt stații situate atât pe Dunăre, pe Brațul Tulcea și pe Brațul Sf. Gheorghe. Aceste stații prezintă, la fel ca și în cazul grupării (b), trăsături comune datorită modificărilor survenite la nivelul UHGM, în speță ale regimului hidrologic și concentrației poluanților. În acest caz, a fost confirmată ipoteza privind “perturbarea intermediară” (Moldoveanu și colab., 2011), potrivit căreia un nivel mediu al perturbărilor conduce la nivelul cel mai mare a diversității – astfel, într-un sistem neperturbat, speciile competitive vor domina, în timp ce în sistemele perturbate vor supraviețui doar speciile tolerante. Între cele două extreme, aceste

specii pot popula același loc, conducând la creșterea diversității speciilor. Această situație s-a manifestat și în cazul stației S4 (Nufăru), unde s-a remarcat diversitatea cea mai mare ( $H' = 2,01$ ). Prin analiza multivariată s-a încercat obținerea răspunsului la întrebările care au fost ridicate la începutul acestui studiu, cele care au urmărit cum anume a înregistrat sistemul lotic Brațul Sfântu Gheorghe efectele lucrărilor de rectificare a meandrelor, dezvoltării navigației, introducerii substanțelor chimice (fertilizatori, pesticide) pentru nevoile agriculturii, supraexploatării resurselor biologice, activităților turistice și de recreere, surselor fixe cu potențial de producere a poluărilor accidentale din perspectiva regimului hidromorfologic și fizico-chimic, dar și cum s-a modificat distribuția spațială și temporală a populațiilor faunei bentonice în ultimul secol la nivelul sistemului ecologic Dunăre-Brațul Sf. Gheorghe. Mai mult, această analiză a reprezentat baza discuțiilor dintre relația caracteristicilor hidromorfologice, fizico-chimice și comunitățile de nevertebrate bentonice comentate în capitolul 5.1.

#### **4.5. Evaluarea integrată a stării ecologice a ecosistemelor acvatice lotice**

Evaluarea integrată a stării ecologice a complexelor de ecosisteme acvatice reprezentate de Dunăre și Brațul Sf. Gheorghe a avut în vedere evaluarea stării ecologice pe baza macronevertebratelor bentonice și evaluarea stării chimice. Starea ecologică a complexelor de ecosisteme acvatice aparținând categoriilor tipologice RO14 (Dunărea) și RO15 (Delta Dunării) a fost evaluată pe baza macronevertebratelor bentonice, prin calcularea indicilor unicriteriali (Tabelele 4.8÷4.17) și, ulterior, a indicelui multimetric. Totodată, starea ecologică pe baza indicatorilor fizico-chimici s-a stabilit pe baza percentilelor aplicate șirului de valori determinate în perioada martie 2012-septembrie 2013 (Tabelele 4.6, 4.7). Astfel, în cadrul fiecărui grup de elemente [biologice, fizico-chimice (generale și poluanți specifici)] s-a considerat definitorie starea cea mai defavorabilă. *Elementele hidromorfologice*, conform PMBH, anexa 6.1, *se iau în considerare doar în cazul în care starea ecologică foarte bună este atinsă de elementele biologice și fizico-chimice*. Starea finală a corpurilor de apă a fost dată de cea mai defavorabilă dintre cele două stări (Tabelele 4.18, 4.19).

##### *4.5.1. Evaluarea stării chimice*

Evaluarea stării ecologice pe baza elementelor de calitate fizico-chimice a urmărit nivelul de acidifiere, condițiile de oxigenare, salinitatea, nutrienții și poluanții specifici. Valorile determinate în perioada de studiu, martie 2012-septembrie 2013, a cuprins 18 măsurători, echivalente unui an și jumătate. Percentilele specifice pentru fiecare indicator –P98 pentru temperatura apei, P90 pentru pH, conductivitate, încărcarea organică măsurată ca: CCOCr și CBO<sub>5</sub>, nutrienți și P10 pentru oxigen dizolvat – s-au aplicat pentru 12 măsurători (martie 2012-martie 2013), evaluarea efectuându-se cu confidență ridicată (R) (Tabelul 4.6), iar pentru celelalte 6 măsurători (aprilie 2013-septembrie 2013), evaluarea s-a făcut cu confidență medie (M) (Tabelul 4.7). Ulterior, aceste determinări au fost comparate cu valorile limită propuse în PMBH, Anexa 6.1.3A (PM I), valori care coincid cu cele din noul PMBH (PM II) pentru perioada 2016-2021. Totodată, au fost luați în considerare pentru evaluarea stării ecologice a corpurilor de apă și noii parametri propuși în PM II (Anexa 6.1.3A).

Tabelul nr. 4.6

Evaluarea stării ecologice pe baza elementelor de calitate fizico-chimice generale (confidență ridicată)

Perioada	martie 2012-martie 2013															
Corp de apă	Dunăre (Chicui-Isaccea)			Delta Dunării (Brațul Sf.Gheorghe)												
Categoria tipologică	RO14	PMI+PM II *		RO15											PMI+PM II	
Codul stației/Limite	S1	FB/B	B/M	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	FB/B	B/M	
Temperatura (°C)	25.4			25.1	25.1	24.8	24.9	24.7	24.8	25	24.8	25.1	25.0			
Condiții termice	stare ecologică FB			stare ecologică FB												
pH (unități de pH)	8.18	6.5-8.5		8.19	8.14	8.04	8.06	8.31	8.00	8.18	8.05	8.1	8.3	6.5-8.5		
Nivel de acidifiere	stare ecologică FB			stare ecologică FB												
O <sub>2</sub> (mg/L)	7.13	8	6	7.69	7.25	8.20	7.77	7.94	6.25	8.19	8.24	7.57	7.33	8	6	
CCOCr (mg/L)	13.3	10	25	11.1	12.0	13.5	11.6	15.4	45.7	7.8	15.6	18	16.3	10	25	
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	4.48	3	6	3.86	3.73	3.65	3.93	4.04	14.02	2.75	4.1	4.45	4.65	3	6	
Condiții de oxigenare	stare ecologică B			stare ecologică M												
Conductivitate (μS/cm)	377	1500		412	395	383	415	447	730	437	392	390	684	1500		
Salinitate	stare ecologică B			stare ecologică B												
N-NH <sub>4</sub> (mgN/L)	0.35	0.66	1.4	0.25	0.28	0.31	0.32	0.40	0.97	0.63	0.46	0.56	0.44	0.62	1.3	
N-NO <sub>3</sub> (mgN/L)	2.41	2.6	5.5	2.59	2.47	2.31	2.78	2.32	2.61	2.28	2.32	2.92	2.87	2.4	5.1	
N-NO <sub>2</sub> (mgN/L)	0.01	0.08	0.16	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	0.09	0.18	
N total(mg/L)	4.04	2.5	5	3.41	4.09	4.24	3.95	3.87	4.76	3.64	3.94	3.88	3.6	2.5	5	
P-PO <sub>4</sub> (mgP/L)	0.06	0.09	0.2	0.06	0.08	0.06	0.07	0.06	0.64	0.06	0.07	0.05	0.06	0.1	0.21	
P total (mg/L)	0.09	0.23	0.5	0.12	0.11	0.10	0.13	0.10	0.87	0.09	0.12	0.09	0.10	0.23	0.5	
Nutrienți	stare ecologică B			stare ecologică M												
Starea finală	stare ecologică B			stare ecologică M												
Nivel de confidență	R			R												

Notă 1:codurile de culoare au fost folosite în conformitate cu DCA:

Stare ecologică "Foarte Bună" (FB)	
Stare ecologică "Bună" (B)	
Stare ecologică "Moderată" (M)	

Tabelul nr. 4.7

Evaluarea stării ecologice pe baza elementelor de calitate fizico-chimice generale (confidență medie)

Perioada	aprilie 2013-septembrie 2013															
Corp de apă	Dunăre (Chicui-Isaccea)			Delta Dunării (Brațul Sf.Gheorghe)												
Categoria tipologică	RO14	PMI+PM II		RO15											PMI+PM II	
Codul stației/limite	S1	FB/B	B/M	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	FB/B	B/M	
Temperatura (°C)	25.3			25.2	25.3	25.7	25.6	25.2	25.3	25.0	24.8	24.7	24.6			
Condiții termice	stare ecologică FB			stare ecologică FB												
pH (unități de pH)	7.8	6.5-8.5		7.5	7.9	7.5	7.4	7.8	7.6	7.8	7.8	7.6	7.8	6.5-8.5		
Nivel de acidifiere	stare ecologică FB			stare ecologică FB												
O <sub>2</sub> (mg/L)	6.9	8	6	7.0	7.4	8.4	7.8	8.0	7.4	7.8	8.2	8.0	8.0	8	6	
CCOCr (mg/L)	12.7	10	25	8.4	19.7	18.6	11.2	7.3	57.3	6.5	5.4	7.7	12.0	10	25	
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	3.6	3	6	2.6	7.8	8.0	3.6	3.4	22.4	2.3	2.3	2.8	4.2	3	6	
Condiții de oxigenare	stare ecologică B			stare ecologică M												
Conductivitate (μS/cm)	374	1500		394	381	381	373	440	488	361	377	378	504	1500		
Salinitate	stare ecologică B			stare ecologică B												
N-NH <sub>4</sub> (mgN/L)	0.2	0.66	1.4	0.15	0.21	0.13	0.15	0.11	0.13	0.12	0.19	0.21	0.23	0.62	1.3	
N-NO <sub>3</sub> (mgN/L)	1.1	2.6	5.5	0.98	2.86	2.35	2.54	1.79	2.78	2.82	1.80	1.82	2.54	2.4	5.1	
N-NO <sub>2</sub> (mgN/L)	0.005	0.08	0.16	0.003	0.003	0.003	0.003	0.012	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.09	0.18	
N total(mg/L)	3.9	2.5	5	3.33	4.44	4.26	4.18	3.33	4.01	3.51	2.85	2.83	3.15	2.5	5	
P-PO <sub>4</sub> (mgP/L)	0.04	0.09	0.2	0.03	0.07	0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.03	0.04	0.05	0.1	0.21	
P total (mg/L)	0.06	0.23	0.5	0.06	0.10	0.07	0.19	0.09	0.09	0.12	0.06	0.07	0.11	0.23	0.5	
Nutrienți	stare ecologică B			stare ecologică B												
Starea finală	stare ecologică B			stare ecologică M												
Nivel de confidență	M			M												

Notă 1:codurile de culoare au fost folosite în conformitate cu DCA:

Stare ecologică "Foarte Bună" (FB)	
Stare ecologică "Bună" (B)	
Stare ecologică "Moderată" (M)	

4.5.2. Evaluarea integrității ecologice pe baza macronevertebratelor bentonice

Pentru îndeplinirea cerințelor DCA privind evaluarea integrată pe baza macronevertebratelor bentonice și pentru evaluarea stării ecologice a corpurilor de apă Dunăre (RO14) și Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe) (RO15) au fost considerate aspectele cu privire la compoziția taxonomică, abundența și diversitatea indicatorilor biologici. În Tabelele 4.8 ÷ 4.17 sunt prezentate rezultatele calculului indicilor propuși la nivel national în PMBH (Anexa 6.1.1.B a PM I și Anexa 6.1.1.C a PM II) în fiecare moment de timp pentru cele două corpuri de apă. Pentru clasificarea stării ecologice s-au utilizat cele 5 coduri de culoare specifice comunităților biotice în conformitate cu DCA, după cum urmează: *albastru*-stare ecologică “Foarte Bună”, *verde*-stare ecologică “Bună”, *galben*-stare ecologică “Moderată”, *portocaliu*-stare ecologică “Slabă”, *roșu*-stare ecologică “Proastă”.

Tabelul nr. 4.8

Evaluarea stării ecologice pe baza faunei de nevertebrate bentonice a corpului de apă Fluviu Dunărea (Chiciu-Isaccea) (S1) în 2012-2013

Corp apă/ categoria tipologică	RO14: Fluviu Dunărea (Chiciu-Isaccea)																	
	2012										2013							
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
H <sup>c</sup>	1.99	1.70	1.32	0.96	1.77	1.37	1.99	1.90	1.82	1.89	1.70	1.98	0.32	1.05	1.40	1.70	1.84	1.84
OCH/O	29	33	66	76	28	3	24	14	8	17	29	33	6	44	47	4	31	17
FAM	7	6	4	5	7	11	9	8	7	7	6	6	4	5	6	9	7	6
EPT_I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IGF	83	67	48	29	77	99	80	93	92	77	83	75	95	56	53	100	69	83
REO	39	0	0	2	0	73	33	7	15	0	0	0	0	0	8	13	16	25
LIM	44	67	48	27	77	26	47	86	77	77	83	75	95	56	45	87	53	58
IS	2.47	1.33	3.21	3.34	2.53	2.13	2.09	1.87	2.24	2.05	2.27	2.51	2.76	3.18	2.42	1.99	2.52	1.79
IM (PM I)	0.88	0.76	0.73	0.67	0.83	0.77	0.88	0.82	0.80	0.80	0.82	0.83	0.59	0.71	0.76	0.79	0.84	0.83
IM (PM II)	0.88	0.76	0.73	0.67	0.83	0.77	0.88	0.82	0.80	0.80	0.82	0.83	0.59	0.71	0.76	0.79	0.84	0.83

Tabelul nr.4.9

Evaluarea stării ecologice pe baza faunei de nevertebrate bentonice a corpului de apă Delta Dunării (Brațul Tulcea) (S2) în 2012-2013

Corp apă/ categoria tipologică	RO15: Delta Dunării (Brațul Tulcea)																	
	2012										2013							
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
H <sup>c</sup>	1.34	1.00	1.97	1.75	1.65	2.03	2.05	1.85	1.82	1.2	1.54	2.34	0.92	1.3	1.58	1.63	2.09	2.34
OCH/O	47	78	44	22	17	3	11	49	15	48	26	16	62	36	25	30	10	15
FAM	5	5	7	6	6	10	10	6	6	3	5	8	3	4	5	5	6	8
EPT_I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IGF	53	27	59	78	82	97	92	78	85	52	82	84	35	64	75	43	90	85
REO	6	9	0	22	74	73	32	9	7	0	0	24	0	0	0	0	42	21
LIM	47	18	59	57	8	24	60	69	78	52	82	60	35	64	75	43	48	65
IS	3.12	2.86	2.76	2.35	2.27	2.03	2.01	2.66	2.33	2.91	2.81	2.05	2.66	2.52	1.66	2.99	2.09	2.29
IM (PM I)	0.75	0.67	0.82	0.83	0.85	0.86	0.85	0.84	0.80	0.78	0.80	0.84	0.66	0.74	0.79	0.76	0.82	0.83
IM (PM II)	0.75	0.67	0.82	0.83	0.85	0.86	0.85	0.84	0.80	0.78	0.80	0.84	0.66	0.74	0.79	0.76	0.82	0.83

Tabelul nr.4.10

Evaluarea stării ecologice pe baza faunei de nevertebrate bentonice a corpului de apă Delta Dunării (Brațul Tulcea) (S3) în 2012-2013

Corp apă/ categoria tipologică	RO15: Delta Dunării (Brațul Tulcea)																	
	2012										2013							
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
H <sup>+</sup>	1.52	1.33	1.03	1.3	0.85	1.01	1.65	1.3	1.60	1.35	1.86	1.85	0.66	0.82	0.90	1.50	1.3	1.72
OCH/O	24	39	42	27	74	76	43	25	26	15	25	53	62	82	81	57	68	27
FAM	5	4	3	4	4	5	5	4	6	9	6	8	2	5	7	5	8	4
EPT_I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IGF	76	61	58	73	26	31	57	75	81	86	58	69	38	22	24	47	35	73
REO	32	0	0	0	0	0	19	0	0	6	8	0	0	0	0	21	7	38
LIM	43	61	58	73	26	31	38	75	81	80	50	69	38	22	24	26	28	36
IS	2.63	2.74	2.43	2.41	2.00	2.70	2.73	2.48	2.50	2.19	1.90	2.35	3.13	3.01	3.21	3.05	2.72	2.15
IM (PM I)	0.81	0.74	0.70	0.75	0.64	0.68	0.80	0.75	0.81	0.78	0.81	0.83	0.63	0.62	0.66	0.77	0.75	0.84
IM (PM II)	0.81	0.74	0.70	0.75	0.64	0.68	0.80	0.75	0.81	0.78	0.81	0.83	0.63	0.62	0.66	0.77	0.75	0.84

Tabelul nr.4.11

Evaluarea stării ecologice pe baza faunei de nevertebrate bentonice a corpului de apă Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe) (S4) în 2012-2013

Corp apă/ categoria tipologică	RO15: Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe)																	
	2012										2013							
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
H <sup>+</sup>	2.08	2.02	2.19	1.80	2.59	1.75	2.07	2.19	2.16	2.18	1.97	2.21	1.75	1.1	2.18	2.39	1.97	1.54
OCH/O	14	21	16	25	7	0	5	8	6	0	2	19	42	31	23	23	13	3
FAM	9	7	9	6	13	9	11	8	8	9	10	8	5	3	10	10	9	9
EPT_I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IGF	90	100	95	75	97	100	95	92	92	100	100	81	76	69	79	77	87	99
REO	19	27	27	37	52	48	40	38	20	37	17	18	12	0	25	8	14	57
LIM	71	73	67	37	45	52	55	54	72	63	83	63	64	69	54	69	73	43
IS	3.41	1.96	1.97	2.74	2.22	1.92	2.61	2.74	2.24	2.12	2.23	2.27	2.48	2.49	2.66	2.60	1.95	2.15
IM (PM I)	0.84	0.87	0.86	0.86	0.87	0.81	0.84	0.83	0.80	0.81	0.81	0.84	0.83	0.72	0.87	0.86	0.83	0.80
IM (PM II)	0.84	0.87	0.86	0.86	0.87	0.81	0.84	0.83	0.80	0.81	0.81	0.84	0.83	0.72	0.87	0.86	0.83	0.80

Tabelul nr.4.12

Evaluarea stării ecologice pe baza faunei de nevertebrate bentonice a corpului de apă Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe) (S5) în 2012-2013

Corp apă/ categoria tipologică	RO15: Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe)																	
	2012										2013							
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
H <sup>+</sup>	1.88	2.05	1.77	1.98	2.36	1.98	2.27	2.08	2.14	2.21	1.63	1.99	1.84	2.17	2.05	1.1	2.09	2.07
OCH/O	35	40	36	29	25	41	26	23	5	11	16	0	9	35	40	12	20	18
FAM	6	9	5	6	9	8	9	6	8	7	6	8	6	8	9	4	8	6
EPT_I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IGF	57	66	64	62	83	59	69	77	90	89	84	100	100	65	64	88	85	82
REO	19	17	0	0	24	17	12	40	40	20	8	33	55	18	10	0	5	37
LIM	38	49	64	62	58	42	57	38	50	69	75	67	45	48	53	88	80	46
IS	2.88	2.94	2.83	2.54	2.88	2.82	2.74	2.95	1.61	2.85	2.70	2.13	2.76	2.59	2.78	2.01	1.90	2.69
IM (PM I)	0.82	0.85	0.80	0.81	0.88	0.84	0.85	0.86	0.81	0.81	0.79	0.80	0.83	0.85	0.84	0.70	0.84	0.84
IM (PM II)	0.82	0.85	0.80	0.81	0.88	0.84	0.85	0.86	0.81	0.81	0.79	0.80	0.83	0.85	0.84	0.70	0.84	0.84

Tabelul nr.4.13

Evaluarea stării ecologice pe baza faunei de nevertebrate bentonice a corpului de apă Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe) (S6) în 2012-2013

Corp apă/ categoria tipologică	RO15: Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe)																	
	2012									2013								
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
H <sup>-</sup>	2.08	1.62	1.2	2.23	2.69	1.66	1.75	2.02	1.1	0.62	0.97	1.54	1.35	1.57	0.65	1.2	2.02	1.96
OCH/O	14	56	75	44	17	61	55	41	75	89	63	71	71	58	84	79	36	54
FAM	9	7	5	10	12	12	9	14	9	6	3	8	8	7	5	9	9	11
EPT_I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IGF	89	44	34	79	85	42	37	59	27	12	37	39	37	42	16	26	65	53
REO	48	8	6	5	25	12	8	18	4	1	24	11	8	7	2	8	16	10
LIM	41	36	27	73	60	30	29	41	23	10	12	28	29	35	14	18	49	42
IS	1.99	1.95	3.15	2.85	2.33	2.07	2.27	2.13	2.43	1.95	2.50	2.78	3.17	1.97	3.28	2.83	2.08	2.19
IM (PM I)	0.86	0.79	0.71	0.86	0.87	0.83	0.81	0.88	0.71	0.56	0.69	0.78	0.76	0.78	0.58	0.72	0.85	0.85
IM (PM II)	0.86	0.79	0.71	0.86	0.87	0.83	0.81	0.88	0.71	0.56	0.69	0.78	0.76	0.78	0.58	0.72	0.85	0.85

Tabelul nr.4.14

Evaluarea stării ecologice pe baza faunei de nevertebrate bentonice a corpului de apă Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe) (S7) în 2012-2013

Corp apă/ categoria tipologică	RO15: Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe)																	
	2012									2013								
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
H <sup>-</sup>	1.3	1.85	1.82	1.70	1.55	1.62	1.48	0.87	1.1	1.51	1.85	1.10	0.55	0.33	1.3	1.2	1.62	1.40
OCH/O	69	56	56	46	56	64	68	80	74	62	19	77	89	97	73	70	54	59
FAM	6	10	8	8	6	9	9	6	7	9	7	10	6	2	6	4	7	4
EPT_I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IGF	34	44	51	54	44	40	30	20	24	41	81	25	11	8	31	30	46	41
REO	0	0	0	0	0	5	0	0	3	0	10	0	0	0	0	0	0	0
LIM	34	44	51	54	44	36	30	20	22	41	71	25	11	8	31	30	46	41
IS	2.59	2.20	2.76	2.43	2.45	3.10	2.95	3.02	2.92	3.05	2.12	3.27	3.40	3.51	3.16	3.31	3.28	2.54
IM (PM I)	0.72	0.82	0.81	0.81	0.76	0.79	0.76	0.63	0.68	0.78	0.82	0.70	0.55	0.49	0.72	0.69	0.78	0.73
IM (PM II)	0.72	0.82	0.81	0.81	0.76	0.79	0.76	0.63	0.68	0.78	0.82	0.70	0.55	0.49	0.72	0.69	0.78	0.73

Tabelul nr.4.15

Evaluarea stării ecologice pe baza faunei de nevertebrate bentonice a corpului de apă Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe) (S8) în 2012-2013

Corp apă/ categoria tipologică	RO15: Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe)																		
	2012									2013									
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
H <sup>-</sup>	2.57	1.98	1.96	2.24	1.47	1.65	1.59			1.82	1.2	1.72	2.02	1.47	1.80	1.93	1.89	1.75	1.84
OCH/O	7	11	9	14	8	16	25			11	12	0	9	32	28	46	19	22	58
FAM	14	11	12	12	12	14	10			12	10	7	15	9	9	10	9	10	10
EPT_I	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IGF	94	92	94	84	93	85	76			86	88	100	91	74	77	57	81	77	44
REO	13	15	14	9	4	3	7			5	5	11	5	2	6	0	0	4	6
LIM	82	77	81	75	89	83	69			82	83	89	86	72	70	57	81	73	38
IS	2.09	2.32	2.15	1.92	2.23	2.53	2.56			2.30	2.42	1.89	2.27	2.27	2.93	3.05	2.31	2.40	3.01
IM (PM I)	0.85	0.84	0.84	0.84	0.79	0.85	0.84			0.83	0.75	0.76	0.84	0.81	0.85	0.83	0.83	0.84	0.83
IM (PM II)	0.85	0.84	0.84	0.84	0.79	0.85	0.84			0.83	0.75	0.76	0.84	0.81	0.85	0.83	0.83	0.84	0.83

Tabelul nr.4.16

Evaluarea stării ecologice pe baza faunei de nevertebrate bentonice a corpului de apă Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe) (S9) în 2012-2013

Corp apă/ categoria tipologică	RO15: Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe)																		
	2012									2013									
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
H'	1.95	1.77	2.30	2.24	1.88	1.67	2.43		2.44	1.73	1.72	1.84	1.79	1.97	1.1	1.89	1.56	1.75	
OCH/O	8	14	15	35	31	3	18		5	43	4	41	14	24	64	41	36	8	
FAM	9	8	11	11	8	15	11		12	9	6	9	8	8	5	7	9	9	
EPT_I	0	0	0	0	0	3	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IGF	86	81	89	71	69	98	87		94	29	96	63	53	81	38	68	61	98	
REO	0	5	22	8	5	31	0		4	0	0	14	10	0	4	0	5	15	
LIM	86	76	67	63	64	68	87		89	29	96	48	43	81	34	68	56	83	
IS	2.19	2.08	2.12	2.69	2.02	2.06	2.20		1.85	1.89	2.12	2.80	0.29	2.52	3.13	2.79	2.16	2.09	
IM (PM I)	0.79	0.80	0.86	0.86	0.84	0.86	0.85		0.81	0.79	0.75	0.85	0.53	0.84	0.70	0.83	0.81	0.81	
IM (PM II)	0.79	0.80	0.86	0.86	0.84	0.86	0.85		0.81	0.79	0.75	0.85	0.53	0.84	0.70	0.83	0.81	0.81	

Tabelul nr.4.17

Evaluarea stării ecologice pe baza faunei de nevertebrate bentonice a corpului de apă Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe) (S10) în 2012-2013

Corp apă/ categoria tipologică	RO15: Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe)																		
	2012									2013									
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
H'	1.76	2.06	1.95	2.05	2.16	1.93	1.99		2.13	2.23	2.18	2.45	2.15		1.32	1.53	1.94	1.63	
OCH/O	53	27	22	36	36	37	34		27	31	8	20	42		70	65	50	63	
FAM	10	13	10	10	13	11	15		11	11	11	9	12		8	13	11	10	
EPT_I	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0		0	0	0	0	
IGF	44	71	78	63	60	60	62		69	72	81	80	54		30	34	48	35	
REO	5	6	4	6	10	23	4		7	18	10	22	6		2	5	2	9	
LIM	40	65	74	57	49	37	58		63	54	71	58	48		28	29	46	25	
IS	3.26	2.86	2.94	2.93	2.83	3.27	2.76		2.81	2.34	1.69	3.15	3.10		3.37	3.33	2.43	3.32	
IM (PM I)	0.82	0.88	0.85	0.85	0.87	0.87	0.87		0.86	0.87	0.81	0.85	0.85		0.74	0.81	0.83	0.82	
IM (PM II)	0.82	0.88	0.85	0.85	0.87	0.87	0.87		0.86	0.87	0.81	0.85	0.85		0.74	0.81	0.83	0.82	

Indicii unicriteriali au prezentat o variabilitate mare la nivel spațial – cei mai slab corelați au fost OCH/O ( $R^2=0.0326$ ) și H' ( $R^2=0.0344$ ), în timp ce FAM a prezentat o corelație mai bună între stațiile de prelevare ( $R^2=0.5164$ ).

Indicele multimetric a fost interpretat prin compararea valorilor acestuia cu cele menționate atât în PM I, cât și în PM II. Valorile indicelui multimetric a permis aprecierea stării ecologice a corpurilor de apă Dunărea (Chiciu-Isaccea) și Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe) ținând cont de principiul “cele mai defavorabile situații”, astfel:

- ✓ corpul de apă aparținând categoriei tipologice RO14 (Dunăre-Chiciu-Isaccea) prezintă stare ecologică “Bună”.
- ✓ corpul de apă aparținând categoriei tipologice RO15 (Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe)) prezintă stare ecologică “Moderată”.
- ✓ compoziția faunei de nevertebrate bentonice la S11 (Ieșire Marea Neagră) cu specii caracteristice ecosistemelor marine, nu a permis raportarea și calculul indicilor unicriteriali pentru încadrarea în stări ecologice.

Tabelul nr.4.18

Evaluarea integrată corpului de apă Dunăre (Chichiu-Isaccea) (RO14) în perioada 2012-2013

2012-2013													
Elemente de calitate biologice	Macronevertebrate bentonice		IS	H	FAM	EPT_I	OCH/O	IGF	REO	LIM	IM	Starea ecologică	
Elemente de calitate fizico-chimice	t°C	pH	O <sub>2</sub>	CCOCr	CBO <sub>5</sub>	Cond.	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N total	P-PO <sub>4</sub>	P total	Starea ecologică
Elemente hidromorfologice	Se iau în considerare doar dacă elementele biologice induc starea ecologică foarte bună											Starea ecologică	
Starea ecologică globală	Cea mai defavorabilă situație / principiul “one out all out “							Starea ecologică	Nivel de confidență ®				

Tabelul nr.4.19

Evaluarea integrată corpului de apă Delta Dunării (Brațul Sf.Gheorghe) (RO15) în perioada 2012-2013

2012-2013													
Elemente de calitate biologice	Macronevertebrate bentonice		IS	H	FAM	EPT_I	OCH/O	IGF	REO	LIM	IM	Starea ecologică	
Elemente de calitate fizico-chimice	t°C	pH	O <sub>2</sub>	CCOCr	CBO <sub>5</sub>	Cond.	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N total	P-PO <sub>4</sub>	P total	Starea ecologică
Elemente hidromorfologice	Se iau în considerare doar dacă elementele biologice induc starea ecologică foarte bună											Starea ecologică	
Starea ecologică globală	Cea mai defavorabilă situație / principiul “one out all out “							Starea ecologică	Nivel de confidență ®				

Evaluarea integrată a stării ecologice a celor două corpuri de apă aparținând tipologiilor RO14 și RO15 pe baza componentei abiotice (elementelor de calitate fizico-chimice) și biotice (macronevertebrate bentonice) (Tabelele 4.18, 4.19) a evidențiat o corelație pozitivă între evaluarea stării ecologice pe baza componentelor abiotice și cea pe baza componentelor biotice (macronevertebratelor bentonice). Astfel, s-a constatat că *corpul de apă Dunărea (Chichiu-Isaccea)* prezintă o stare ecologică “Bună”, iar *corpul de apă Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe)* o stare ecologică “Moderată”.

## 5. Discuții

### 5.1. Dinamica variabilelor de stare care influențează structura comunităților bentonice la nivelul sistemului acvatic lotic studiat

Pornind de la ipoteza că presiunea exercitată de factorii de comandă naturali (clima, regim hidrologic) și antropici (socio-economici) a determinat modificări în structura compoziției și

structurii faunei de nevertebrate bentonice de la nivelul sistemelor acvatice lotice Dunăre și Brațul Sf. Gheorghe, și implicit a fluxurilor de materie și energie, precum și serviciilor ecosistemice pe care acestea le oferă, am urmărit dinamica acestor comunități în relație cu modificările variabilelor de stare în diferite perioade de timp.

Pentru verificarea acestei ipoteze, răspunsul comunităților bentonice s-a analizat prin comparare cu dinamica variabilelor de stare înregistrată în *perioada de referință*, (începutul celei de-a doua jumătate a secolului al XX-lea) și cea caracteristică *perioadei intermediare* (începutul secolului al XXI-lea).

Distribuția comunităților bentonice a prezentat trăsături specifice în perioada martie 2012 – septembrie 2013 de-a lungul gradientilor longitudinali, față de cei transversali, fapt ce ilustrează complexitatea ecosistemelor acvatice lotice ale Dunării și Deltei Dunării. Fauna de nevertebrate bentonice a fost alcătuită din specii aparținând grupelor taxonomice Gasteropoda, Bivalvia, Oligochaeta, Insecta, Crustacea, cu abundență și diversitate mai mare în stațiile situate pe Brațul Sf.Gheorghe, față de cele de pe Dunăre și Brațul Tulcea, dar mai reduse comparativ cu cele raportate pe cursul Dunării (Graf și colab., 2015; Bódis și colab., 2014; Csányi și colab., 2014; Liška și colab., 2008; Oertel și Nosek, 2006, 2006b). Această reducere a bogăției taxonomice din amonte spre aval a fost pusă pe seama heterogenității și dimensiunii particulelor / granulației sedimentului, în concordanță cu creșterea presiunii factorilor de comandă (Sommerwerk și colab., 2009). Mai mult, o creștere a numărului de taxoni s-a evidențiat și în cadrul celor trei expediții de cercetare Joint Danube Survey (Tabelul 5.1), unde numărul de taxoni a crescut de la 268 în 2001 la 460 numărul total de taxoni înregistrat în 2013, în cadrul JDS 3.

**Tabelul nr.5.1**

Grupele taxonomice din structura faunei de nevertebrate bentonice identificate pe Dunăre (*adaptat după* Literáthyși colab., 2002; Liška și colab., 2008; 2015)

Grup taxonomic (nr.taxoni)/perioada	Dunăre		
	2001 (JDS1)	2007 (JDS2)	2013 (JDS3)
<b>TOTAL</b>	<b>268</b>	<b>441</b>	<b>460</b>
<i>Diptera</i>	-	174	222
<i>Oligochaeta</i>	-	53	55
<i>Ephemeroptera</i>	27	42	32
<i>Trichoptera</i>	42	35	40
<i>Bivalvia</i>	20	26	23
<i>Gasteropoda</i>	30	27	20
<i>Coleoptera</i>	22	17	15
<i>Amphipoda</i>	18	13	15
<i>Hirudinea</i>	-	11	-
<i>Odonata</i>	-	-	13

În cazul Deltei Dunării, acest declin a fost cauzat de o dinamică ascendentă a nutrienților și poluanților rezultați din activitățile antropice, lucrările de amenajare în scopul exploatarei resurselor biologice, lucrările hidrotehnice survenite de-a lungul Dunării și în Delta Dunării, prezența speciilor cu potențial invaziv, dar și modificări în ceea ce privește momentul producerii, duratei și frecvenței pulsurilor hidrologice, datorate în special de modificărilor regimului climatic (Vădineanu, 2004; Stoica și colab., 2013).

Organismele constante (frecvența de apariție 100 %) din structura faunei de nevertebrate bentonice de la nivelul complexelor de ecosisteme lotice studiate au fost reprezentate de speciile din grupele taxonomice Oligochaeta, Insecta (Chironomidae), Bivalvia (*Dreissena polymorpha*, *Corbicula fluminea*), Gasteropoda (*Lithoglyphus naticoides*, *Theodoxus danubialis*) și Corophiidae (*Corophium curvispinum*). Totodată, în structura faunei bentale, au fost identificate specii cu potențial invaziv, majoritatea de origine ponto-caspică, precum *Dreissena polymorpha* (zebra mussel), *Corbicula fluminea* (Asian clam), *Theodoxus fluviatilis* care au prevalat peste întreaga comunitate și care au fost raportate anterior și de către Liška și colab. (2008), Graf și colab. (2008) și Sommerwerk și colab. (2010). Analiza acestor rezultate este comparabilă cu alte studii menționate în literatura de specialitate efectuate la nivelul complexelor de ecosisteme ale Dunării și Delta Dunării, unde grupele taxonomice cu ponderea numerică cea mai mare au avut-o Oligochaetele, Chironomidele, Gasteropodele și Bivalvele (Ignat și colab., 1997; Vădineanu și colab., 2000; Litérathy și colab., 2002; Csányi și Paunovič, 2006; Tudorancea și Tudorancea, 2006; Martinovič-Vitanovič și colab., 2013; Dobrin și colab., 2013; Atanackovič și colab., 2013).

Analiza comparativă a bogăției taxonomice a faunei de nevertebrate bentonice în diferite perioade la nivelul complexelor de ecosisteme din Delta Dunării a evidențiat, ca și pe cursul Dunării, o tendință general de refacere a faunei bentonice (Tabelul 5.2). În perioada, considerată de noi, de referință, speciile dominante aparțineau grupelor taxonomice Amphipoda, Mollusca, Oligochaeta și Chironomidae, cu valoarea indicelui de bogăție taxonomică mai mare de 25, urmată de o perioadă de declin, perioada intermediară, când au dominant speciile aparținând grupelor taxonomice tolerante reprezentate de Chironomidae și Oligochaeta, iar în prezent, s-au identificat speciile aparținând grupelor taxonomice din perioada celei de a doua jumătate a secolului al XX-lea.

**Tabelul nr. 5.2**

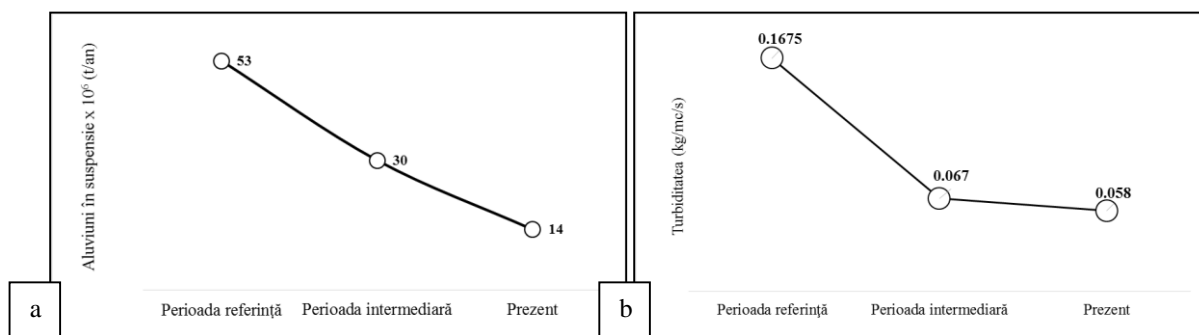
Reprezentarea numerică a faunei bentonice în perioadele înainte și după lucrările hidrotehnice efectuate în Delta Dunării (*adaptat după* Brezeanu și colab., 2011)

	Bogăția taxonomică			Speciile dominante		
	Perioada de referință	Perioada intermediară	Prezent *	Perioada de referință	Perioada intermediară	Prezent *
<b>Nevertebrate bentonice</b>	>25	<15	35	<i>chironomidae</i>		<i>moluste</i>
				<i>oligochaete</i>	<i>chironomidae</i> ,	<i>oligochaete</i>
				<i>moluste</i>		<i>amfipode</i>
				<i>amfipode</i>		<i>chironomidae</i>

\*conform datelor experimentale obținute în prezentul studiu de cercetare

Dinamica structurii faunei bentonice din sistemele acvatice lotice studiate a prezentat trăsături distincte în cele 11 stații de prelevare, lucru care a permis compararea ecosistemelor lotice afectate sau nu de presiunea factorilor de comandă identificați la acest nivel (Tabelul 3.2).

La S1 (Isaccea), structura și compoziția faunei de nevertebrate bentonice au fost determinate de caracterul fluviatil al *Dunării* și influențate de o serie de factori, mai ales de cei care vizează modificările regimului hidrologic și condițiile morfologice. La acest nivel, nevertebratele bentonice care au populat substratul (Figura 4.4), au tolerat aceste modificari, mai ales în condițiile în care, în ultimul secol, debitele de aluviuni în suspensie și turbiditatea au scăzut (Figura 5.1) (Gâstescu, 2006; date nepublicate).



**Fig. 5.1.** Variația aluviunilor în suspensie și turbidității în ultimul secol la stația hidrometrică Isaccea

În general, populațiile de *Corophium curvispinum* au prezentat abundențe numerice ridicate (35%) și densități numerice mari și s-au întâlnit asociate speciilor de *Dreissena polymorpha*. Densitatea numerică mare în lunile de vară (august 2012) este justificată de toleranța acestei specii la temperaturi ridicate. Grabowski și colab. (2007) au identificat co-existența speciilor de *Echinogammarus ischnus*, *Corophium curvispinum* și *Dreissena polymorpha* într-un lac încălzit din Polonia cu o temperatură care a variat de la 7-31.8 °C. Totodată, este cunoscut faptul că aceste populații creează substrat propice dezvoltării altor specii, precum chironomide, oligochete, hirudinee și alte amphipode (a speciilor alohtone *Dikerogammarus haemobaphes*, *Dikerogammarus villosus*), datorită tuburilor de mâl, dar inhibă dezvoltarea populațiilor de *Dreissena polymorpha* (a căror larve nu reușesc să se dezvolte/stabilească), datorită competiției pentru hrană (Van der Velde și colab., 1999). Acest fapt este evidențiat prin valoarea scăzută a abundenței numerice (8%) înregistrate de speciile de *Dreissena polymorpha*.

În Delta Dunării, analiza dinamicii comunitățile bentonice în relație cu modificările variabilelor de stare a pus în evidență influența regimului hidrologic (Qmed), în cazul stațiilor S1 și S2 situate amonte de orașul Tulcea și variația concentrației metalelor (Hg, Cu, Zn, Pb) determinate în sediment la stația aval de orașul Tulcea (Figurile 4.8 a, b). Structura acestor populații a fost afectată în sensul reducerii bogăției taxonomice și a diversității, mai ales la stația S3 (Aval Tulcea). Acest fapt se datorează pe de-o parte activităților industriale desfășurate în orașul Tulcea, iar pe de altă parte evenimentelor petrecute în ultimele decenii. Aceste evenimente au avut consecințe contrastante asupra structurilor CN și au fost legate, în principal, de căderea regimului comunist și implicit a producției industriale, situații care au condus la declinul economic, datorită faptului că multe din aceste activități s-au oprit brusc sau au continuat să funcționeze utilizând tehnologii învechite (Vignati și colab., 2013).

Profilul metalelor grele în sedimentul Deltei Dunării are o configurație specifică. Concentrația metalelor grele (Zn, Hg, Cu) a crescut până în 1989, datorită creșterii industrializării în Europa Centrală și de Est (Winkels și colab., 1998), inclusiv în România. Cu toate acestea, în ultimele 5 decenii, s-a remarcat o scădere a concentrației de metale la nivelul acestui compartiment în Delta Dunării (Tabelul 5.3).

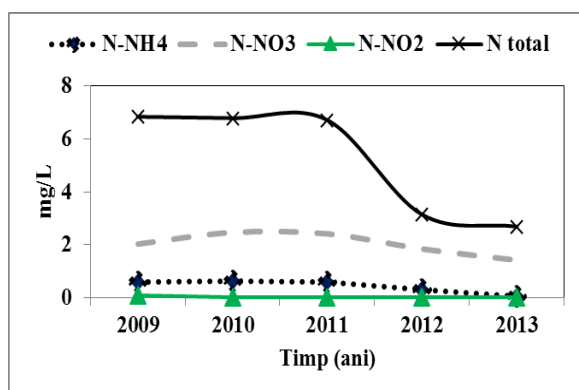
Tabelul nr. 5.3

Variația concentrației de metale (mg/kg s.u) în sedimentele Deltei Dunării în ultimele 5 decenii

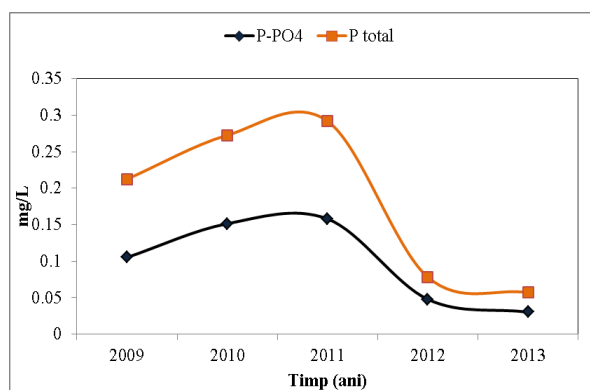
Indicator de calitate	U.M	1950	2003-2009	2012-2013*
		Winkels și colab., 1998	Vosniakos și colab., 2011	
Cu		38	14.8-194	4.65-45.9
Pb		36	7.5-51.3	4.76-41.3
Zn	mg/kg s.u	90	29.8-218	17.7-93.1
Cr		50	7.5-61.9	7.62-32.5
Ni		56	19-111	10.8-49.8
Cd		<0.5	<0.5-1.5	SLD

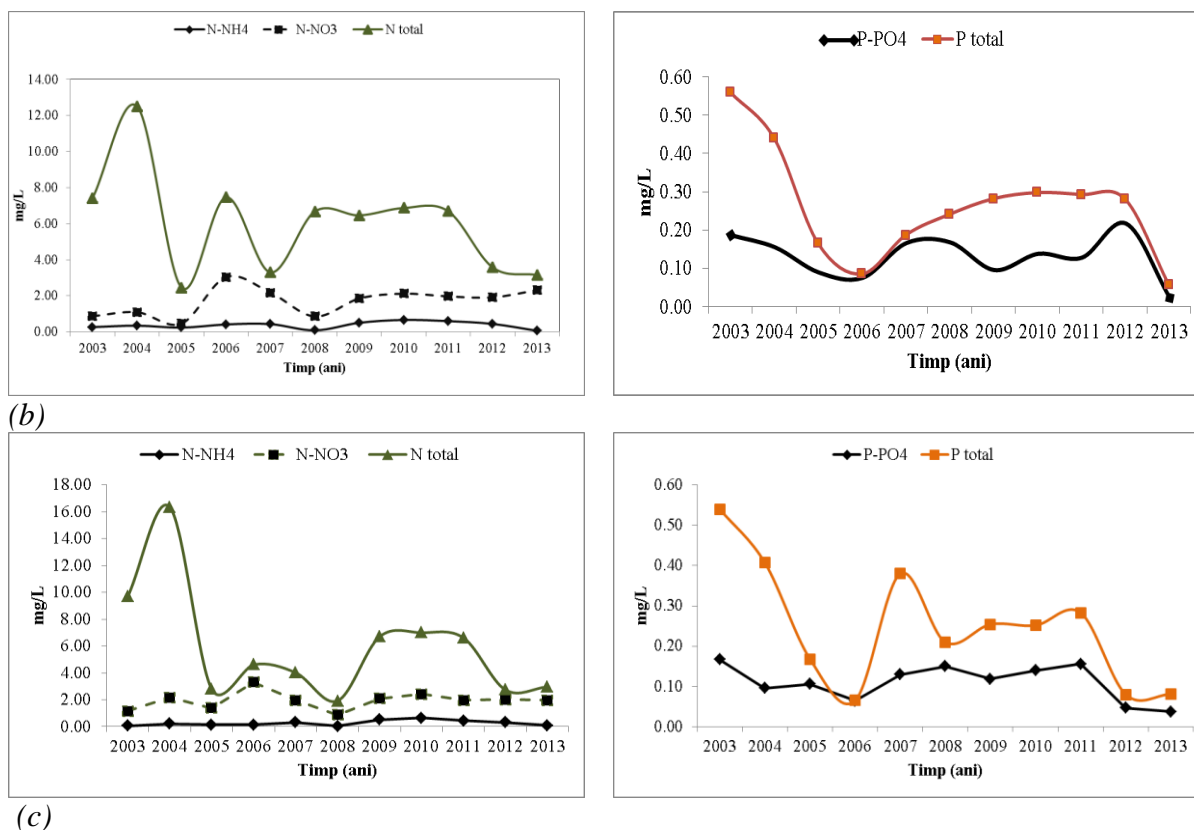
\*conform datelor obținute în perioada de studiu a programului individual de cercetare

Deși, concentrația metalelor din sediment s-a redus în ultimii 10 ani între 2 și 5 ori, totuși o parte a rămas adsorbită la suprafața detritusului sau acizilor humici. Reducerea concentrației Cd reflectă abandonarea planurilor în ceea ce privește agricultura intensivă în Delta Dunării, mai ales că acest compus intra în compoziția fertilizatorilor. Scăderea Pb poate fi de asemenea asociată schimbărilor în utilizarea terenurilor, deoarece și acesta intră în componența fungicidelor și a altor pesticide. Totodată, eliminarea treptată a benzinei cu Pb reprezintă o metodă complementară de reducere a acestui contaminant. Creșterea acestora s-a datorat contaminării difuze de la depozite neferoase abandonate după tranzițiile din economia românească (Vignati și colab., 2013). Ca rezultat, structura și compoziția comunităților bentonice a suferit modificări, în sensul reducerii numărului grupelor taxonomice, a înlocuirii speciilor sensibile, cu cele tolerante, adesea invazive, a înlocuirii mărunțitorilor sau a raclori-colectorilor cu detritivorii, lucru evidențiat prin valorile scăzute ale indicilor de diversitate și echitabilitate înregistrate la S3 (Aval Tulcea) (Tabelul 4.2). Aceste modificări au fost influențate pe de-o parte de mobilitatea metalului respectiv, și de concentrațiile nutrienților care modulează ratele de acumulare a metalelor, pe de altă parte (Bettinetti și colab., 2012). În acest caz, în perioada 2003-2013, la nivelul sistemelor acvatice lotice reprezentate de Brațul Sf.Gheorghe, concentrația nutrienților a prezentat o dinamică interanuală (Figura 5.2) datorată atât presiunii din sursele punctiforme și difuze (detaliate în Tabelul 3.2), cât și a celei legate de regimul climatic (Stoica și colab., 2013).



(a)





**Fig.5.2.** Dinamica concentrației nutrienților în perioada 2003-2013: (a) la S6 (Mahmudia), (b) la S7 (Murighiol) și (c) la S8 (Uzlina) în cadrul sistemului ecologic Brațul Sf. Gheorghe

Astfel, cercetările întreprinse în perioada 2003-2004 în Delta Dunării (la S7 (Murighiol) și S8 (Uzlina)) de către Vasile și colab. (2005, 2006) asupra mobilității metalelor grele în sediment, au arătat că Pb se găsește în două fracții: mobilă și legată de oxizii de mangan și materia organică, iar Cr nu se găsește într-o fracție biodisponibilă. Concentrația Pb mobilă a fost mai mare în sedimentele de la S7 (Murighiol) datorită creșterii concentrației totale de metale în sediment, față de concentrația metalelor din sedimentele de la S8 (Uzlina), unde s-au înregistrat scăderi ale concentrațiilor în forma mobilă pentru Cu, Zn și Pb în 2004, față de 2003. Mai mult, Vosniakos și colab. (2010) au evidențiat că fracția mobilă a Cu reprezintă 41%, iar Ni a prezentat o mobilitate destul de scăzută comparativ cu concentrația totală a acestuia (1.2-3.1 mg/kg).

Cu toate acestea, în studiul efectuat în 2013 de către Stoica și colab. privind acumularea poluanților chimici (metale) în cochilia speciilor de Bivalve (*Anodonta sp.* și *Unio sp.*) și Gasteropode (*Viviparus sp.*) din sistemul ecologic Brațul Sf. Gheorghe, s-a evidențiat că metalele implicate în procesele metabolice (Fe, Mn, Zn, Cu și Mg) au o capacitate de acumulare mai mare decât a celor toxice (Pb și Cd). Acest fapt este explicat și de prezența acestor metale în concentrații ridicate, raportate și în studii anterioare (Vasile și colab., 2010).

În cazul cochiliei speciilor de gasteropode, selectivitatea bioacumulării metalelor a fost reprezentată astfel: Fe>Mn>Zn>Cu>Pb>Co>Cd, în timp ce cochilia speciilor din genul *Anodonta sp.* a avut o capacitate mai mare de acumulare a metalelor (Cu, As, Cr, Zn) față de speciile din genul *Unio sp.* (date nepublicate). Pentru fiecare metal determinat s-a calculat factorul de bioacumulare pentru fiecare din speciile aflate în contact direct cu sedimentul, rezultatul acestui

factor a fost subunitar, ceea ce denotă – conform Vădineanu (1990) – că la nivelul sistemelor lotice studiate, are loc procesul de bioacumulare, și nu unul de bioconcentrare. Astfel, modificările care au avut loc în structura și compoziția faunei de nevertebrate bentonice în perioada “intermediară”, datorită acumulării metalelor, au fost puse pe seama inhibării enzimelor implicate în respirația celulară, sinteza proteică și diviziunea celulară.

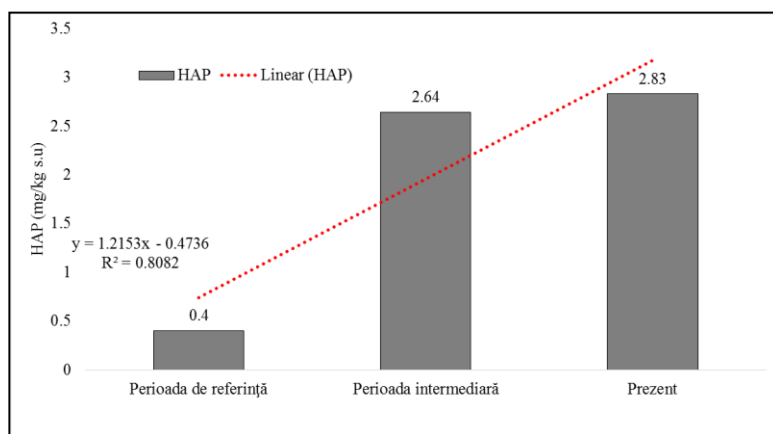
La S4 (Nufăru), în structura faunei de nevertebrate bentonice au predominat filtratorii, favorizați de viteză ridicată a apei care a favorizat oxigenarea, iar concentrația metalelor determinată în sediment nu a permis acumularea, datorită naturii substratului nisipos, substrat ce permite distribuția spațiilor interstițiale înlesnind oxigenarea sedimentelor (Uwadiae, 2010).

Pe Brațul Sf. Gheorghe, cea mai mare valoare a densității numerice a nevertebratelor bentonice a fost determinată la S8 (Uzlina), stație localizată pe meandra aflată în regim natural de funcționare. Prezența grupelor funcționale reprezentate atât de răzuitori, filtratori, detritivori a fost pusă pe seama conectivității hidrologice dintre ecosistemele acvatice lotice și lactice reprezentate de braț, canalul și lacul Uzlina care a influențat distribuția și diversitatea nevertebratelor bentonice (Tabelul 4.2), iar prezența vegetației submerse a facilitat colonizarea faunei de nevertebrate fitofile.

La S7 (Murighiol), au predominat speciile de gasteropode pulmonate, precum *Lymnea stagnalis*, *Planorbarius corneus*, sau prosobranhiatele din genul *Viviparus sp.*, specii care au supraviețuit în condiții preponderent anoxice, situație creată de concentrația mare a materiei organice particulat datorată fitoplanctonului; totodată, acesta prin ciclul scurt de viață al populațiilor sale și prin calitatea substanței organice ușor degradabilă în perioadele de senescență (Brezeanu și colab., 2011), au indus dezvoltarea comunităților microbiene planctonice cu o intensă activitate metabolică de degradare în masa apei.

Oligochaetele au avut un statut dominant la nivelul sistemelor acvatice lotice reprezentate de Dunăre și Brațul Sf. Gheorghe, acestea fiind considerate verigi importante integrate canalelor detritale de transfer al materiei și energiei (Rîșnoveanu și Vădineanu, 2000), fiind abundente mai ales acolo unde au avut acces la surse bogate de hrană, precum zonele de mal sau canale adiacente (cum este cazul S7 (Murighiol) și S10 (Sf. Gheorghe)), unde materia organică este prezentă în concentrații ridicate, iar biomasa epifitonului este mare (Radu, 2011).

În general, rezultatele obținute în prezentul studiu au fost comparabile cu cele efectuate după 1970 pe cursul inferior al Dunării, unde grupele dominante au fost reprezentate de Oligochaete și Amphipode, și în Delta Dunării unde, alături de grupele taxonomice amintite anterior, au predominat Gasteropodele, Bivalvele și larvele de diptere (Popescu-Marinescu, 1990; 1992; Ignat și colab., 1994). Studiile realizate după 1990 au evidențiat o simplificare pronunțată a biocenozelor integrate sistemelor acvatice (Rîșnoveanu, 1993; Ignat și colab., 1997; Stănescu și colab., 2012), precedând o perioadă de refacere a structurii și compoziției faunei de nevertebrate bentonice (Stoica și colab. 2014). Reducerea sau înlocuirea populațiilor de nevertebrate bentonice la începutul secolului al XX-lea se datorează dinamicii poluanților organici specifici, a HAP-urilor, pesticidelor organoclorurate ( $\gamma$  – HCH, heptachlor, DDT/DDE/DDD), compușilor bifenil policlorurați (PCB) și hidrocarburilor petroliere (Petre și colab., 2004; Vosniakos și colab., 2008, 2010, 2012). Acestea care au înregistrat depășiri peste limitele impuse de legislația națională/europeană în ultimii 10 ani la nivelul complexelor de ecosisteme deltaice.

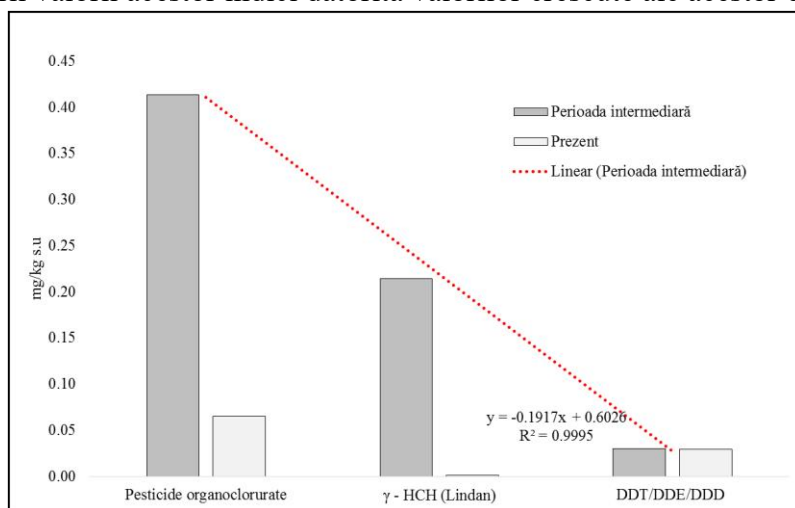


**Fig. 5.3.** Variația HAP-urilor în sedimentele Deltei Dunării (Brațul Sf.Gheorghe) în ultimul secol

Concentrațiile HAP-urilor au înregistrat o creștere de aproape șapte ori (Figura 5.3) față de concentrațiile determinate în 1950 (Winkels și colab., 1998), lucru ce confirmă impactul negativ al dezvoltării navigației, în condițiile în care, așa cum am specificat și în capitolul 4.1.2, HAP-urile provin din contaminarea cu produse petroliere.

Burgess (2009) semnaleză că acțiunea HAP-urilor asupra nevertebratelor bentonice conduce la narcoză, și ulterior la alterarea funcției membrane celulare. Concentrația cea mai ridicată a fost înregistrată la S7 (Murighiol) și S6 (Mahmudia) (Figura 4.2), unde au prevalat populațiile de Oligochaete. Scoggins și colab. (2007) au remarcat că densitățile scăzute ale nevertebratelor bentonice pe un râu din Austin, Texas se datorează efectului toxic al HAP-urilor, precum mortalitatea sau afectarea funcției de reproducere. Mai mult, Leppanen și Kukkonen (2000) menționează că anumite specii de oligochete, precum *Lumbriculus variegatus* au capacitatea de a degrada HAP-urile, deci o toleranță mai mare la acești compuși.

În ceea ce privește pesticidele organoclorurate, concentrațiile acestora au scăzut după 1990, odată cu schimbările în sectorul politic, însă persistă și astăzi în sedimentele Deltei Dunării. O scădere vizibilă în perioada 2012-2013 față de 2003-2011, cu excepția DDT și a produșilor săi de degradare poate fi observată în Figura 5.4. Totuși, s-a remarcat o corelație pozitivă între concentrațiile pesticidelor organoclorurate și următorii indici: IS, OCH/O și IBH (Figurile 4.8 și 4.11) la stațiile S6 (Mahmudia), S7 (Murighiol), S9 (Ivancea) și S10 (Sf. Gheorghe) (Figura 4.8), în sensul creșterii valorii acestor indici datorită valorilor crescute ale acestor contaminanți.



**Fig.5.4.**Variația concentrației de pesticidelor organoclorurate în sedimentele Deltei Dunării în ultimii 10 ani

În ceea ce privește biodisponibilitatea acestori contaminanți, Covaci și colab. (2006) au identificat prezența HCH și DDT în structura chironomidelor (*Chironomus plumosus*), în special a congenerului  $\gamma$ -HCH, specii care prezintă o capacitate limitată de biotransformare.

Similar, în ceea ce privește profilul PCB-urilor, s-a identificat că 3-CB care au fost majoritari 35% în structura nevertebratelor. Cu toate acestea, concentrațiile medii ale PCB-urilor în perioada 2012-2013 au fost sub limita de detecție a metodei, cel mai probabil datorită absenței sau ratei de producției scăzute a acestora în țările din Europa Centrală și de Est.

## **5.2. Evaluarea integrității ecologice a complexelor de ecosisteme acvatice studiate**

Evaluarea integrității ecologice a complexelor de ecosisteme acvatice reprezentate de Dunăre și Brațul Sf. Gheorghe (Delta Dunării) a permis efectuarea analizei *in-vivo* prin evaluarea stării ecologice pe baza macronevertebratelor bentonice și a elementelor chimice.

Evaluarea stării ecologice atât pe baza macronevertebratelor bentonice, cât și pe baza elementelor de calitate chimice a scos în evidență următoarele aspecte:

- Conductivitatea, CCOCr, CBO<sub>5</sub>, P-PO<sub>4</sub>, P total și N total au reprezentat elementele chimice definitorii în evaluarea stării chimice (Tabelele 4.6, 4.7).
- Starea chimică a corpului de apă aparținând categoriei tipologice RO15 a fost indusă de valorile percentilelor calculate pentru CCOCr, CBO<sub>5</sub>, P-PO<sub>4</sub> și P total la S7 (Murighiol), iar starea definitorie a fost “moderată”. În condițiile în care considerăm excluderea stației din evaluare – având în vedere localizarea stației S7 pe canalul de legătură al Brațului Sf. Gheorghe cu localitatea Murighiol – atunci starea chimică a corpului de apă aparținând categoriei tipologice RO15, este “bună” (Tabelul 4.6).
- Totodată, deși o serie de date au fost evaluate cu confidență medie (Tabelul 4.7), acestea au confirmat relevanța indicatorilor CCOCr, CBO<sub>5</sub>, conductivitate și N total în evaluarea stării chimice, parametrii ce au o importanță definitorie pentru integrarea lor în cadrul setului de indicatori propuși în România pentru evaluarea stării ecologice.
- De Castro-Català și colab. (2015) confirmă observația în ceea ce privește salinitatea; aceștia au arătat că valorile crescute ale conductivității influențează negativ abundența și diversitatea comunităților biotice, constatând de asemenea și răspunsuri subletale la nevertebrate. Mai mult, Cañedo-Argüelles și colab. (2013) au subliniat că salinitatea constituie o problemă semnificativă la nivelul tuturor bazinelor hidrografice motiv pentru care ar trebui luată în considerare.

Dinamica indicilor unicriteriali în perioada 2012-2013 la nivelul “corpului de apă” Delta Dunării (Brațul Sf.Gheorghe) a evidențiat o dependență specifică în funcție de tipul de substrat, cele mai mari valori ale FAM au fost înregistrate la stațiile unde predomină substrat de natură organică (S8 (Uzlina) și S10 (Sf.Gheorghe)), iar speciile reofile au predominat în stațiile unde viteza apei a permis o mai bună oxigenare a substratului (S1 (Isaccea) și S4 (Nufăru)). Apreciem că S8 (Uzlina) s-a individualizat ca “stație de referință” comparativ cu celelalte stații stabilite pe Brațul Sf. Gheorghe datorită localizării pe meandra naturală și a condițiilor UHGM care au permis dezvoltarea faunei de nevertebrate bentonice.

Gama de indici propuși pentru evaluarea și clasificarea stării ecologice a corpurilor de apă au fost testați la nivelul complexelor de ecosisteme Dunăre și Brațul Sf.Gheorghe. Aceștia au prezentat o variabilitate mare în funcție de perioada de prelevare (probele au fost momentane), dar mai ales în funcție de stațiile de prelevare. Majoritatea trăsăturilor indicilor determinați în acest studiu au fost reliefate prin prisma modificărilor variabilelor de stare și mai puțin de cele ce au în vedere structura substratului, a funcțiilor comunităților, de aceea este necesar ca studiile viitoare să se concentreze pe evidențierea relațiilor funcționale, alături de cele structurale.

## 6. Concluzii

Programul individual de cercetare cu titlul “*Evaluarea stării ecologice a ecosistemelor acvatice lotice: compoziția și structura faunei bentale*” a avut ca scop completarea și consolidarea cunoștințelor privind relevanța compoziției și structurii faunei bentonice pentru evaluarea stării ecologice a ecosistemelor lotice din Delta Dunării, în vederea transpunerii în practică a prevederilor directivelor UE (în special DCA) și a convențiilor internaționale privind conservarea, reconstrucția și utilizarea durabilă a ecosistemelor acvatice.

Cercetările teoretice și practice au permis obținerea unor rezultate care sunt sintetizate sub forma unor concluzii generale în funcție de fiecare obiectiv propus:

**O1.** Clarificarea conceptelor cu privire la evaluarea stării ecologice a ecosistemelor acvatice lotice și caracterizarea stadiului actual al cunoașterii privind compoziția și structura faunei bentale

1. Principalele presiuni care au avut un impact negativ asupra structurii și funcțiilor sistemelor socio-ecologice au fost: regimul climatic cu efecte la scară globală, modul de utilizare și acoperire al terenului, lucrările hidrotehnice, supra-exploatarea resurselor și poluarea.
2. Exercițarea acestor presiuni au condus la reducerea diversității specifice și taxonomice, prin reconfigurarea structurală și funcțională, prin extinderea sau restrângerea distribuției spațiale a diferitelor tipuri de ecosisteme, cu consecințe asupra diminuării resurselor și serviciilor oferite de acestea, circuitelor hidrologice și biogeochimice.
3. Pentru dezvoltarea și armonizarea metodelor de evaluare a stării ecologice utilizând comunitățile biotice, s-au înregistrat progrese semnificative în Europa, dar și în România.
4. Deși s-a constatat un progres semnificativ, în Europa, o treime din totalul metodelor nu sunt dezvoltate sau / și nu sunt intercalibrate datorită: lipsei seturilor de date adecvate și comparabile între țări, caracterizării nepotrivite a factorilor de comandă la nivelul grupurilor geografice de intercalibrare, absenței unor situri de referință în unele țări sau regiuni, dificultății în compararea metodelor cu indici complet diferiți și / sau concept de evaluare, atenției insuficiente semnificației ecologice a metodelor de evaluare.
5. În România, se ridică încă semne de întrebare privind testarea eficienței metodelor de evaluare a integrității ecologice, armonizarea între criteriile abiotice și cele biotice caracteristice fiecărei zone biogeografice, dezvoltarea continuă a sistemului de monitorizare pentru a acoperi toate elementele de calitate (biologice, hidromorfologice și fizico-chimice) și toate mediile de investigare (apă, sedimente și biota), cu precădere monitorizării poluanților specifici și substanțelor prioritare, dar și frecvența monitorizării (care să asigure niveluri de confidență și precizie ridicate în evaluarea stării corpurilor de apă).

**O2.** Caracterizarea compoziției și structurii faunei bentonice din Brațul Sfântu Gheorghe al Deltei Dunării în relație cu dinamica factorilor de comandă

**A. Caracterizarea unităților hidrogeomorfologice:**

1. Parametrii regimului hidrologic și cei ai condițiilor morfologice au prezentat variații intra- și inter-aniuale în toată perioada de studiu. Dinamica sezonieră a arătat valori maxime în lunile aprilie – iunie atât în 2012, cât și în 2013, iar valori minime în luna septembrie. Din punct de vedere spațial, nivelul apei, turbiditatea și aluviunile în suspensie au urmat o curbă

descendentă, similară cu cea a debitului iar amplitudinea de variație a scăzut de la stația hidrometrică Isaccea spre aval, la stația Sf. Gheorghe. Viteza curentului a permis distribuția și transportul poluanților împreună cu particulele aflate în suspensie.

2. În perioada 2012-2013, nu s-au evidențiat fenomene naturale deosebite, astfel elementele de calitate fizico-chimice au prezentat fluctuații sezoniere normale, în sensul concentrațiilor crescute vara și toamna și scăzute în timpul primăverii și iarna.
3. În ceea ce privește caracterizarea modulelor trofodinamice asociate, au fost identificate bacterii cu potențial patogen (bacterii coliforme totale, *Escherichia coli* și enterococci) atât în structura bacterioplanctonului, cât și a bacteriobentosului, iar analiza calitativă a organismelor fitoplanctonice existente la nivelul sistemului ecologic Dunăre-Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe) în perioada martie 2012-septembrie 2013 a evidențiat prezența speciilor aparținând claselor Baccilariophyceae, Chlorophyceae, Euglenophyceae și Cyanophyceae.

#### **B. Compoziția și structura faunei bentale**

1. Distribuția comunităților bentonice a prezentat trăsături specifice în perioada martie 2012 – septembrie 2013 de-a lungul gradientilor longitudinali, față de cei transversali, fapt ce ilustrează complexitatea ecosistemelor acvatice lotice ale Dunării și Deltei Dunării.
2. Fauna de nevertebrate bentonice a fost alcătuită din specii aparținând grupelor taxonomice Gasteropoda, Bivalvia, Oligochaeta, Insecta, Crustacea, cu abundență și diversitate mai mare în stațiile situate pe Brațul Sf. Gheorghe, față de cele de pe Dunăre și Brațul Tulcea.
3. Analiza *compoziției taxonomice* a macronevertebratelor bentonice în perioada martie 2012-septembrie 2013 la nivelul complexelor de ecosisteme acvatice reprezentate de Dunăre și Brațul Sf. Gheorghe a permis identificarea a 12 grupe taxonomice, din care 6 la nivel supraspecific (Oligochaeta, Nematoda, Diptera: Psychodidae, Ceratopogonidae, Tipulidae și Chironomidae) și 41 la nivel de specii.
4. Bogăția taxonomică și densitatea numerică au fluctuat în sensul creșterii acestora la stațiile din interiorul deltei față de cele stabilite pe Dunăre și Brațul Tulcea. Media anuală a densității numerice a avut cea mai scăzută valoarea la S5 (Băltenii de Sus), în timp ce la S11 (Ieșire Marea Neagră) s-a înregistrat cea mai mare valoare.
5. Nu au fost determinate diferențe semnificative ale valorilor numărului de taxoni determinate între cele două maluri, dar semnificative între stațiile de prelevare.
6. Oligochaetele, Chironomidele, Bivalvele (*Dreissena polymorpha*, *Corbicula fluminea*) și Gasteropodele (*Lithoglyphus naticoides*, *Theodoxus danubialis*) au reprezentat principalele grupe taxonomice prezente în structura faunei bentale cu o frecvență de apariție de 100% la toate momentele de prelevare, atât în anul 2012, cât și 2013.
7. Grupele taxonomice cel mai bine reprezentate la nivelul complexelor de ecosisteme Dunăre-Delta Dunării au fost Oligochaetele, Gasteropodele, Bivalvele, Corophiidaele și Gammaridele.
8. Indicii de diversitate au fluctuat între valoarea cea mai mică la S3 (Aval Tulcea) și valoarea cea mai mare (S10 (Sf. Gheorghe) și S8 (Uzlina)).
9. Valorile IBH a încadrat complexe de ecosisteme lotice studiate în diferite clase de calitate luând în considerare poluarea organică: S1 (Isaccea), S2 (Amonte Tulcea), S4 (Nufăru), S5 (Băltenii de Sus) și S10 (Sf. Gheorghe) - clasei de calitate slabă cu gradul de poluare gravă; S3 (Aval Tulcea), S6 (Mahmudia) și S7 (Murighiol) - calitate a apei foarte slabă, grad de

poluare organică severă; S8 (Uzlina) și S9 (Ivancea) - calitatea apei nesatisfăcătoare, grad de poluare substanțial.

**C. Variabilele de stare care acționează asupra faunei de nevertebrate bentonice**

1. Analiza multivariată (nMDS, PCO, DistLM, PCA, cluster) a permis identificarea principalelor variabile de stare care au acționat asupra compoziției și structurii faunei de nevertebrate bentonice dintre care cele mai importante au fost metalele, regimul hidrologic, HAP și pesticidele organoclorurate.
2. Analiza cluster de similaritate efectuată a scos în evidență existența a trei grupări principale de similaritate, grupări în structura cărora s-au înregistrat modificări asemănătoare. Toate grupările de la nivelul sistemului ecologic studiat ale analizei cluster au avut un grad de similaritate mai mare de 50%, similaritate confirmată și de analiza nMDS, astfel: (a) S11; (b) S7, S8 și (c) S1, S2, S3, S4, S5, S6, S9 și S10.

**O3.** Aplicarea metodologiei de evaluare a stării ecologice ecosistemelor acvatice lotice în conformitate cu cerințele DCA.

**D. Evaluarea integrată a stării ecologice a ecosistemelor acvatice lotice:**

*Evaluarea stării chimice*

1. *Condițiile termice:* Percentila P98 aplicată valorilor temperaturii apei determinate la nivelul celor două corpuri de apă aparținând categoriilor tipologice RO14 și RO15 a permis încadrarea în stare “Foarte Bună”.
2. *Nivelul de acidifiere:* Valorile percentilelor P90 determinate pentru toate măsurătorile indicatorului pH s-au încadrat în intervalul 6.5 – 8.5, interval caracteristic stării ecologice “Foarte Bună” pentru cele două corpuri de apă (Dunărea și Brațul Sf. Gheorghe).
3. *Condițiile de oxigenare:* Mărimea P10 calculată a fost mai mică decât limita FB/B pentru corpul de apă Dunărea (Chiciu-Isaccea), ceea ce a permis încadrarea în stare ecologică “Bună”, similar și în cazul corpului de apă Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe), cu excepția valorilor P10 determinate la S4 (Nufăru), S8 (Uzlina) și S9 (Ivancea), unde P10 au fost mai mari decât limita FB/B. Valorile P90 calculate pentru CCOCr și CBO<sub>5</sub> au determinat aprecierea de stare ecologică “Bună” pentru corpul de apă aparținând categoriei tipologice RO14. În cazul RO15, valorile P90 au încadrat corpul de apă în starea ecologică “Moderată” datorită valorilor determinate la S7 (Murighiol).
4. *Salinitatea:* Valorile P90 aplicate șirului de măsurători determinate pentru conductivitate în perioada de studiu au permis încadrarea celor două corpuri de apă aparținând categoriilor tipologice RO14 și RO15 în starea ecologică “Bună”.
5. *Concentrațiile nutrienților.* Mărimea P90 aplicată concentrațiilor nutrienților pentru categoria tipologică RO14 a fost mai mică decât limita FB/B, cu excepția indicatorului N total, unde valoarea P90 a permis încadrarea corpului de apă în starea ecologică “Bună”; în cazul categoriei tipologice RO15, valorile P90 aplicate nutrienților în perioada martie 2012-martie 2013 au caracterizat corpul de apă având starea ecologică “Moderată”, stare indusă de P90 aplicate măsurătorilor P-PO<sub>4</sub> și P total;
6. Analiza elementelor de calitate fizico-chimice a permis încadrarea corpurilor de apă studiate în starea finală luând în considerare principiul “cele mai defavorabile situații”: în perioada 2012-2013 corpul de apă Dunărea (Chiciu-Isaccea) aparținând categoriei

tipologice RO14 s-a încadrat în starea ecologică “Bună”, iar corpul de apă Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe), categoria tipologică RO15 a prezentat o stare ecologică “Moderată”.

7. Conductivitatea, CCOCr, CBO<sub>5</sub>, P-PO<sub>4</sub>, P total și N total au reprezentat elementele chimice definitorii în evaluarea stării chimice

*Evaluarea integrității ecologice pe baza macronevertebratelor bentonice*

1. Valorile indicelui saprob a avut o reprezentare heterogenă în toată perioada de studiu, încadrând corpul de apă Dunărea (Chiciu-Isaccea) în stare ecologică “Bună” și corpul de apă aparținând categoriei tipologice RO15 în stare ecologică “Moderată și “Slabă”. *Considerăm că este necesara menținerea IS în sistemul de evaluare și clasificare cu o pondere reprezentativă care să asigure o evaluare corectă a stării ecologice a corpurilor de apă studiate.*
2. Absența organismelor aparținând grupului EPT în majoritatea stațiilor a determinat valori ale EPT\_I ce au clasificat corpurile de apă studiate în stare ecologică “Proastă”.
3. Indicii de preferință curgere REO/LIM au încadrat corpurile de apă Dunăre și Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe) preponderent în stări ecologice inferioare.
4. Indicele de diversitate Shannon-Wiener a înregistrat valori corespunzătoare stării ecologice “Bună” și “Foarte Bună” în majoritatea stațiilor, cu excepția S3 (Aval Tulcea), S6 (Mahmudia) și S7 (Murighiol), unde a avut o reprezentare mai slabă.
5. Indicele GF a clasificat în 90 % din cazuri corpurile de apă aparținând categoriilor tipologice RO14 și RO15 în stare ecologică “Foarte Bună”.
6. Indicele OCH/O a înregistrat valori superioare (caracteristice stării ecologice “Foarte Bună” și “Bună”) în majoritatea stațiilor de prelevare în perioada 2012-2013, cu excepția S3 (Aval Tulcea), S6 (Mahmudia) și S7 (Murighiol), unde valorile OCH/O au încadrat corpul de apă a RO15 preponderent în stare ecologică “Moderată” și “Slabă”.
7. Valorile indicelui “număr de familii” au clasificat corpurile de apă studiate în stare ecologică “Bună” și “Foarte Bună” în toată perioada de studiu.
8. Valorile indicelui multimetric a permis aprecierea stării ecologice a corpurilor de apă Dunărea (Chiciu-Isaccea) și Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe) ținând cont de principiul “*cele mai defavorabile situații*”, astfel:
  - o corpul de apă aparținând categoriei tipologice RO14 (Dunăre-Chiciu-Isaccea) prezintă stare ecologică “Bună”.
  - o corpul de apă aparținând categoriei tipologice RO15 (Delta Dunării (Brațul Sf. Gheorghe)) prezintă stare ecologică “Moderată”.

**O4.** Transferul informațiilor obținute în urma aplicării metodologiei de evaluare a stării ecologice pentru ecosistemele acvatice studiate către sistemele de decizie și categoriile de utilizatori.

1. Rezultatele prezentei teze de doctorat au fost diseminate prin comunicări orale în cadrul a patru conferințe/simpozioane naționale/internaționale și șase lucrări au fost publicate în reviste de specialitate naționale/internaționale (*a se vedea Lista lucrărilor științifice comunicate și /sau publicate în perioada derulării programului individual de cercetare*).
2. Rezultatele cercetării au fost transferate sistemelor de decizie și categoriilor de utilizatori (autorități publice) în baza unor protocoale de colaborare încheiate cu Primăria Orașului Isaccea și Primăria Comunei Murighiol, județ Tulcea.

### **Elemente de noutate și recomandări:**

Prezenta temă de cercetare a reprezentat un pas în ceea ce înseamnă evaluarea integrată a stării ecologice a corpurilor de apă Dunăre-Brațul Sf. Gheorghe prin testarea indicilor propuși pentru evaluarea pe baza nevertebratelor bentonice și a indicatorilor fizico-chimici – ca un sistem rapid de detecție a calității complexelor de ecosisteme acvatice lotice și completarea cunoașterii privind compoziția și structura faunei bentonice la nivelul complexelor de ecosisteme reprezentate de Brațul Sf. Gheorghe și 62 km amonte pe Dunăre.

- ✓ Recomandăm ca viitoarele studii să se concentreze mai mult pe evidențierea caracteristicilor și a relațiilor funcționale, în completarea celor de structură.
- ✓ Considerăm ca studiile următoare, cele care vor viza evaluarea stării ecologice a corpurilor de apă, să utilizeze exclusiv ca metoda de prelevare – metoda multihabitat – menită să suplimenteze imaginea asupra compoziției și structurii faunei bentonice a sistemelor acvatice lotice.

---

## **7. Bibliografie selectivă**

---

1. EC, 2000, *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for the Community action in the field of water policy*, Off J, L 327:1-72.
2. Poikane, S., Zampoukas, N., Borja, A., Davies, S.P., Van de Bund, W., Birk, S., 2014, *Intercalibration of aquatic ecological assessment methods in the European Union: Lessons learned and way forward*, Environmental Science & Policy 44, 237-246.
3. Birk, S., Bonne, W., Borja, A., Brucet, S., Courrat, A., Poikane, S., Solimini, A., Van de Bund, W., Zampoukas, N., Hering, D., 2012, *Three hundred ways to assess Europe's surface waters: An almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework*, Ecological Indicators, 18, 31-41.
4. Birk, S., Willby, N., Kelly, M.G., Bonne, W., Borja, A., Poikane, S., van de Bund, W., 2013, *Intercalibrating classifications of ecological status: Europe's quest for common management objectives for aquatic ecosystems*, Science of the Total Environment, 454-455, 490-499.
5. EC, 2013a, *Commission Decision of 20 September 2013 establishing pursuant to Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council, the values of the Member State monitoring system classifications as a result of the intercalibration exercise and repealing Decision 2008/915/EC (notified under the document C (2013) 5915) (Text with EEA relevance) (2013/480/EU)*, Official Journal of European Union, L 266/1-47.
6. Reyjol, Y., Argillier, C., Bonne, W., Borja, A., Buijse, A.D., Cardoso, A.C., Daufresne, M., Kernan, M., Ferreira, M.T., Poikane, S., Prat, N., Solheim, A.L., Stroffek, S., Usseglio-Polatera, P., Villeneuve, B., van de Bund, W., 2014, *Assessing the ecological status in the context of the European Water Framework Directive: Where do we go now?*, Science of the Total Environment, 497-498, 332-344.
7. Moldoveanu, M., 2014, *Elaborarea și testarea setului de indici ecologici pentru monitorizarea și evaluarea integrității ecologice a sistemelor lotice*, Teza de doctorat, București, 213 pp.

8. Newton, A., Icely, J., Cristina, S., Brito, A., Cardoso, A.C., Colijn, F., Dalla Riva, S., Gertz, F., Hansen, J.W., Holmer, M., Ivanova, K., Leppäkoski, E., Melaku Canu, D., Mocenni, C., Mudge, S., Murray, N., Pejrup, M., Razinkovas, A., Reizopoulou, S., Pérez-Ruzafa, A., Schernewski, G., Schubert, H., Carr, L., Solidoro, C., Viaroli, P., Zaldívar, J.M., 2014, *An overview of ecological status, vulnerability and future perspectives of European large shallow, semi-enclosed coastal systems, lagoons and transnational waters*, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 140, 95-122.
9. SR EN ISO 5661-1:2008, Calitatea apei. Prelevare. Partea 1: Ghid general pentru stabilirea programelor și a tehnicilor de prelevare.
10. SR ISO 5667-6:2014, Calitatea apei. Prelevare. Partea 6: Ghid pentru prelevările efectuate în râuri și alte cursuri de apă.
11. SR ISO 5667-12:2001, Calitatea apei. Prelevare. Partea 12: Ghid general pentru prelevarea sedimentelor de fund.
12. Lie, K.J., Basch, P.F, Umathevy, T., 1965, Antagonism between two species of larval trematodes in the same snail, *Nature (Lond.)*, 206:422-3.
13. Ankar, S., 1977, The soft bottom ecosystem of the Northern Baltic proper, with special reference to the macrofauna, *Contrib. Askö Lab, Stockholm Univ.*, 19.
14. Riddle, M.J., 1989, Bite profiles of some benthic grab samplers, *Estuar.coast Shelf Sci.*, 29:285-292.
15. Blomqvist, S., 1991, Quantitative sampling of soft-bottom sediments: problems and solutions, *Marine Ecology-Progress Series*, 72:295-304.
16. Rîșnoveanu, G., 2006, *Structure and function of the oligochaeta communities in lentic ecosystems of the Danube Delta*, în: *Danube Delta – Genesis and biodiversity*, Tudorancea, C., Tudorancea, MM., Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 237-261.
17. Chiriac, E., Udrescu, M., 1965, *Ghidul naturalistului în lumea apelor dulci*, Editura Științifică București.
18. Holsinger, J.R., 1972, *The Freshwater Amphipod Crustaceans (Gammaridae) of North America*, Environmental Protection Agency Biota of Freshwater Ecosystems Identification Manual, 5: 1-89.
19. McDonald, B.S., Mullins, G.W., Lewis, S., 1991, *Macroinvertebrates as indicators of stream health*, *The American Biology Teacher*, 53.
20. Brinkhurst, R.O., 1971, *A guide for the identification of British aquatic oligochaeta*, *Freshwater Biological Association*, 22, 58 pp.
21. Milligan, M.R., Hulbert, M. R., 1997, *Identification Manual for the Aquatic Oligochaeta of Florida*, *Freshwater Oligochaetes*, Florida Department of Environmental Protection, Florida, USA.
22. Witt, J.D.S., Hebert, P.D.N., Morton, W.B., 1997, *Echinogammarus ischnus: another crustacean invader in the Laurentian Great Lakes basin*, *Canadian J. Fisheries and Aquatic Sciences*, 54:264-268.
23. Thorp, J.H., Covich, A.P., 2001, *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*, Academic Press, 1056 pp.
24. Godeanu, S.P, 2002, *The Diversity of the Living World – Illustrated Determination Key of the Romania Flora and Fauna (in Romanian)*, Vol. II, *Continental Waters: Part 1, Part 2*, Bucura Mond Press, Bucharest, Romania.

25. Bouchard, R., 2004, *Guide to aquatic invertebrates of the Upper Midwest*, Water Resources Centre, University of Minnesota, St. Paul, USA.
26. Walker, S., 2006, *Critter Catalogue: a guide to the aquatic invertebrates of South Australian inland waters*, Environmental Protection Agency.
27. Grintsov, V., Sezgin, M., 2011, *Manual for identification of Amphipoda from the Black Sea*, Sevastopol, 173 pp.
28. Persoone, G., Marsalek, B., Blinova, B., Törökne, A., Zarina, D., Manusadžinas, L., Nałęcz- Jawecki, G., Tofan, L., Stepanova, N., Tothova, L., Kolar, B., 2003, *A practical and user friendly toxicity classification system with microbiotests for natural wastes and wastewaters*, Environ. Toxicol, 18:395-402.
29. Clarke, K.R., Gorley, R.N., 2006, *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*, PRIMER-E, Plymouth, 192 pp.
30. Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan P.D., 2001, *PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis*, Palaeontol Electron 4: 1.
31. Clarke, K.R., Warwick, R.M., 2001, *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*, 2nd edition, PRIMER-E, Plymouth, 172pp.
32. Rîșnoveanu, G., Popescu, C.M., 2011, *Caracterizarea structurii spațio-temporale a biocenozelor și a complexelor de biocenoză*, în: *Identificarea și caracterizarea sistemelor ecologice*, Rîșnoveanu, G., Ed.Ars Docendi, București, 289-371.
33. Clarke, K.R., Warwick, R.M., 1994, *Change in Marine Communities*, Plymouth Marine Laboratory, 144 pp.
34. Brinkhurst, R.O., Kennedy, C.R., 1965, *Studies on the biology of the Tubificidae (Annelida, Oligochaeta) in a polluted stream*, Journal of Animal Ecology, 34, 429–443
35. Scarsbrook, M.R., Townsend, C.R., 1993, *Stream community structure in relation to spatial and temporal variation: a habitat templet study of two contrasting New Zealand streams*, Freshwater Biology, 29 (3):395-410.
36. Moog, O., Brunner, S., Humpesch, U.H., Schmidt-Kloiber, A., 2000, *The distribution of benthic invertebrates along the Austrian stretch of the river Danube and its relevance as an indicator of zoogeographical and water quality patterns – part 2. Large Rivers* 11, 4, Arch. Hydrobiol. Suppl. 115/4: 473-509.
37. Csányi, B., Szekeres, J., György, Á.I., Szalóky, Z., Falka, I., 2012, *Methodology of Macroinvertebrate Survey on Large Rivers: A Case Study on the Romanian Lower Danube*, Water Research and Management, 2 (2): 25-40.
38. Botnariuc, N., Vădineanu, A., 1982, *Ecologie*, Ed. Didactică și pedagogică, București, 439 pp.
39. Mandaville, S.M., 2002, *Benthic macroinvertebrates in freshwaters-taxa tolerance values, metrics and protocols*, Project H-1, Soil&Water Conservation Society of Metro Halifax, 128 pp.
40. Radinger, J., 2010, *The influence of flow velocity and substrate composition on the benthic fauna in the lower reaches of the River Erlauf*, Diploma Thesis, Vienna, 154 pp.
41. Moldoveanu, M., Rîșnoveanu, G., Chiriac, G., 2011, *Indici ecologici pentru monitorizarea și evaluarea stării ecologice a sistemelor lotice*, Conferința științifică anuală a Institutului Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor, 1-3 noiembrie, București.

42. López-Doval, J.C., De Castro-Català, N., Andrés-Doménech, I., Blasco, J., Ginebreda, Muñoz, A.I., 2012, *Analysis of monitoring programmes and their suitability for ecotoxicological risk assessment in four Spanish basins*, *Sci. Total Environ.*, 440: 194–203.
43. Hering, D., Borja, A., Carstensen, J., Laurence, C., Elliott, M., Feld, C.K., Heiskanen, A.S., Johnson, R.K., Moe, J., Pont, D., Solheim, A.L., Van de Bund, W., 2010, *The European Water Framework Directive at the age of 10: A critical review of the achievements with recommendations for the future*, *Science of the Total Environment*, 408, 4007-4019.
44. Roig, N, Sierra, J., Nadal, M., Moreno-Garrido, I., Nieto, E., Hampel, M., et al , 2015, *Assessment of sediment ecotoxicological status as a complementary tool for the evaluation of the surface water quality: the Ebro River Basin case study*, *Sci. Total Environ.*, 503-504, 269-278.
45. Graf, W., Leitner, P., Pletterbauer, F., 2015, *Short overview on the benthic macroinvertebrate fauna of the Danube River*, în: *The Danube River Basin, The Handbook of Environmental Chemistry*, Liška (Ed.), Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
46. Bódis, E., Tótha, B., Szekeres, J., Borza, P., Sousa, R., 2014, *Empty native and invasive bivalve shells as benthic habitat modifiers in a large river*, *Limnologica* 49:1–9.
47. Csányi, B., Ihtimanska, M., Paunović, M., Podani, J., Szekeres, J., 2014, *Proposed section typology of the Danube River based on macroinvertebrates collected by different sampling methods*, 40 th IAD Conference.
48. Liška, L., Wagner, F., Slobodnik, J., 2008, *Joint Danube Survey – Final Report ICPDR – International Commission for the Protection of the Danube River*, 235 pp.
49. Oertel, N., Nosek, J.N, 2006, *Macroinvertebrate studies at the Hungarian reach of the River Danube*, în: *Proc. 36th International Conference of IAD*, 275-279.
50. Oertel, N., Nosek, J.N., 2006b, *Comparative analysis of biotic indices based on macroinvertebrate communities*, *Internat. Assoc. Danube Res.*, 36.
51. Sommerwerk, N., Hein, T., Schneider-Jacoby, M., Baumgartner, C., Ostojic, A., Siber, R., Bloesch, J., Paunovic, M., Tockner, K., 2009, *The Danube River Basin*, în: *Rivers of Europe*, K.Trockner, C.T. Robsinson, U. Uehlinger (Eds.), London, Burlington (MA), San Diego (CA): Academic Press, 59-112.
52. Liška, L., Wagner, F., Sengl, M., Deutsch, K., Slobodnik, J., 2015, *Joint Danube Survey 3 – A comprehensive analysis of Danube water quality – International Commission for the Protection of the Danube River*, 369 pp.
53. Literáthy, P., Koller-Kreimel, V., Liška, I., 2002, *Joint Danube Survey- Technical Report of the International Commission for the Protection of the Danube River*, 261 pp.
54. Vădineanu, A, 2004, *Managementul dezvoltării: o abordare ecosistemică*, Editura Ars Docendi, Bucuresti, 394 pp.
55. Stoica, C., Stanescu, E., Lucaciu, I., Gheorghe, S., Nicolau, M., 2013, *Influence of global change on biological assemblages in the Danube Delta*, *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 14(2), 468-479.
56. Graf, W., Csányi, B., Leitner, P., Paunovic, M., Chiriac, G., Stubauer, I., Ofenbock, T., Wagner, F., 2008, *Macroinvertebrates*, în: *Joint Danube Survey 2 – Final Scientific Report*, Liška, I., Wagner, F., Slobodnik, J. (Eds.), ICPDR – International Commission for the Protection of the Danube River, Vienna, 41–47.

57. Sommerwerk, N., Bloesch, J., Paunovic, M., Baumgartner, C., Venohr, M., Schneider-Jacoby, M., Hein, T., Tockner, K., 2010, *Managing the World's Most International River: the Danube River Basin*, Marine and Freshwater Research, 736-48.
58. Ignat, G., Cristofor, S., Angheluță, V., Rîșnoveanu, G., Nafornița, G., Florescu, C., 1997, *Structura și dinamica faunei bentonice din apele Dunării Inferioare și Delta Dunării*, Analele Științifice ale Institutului de Cercetare și Proiectare Delta Dunării, IV (1): 133-142.
59. Vădineanu, A., Cristofor, S., Ignat, G., Ciubuc, C., Rîșnoveanu, G., Bodescu, F., Botnariuc, N., 2000, *Structural and Functional Changes within the Benthic Communities of Danube Delta Lakes*, Verh. Internat. Vercin. Limnol., 27(5): 2571-257.
60. Csányi, B., Paunovic, M., 2006, *The aquatic macroinvertebrate community of the River Danube between Klostenburg (1942 rkm) and Calafat – Vidin (795 rkm)*, Acta Biol. Debr. Oecol. Hung 14, 91-106.
61. Tudorancea, C., Tudorancea, M.M., 2006, *Danube Delta, Genesis and Biodiversity*, Backhuys Publishers, 443 pp.
62. Martinović-Vitanović, V.M, Rakovic, M.J., Popovic, N.Z., Kalafatic, V.I., 2013, *Qualitative study of Mollusca communities in the Serbian Danube stretch (river km 1260-863.4)*, Biologia, 68(1):112-130.
63. Dobrin, I., Săndulescu, E.B., Stavrescu-Bedivan, M-M., 2013, *Summer field trip to Sfântu Gheorghe Branch at Ilgani de Jos (Tulcea County, Romania): a naturalistic approach*, AgroLife Scientific Journal, 2(2):79-82.
64. Atanacković, A.D., Špoka, F., Csányi, B., Vasiljević, B.M., Tomović, J.M., Paunović, M.M, 2013, *Oligochaeta of the Danube River-a faunistical review*, Biologia, 68(2):269-377.
65. Brezeanu, G., Ardelean, A., Cioboiu, O., 2011, *Ecologie acvatica. Hidrobiologie*, Ed. "Vasile Goldiș" University Press, Arad, 397 pp.
66. Grabowski, M., Jazdzewski, K., Konopacka, A., 2007, *Alien Crustacea in Polish waters – Amphipoda*, Aquatic Invasion, 2:25-38.
67. Van der Velde, G., Rajagopal, S., Kelleher, B., Musko, Bij de Vaate, A., 1999, *Ecological impact of crustacean invaders: general considerations and examples from the River Rhine*, Crustacean Issues, 11.
68. Vignati, D.A.L., Secrieru, D., Bagatova, Y.I., Dominik, J., Céréghino, R., Berlinsky, N.A., Oaie, G., Szobotka, S., Stănică, A., 2013, *Trace element contamination in the arms of the Danube Delta (Romania/Ukraine): Current state of knowledge and future needs*, Journal of Environmental Management, 125:169-178.
69. Winkels, H.J., Kroonenberg, S.B., Lychagin, M.Y., Marin, G., Rusakov, G.V, Kasimov, N.S., 1998, *Geochronology of priority pollutants in sedimentation zones of the Volga and Danube delta in comparison with the Rhine delta*, Applied Geochemistry, 13, 5:581-591.
70. Vosniakos 2011
71. Bettinetti, R., Ponti, B., Marziali, L., Rossaro, B., 2012, *Biomonitoring of lake sediments using benthic macroinvertebrates*, Trends in Analytical Chemistry, 36:92-102.
72. Voinea, E., Petre, J., Lucaciu, I., Cruceru, L., Nicolau, M., Vasile, G., Mitriță, M., Rusu, G., Ciurcanu, I., Iancu, V., 2003, *The temporal and spatial dynamics of the physic-chemical quality characteristics and the biotic communities structure in the aquatic ecosystems from*

- Danube Delta Biosphere*, International Symposium The Environment and The Industry, București.
73. Petre, J., Cruceru, L., Nicolau, M., Vasile, G., Mitriță, M., Iancu, V., 2004, *Dinamica temporală și spațială a caracteristicilor fizico-chimice de calitate a ecosistemelor acvatice din biosfera Delta Dunării*, Revista de Chimie, 55(4):264-268.
74. Vasile, G., Petre, J., Cruceru, L., Nicolau, M., Mitriță, M., Iancu, V., Vosniakos, F., 2007, *Evolution of physic chemical quality of the Danube Delta aquatic ecosystem state in the period May-October in 2003-2005*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 8(4):739-747.
75. Vosniakos, F., Vasile, G., Petre, J., Cruceru, I., Nicolau, M., Mitrita, M., Iancu, V., Cruceru, L., 2008, *The evolution of the physical-chemical quality state of the Danube Delta aquatic ecosystem in the period May-October 2005/2006*, Fresenius Environmental Bulletin, 17(2):142-153.
76. Vasile, G., Cruceru, L., Nicolau, M., Petre, J., Iancu, V., 2005, *Investigații analitice complexe privind biodisponibilitatea metalelor grele în sedimente din Delta Dunării*, Revista de Chimie, 56 (8).
77. Vasile, G., Cruceru, L., Petre, J., 2006, *Analytical investigation concerning the methods for extraction of exchangeable forms of heavy metals from the sediment from the Danube Delta*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 7(2): 293-300.
78. Vosniakos, F., Petre, J., Pascu, L., Vasile, G., Iancu, V., Stăniloae, D., Nicolau, M., Cruceru, I., Golumbeanu, M., 2010, *Aquatic ecosystem quality assessment of the Danube Delta in the periods April-October 2007 and 2008*, Fresenius Environmental Bulletin, 19(1):20-29.
79. Vădineanu, A., 1990, *Considerații asupra seminificației abordării holiste a problemelor poluării cu metale grele și radioactive*, Mediul înconjurător 1(1), 55-8.
80. Uwadiae, R.E., 2010, *Macroinvertebrates functional feeding groups as indices of biological assessment in a tropical aquatic ecosystem: implications for ecosystem functions*, New York Science Journal, 3(8):6-15.
81. Radu, E., 2011, *Compoziția și distribuția faunei fitofile în Sistemul de Zone Umede al Dunării Inferioare*, Teză de doctorat, Universitatea din București, 192 pp.
82. Popescu-Marinescu, V., 1990, *Structura zoocenozelor bentonice din Dunăre în amonte de Ceatal Sf. Gheorghe în perioada 1981-1985*, St. Com. Biol, Biol. Anim., 42 ,2: 149-155.
83. Rîșnoveanu, G., 1993, *Rolul oligochetelor bentonice în ecosistemele acvatice aflate în faze avansate de eutrofie*, Ocrotirea Naturii și Mediului Inconjurător, 37(1):19-24.
84. Stanescu, E., Stoica, C., Vasile, G., Petre, J., Gheorghe, S., Paun, I., Lucaciu, I., Nicolau, M., Vosniakos, F., Vosniakos, K., Golumbeanu, M., 2013, *Structural changes of biological compartments in Danube Delta systems due to persistent organic pollutants and toxic metals*, în: Environmental Security Assessment and Management of Obsolete Pesticides in South-East Europe, NATO Science for Peace and Security Series C: Environment Security, L.I. Simeonov, F.Z. Macaev, B.G. Simeonova (Eds), Springer Science+Business Media Dordrecht, 21:229-248.
85. Stoica, C., Gheorghe, S., Petre, J., Lucaciu I., Nita-Lazar, M., 2014b, *Tools for assessing Danube Delta systems with macroinvertebrates*, Environmental Engineering and Management Journal, 13 (9), 2243-2252.

86. Burgess, R.M., 2009, *Evaluating ecological risk to invertebrate receptors from PAHS in sediments at hazardous waste sites*, U.S. Environmental Protection Agency, Ecological Risk Assessment Support Center, Cincinnati, OH. EPA/600/R-06/162.
87. Scoggins, M., McClintock, N.L., Gosselink, L., Bryer, P., 2007, *Occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons below coal-tar-sealed parking lots and effects on stream benthic macroinvertebrates communities*, Journal of the North American Benthological Society, 26(4):694-707.
88. Leppanen, M.T., Kukkonen, J.V.K. 2000, *Effect of sediment–chemical contact time on availability of sediment-associated pyrene and benzo(a)pyrene to oligochaete worms and semi-permeable membrane devices*, Aquatic Toxicology 49:227–241.

**Lista lucrărilor științifice publicate în perioada derulării  
programului individual de cercetare**

1. **Catalina Stoica**, Iuliana Paun, Elena Stanescu, Irina Lucaciu, Daniela Niculescu, *Spatial and temporal variation of chlorophyll “a” along Danube River*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 14(3), 864-874, 2013 (lucrare comunicată ca **PREZENTARE ORALA** la UAB-B.EN.A International Conference, Environmental Engineering and Sustainable Development, 23-25 Mai 2013, Alba Iulia).
2. **Catalina Stoica**, Stefania Gheorghe, Irina Lucaciu, Elena Stanescu, Iuliana Paun, Daniela Niculescu, *The impact of chemical compounds on benthic invertebrates from the Danube and Danube Delta systems*, Soil and Sediment Contamination: An International Journal 23(7), 763-778, 2014.
3. **Catalina Stoica**, Stefania Gheorghe, Jana Petre, Irina Lucaciu, Mihai Nita-Lazar, *Tools for assessing Danube Delta systems with macro invertebrates*, Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ), 13(9), 2243-2252, 2014 (lucrare comunicată ca **POSTER** la 7<sup>th</sup> International Conference Environmental Engineering and Management – Integration Challenges for Sustainability, 18-21 Septembrie 2013, Viena, Austria).
4. Alina Catrangiu, Daniela Niculescu, Irina Lucaciu, **Catalina Stoica**, Carmen Chifiriuc, *Microbial population dynamics in deltaic ecosystems-case study on Sfantu Gheorghe Branch*, Romaqua 98 (8), 38-44, 2014.
5. **Catalina Stoica**, Jorge Camejo, Alina Banciu, Mihai Nita-Lazar, Iuliana Paun, Sergiu Cristofor, Osvaldo Rocha Pacheco, Miguel Guevara Lopez, *Water quality of Danube Delta systems: ecological status and prediction using machine-learning algorithms*, Water Science and Technology, 73(10):2413-2421, 2016 (lucrare comunicată ca **POSTER** la 7<sup>th</sup> IWA Young Water Professionals Eastern European Conference, 17-19 Septembrie 2015, Belgrad, Serbia).
6. Stefania Gheorghe, **Catalina Stoica**, Iuliana Paun, Irina Lucaciu, Mihai Nita-Lazar, Sergiu Cristofor, *Ecotoxicological tests used as warning system for Danube Delta quality assessment*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 17(1): 171-181, 2016 (lucrare comunicată ca **PREZENTARE ORALA**, INCD ECOIND International

- Symposium “The Environment and The Industry” (SIMI 2015), 29-30 Octombrie 2015, București).
7. Alina (Catrangu) Banciu, Daniela Niculescu, Mihai Nita-Lazar, Irina Lucaciu, **Catalina Stoica**, Grigore Mihaescu, *Potentially pathogenic and antibiotic resistant bacteria in the Danube Delta aquatic ecosystem*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 17(1): 127-135, 2016.

**Lista lucrărilor științifice comunicate în perioada derulării  
programului individual de cercetare**

1. **Catalina Stoica**, Luoana Florentina Pascu, Monitorizarea diversitatii ecologice a sistemelor acvatice deltaice pe baza relatiei spatio-temporale. Studiu de caz: zona de sud-est a Deltei Dunarii, **PREZENTARE ORALA**, Dunarea & Delta-Targ International pentru Dezvoltarea Macro-Regiunii Dunarea, 23-26 Iunie 2011, Bucuresti.
2. Elena Stanescu, **Catalina Stoica**, Irina Lucaciu, Iuliana Paun, Stefania Gheorghe, Alina Catrangu, The role of the benthic oligochaetes populations for ecological systems assessment. Case study: Danube Delta, **POSTER**, International Conference “New tools for sustainable management of aquatic living resources” (AQUALIRES), 17-18 Ianuarie 2014, Bucuresti (Book of Abstracts, pp.108).
3. Stefania Gheorghe, **Catalina Stoica**, Irina Lucaciu, Elena Stanescu, Daniela Niculescu, Toxic effects of water and sediments collected from Danube Delta based on microbiotests battery response, **PREZENTARE ORALA**, The Central and Eastern European Conference on Health and the Environment. The Environment – A Platform for Health, 25-30 Mai 2014, Cluj-Napoca (Book of Abstracts, pp. 206).
4. Alina Banciu, **Catalina Stoica**, Mihai Nita-Lazar, Daniela Niculescu, Sergiu Cristofor, Prevalence of potentially pathogenic microorganisms` populations associated with benthic macroinvertebrates in Danube-Danube Delta systems, **POSTER**, INCD ECOIND International Symposium “The Environment and The Industry” (SIMI 2015), 29-30 Octombrie 2015, Bucuresti (Book of Abstracts, pp.146-147).

**Alte lucrări științifice publicate / comunicate care au contribuit la fundamentarea  
programului individual de cercetare**

1. **Catalina Stoica**, Stefania Gheorghe, Iuliana Păun, Elena Stanescu, Cristina Dinu, Jana Petre, Irina Lucaciu, *Long-term biological changes along Danube Delta systems after industrialization period*, Romaqua 91 (1), 14-21, 2014 (lucrare comunicata ca **PREZENTARE ORALA** la INCD ECOIND International Symposium “The Environment and The Industry”, (SIMI 2013), 29-30 Octombrie 2013, Bucuresti).
2. Elena Stanescu, **Catalina Stoica**, Gabriela Vasile, Jana Petre, Stefania Gheorghe, Iuliana Paun, Irina Lucaciu, Margareta Nicolau, Fokion Vosniakos, Konstantinos Vosniakos, Mariana Golumbeanu, *Structural changes of biological compartments in Danube Delta systems due to persistent organic pollutants and toxic metals*, **BOOK CHAPTER 21**, În: L.I. Simeonov et al. (eds), Environmental Security Assessment and Management of

Obsolete Pesticides in Southeast Europe, NATO Science for Peace and Security Series C: Environment Security, Springer Science+Business Media Dordrecht, 229-248. DOI 10.1007/978-94-007-6461-3\_21, 2013.

3. **Catalina Stoica**, Elena Stanescu, Irina Lucaciu, Stefania Gheorghe, Margareta Nicolau *Influence of global change on biological assemblages in the Danube Delta*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 14(2), 468-479, 2013 (lucrare comunicata ca **PREZENTARE ORALA** la International Conference B.EN.A “Sustainable Landscape Planning and Safe Environment”, 21-24 Iunie 2012, Istanbul, Turcia).
4. **Catalina Stoica**, Elena Stanescu, Irina Lucaciu, Stefania Gheorghe, Margareta Nicolau, *Influence of driving forces on biotic communities in lotic aquatic systems (South-Eastern of Danube Delta)*, lucrare comunicata ca **PREZENTARE ORALA** la International Conference “Water resources and wetlands, 14-16 septembrie 2012, Tulcea, Romania, Conference Proceedings, pag:313-318.
5. **Catalina Stoica**, Irina Lucaciu, Margareta Nicolau, Fokion Vosniakos, *Monitoring the ecological diversity of the aquatic Danube Delta systems in terms of spatial-temporal relationship*, Journal of Environmental Protection and Ecology 13 (2):476-485, 2012 (lucrare comunicata ca **PREZENTARE ORALA** la International Workshop “Global and regional environmental protection” (GLOREP 2010), 26-28 noiembrie 2010, Timisoara, Romania).