

Proiect de cercetare exploratorie – IDEI
Modelarea unor mecanisme cheie implicate în mobilitatea metalelor
în ecosisteme terestre și de zona umedă
Raport tehnic etapa 3 – 15 Septembrie 2009

- 1. Aspecte manageriale**
- 2. Rezultate**
 - a. Construirea instalației experimentale și începerea experimentelor**
 - b. Consolidarea setului de date pentru modelare**
 - c. Continuare activităților de modelare**
- 3. Publicații**
- 4. Concluzii**

1 Aspecte manageriale

În cadrul acestei etape obiectivele științifice au fost asociate demarării experimentului cu lisimetre, consolidării setului de date pentru modelare cu și fără componentă spațială și continuării activităților de modelare.

Recomandarea evaluatorilor raportului pe 2008 a fost să ne focalizăm efortul pe experimentul cu lisimetre. Echipamentele pentru construirea acestuia fuseseră deja achiziționate în etapa 2008, cu o anumită întârziere explicată în raportul anterior.

Totuși, profitând de faptul că de la 1 mai 2009 avem în derulare și un proiect FP7 în același domeniu, dar pe latura aplicativă (www.umbrella.uni-jena.de), nu numai că nu am restrâns programul de prelevări în teren, ci am și extins zona de investigație. Extinderea are două rațiuni: acoperirea unor sisteme pe întreg gradientul altitudinal, de la munte la câmpie, și crearea unui set de date sigure cu privire la actualele concentrații de metale în zone contaminate „consacrate” din punct de vedere al cercetărilor biogeochimice, cum sunt Zlatna și Copșa mică. Din perspectiva primului argument, al gradientului altitudinal și implicit geomorfologic, am adăugat zonelor deja investigate (la câmpie un ostrov din lunca Dunării și un bazin din zona Pantelimon, iar la munte lunca Ampoiului aval de Zlatna) lunca Târnavei mici, aval de Copșa Mică. În ce privește al doilea argument, al calității datelor, analiza publicațiilor indexate ISI referitoare la sistemele ecologice menționate mai sus a arătat o extremă sărăcie de date de concentrații ale microelementelor. Unele publicații neindexate disponibile pe internet completează imaginea, dar din toate lipsesc aspectele de georeferențiere spațială a probelor analizate, astfel încât datele respective sunt inutilizabile în modelarea spațială. Prin urmare, am considerat de importanță strategică să valorificăm baza materială creată în 2008 în cadrul unui proiect de Capacități (în special un autolaborator Land Rover și un ICP-MS Perkin Elmer, www.infrabim.cesec.ro) pentru a obține date utilizabile la modelarea spațială în principalele sisteme ecologice care funcționează ca modele de cercetare pentru biogeochimia microelementelor în România.

La fel ca pentru toți cercetătorii din România, anul 2009 a fost unul dificil. Primele luni ale anului ne-am ocupat o bună parte din timp cu întocmirea de acte adiționale la diverse contracte și cu luarea deciziilor de concediere a colegilor care erau implicați în proiecte de tip Parteneriat unde fondurile au fost tăiate drastic. Următoarele câteva luni am lucrat cu salariul minim pe economie datorită reducerii neprevăzute a fondurilor. Dar echilibrarea situației financiare a instituției către sfârșitul primăverii și îndeosebi consolidarea credibilității echipei noastre ca urmare a contractării proiectului FP7 menționat, ne-au asigurat susținerea financiară a UB chiar și în condiții de criză și derularea în bune condiții a proiectului. Tot proiectul FP7 ne-a permis completarea echipei cu un doctorand biolog, Andrei Nicoară, a cărui contribuție la construirea

instalației experimentale a fost semnificativă în condițiile în care aceasta a implicat numeroase activități fizice dificile (săpat, cărat, de ex. un lisimetru plin cu sol are aproximativ 80 de kg) și tehnice (tăiat țevi, sudat), cărora doctoranda noastră experimentalistă din proiect (care între timp s-a reînscris la doctorat la zi în domeniul geografiei, renunțând la cel în pedochimie) nu le-ar fi putut face față de una singură (iar proiectul nu permitea plata de servicii de acest tip către terți).

2 Rezultate

2a Construirea instalației experimentale și începerea experimentelor

În figura 1 se poate vedea ce ne-am propus în proiect și o imagine de ansamblu a instalației realizate.

Figura 1 Instalația model prezentată în proiectul de cercetare exploratorie (sus) și imagine de ansamblu a instalației experimentale realizate (jos). Incinta protectoare din gard de sârmă este acoperită cu plasă contra păsărilor. Copertinele din pânză albă vizibile în fotografie au fost folosite pentru umbrirea solului în perioada caniculară care s-a suprapus cu cea în care am încercat să obținem germinarea primei specii de plantă experimentale.



Figura 2 Imagine a unei instalații cu lisimetre similară cu cea care va fi folosită în proiect (cu acordul lui R. G. McLaren, Lincoln University, Noua Zeelandă).

PROIECTE DE CERCETARE EXPLORATORIE

PCE-28



În figura 2 sunt prezentate aspecte de la prelevarea solului pentru lisimetre și pentru caracterizarea parametrilor chimici ai acestuia.

Figura 2 Imagini de la prelevarea solului pentru lisimetre și prelevarea probelor pentru determinarea concentrațiilor de metale în sol.



În figura 3 se poate urmări construcția instalației experimentale după transportarea lisimetrelor în apropierea laboratorului. Finalizarea instalației a constat în conectarea tuturor electrozilor la data logger și instalarea sistemului de vacuum pentru prelevarea apei de percolare (controlat de data logger). În acest moment am demarat un prim experiment.

După prelucrarea solului superficial (primii 15 cm) și stabilirea variantelor experimentale, s-a însămânțat secara (*Secale cereale* L.). Această specie de plantă a fost selectată pe baza unor date de referință obținute într-un experiment de laborator derulat în camera de vegetație în cadrul proiectului CEEEX II 3183/2005. Datorită perioadei caniculare din această vară însămânțarea nu a avut succes astfel că, după luarea unor măsuri de precauție (utilizarea unor copertine din panza albă care să umbrească lisimetrele, figura 1) s-a însămânțat aceeași specie de plantă pentru a doua oară, dar și de data aceasta fără succes. Menționăm că în acea perioadă temperatura la nivelul solului a ajuns la 59 °C. Astfel, pe 5 august s-a însămânțat cea de a doua specie de plantă care a avut succes în camera de vegetație, aceasta fiind floarea soarelui (*Helianthus annuus* L.). Variantele experimentale sunt următoarele: control - primii 15 cm de sol au fost amendati cu argila expandată, inoculat cu fungi - argila expandată care s-a aplicat în solul superficial a fost inoculată cu fungi micorizanti, *Glomus intraradices* sp., și inoculat cu fungi și streptomicete - după apariția plantulelor, solul a fost inoculat cu un amestec de streptomicete (*Acidiscabiens* și *Tendae* sp). În figurile 4, 5 și 6 prezentăm imaginea de ansamblu a plantelor și fiecare dintre variantele experimentale, sub imagini fiind inserate și concentrațiile în solul superficial a trei dintre elementele analizate (cele poluante). În acest moment plantele experimentale nu sunt încă recoltate, dar se pot observa vizual diferențe semnificative între variantele experimentale din punct de vedere al înălțimii plantelor, al biomasei și al variabilității între replicile din fiecare variantă.

Seriile de date pentru parametri monitorizați cu data-logger sunt ilustrate în figurile 7, 8 și 9 pentru lisimetrul 10 (variantă dublu inoculată). Compararea acestor tipare de variație la diferite scări de timp între variante, coroborată cu datele de chimism ale apei interstițiale și de percolare

(a se vedea capitolul 2b) va permite înțelegerea mai bună a mecanismelor care controlează mobilitatea metalelor în solul contaminat și a rolului microorganismelor inoculate în sol.

Figura 3 Imagini de la construirea instalației experimentale și de la prelevarea apei interstițiale cu rhizosamplere.



Figura 4 Imagine de ansamblu a plantelor în primul experiment (31 august) și dezvoltarea plantelor în lisimetrele de control (11 septembrie). Tabelul de sub fotografii prezintă concentrațiile de Cu, Pb și Zn ($\mu\text{g/g}$ sol uscat) în orizontul 0-10 cm al solului situat imediat lângă cel prelevat pentru umplerea lisimetrelor.



Cu	232	219
Pb	1691	1315
Zn	391	530

Figura 5 Dezvoltarea plantelor în variantele inoculate cu *Glomus intraradices*.



Cu	216	242	254	246
Pb	1584	1823	1498	1672
Zn	440	387	484	465

Figura 6 Dezvoltarea plantelor în variantele inoculate cu *Glomus intraradices*, *Streptomyces acidiscabies* și *S. tendae*.



Cu	294	289	246	209
Pb	1937	2403	1676	1317
Zn	502	591	432	320

Figura 7 Dinamica umidității solului (%) în lisimetrul 10 de la instalarea sondelor până în 9 septembrie (stânga) și detaliu ilustrând efectul udării zilnice și al ploilor (dreapta).

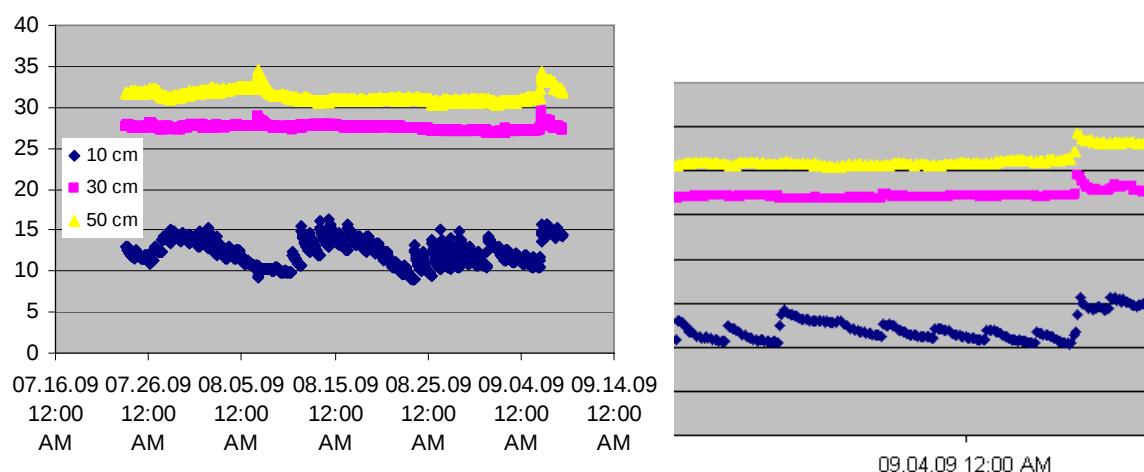


Figura 8 Dinamica temperaturii solului în lisimetrul 10 și detaliu (dreapta) pentru perioada 1-9 septembrie.

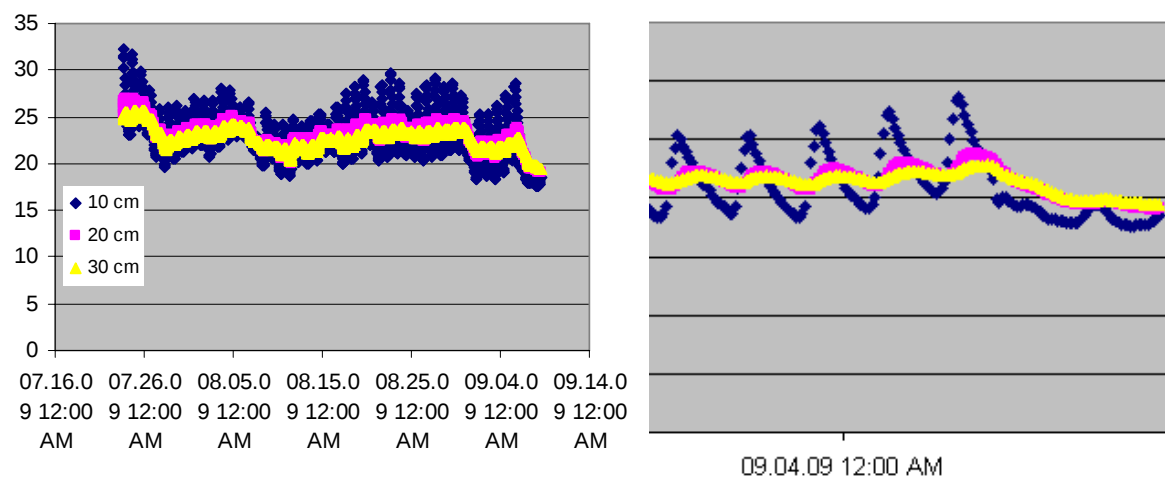
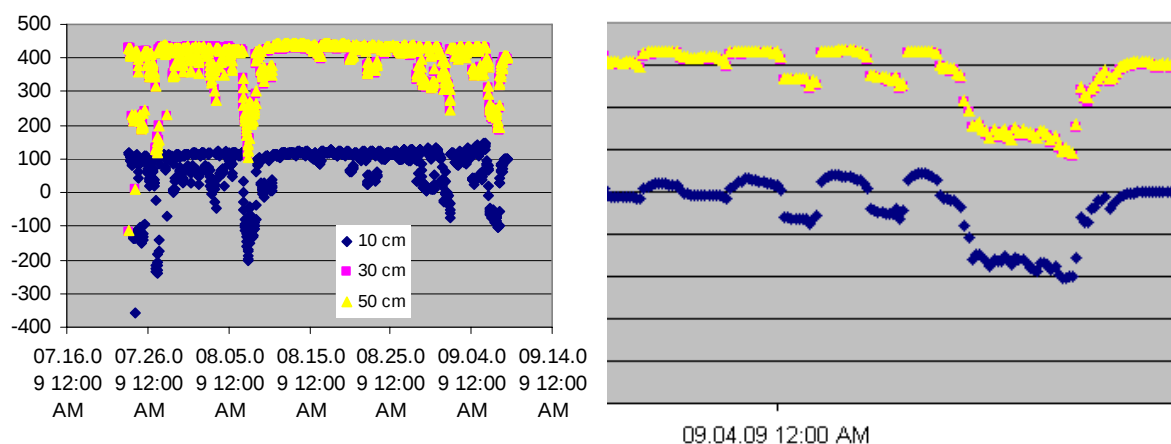


Figura 9 Dinamica potențialului redox (date brute necorectate față de pH) în lisimetrul 10 și detaliu (dreapta) pentru perioada 1-9 septembrie.



2b Consolidarea setului de date pentru modelare

Prezentăm tipurile de probe prelevate, parametri analizați, localizarea probelor prelevate la Copșa Mică și imagini cu diversele instalate în bazinul Ampoiului.

Stația experimentală cu lisimetre prelevate din zona Pantelimon

În etapa de prelevare a solului în structura monolit pentru umplerea lisimetrelor din stația experimentală s-au prelevat probe de sol pe adâncimi (la fiecare 10 cm, până la 60 cm), precum și din zona rizosferică, numărul total de probe fiind de 70. Din acestea s-au determinat următorii parametri fizico-chimici și chimici: umiditate, pH (H₂O), conductivitate electrică (EC), respirația solului, formele de azot mineral (N-NH₄, N-NO₃, N-NO₂) și fosfor biodisponibil (P-PO₄). După prelucrarea preliminară a probelor de sol (uscarea, sitarea, mineralizarea), au fost determinate următoarele elemente: Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Rb, Sr, U, V și Zn. Rezultatele sunt în forma obținută în urma efectuării analizelor, baza de date fiind în curs de alimentare. Pentru exemplificare, a se vedea anexa 1;

După construirea stației experimentale s-au prelevat probe de apă de percolare în șase momente diferite de timp (numărul de probe fiind de 60), după evenimentele hidrologice mai abundente. Din aceste probe s-au determinat parametri: pH, EC, N-NH₄, N-NO₃, N-NO₂, P-PO₄, și elementele Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Rb, Sr, U, V și Zn; Rezultatele sunt în forma obținută în urma efectuării analizelor, baza de date fiind în curs de alimentare. Pentru exemplificare, a se vedea anexa 1. Vom determina de asemenea și carbonul organic dizolvat prin cooperare cu centrul PROTMED.

S-a efectuat și o primă prelevare de apă interstitală, după un eveniment hidrologic mai abundent. Am reușit să extragem apă din 59 de rhizosamplere dintr-un număr total de 60, dispuse câte 2 x3 adâncimi pe fiecare lisimetru. Din aceste probe s-au determinat parametri: pH, EC, și Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Rb, Sr, U, V și Zn; Rezultatele sunt în forma obținută în urma efectuării analizelor, baza de date fiind în curs de alimentare. Pentru exemplificare, a se vedea anexa 1. Vom determina de asemenea și carbonul organic dizolvat prin cooperare cu centrul PROTMED, atât în apa interstițială cât și în cea de percolare, câteva probe fiind deja în curs de analiză.

Lunca Ampoiului/zona Zlatna

Din lunca Ampoiului s-au prelevat 92 de probe de sol din zonele insular, riparian și agricol, pe trei adâncimi (0-20, 20-40 și 40-60 cm), din care s-au determinat următorii parametri fizico-chimici și chimici: umiditate, pH (H₂O), (EC), Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Rb, Sr, U, V și Zn. Rezultatele sunt în forma obținută în urma efectuării analizelor, baza de date fiind în curs de alimentare. Pentru exemplificare, a se vedea anexa 1. Menționăm însă că în aval de lunca Ampoiului aproape de orașul Alba Iulia s-au obținut concentrații excesiv de mari de As: 1189 mg/Kg; Cu: 5955 mg/Kg, Pb: 7369 mg/Kg. Aceste concentrații au fost obținute la adâncimea 40-60 cm, nefiind însă izolate, de exemplu la adâncimea 20-40 cm în aceeași zonă s-au obținut concentrațiile de As: 133,98 mg/Kg; Cu: 747,6 mg/Kg, Pb: 432,21 mg/Kg, iar la adâncimea 0-20 cm As: 122,13 mg/Kg; Cu: 410,28 mg/Kg, Pb: 402,34 mg/Kg. În zona agricolă s-au găsit concentrații de As: 211,87 mg/Kg; Cu: 419,28 mg/Kg, Pb: 100,44 mg/Kg.

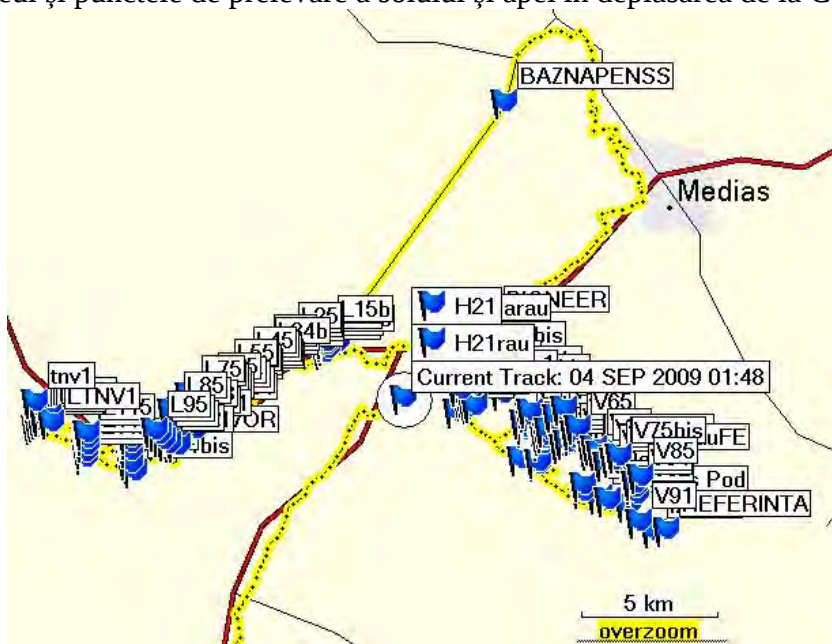
Copșa Mică

Din zona Copsa Mică s-au prelevat 150 de probe de sol (traseul și punctele de prelevare în

Figura 10) din care s-au determinat următorii parametri fizico-chimici și chimici: umiditate, pH (H_2O), (EC). Probele sunt în curs de mineralizare, urmând să se determine același set de elemente ca mai sus. De asemenea, s-au prelevat 150 de probe de plante care se afla în procesul de uscare, urmând să fie macinate și mineralizate, și apoi să se determine elementele mai sus enumerate. S-au mai prelevat și 11 probe de apă.

Analizele pentru conținutul de microelemente sunt în parte deja efectuate, în parte în diferite faze (sitare, mineralizare). Baza de date este în curs de alimentare. În anexa 1 exemplificăm forma brută a concentrațiilor de microelemente după importul în Excel.

Figura 10 Traseul și punctele de prelevare a solului și apei în deplasarea de la Copșa Mică.



La datele de chimism se vor adăuga date de monitorizare în teren a nivelului apei utilizând data-logger specifice instalate în piezometre (figura 11).

Figura 11 Exemplu de piezometru cu diver pentru monitorizarea nivelului apei instalat în deplasarea de la Zlatna din septembrie 2009. În stânga: după instalare, în dreapta: după mascare.



2c Continuarea activităților de modelare

În completarea celor din raportul pe 2008 prezentăm în anexa 2 rezultatele obținute pentru Fundu Mare sub forma unei prime forme a unui articol în pregătire pentru înaintare la o revistă de

specialitate. În ce privește modelarea statistică, anexa 3 include ilustrativ grafice și tabele dintr-un articol în pregătire.

3 Publicații

Turbulențele existente în anul 2009, menționate în capitolul 1 al raportului, au întârziat elaborarea și trimiterea la reviste a lucrărilor științifice menționate în planul din actul adițional pentru 2009, astfel încât până la această dată nu avem lucrări în stadiul de acceptare finală. Avem însă trei lucrări publicate în anul 2009, care au fost în stadiul de acceptare în 2008 (figura 12). Suplimentar față de lista din actul adițional avem înaintat spre publicare și un articol în domeniul depunerilor atmosferice, și anume „Scavenging by precipitation of major chemical constituents at two Romanian sampling sites”, având ca prim autor pe Iorga G.

Figura 12. Imagine din ISI web of Knowledge, cu cele trei lucrări publicate în 2009. Se observă că prima dintre ele are deja o citare.

1. Title: [The effect of bioremediation methods involving different degrees of soil disturbance on the export of metals by leaching and by plant uptake](#)
Author(s): Neagoe, A; Merten, D; Iordache, V, et al.
Source: **CHEMIE DER ERDE-GEOCHEMISTRY** Volume: 69 Pages: 57-73 Published: 2009
Times Cited: 1
2. Title: [Integrated modeling of metals biogeochemistry: Potential and limits](#)
Author(s): Iordache, V; Ion, S; Pohoata, A
Source: **CHEMIE DER ERDE-GEOCHEMISTRY** Volume: 69 Pages: 125-169 Published: 2009
Times Cited: 0
3. Title: [Assessing the Effect of Disturbances on Ectomycorrhiza Diversity](#)
Author(s): Iordache, V; Gherghel, F; Kothe, E
Source: **INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH** Volume: 6 Issue: 2 Pages: 414-432 Published: 2009
Times Cited: 0

De asemenea, în mod neprevăzut la începutul anului, avem invitația de elaborare a trei capitole în două cărți Springer de editor, dintre care una are ca termen de finalizare a capitolului 30 octombrie. Estimăm că cel puțin una dintre acest cărți va fi publicată până la finele proiectului.

Publicații ISI pe baza datelor experimentale obținute în proiect nu vom putea înainta mai devreme de primăvara anului viitor, astfel încât este posibil ca ele să fie cel mult acceptate până la finele proiectului. Aceasta este o situație uzuală în cercetările de acest tip, durata dintre debutul proiectului și apariția publicațiilor variind, după experiența noastră, între 4 și 9 ani.

Și anul acesta, la fel ca anul trecut, avem un pachet de comunicări științifice la simpozionul de profil din Jena (unde se află partenerii noștri coordonatori ai proiectului FP7), precum și la un simpozion ESF din Estonia, după cum urmează:

- Prezentare în plen: Neagoe A., Iordache V., Kothe E., Bergman H., The effect of inoculation with VAM fungi on non-host plant species grown in contaminated soils
- Prezentare: Iordache V., Neagoe A., A socio-ecological approach to heavy metals control in Romanian contaminated areas
- Prezentare: Iorga G., Combined influence of tropospheric aerosols in central Europe.
- Postere:
 - o Nicoara A., Bodescu F., Neagoe A., Iordache V.: Lysimeters experiment with contaminated soil: scientific objectives and technical realization
 - o Bodescu F. Nicoara A., Neagoe A., Iordache V.: Hydrological modelling in contaminated catchments – preliminary results

4 Concluzii

Obiectivele pe anul 2009 au fost atinse complet în ce privește instalația experimentală. Există întârzieri la partea de modelare datorită nefinalizării bazelor de date necesare, însă analizele necesare sunt în curs, ca și monitorizarea hidrologică în teren.

Anexa 1 Ilustrare a formei brute a coccntrațiilor de microelemente în probele analizate.

1233	Informatii despre proba				3853	Informatii despre proba			
1234	Sample De Friday, August 28, 2009 17:44:26				3854	Sample De Thursday Septembe 2009 17:06:51			
1235	Sample Ty Sample				3855	Sample Ty Sample			
1236	Sample Description:				3856	Sample Description:			
1237	Sample Fil C:\Elandata\Sample\Aurora\aug28_09analog.sam				3857	Sample Fil C:\Elandata\Sample\Aurora\sep3_09dual.sam			
1238	Method Fil C:\Elandata\Method\Bioremediere\aug28_09ANALOG.mth				3858	Method Fil C:\Elandata\Method\Bioremediere\sep3_dual.mth			
1239	Dataset Fil C:\Elandata\Dataset\Default\ly29.652				3859	Dataset Fi C:\Elandata\Dataset\Default\4Z_lunci.914			
1240	Tuning File C:\Elandata\Tuning\default.tun				3860	Tuning File C:\Elandata\Tuning\default.tun			
1241	Optimizatii C:\Elandata\Optimize\default.dac				3861	Optimizatii C:\Elandata\Optimize\default.dac			
1242	Blank File: C:\Elandata\Dataset\Default\blanc.624				3862	Blank File:			
1243	Calibration C:\Elandata\System\aug28_09_analog.cal				3863	Calibration C:\Elandata\System\sep3_09dual.cal			
1244	Number of	1			3864	Number of	1		
1245	Number of	2			3865	Number of	2		
1246	Measurcm cps				3866	Measurcm cps			
1247	Rezumat Intensitati				3867	Rezumat Intensitati			
1248	Element	Masa	Int masura	Masurata {Masurata RSD	3868	Element	Masa	Int masura	Masurata {Masurata RSD
1249	Al	27	35824154	249191.2 0.696	3869	As	75	15442.92	36.354 0.235
1250	Ba	138	462199.6	105.977 0.023	3870	Be	9	371.34	10.371 2.793
1251	Bi	209	1805	28.001 1.551	3871	Ca	43	150101.1	743.121 0.495
1252	Ca	43	14108	87.681 0.622	3872	Cd	111	1063.39	19.801 1.862
1253	Co	59	24726.2	99.843 0.404	3873	Cr	53	92995.75	465.331 0.5
1254	Cu	63	99940.8	860.973 0.861	3874	Li	7	35751.14	658.543 1.842
1255	Mn	55	2097101	325.835 0.016	3875	Mg	24	6675.419	0 0 suprasaturat, necesita dilutie
1256	Pb	208	468288.4	4306.563 0.92	3876	Ni	62	16378.4	150.624 0.92
1257	Rb	85	129527.8	914.43 0.706	3877	Zn	66	284730.7	294.833 0.104
1258	Na	23	1068273	8793.014 0.823	3878	Rezumat Concentratii			
1259	Sr	88	102226.8	253.993 0.248	3879	Element	Masa	Conc. Mec	Conc. SD Conc. RSD
1260	V	51	140838.4	655.629 0.466	3880	As	75	4.919194	0.012 0.248
1261	U	238	2435.4	0.849 0.035	3881	Be	9	0.532405	0.016 2.941
1262	Rezumat Concentratii				3882	Ca	43	2065.781	10.458 0.506
1263	Element	Masa	Conc. Mec	Conc. SD Conc. RSD	3883	Cd	111	0.348975	0.007 2.045
1264	Al	27	17022.99	118.44 0.696	3884	Cr	53	43.12704	0.232 0.538
1265	Ba	138	128.0626	0.029 0.023	3885	Li	7	11.48959	0.214 1.858
1266	Bi	209	0.360758	0.015 4.276	3886	Mg	24	-8.0254	0 0
1267	Ca	43	766.9315	5.192 0.677	3887	Ni	62	24.34307	0.226 0.928
1268	Co	59	6.977509	0.029 0.42	3888	Zn	66	70.58315	0.087 0.123
1269	Cu	63	64.93023	0.566 0.871					
1270	Mn	55	451.5645	0.07 0.016					
1271	Pb	208	385.8792	3.566 0.922					
1272	Rb	85	31.78884	0.226 0.711					
1273	Na	23	174.7459	1.455 0.833					
1274	Sr	88	19.67484	0.049 0.251					
1275	V	51	39.09077	0.187 0.479					
1276	U	238	0.681635	0 0.056					

Anexa 2 Prima formă a unui articol în pregătire pentru modelare fluxurilor de suprafață în lunca Dunării

Titlu articol

Modelarea proceselor hidrologice cu relevanță asupra mobilității metalelor grele în Lunca Dunării

Autori:

Bodescu Florian

UNIVERSITATEA DIN BUCURESTI, CESEC

florian.bodescu@cesec.ro

Iordache Virgil

UNIVERSITATEA DIN BUCURESTI, Departamentul de Ecologie Sistemica

virgil.iordache@g.unibuc.ro

Rezumat:

Modelarea proceselor hidrologice se încadrează în obiectivele actuale și de perspectivă ale cercetărilor interdisciplinare. Complexitatea ridicată și necesitatea identificării mijloacelor matematice și algoritmice necesare cuantificării dinamicii acestor procese a preocupat de mult timp comunitatea științifică atât la nivel național cât și internațional. Utilizarea modelelor specifice automatelor celulare (CAESAR, TRACER), respectiv modelarea numerică a proceselor hidrologice ale apei de suprafață, ne-a permis evidențierea proceselor de eroziune și sedimentare cu importanță majoră în ceea ce privește mobilitatea metalelor grele ca poluanți majori la nivelul sistemelor complexe de zonă umedă din sectorul inferior al Dunării. Modelarea numerică a situațiilor istorice a permis validarea modelului numeric de inundabilitate, cu imagini satelitare, permițându-ne să asociem un grad de încredere suficient acestuia în vederea acceptării lui ca instrument de testare și analiză în estimarea proceselor conexe de sedimentare și eroziune. Validarea estimărilor privind concentrațiile de metale s-a realizat cu utilizarea măsurătorilor directe obținute în urma programelor de cercetare, derulate în regiune.

Introducere

Parcul Natural Balta Mica a Brailei (PN-BmB) este o zonă umedă de importanță internațională, declarată *sit Ramsar* în iunie 2001 și *sit Natura 2000* în anul 2008, care conservă pe o suprafață de 245 km² (24.555,1 ha) ultimele complexe de ecosisteme acvatice, terestre și mixte în regim liber de inundație ce au mai rămas în urma îndiguirii baltelor Brailei și Ialomitei (adică 10% din fosta Delta Interioară - 2.413 km²). Structura rezervației, dispunerea ei între brațele Dunării a făcut ca impactul antropic să fie limitat, a suferit doar modificările antropice produse de optimizarea utilizării resurselor piscicole pe de o parte și a vegetației herbacee și forestiere (pentru creșterea porcinelor, și bovinelor și exploatarea lemnului).

Starea de referință este reprezentată de o structură morfo-hidrografică caracteristică rezultată din acțiunea îndelungată a proceselor de sedimentare și eroziune exercitate de apele fluviului, care a condus la dezvoltarea unei rețele de grinduri / baraje naturale, mlaștini și canale. Cele mai multe dintre aceste grinduri au determinat blocarea canalelor naturale astfel încât numeroase zone ale bazinului, se aflau în diferite etape de colmatare, invadate de vegetație, sau acoperite temporar ori permanent de apă (Iordache și Bodescu 2005).

Modelul actual de funcționare al circuitului hidrologic de suprafață la nivelul insulei Fundu Mare a demonstrat prin efectele cumulate în timp procese accentuate de sedimentare având efecte de colmatarea lacurilor și japșelor interioare precum și a gârlilor de comunicare cu apele Dunării.

Metodologie

La nivelul analizei s-a optat pentru utilizarea modelelor matematice rezultate în urma proceselor de modelare numerică a proceselor hidrologice, prin automate celulare. Aceste modele permit evidențierea proceselor hidrologice în 2D sau 2,5D (dimensiuni) evidențiind atât zona de inundare cât și parametrii specifici respectiv viteza și nivelul apei de inundație. În strânsă legătură cu încărcatura măsurată în sedimente a apei de inundație și acești parametrii putându-se determina, estima procese precum sedimentarea și eroziunea. Pentru modelarea proceselor hidrologice s-au utilizat modelele propuse de Coulhard 2000,2001,2004,2005; Nicolas 2005, respectiv CAESAR și TRACER. Astfel după dezvoltarea modelului digital al elevației (DEM) actuale ale ostrovului Fundu Mare și identificarea datelor existente privind dinamica debitului și a conținutului de sedimente ale apelor Dunării s-a realizat parametrizarea modelului pentru algoritmul specific al CAESAR. Rularea modelului a evidențiat posibilitatea simulării atât a evenimentelor extreme cât și a celor normale. În vederea validării rezultatelor modelului s-au selectat trei situații respectiv de nivele minime ale apelor Dunării, nivele medii și nivele maxime, selectându-se intervale de simulare similare și continuu astfel încât să poată fi verificate ca extindere și variabilitate cu rezultatele observate din analiza imaginilor satelitare de tip LANDSAT (Smith 1997; Frazier 2000) disponibile pentru zona respectivă. Ulterior validării modelului hidrologic vor fi simulate condițiile specifice pentru a evidenția cu modelul TRACER procesele de sedimentare și eroziune înaintea și în timpul evenimentelor de prelevare a sedimentului și determinarea directă a concentrațiilor de metale grele astfel la nivelul acestui articol este prezentată doar metodologia utilizată interpretarea acestor rezultate vor face subiectul unui articol viitor.

Rezultate și discuții

În ultimii 40 de ani în mod special în perioada 1965-1970 au fost implementate strategii și politici la nivel național pentru creșterea suprafețelor agricole pe de o parte și pe de altă parte pentru intensificarea exploatării suprafețelor disponibile. În lunca Dunării aceasta politică a avut ca urmare reducerea suprafețelor inundabile cu peste 80% (Vadineanu și colab, 2001, Iordache și Bodescu 2005). Implicațiile au fost și sunt majore atât pentru sistemele “redate” agriculturii cât și pentru sistemele ramase în regim natural de inundare cum este și Balta Mica a Brăilei, parte a fostei Bălți a Brăilei (ce cuprindea și Balta Mare a Brăilei și lunca adiacentă aflată în regim de inundare). Modificările au constat în alterarea (modificarea) regimului hidrologic și au condus la reducerea amplitudinii de fluctuație a cotelor Dunării, cu implicații asupra inundabilității zonelor aflate în regim de inundare, reducerea adâncimii apei pe lacurile din Balta Mica a Brăilei și reducerea încărcării în sedimente. Aceste modificări se datorează și construirii barajelor de la Porțile de Fier I și II precum și a “salbelor” de baraje pe afluenții principali.

În afara de modificările de la nivel regional și subregional au avut loc și modificări la nivel local, un astfel de exemplu fiind și blocarea canalului Păioasa din ostrovul Fundu Mare în principal ca urmare a managementului forestier și de navigație. Cu alte cuvinte o parte a procesului de sedimentare intens observat în lacurile din ostrovul Fundu Mare este de origine antropică iar cauzele sunt atât regionale cât și locale. Trebuie înțeles în acest context ca restaurarea ecologică a sistemelor lotice se adresează atât aspectelor geomorfologice, hidrologice cât și biologice ale acestora.

Una din principale caracteristici ale lacurilor din lunca inundabilă este că fundul acestora este situat deasupra nivelului de etiaj¹. Ca urmare aceste lacuri seacă în perioada cu debite mici (din vară și până toamna). Trebuie totodată remarcat că în starea de referință lacurile din ostroave

¹ Nivelul de referință al unui curs de apă stabilit pe baza nivelurilor minime anuale și în raport cu care se calculează cotele apelor.

erau, de obicei, alimentate din amonte iar “gârle” de evacuare erau situate în aval (Antipa, 1910). În acest fel se asigura atât o scurgere a apei Dunării prin sistemul de gârle, canale și lacuri interne ale diferitelor ostroave, dar se asigura și o rată mică de sedimentare. În fapt procesele de sedimentare și spălare erau mult mai intense ca acum, dar per ansamblu rata de sedimentare era mai mică datorită spălării active a sedimentelor în condiții de viitură și al existenței celui de-al doilea canal de alimentare.

În acest moment, în ostrovul Fundu Mare exista un singur canal prin intermediul căruia se realizează atât admisia cât și evacuarea (Iordache & all 1997). Ca urmare, viteza apei scade dramatic iar sedimentele transportate sunt depuse rapid în interiorul ostrovului, colmatând lacurile. Efectele acestei rate crescute de sedimentare sunt evidente și conduc la reducerea accelerată a adâncimii apei în lacurile din ostrov. Impactul reducerii adâncimii apei este direct în special asupra principalelor specii de păsări (*Nycticorax nycticorax*, *Ardeola ralloides* etc) și pești din Balta Mică a Brăilei. Un alt efect este înregistrat de principalii parametri care definesc calitatea apei: oxigenul dizolvat, azotul și fosforul (concentrațiile de azot și fosfor și raportul acestora) precum și parametrii ce definesc regimul de lumină - transparentă Secchi). În condițiile unei rate de primenire foarte scăzute (și datorită unui management defectuos - prin intermediul barajului din capătul canalului Chiriloaia) au determinat valori care definesc o calitate scăzută a apei din lacurile din ostrov în special în lunile de vară, când este întreruptă comunicarea cu Dunărea.

În acest context modelarea proceselor hidrologice ne va permite experimentarea, testarea și validarea soluțiilor integrate de management atât în ceea ce privește controlul poluării difuze cu metale grele cât și a celor de exploatare a resurselor piscicole și forestiere. Utilizarea modelelor numerice necesită de asemenea parcurgerea unor etape importante de calibrare, testare și validare fundamentate științific.

Dinamica debitului apelor Dunării așa cum este evidențiată din măsurători hidrometrice la principalele stații din regiune Hârșova și Brăila, prezintă o variabilitate ridicată (vezi figura 1). Analizând această variabilitate pe perioada 1997-2002 ne-a permis surprinderea unei variabilități a debitelor apelor Dunării ce pot fi caracterizate statistic conform valorilor prezentate în tabelul 1. Astfel valorile debitului zilnic la nivelul apelor Dunării variază de la valori de sub 2000 m³/s până la peste 12000 m³/s (limitele quartilelor fiind prezentate în tabelul 1).

Au fost identificate un număr de 21 de imagini satelitare (vezi tabelul 2) cu grad de acoperire cu nori acceptabil în din perioada analizată iar dintre acestea au fost selectate 3 pentru validarea rezultatelor modelului numeric în ceea ce privește extinderea apei de inundație la valori specifice intercuartilelor inferioare și superioare. În tabelul 2 sunt prezentate imaginile satelitare și valoarea debitului zilnic specific datei de achiziție a imaginii satelitare. Astfel cu albastru pal sunt marcate 5 imagini LANDSAT, ce se regăsesc deasupra quartilei superioare 8312 m³/s, cu bleu sunt identificate 5 imagini ce se regăsesc între quartila 3 și mediana, cu verde sunt marcate 2 imagini satelitare cu se găsesc între mediana și quartila 1, iar sub quartila 1 sunt marcate cu galben 9 imagini satelitare. Am selectat pentru validarea rezultatelor modelului CAESAR câte o imagine pentru fiecare interval interquartila. Astfel în tabelul 2 se evidențiază 4 imagini satelitare scrise cu roșu. Pentru fiecare din acestea s-a selectat o perioadă de 7 zile înainte de data la care a fost luată imaginea și pentru aceasta au fost parametrizate simulările ce urmează să evidențieze inundabilitatea zonei selectate. Pentru clasificarea imaginilor satelitare s-a folosit metoda prezentată de Frazier and Page 2000 ce permite diferențierea zonelor inundate folosind banda 5 cu până la 96% În figura 2 este prezentată banda 5 pentru cele 4 situații menționate anterior. Metoda a fost adaptată pentru condițiile specifice astfel s-a utilizat banda 5 din imaginea multispectrală și s-au observat rezultate bune la utilizarea intervalului 8-52 pentru evidențierea zonelor inundate (vezi figura 3).

Rezultatele simulării sunt prezentate în figura 4 suprapuse peste valorile observate (derivate din LANDSAT – b5). În tabelul 3 sunt prezentate gradul de apropiere dintre cele două estimări a suprafeței inundate pe structuri zonale diferite. Au fost folosite în analiza comparativă trei clase de structuri zonale respectiv 1. brate ale Dunării; 2. complex lacustru (japse, garle și canale în interiorul ostroavelor); 3. zona mal-dig din Insula Mare a Brailei;

În tabelul 3 sunt prezentate cele 4 situații menționate anterior și prezentate în raport cu extinderea spațială a apei de inundație în cazul valorilor observate (reprezentate cu culoare roșie în figura 4) și valorile simulate CAESAR (reprezentate cu culoare albastră în figura 4). Așa cum se evidențiază în tabelul 3 în prima situație extinderea spațială a inundabilității simulate este la o valoare de 41.43% din valoarea observată. În această situație diferența semnificativă se datorează pe de o parte, cu un procent de 24.48% din suprafața observată, activităților de management local ce au ca scop menținerea apei de inundație la nivelul complexului de lacuri, garle și canale, iar pe de altă parte de subevaluarea suprafețelor de apă la nivelul bratelor principale și secundare ale Dunării cu un procent de 32.09% ce se datorează cu precădere erorilor existente în modelul digital al elevației (DEM) la nivelul bratelor de Dunare rezultat al procesului de interpolare cu informație limitată existentă pe planurile și hărțile existente. Astfel s-a impune pentru o evaluare corectă a situațiilor din această categorie corectarea modelului digital cu informații privind batimetria bratelor de Dunare.

În a doua situație suprafața simulată este mult mai aproape de cea observată respectiv la o valoare de 79.39% din aceasta. Această situație reflectă o diferență de 8.21% la nivelul complexelor lacustre și o diferență de 12.40% la nivelul bratelor de Dunare. Prima s-a datorat cu precădere imposibilității reprezentării cu acuratețe ridicată a garlelor și canalelor ce unesc zone depresionare cu variații submetrice ce nu pot fi reprezentate decât la nivelul modelelor digitale cu rezoluții mai mici de 30 m pentru o comparabilitate mai mare cu distribuțiile observate din imaginile satelitare s-a optat pentru utilizarea acestei rezoluții. Iar cea de-a doua diferență așa cum am prezentat și în situația 1 se poate datoră erorilor locale rezultate din metodele de interpolare a DEM.

În cea de-a treia situație se observă că valorile simulate au un grad de acoperire de 79.99% față de cele observate cu diferențe în ceea ce privește complexul lacustru de 11.83% și de 8.18% în ceea ce privește bratele Dunării.

În cea de-a patra situație se evidențiază și o nouă categorie de structuri inundabile respectiv zona mal dig a Insulei Mari a Brailei. O validare în suprafața de până la 86.80% între suprafața simulată și cea observată demonstrează că deși există erori ce necesită a fi corectate la nivelul DEM la nivele ridicate ale apelor Dunării în această categorie de simulări sunt mai puțin sensibile la erorile existente dar cu toate acestea poate exista un impact semnificativ asupra rezultatelor derivate precum cele de sedimentare și eroziune ce necesită a fi validate prin măsurători directe în situ.

Concluzii

Neconcordanțele identificate în analiza comparativă a suprafeței ocupate de apă de inundație prezisa de modelul numeric și cea determinată din interpretarea imaginii satelitare se pot datoră în primul rând lipsei de detaliu a modelului digital, iar în al doilea rând subestimării suprafeței acoperite de apă la nivelul pădurilor ripariene inundate unde detecția apei de inundație nu a fost realizată de senzor datorită densității și înălțimii vegetației ripariene.

La nivelul analizei intervalului interquartilic 1 pot apărea diferențe datorate cu precădere menținerii controlate antropice a apei în lacurile interioare.

Cu toate acestea putem observa că metodologia propusă reprezintă un instrument viabil atât în ce privește analiza proceselor de inundabilitate la nivelul sectorului de râu și pot fi utilizate cu succes în modelarea proceselor de eroziune și sedimentare indispensabile modelării proceselor hidrologice cu relevanță pentru mobilitatea metalelor grele.

Din punct de vedere metodologic acestea abordare poate evidenția preabilitatea modelului

digital la procesul de modelare si respectiv o analiza a calitatii modelelor digitale ce se bazeaza pe informatie culeasa uniform la scara spatiala extinsa. Corectarea modelului digital va duce astfel la obtinerea unor diferente minime intre valorile simulate si observate putand astfel continua procesul de modelare matematica a fluxurilor hidrologice de suprafata.

Referințe

1. Beven, K. J. and Kirkby, M. J. 1979. A physically based variable contributing area model of catchment hydrology. *Hydrological Science Bulletin*, 24 (1), 43-69.
2. Bodescu F, V. Iordache -2008 - Hydrological modeling in landscapes contaminated with metals: research program and preliminary results, Bioremediation Conference Jena Germany, Octombrie 2008
3. Bodescu F., S. Danielescu, C. Postolache, S. Cristofor and A. Vadineanu, 2002- Functional evaluation of wetlands, a tool for integrated management in the Neajlov river basin/Romania, SWAP – Science for water policy- The implications of the Water Framework Directive University of East Anglia, Norwich, UK, September 2002
4. Brewer, P.A., Coulthard, T.J., Davies, J. R., Foster, G. C., Johnstone, E., Jones, A.F., Macklin, M.G. & Morgan, C.G. (2005), Flooding related research in Wales: some recent developments. In Basset, M.G., Deisler, V.K. and Nichol, D. (eds), *Urban Geology in Wales: 2*. National museum of Wales, 229-238.
5. Coulthard, T. J., Kirkby, M. J., Macklin, M. G., 1998. Non-linearity and spatial resolution in a cellular automaton model of a small upland basin. *Hydrology and Earth System Sciences* 2, 257-264.
6. Coulthard, T.J. and Macklin, M.G., 2001. How sensitive are river systems to climate and land-use changes? A model-based evaluation. *Journal of Quaternary Science*, 16(4): 347-351.
7. Coulthard, T.J. and Macklin, M.G., 2003. Modeling long-term contamination in river systems from historical metal mining. *Geology*, 31(5): 451-454.
8. Coulthard, T.J. and Van De Wiel, M.J., 2006. A cellular model of river meandering. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31(1).
9. Coulthard, T.J., 2001. Landscape evolution models: a software review. *Hydrological Processes*, 15: 165-173.
10. Coulthard, T.J., Kirkby, M.J. and Macklin, M.G., 1999. Modelling the impacts of Holocene environmental change in an upland river catchment, using a cellular automaton approach. In: A.G. Brown and T.A. Quine (Editors), *Fluvial Processes and Environmental Change*. John Wiley, Chichester, UK, pp. 31-46.
11. Coulthard, T.J., Kirkby, M.J. and Macklin, M.G., 2000. Modelling geomorphic response to environmental change in an upland catchment. *Hydrological Processes*, 14: 2031-2045.
12. Coulthard, T.J., Lewin, J. and Macklin, M.G., 2005. Modelling differential catchment response to environmental change. *Geomorphology*, 69: 222-241.
13. Coulthard, T.J., Macklin, M.G. and Kirkby, M.J., 1996. A cellular automaton fluvial and slope model of landscape evolution. In: R.J. Abrahart (Editor), *Proceedings of the 1st International Conference on Geocomputation*, University of Leeds, 17-19 September 1996, Leeds, UK, pp. 168-185.
14. Coulthard, T.J., Macklin, M.G. and Kirkby, M.J., 2002. A cellular model of Holocene upland river basin and alluvial fan evolution. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27: 269-288.
15. Coulthard, T.J., Hicks, D.M. & Van De Wiel, M.J. (In Press) Cellular modelling of river catchments and reaches: Advantages, limitations and prospects. *Geomorphology*
16. Iordache V., F. Bodescu, M. Onete, C. Florescu, A. Neagoe, M. Adamescu, A. Vadineanu, 1997, Effects of hydrology on redox potential in the lower Danube wetlands, *Proceedings of the 7th Danube Delta Institute Symposium*, 449-459

17. Iordache V., M. Adamescu, F. Bodescu, S. Cristofor, A. Vadineanu, 1997, Hydrological modeling of Fundu Mare Island (Danube floodplain), Proceedings of the 7th Danube Delta Institute Symposium, 551-562
18. Iordache, V., F. Bodescu, 2005, Emergent properties of the Lower Danube River System: consequences for the integrated monitoring system, Arch. Fur Hydrobiologie. Suppl. 158, (Large Rivers 16), ISSN 0945-3784, 95-128,
19. Iordache, V., F. Bodescu, A. Neagoe, 2005, Management of riparian forests, in Bolscher, J., P.-J. Egenzinger, P. Obenauf (editors), RIPFOR – The scientific report, Berliner Geographische Abhandlungen, Heft 65: 125-141, ISBN 3-88009-066-1,
20. Iordache, V., F. Bodescu, M. Danciu, 2004, Optimization of floodplain management by action at the level of riparian forests, Proceedings of the 12th “Deltas and Wetlands” International Symposium, Tulcea, 102-108, ISSN 1583-6932,
21. Iordache, V., F. Bodescu, M. Dumitru, 2005, Elements sustaining the lobby for the restoration of the Big Island of Braila (Danube floodplain), Arch. Fur Hydrobiologie. Suppl. 158/1-4 (Large Rivers 15/1-4), ISSN 0945-3784, 677-692,
22. Neagoe, A., V. Iordache, F. Bodescu, S. Cristofor, A. Vadineanu, 2001, The gradient of heavy metals in new deposited sediments in the Danube floodplain, Proceedings of the “Deltas and Wetlands” International Symposium, Tulcea, 134-141,
23. Nicholas, A.P. 2005. Cellular modelling in fluvial geomorphology. Earth Surface Processes and Landforms, 30: 645-649.
24. Stefan, I.D., Bodescu, F., Iordache, V., 2007, Quantitative and modelling evaluation of the hydrologic function in the Greaca landscape, Proceedings of the 15th “Deltas and Wetlands” International Symposium, Tulcea
25. Stefan, I.D., Iordache, V., Bodescu, F., 2007, Semiquantitative functional analyses of the landscape Greaca, Proceedings of the 15th “Deltas and Wetlands” International Symposium, Tulcea
26. Vadineanu, A; Adamescu, M; Bodescu, F; Cazacu, C; Danielescu, S, 2001 – Studies on natural capital and socio-economic systems SERIES: no.1:Lower Danube Wetlands System (Past and Future management), Bucharest, 74 pag.
27. Frazier, P. and Page, K., (2000). Water body detection and delineation with Landsat TM data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 66, No. 12, December 2000, pp. 1461-1467
28. Smith, L.C., 1997. Satellite remote sensing of river inundation area, stage, and discharge: A review, *Hydrological Processes*, 11:1427-1439.

Figura 1 Statistică descriptivă a debitelor anuale ale Dunării.

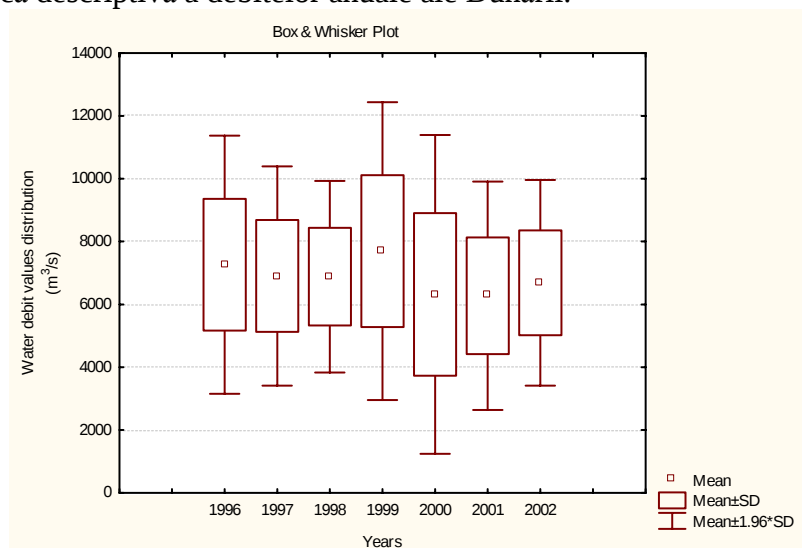


Figura 2 LANDSAT band 5 pentru situațiile selectate.



Figura 3 Valorile observate ale apei de inundatie observate din analiza imaginilor satelitare tip LANDSAT banda 5

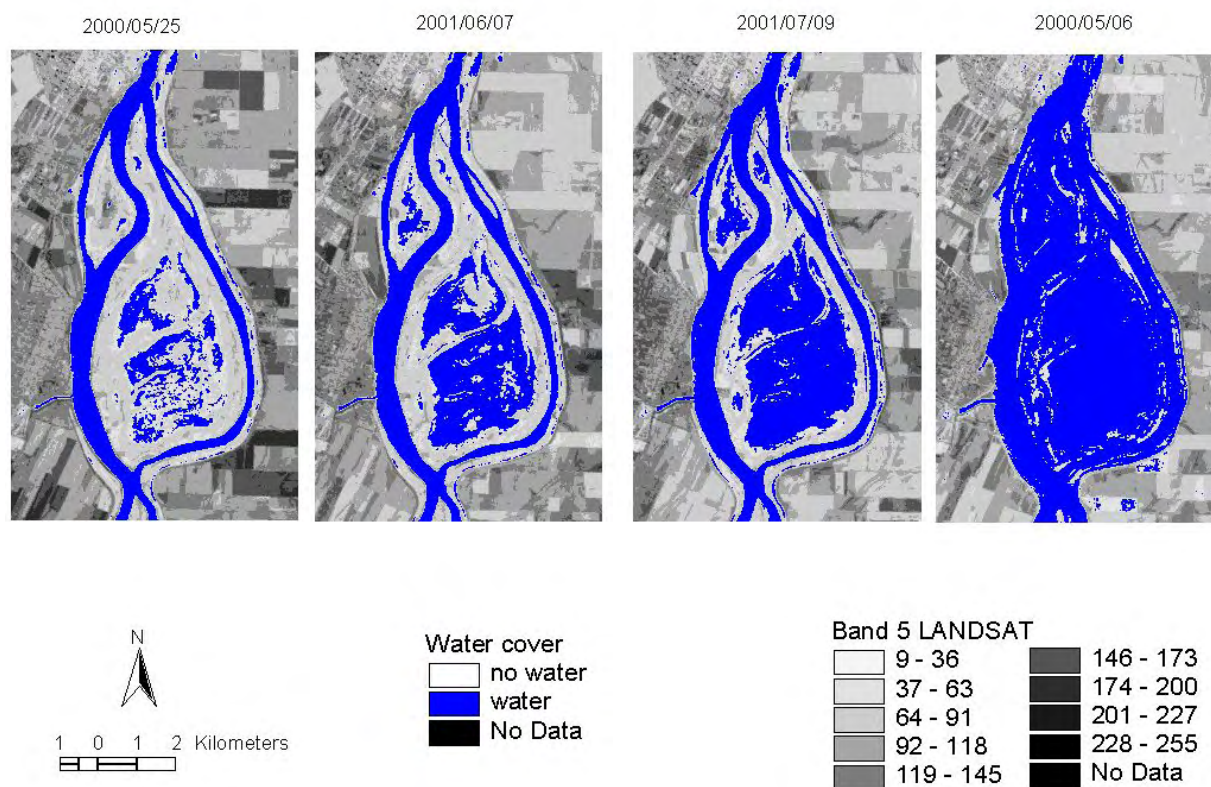
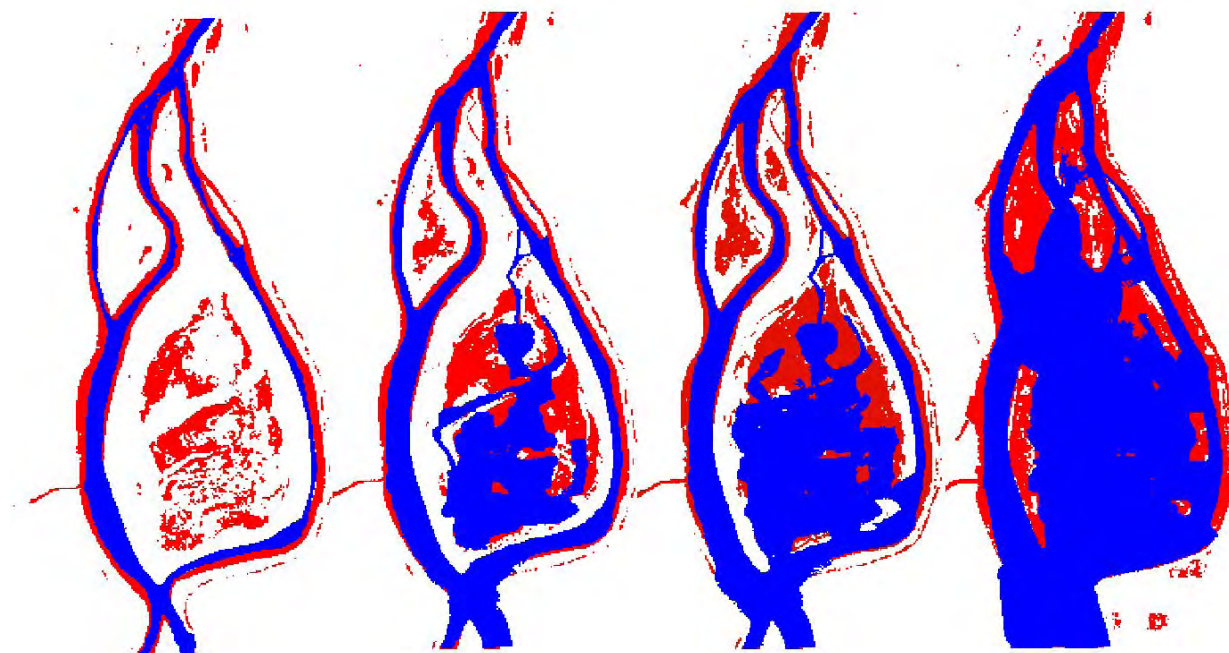


Figura 4 Analiza comparativa a suprafetelor apei de inuundatie pentru cele patru intervale interquatile (cu rosu sunt valorile observate, cu albastru sunt valorile simulate)



Tabelul 1 Indicatori statistici ai debitelor multianuale ale Dunării.(1997-2002)

Min	1431
Mean	6870
Max	11667
Q1	5375
Q2(me)	6837
Q3	8312

Table 2 Identified LANDSAT TM for path 181 and row 29 (explanations in text).

DATA	DEBIT	COTA	LANDSAT
08-Aug-99	8841	451	1
25-Sep-99	4685	198	1
12-Nov-99	4011	157	1
31-Jan-00	6032	280	1
06-May-00	11010	583	1
22-May-00	9482	490	1
07-Jun-00	6098	284	1
09-Jul-00	4307	175	1
29-Oct-00	5128	225	1
09-May-01	9811	510	1
25-May-01	7165	349	1
12-Jul-01	7938	396	1
29-Aug-01	4060	160	1
14-Sep-01	4487	186	1
01-Nov-01	3715	139	1
09-Mar-02	8168	410	1
12-May-02	7576	374	1
15-Jul-02	3518	127	1
17-Sep-02	5013	218	1
20-Nov-02	8710	443	1
22-Dec-02	7806	388	1

Tabelul 3 Parametri analizei comparative intre suprafetele apei de inundatie observate si simulate.

Situatia 1	nr. Celule	Suprafata (Ha)	Procent (%)
LANDSAT B5	15551	1399.59	100.00
cuvete lacustre	4118	370.62	26.48
brate Dunare	11433	1028.97	73.52
CAESAR	6443	579.87	41.43
cuvete lacustre	0	0	0.00
brate Dunare	6443	579.87	41.43

Situatia 2	nr. Celule	Suprafata (Ha)	Procent (%)
LANDSAT B5	21462	1931.58	100.00
cuvete lacustre	8805	792.45	41.03

brate Dunare	12657	1139.13	58.97
CAESAR	17039	1533.51	79.39
cuvete lacustre	7043	633.87	32.82
brate Dunare	9996	899.64	46.58

Situatia 3	nr. Celule	Suprafata (Ha)	Procent (%)
LANDSAT B5	25815	2323.35	100.00
cuvete lacustre	12775	1149.75	49.49
brate Dunare	13040	1173.6	50.51
CAESAR	20649	1858.41	79.99
cuvete lacustre	9721	874.89	37.66
brate Dunare	10928	983.52	42.33

Situatia 4	nr. Celule	Suprafata (Ha)	Procent (%)
LANDSAT B5	59254	5332.86	100.00
cuvete lacustre	17231	1550.79	29.08
zona dig-mal	2930	263.7	4.94
brate Dunare	39093	3518.37	65.98
CAESAR	51433	4628.97	86.80
cuvete lacustre	14955	1345.95	25.24
zona dig-mal	1097	98.73	1.85
brate Dunare	35381	3184.29	59.71

Anexa 3 Ilustrare a rezultatelor unei analize multivariate incluse într-un articol în pregătire (Neagoe și colab.) care va fi înaintat la revista *New Phytologist*.

Support material Table 2 PCA factors correlated with clusters of elements (positively +, or negatively -, ln transformed concentrations) in soil, plants and water, their eigenvalue (λ), and cumulated percents of explained variance in elements' concentrations (CPV).

	Soil			Plants				Water			
	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
Al		+		+							+
Ba	+			(+)		(+)			+		
Ca	-				+			+			
Cd	-			not included						+	
Co		+		+						(+)	(-)
Cr	-			+						+	
Cu			+		+			-			
Fe	-			+							+
K	+						-		+		
Mg	+					+		+			
Mn			-			+		+			
Ni		+		+				+			
P	-						-		+		
Sr		+				+			+		
Zn		+			+				+		
λ	9.26	3.01	1.70	6.11	2.78	2.35	1.37	4.87	2.86	1.73	1.26
CPV	61.71	81.78	93.15	43.65	63.52	80.33	90.09	32.50	51.54	63.08	71.52

Figure 1 Diagram showing the location of soils in the reduced space of 15 elements (ln transformed concentrations). The arrows start from the average concentration (origin) and point towards large concentrations. Eigenvalue λ and percent of variance explained are mentioned for each extracted factor.

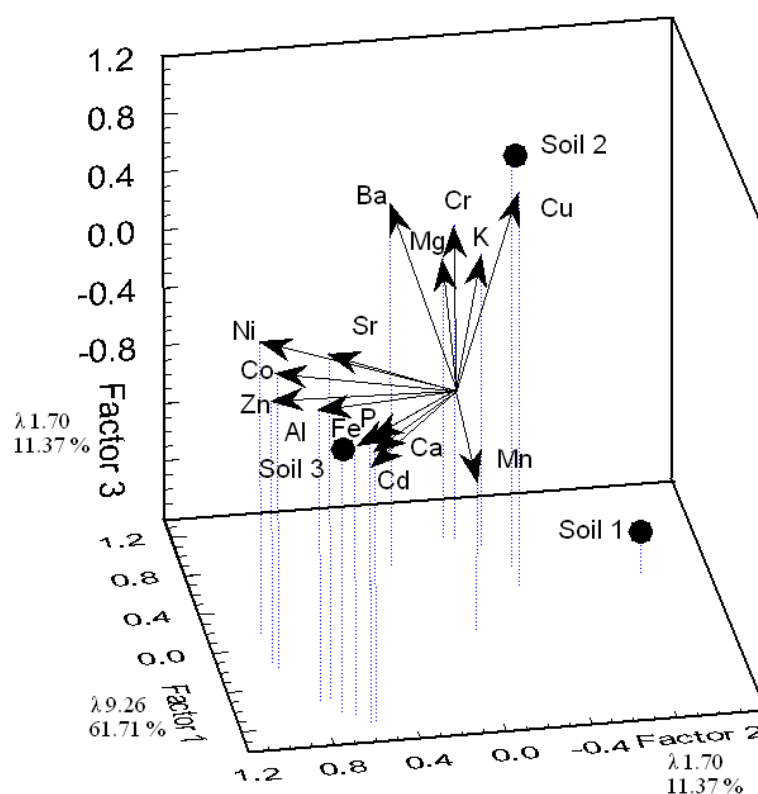


Figure 2 The effect of inoculation on the distribution of metal in plant parts.

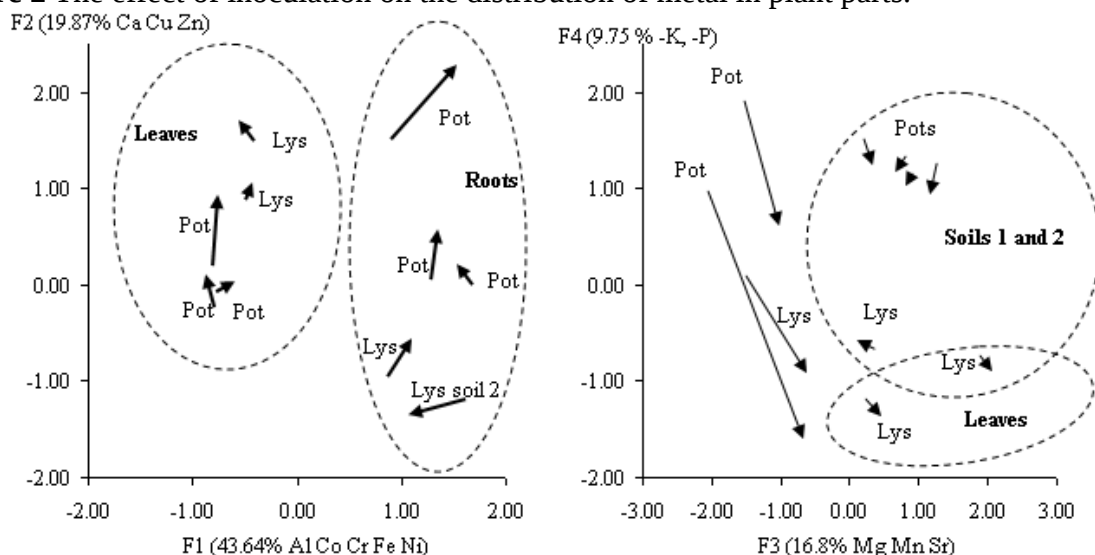


Figure 3 Relationships between PCA factors' scores and SOD and proteins (log normal transformed values, RN = roots not inoculated, RI = roots inoculated, LN = leaves not inoculated, LI = leaves inoculated). A) Apparent increase of POD with F1 metals due to differences between tissues (same pattern for SOD). B) Decrease of proteins with increase of F1 metals F1 (remark that the correlation holds also at tissue level in leaves). C) Contrasting relations between F2 elements and SOD in leaves (decreasing) and roots (increasing); the mycorrhization seem to reduce the slope of the relationship. D) Correlation between F4 and SOD at tissue level in leaves and roots; the increase of P and K is associated with a decrease of SOD; the inoculation reduces the slope of the equation and the R² of the relation.

