

## **CERCETĂRI PRIVIND MODELAREA FLUXULUI IONILOR POLUANȚI DIN ATMOSFERĂ ÎN PRINCIPALELE ECOSIS- TEME FORESTIERE DIN ROMÂNIA**

**ION BARBU, CARMEN IACOBAN, IONEL POPA**

Istitutul de Cercetări și Amenajări Silvice, Stațiunea Experimentală de Cultura Molidului,  
Câmpulung Moldovenesc

### **REZUMAT**

Cercetările în domeniul depunerilor atmosferice efectuate în perioada 1996-2000 în 7 ecosisteme forestiere reprezentative din România au condus la realizarea unei baze de date care poate fi utilizată pentru interpretarea funcționării acestor ecosisteme. În 5 din cele 7 ecosisteme studiate s-au făcut și măsurători asupra apei gravitațională din sol, până la adâncimea de 60 cm.

Integrarea datelor experimentale obținute din măsurarea cantitativă și calitativă a precipitațiilor în teren liber, sub coronamentul pădurii și pe profilul solului a permis aprecierea variabilității precipitațiilor căzute în perioada 1998-2000, determinarea valorilor retenției anuale în coronament și stabilirea relației dintre concentrația ionilor în apa gravitațională din sol, la diferite adâncimi și fluxul periodic al precipitațiilor în teren liber. Pe baza sintezei rezultatelor obținute a fost posibilă modelarea spațială a fluxului de ioni minerali poluanți (S-SO<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, Cl, N-NH<sub>4</sub>) în ecosistemele forestiere studiate.

Corelarea rezultatelor obținute în prezentul studiu cu cele publicate în domeniul stării de sănătate a pădurilor din țara noastră au permis evidențierea relației directe existente între fluxul ionilor poluanți și starea de sănătate a pădurilor, având în vedere altitudinea la care se află suprafețele experimentale analizate.

**Cuvinte cheie:** ioni poluanți; ecosisteme forestiere; depuneri atmosferice

### **1. INTRODUCERE**

Pentru înțelegerea corectă a ciclurilor biogeochimice în ecosistemele forestiere, cunoașterea fluxului depunerilor atmosferice de ioni minerali este esențială. S-a stabilit că în zone intens poluate, fluxul depunerilor atmosferice și conținutul acestora influențează semnificativ chimismul soluției solului și în acest fel nutriția arborilor și starea lor de sănătate (Barbu, 1991).

Depunerile atmosferice pot fi separate în cel puțin două componente: depuneri umede produse de hidrometeori măsurabili (ploaie, zăpadă) în care particulele și gazele

din atmosferă sunt dizolvate și transferate la suprafața solului prin picăturile de ploaie sau fulgii de zăpadă și depuneri uscate în care particulele și gazele se depun direct pe sol sau în coroanele arborilor. Tot aici se includ și depunerile produse de ceață, rouă, brumă, chiciură etc. Acestea de cele mai multe ori nu pot fi corect estimate, iar după depunere, apa se evaporă de regulă, lăsând la suprafața corpurilor o parte dintre componentele dizolvate în picăturile hidrometeorice.

Depunerile atmosferice totale se pot estima fie prin măsurarea separată și însumarea valorilor depunerilor umede și uscate, fie prin măsurarea directă a depunerilor totale cu colectori care au suprafața de recepție deschisă în permanență ( bulk deposition).

Pentru zonele în care se fac măsurători continui asupra concentrației ionilor poluanți din aer s-au stabilit anumite relații între aceste valori și cantitatea totală a depunerilor (Brechtel, 1989; Landmann, 1992). Gradul de determinare al acestor relații este însă relativ redus deoarece adesea depunerile umede provin din nori (mase de aer) care s-au format la distanțe mari de locul măsurării, iar deplasarea lor s-a făcut odată cu straturile superioare ale atmosferei, producând condensarea în precipitații numai în anumite condiții (zone frontale, precipitații orografice sau de convecție etc.).

Măsurarea conținutului precipitațiilor ajunse sub coronamentul pădurii și al scurgerilor pe fusul arborilor reprezintă o tehnică acceptată de estimare a capacității de retenție a ionilor poluanți de către pădure. Totuși aceste valori trebuie corectate deoarece, cel puțin anumiți ioni minerali sunt absorbiți direct pe frunze ( $\text{NH}_4^+$ ) iar alții sunt excretați (cationii bazici) prin procesele fiziologice cunoscute (Draaijers, 1993).

Măsurătorile efectuate în perioada 1996 - 2000 au condus la realizarea unei baze de date suficiente pentru a se încerca obținerea unor metadate (date rezultate din prelucrarea altor date), care vor putea fi utilizate pentru interpretarea funcționării ecosistemelor forestiere.

Cercetările în domeniul monitoringului forestier au vizat cunoașterea sectorială a parametrilor de stare ai subsistemelor (atmosferă, sol, stare de sănătate a arborilor, creștere, nutriție etc.) prin programe de cercetare, iar rezultatele urmează a fi integrate la nivel național cu scopul evidențierii impactului poluării atmosferice asupra ecosistemelor forestiere.

## 2. SCOP ȘI OBIECTIVE

În România, cercetarea sistematică a fluxurilor depunerilor atmosferice în ecosistemele forestiere a început în anul 1996, după un an de tatonări metodologice (1995) vizând optimizarea prelevării eşantioanelor și analiza acestora în laborator (Barbu, 1999).

Primele ecosisteme au început să fie investigate în nordul țării, la Solca, Rarău și Deia (aprilie, 1996) iar din ianuarie 1997 alte trei ecosisteme reprezentative sunt monitorizate în sudul țării pe un traseu de la Fundata către Mihăiești (Argeș) și Ștefănești (lângă București). Numărul ecosistemelor cercetate este insuficient pentru obținerea

unor informații cu caracter de reprezentativitate la nivel național, dar dată fiind amplasarea în transecte, cele două mari grupe de ecosisteme cercetate permit formularea unor concluzii plauzibile referitoare la ordinul de mărime al depunerilor și influențelor factorilor majori (climat, circulația atmosferei, macrorelief, altitudine etc.) în fluxul depunerilor totale. Pe de altă parte diversitatea structurală a arboretelor care se dezvoltă în condițiile menționate permite evidențierea și diferențierea rolului modificator al pădurii asupra fluxului de ioni minerali la suprafața solului în pădure.

Integrarea datelor experimentale obținute din măsurarea cantitativă și calitativă a precipitațiilor în teren liber, sub coronamentul pădurii și pe profilul solului până la adâncimea de 60 cm, va permite cunoașterea mai detaliată a modului de funcționare a ecosistemelor cercetate și a efectelor ionilor poluanți asupra stării de sănătate a pădurilor. Prin integrarea rezultatelor obținute din estimarea fluxului de ioni poluanți, cu cele din analiza periodică a parametrilor chimici ai solului și cu analizele foliare ale arborilor care edifică ecosistemele respective se va putea realiza un model al schimburilor de ioni între atmosferă, pedosferă și biosferă.

Rezultatele obținute din aceste cercetări servesc la compararea situației cu alte țări europene și vor contribui la realizarea monitoringului european al depunerilor atmosferice.

### 3. METODA DE CERCETARE

În tabelul 1 se prezintă localizarea ecosistemelor în care se realizează monitoringul depunerilor atmosferice în pădurile României. Ecosistemele forestiere alese pentru cercetarea detaliată a fluxului depunerilor atmosferice sunt situate pe un transect est-vest în nordul Carpaților Orientali (suprafețele experimentale Solca, Deia și Rarău) și un alt transect orientat nord-sud, din Carpații Meridionali (Fundata) prin Subcarpații Getici (Mihăiești) până în Câmpia Română (Ștefănești). Pentru măsurarea și eșantionarea precipitațiilor s-au utilizat trei tipuri de captatori instalați în teren liber și sub coronamentul pădurii iar pentru determinarea fluxului apei în solurile forestiere s-au folosit plăci lizimetrice instalate la adâncimi de 10 cm, 20 cm, 40 cm și 60 cm pe profilul solului. În tabelul 1 s-au sintetizat principalele caracteristici ale ecosistemelor monitorizate iar în tabelul 2 caracteristicile colectoarelor utilizați.

Frecvența prelevării probelor a fost stabilită la două săptămâni în sezonul de vegetație (1 și 16 ale fiecărei luni în perioada aprilie-octombrie) și la o lună în sezonul rece (noiembrie-martie). Probele colectate au fost măsurate separat la fiecare colector, iar eșantionul pentru analiză s-a obținut prin amestecarea cantităților colectate, din care s-a extras o probă medie de 0,8-2 l, care s-a transportat la laborator pentru analiză.

După recepționarea probelor, în laborator au fost efectuate următoarele operații: înscrierea probelor în registrul de evidență din laborator; filtrarea probelor; determinarea pH-ului și a conductivității într-un timp cât mai scurt de la recepționarea probelor; determinarea concentrației ionilor  $\text{NH}_4^+$  și  $\text{NO}_3^-$  într-un interval de maxim o săp-

tămână de la data recepționării probelor, determinarea concentrației ionilor  $\text{SO}_4^{2-}$  și  $\text{Cl}$ , precum și a ionilor metalici  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ .

Metodele analitice (conform NILU, 1995 și UN/ECE-CEC, 1994) și aparatura folosite sunt prezentate în tabelul 3.

Pentru asigurarea calității și comparabilității rezultatelor, în laborator au fost analizate periodic un număr de cinci probe sintetice preparate în laboratorul ICAS, precum și alte probe sintetice care au constituit obiectivul exercițiilor de intercalibrare AQUA-CON, organizate de Istituto Italiano di Idrobiologia.

După validarea rezultatelor de laborator, datele au fost prelucrate după metode diferite, abordându-se următoarele aspecte: calculul cantităților medii al probelor periodice pentru fiecare tip de captator și loc de colectare; calculul concentrațiilor în ioni al probelor pe baza curbelor de etalonare și validarea rezultatelor; introducerea datelor validate în baza de date (PC); prelucrarea statistică diferențiată a rezultatelor obținute

**Tabelul 1.** Localizarea suprafețelor experimentale pentru determinarea depunerilor atmosferice în ecosis-  
temele forestiere din România  
Location of plots for the determination of atmospheric deposition in forest ecosystems from  
Romania

Nr. <i>Plot</i> <i>no.</i>	Numele supr. exp. <i>Name</i> <i>of plot</i>	Longi- tudine <i>Longi- tude</i>	Latitu- dine <i>Lati- tude</i>	Altitudine <i>Alti- tude (m)</i>	Tip de vegetație <i>Type of vegetation</i>
1.	Solca-brad	25.50.42	47.44.03	520	Brădet de productivitate superioară afectat de uscure anormală
2.	Solca-molid	25.50.48	47.44.22	510	Plantație de molid și brad
3.	Deia	25.34.02	47.32.43	790	Amestec de molid și brad
4.	Rarău	25.32.21	47.28.34	1100	Amestec de rășinoase cu fag
5.	Fundata	25.16.11	45.25.59	1461	Făget de mare altitudine pe calcare
6.	Mihăiești	24.59.33	45.01.47	573	Șleau de deal
7.	Ștefănești	26.10	44.31	90	Șleau de câmpie

**Tabelul 2.** Principalele caracteristici ale colectoarelor utilizați pentru măsurarea precipitațiilor și apei din  
sol  
Main characteristics of collectors used to measure the precipitation and soil water

Tip de colector <i>Type of collector</i>	Locul Instalării Place of installation	Suprafața de recepție Area of reception ( $\text{cm}^2$ )	Număr de captatori instalați Number of collectors installed					
			Teren liber Open field	Sub coronament Under the canopy	În sol la ... cm In soil at ... cm			
					10	20	40	60
Jgheab PVC	TL, SC	1000	2	6	-	-	-	-
Cilindru PVC	TL, SC	83	4	8	-	-	-	-
Cilindru PVC + pungă	TL, SC	93	4	8	-	-	-	-
Placă lisimetrică semicilindrică	Sol	500	-	-	2	2	2	2

TL - teren liber (open field) SC - sub coronament (under the canopy)

din măsurători continui în perioada 1998 - 2000; calculul ecuațiilor de regresie pentru determinarea fluxului precipitațiilor din atmosferă în sol până la adâncimea de 60 cm în 5 ecosisteme forestiere; analiza și interpretarea rezultatelor .

**Tabelul 3.** Parametrii analizați, metodele utilizate și aparatura aflată în dotarea laboratorului I.C.A.S. Câmpulung Moldovenesc  
Parameters analysed, methods used and apparatus existing in the laboratory of I.C.A.S. Câmpulung Moldovenesc

Parametrul Parameter	U.M.	Aparatura în dotare Apparatus	Metode analitice Analytical methods
pH		pH-metru WTW	Potențiometrie
Conductivitate	μS/cm	Conductometru – JENWAY	Conductometrie
K	mg/l	Flamfotometru JENA	Emisie în flacără
Ca	mg/l	Flamfotometru JENA	Emisie în flacără
Mg	mg/l	Spectrofotometru cu absorbție atomică	Spectrofotometrie cu absorbție atomică
Na	mg/l	Spectrofotometru cu absorbție atomică	Spectrofotometrie cu absorbție atomică
N-NH <sub>4</sub>	mg/l	Spectrofotometru - JENWAY	Spectrofotometrie
Cl	mg/l	Spectrofotometru - JENWAY	Spectrofotometrie
N-NO <sub>3</sub>	mg/l	Spectrofotometru - JENWAY	Spectrofotometrie
S-SO <sub>4</sub>	mg/l	Spectrofotometru - JENWAY	Spectrofotometrie
Alcalinitate	μE/L	pH-metru WTW	Potențiometrie

#### 4. REZULTATE ȘI DISCUȚII

Pentru mai buna înțelegere a proceselor care au loc în sol la trecerea unui flux de apă gravitațională care își are originea în precipitațiile măsurate în teren liber s-a considerat utilă modelarea, pe baza datelor acumulate în perioada 1998-2000. Fluxul de apă din precipitații nu ajunge să percoleze imediat toate orizonturile solului, înregistrându-se, de regulă, o întârziere mai mare sau mai mică. În acest interval de timp, apa antrenează, cedează sau chiar dizolvă din sol o anumită cantitate de ioni, transferându-i spre straturile mai profunde, uneori până la apa freatică (Dambrine, 1992).

În nordul țării, variabilitatea precipitațiilor căzute în perioada 1998 - 2000 a fost mult mai mică decât în sud, unde s-au înregistrat variații de peste 50% din media celor 3 ani.

În suprafețele experimentale studiate s-a înregistrat o mare variabilitate a cantității de precipitații care percolează solul la diferite adâncimi. În anul 2000, în suprafața experimentală Ștefănești, practic nu s-a înregistrat flux de apă gravitațională pe profilul solului.

Cantitativ, valoarea medie anuală (pentru perioada 1998 - 2000) a precipitațiilor a oscilat între 568 mm la Solca, 629 mm la Deia și 871 mm la Rarău, pentru suprafețele experimentale din nordul țării și între 381 mm la Ștefănești, 560 mm la Mihăiești și 783 mm la Fundata.

Cantitățile anuale maxime în perioada menționată s-au înregistrat în anul 1999 și au avut valori de 1011 mm la Fundata, 974 mm la Rarău, 673 mm la Deia, 566 la Solca,

672 mm la Mihăiești și 539 mm la Ștefănești.

Cantitățile minime de precipitații înregistrate în anul 2000 în teren liber s-au cifrat la 226 mm la Ștefănești, 328 mm la Mihăiești și 443 mm la Fundata. În nordul țării, cantitățile de precipitații înregistrate în anul 2000 au fost de 701 mm la Rarău, 533 mm la Deia și 427 mm la Solca.

În sezonul rece, deficitul de precipitații a fost mai evident în nordul țării la altitudini sub 650 m, unde s-a înregistrat în anul 2000 doar 51% din cantitatea medie a sezonelor reci din perioada 1998 - 2000. La altitudini de peste 800 m, precipitațiile căzute în sezonul rece al anului 2000 au reprezentat circa 76% din media sezonelor reci din perioada 1998 - 2000. În sudul țării, cantitățile de precipitații căzute în sezonul rece au fost mai favorabile la altitudini mici, ele reprezentând 69% la Ștefănești și 74% la Mihăiești comparativ cu doar 52% la Fundata.

Valorile maxime ale retenției anuale în ecosistemele din nordul țării au fost înregistrate la Rarău și au oscilat între 30 și 41% (în medie 37%), Solca - molid 28-43% (37%), Deia 31 - 34% (32%) și Solca - brad 16 - 30% (22%). În ecosistemele forestiere din sudul țării, dominate de păduri de foioase, retenția anuală în coronament a înregistrat valori de 14 - 30% (în medie 20%) la Fundata, 3-25% (17%) la Mihăiești și 13 - 25% (16%) la Ștefănești.

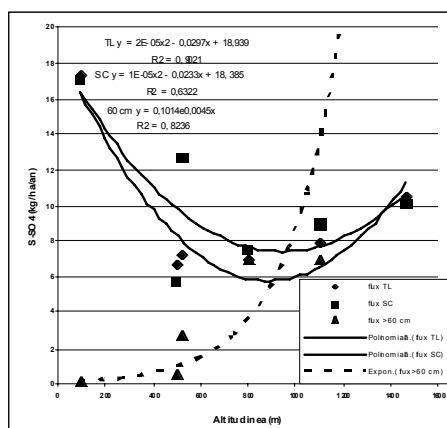
Cercetările efectuate au pus în evidență la nivelul solului o variabilitate foarte mare a concentrației apei gravitaționale din sol în ioni minerali la un flux constant de precipitații (acesta este influențat pe de o parte de „încărcarea” pe care o au precipitațiile și ”încărcarea” solului la momentul respectiv din input-uri anterioare). În orizonturile superioare ale solului (10 - 20 cm) concentrația maximă a apei din sol în ioni minerali se realizează la fluxuri ale precipitațiilor periodice de 20 - 30 mm. La fluxuri mari ale precipitațiilor periodice se constată o reducere a concentrației ionilor poluanți ( $\text{SO}_4$ , Cl,  $\text{NH}_4$  și  $\text{NO}_3$ ) și o creștere a concentrației ionilor bazici K, Ca, Mg, care au capacitatea de a neutraliza ionii acidifianți din precipitații.

Concentrațiile maxime ale ionilor poluanți se înregistrează în suprafețele experimentale situate la altitudini reduse (Ștefănești, Mihăiești, Solca), iar concentrațiile minime în suprafețele experimentale din zona montană (Deia, Rarău). Fluxul mediu anual al sulfului atât în teren liber cât și sub coronamentul pădurii scade pe măsură ce crește altitudinea de la circa  $16 \text{ kg S ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$  la 100 m altitudine la circa  $8 - 10 \text{ kg S ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$  la altitudini la peste 1000 m (fig. 1).

Regresia cea mai bine asigurată statistic este o parabolă asimetrică pentru care s-au stabilit coeficienții de determinare de  $R^2 = 0,90$  pentru teren liber și  $R^2 = 0,63$  sub coronament. Ecuația simplificată pentru estimarea fluxului de S- $\text{SO}_4$  în funcție de altitudinea punctului pentru care se face estimarea este următoarea:

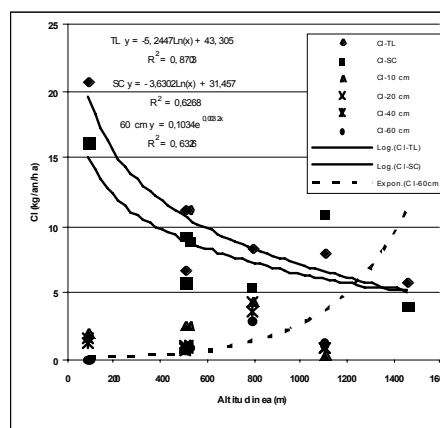
- în teren liber:  $\text{S-SO}_4 [\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}] = \text{Altit.}(\text{m})^2 \times 2 \times 10^{-5} - 0,3 \text{ alt.}(\text{m}) + 19$ , iar pentru fluxul sub coronament:

$$\text{S-SO}_4 [\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}] = \text{Altit.}2(\text{m}) \times 10^{-5} - 0,23 \text{ alt.}(\text{m}) + 18,4$$



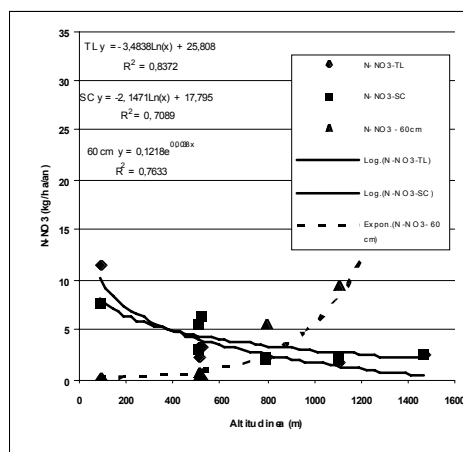
**Fig. 1.** Corelația dintre altitudine și fluxul de S-SO<sub>4</sub> măsurat în teren liber, sub coronament și pe profilul solului la 60 cm în suprafețele experimentale din România

Correlation between the flux of S-SO<sub>4</sub> measured in open field, under the canopy and on the soil profile and the altitude of plots



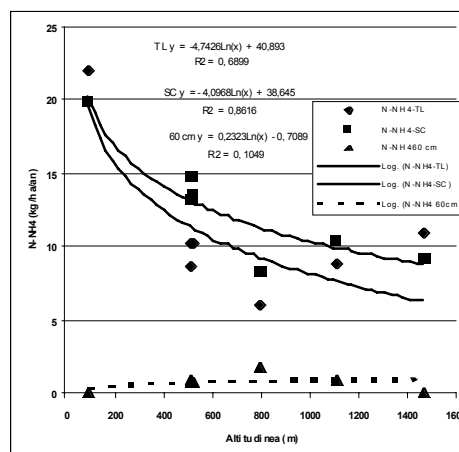
**Fig. 2.** Corelația dintre altitudine și fluxul de Cl măsurat în teren liber, sub coronament și pe profilul solului la 60 cm în suprafețele experimentale din România

Correlation between the flux of Cl measured in open field, under the canopy and on the soil profile and the altitude of plots



**Fig. 3.** Corelația dintre altitudine și fluxul de N-NO<sub>3</sub> măsurat în teren liber, sub coronament și pe profilul solului la 60 cm în suprafețele experimentale din România

Correlation between the flux of N-NO<sub>3</sub> measured in the open field, under the canopy and on the soil profile and the altitude of plots



**Fig. 4.** Corelația dintre altitudine și fluxul de N-NH<sub>4</sub> măsurat în teren liber, sub coronament și pe profilul solului la 60 cm în suprafețele experimentale din România

Correlation between the flux of N-NH<sub>4</sub> measured in the open field, under the canopy and on the soil profile and the altitude of plots

Fluxul S-SO<sub>4</sub> estimat pe baza apei gravitaționale din sol la 60 cm se distribuie exponențial cu valori neglijabile (1 kg·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup>) la altitudini mai mici de 500 m. La altitudini de peste 1000 m fluxul sulfului care iese din ecosistem spre apa freatică este egal sau chiar depășește intrările în ecosistem. Ecuația de regresie pentru estimarea fluxului de sulf sub 60 cm pe profilul solului în funcție de altitudine este următoarea:

$$\text{S-SO}_4 [\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}] = 0,1e^{0,0045 \text{ alt.}}$$

Coefficientul de variație al inputului și output-ului de sulf din ecosistem pune în evidență că la altitudini mai mici de 800 m sulful din precipitații are tendința de a se acumula în sol producând, în special în solurile cu capacitate redusă de tamponare, acidifierea și modificarea schimburilor normale de ioni, iar în final devitalizarea arborilor.

Fluxul maxim al clorului se înregistrează la altitudini mai mici de 500 m și scade la 5 - 7 kg·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup> la altitudini mai mari de 1000 m (fig. 2). Sub coronamentul pădurii fluxul clorului este sistematic mai mic decât în teren liber. Pe profilul solului la 60 cm fluxul clorului spre apa freatică are valori neglijabile (sub 1 kg·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup>) la altitudini mai mici de 600 m iar la altitudini de peste 1200 m cantitatea de clor care iese din ecosistem este egală sau mai mare cu intrările de clor din precipitații. Ecuațiile de regresie pentru estimarea fluxului mediu anual de clor la diferite nivele în ecosistem sunt de tip logaritmice pentru teren liber și sub coronament și de tip exponențial la 60 cm pe profilul solului:

$$\text{În teren liber: Cl} [\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}] = -5,2 \ln(\text{alt}) + 43,3 \quad R^2 = 0,870$$

$$\text{Sub coronament: Cl} [\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}] = -6,3 \ln(\text{alt.}) + 31,5 \quad R^2 = 0,626$$

$$\text{În sol la 60 cm: Cl} [\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}] = 0,1e^{0,0032 \text{ alt}} \quad R^2 = 0,632$$

Intrările anuale de N-NO<sub>3</sub>, au valori maxime la altitudini mici, atât în teren liber cât și sub coronament (peste 5 kg·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup> la altitudini mai mici de 400 m) și minime la altitudini mari (sub 2 kg·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup> la peste 1000 m)(fig. 3). Fluxul azotului din azotat pe profilul solului la 60 cm are valori crescătoare cu altitudinea. Astfel, la altitudini sub 500 m, valorile pierderilor de N-NO<sub>3</sub> din ecosistem sunt neglijabile, iar la altitudini de peste 800 m depășesc cu mult intrările. Acest fapt pune în evidență pierderile importante de nutrienți din sol în ecosistemele montane. S-au stabilit următoarele ecuații de regresie pentru estimarea fluxului mediu anual al N-NO<sub>3</sub> în raport cu altitudinea :

$$\text{În teren liber : N-NO}_3 [\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}] = -3,5 \ln(\text{alt}) + 25,8 \quad R^2 = 0,837$$

$$\text{Sub coronament : N-NO}_3 [\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}] = -2,15 \ln(\text{alt.}) + 17,8 \quad R^2 = 0,709$$

$$\text{În sol la 60 cm : N-NO}_3 [\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}] = 0,12e^{0,0038 \text{ alt}} \quad R^2 = 0,763$$

Pentru ionul N-NH<sub>4</sub>, fluxurile medii anuale cele mai mari se înregistrează la altitudini mai mici de 600 m (peste 10 kg/ha/an), iar peste altitudinea de 1000 m se plafonează la circa 5 - 7 kg·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup> (fig. 4). Fluxul sub coronament este mai mare decât în teren liber cu circa 20-30% la altitudini de peste 600 m și cu 5 - 15 % la altitudini



mai mici de 500 m.

Pentru estimarea fluxului de azot amoniacal s-au stabilit următoarele regresii logaritmice:

$$\text{În teren liber: } N\text{-NH}_4 \text{ (kg ha}^{-1}\text{ an}^{-1}\text{)} = 4,74 \ln(\text{alt.}) + 40,9 \quad R^2 = 0,690$$

$$\text{Sub coronamentul pădurii: } N\text{-NH}_4 \text{ (kg ha}^{-1}\text{ an}^{-1}\text{)} = -4,1 \ln(\text{alt.}) + 38,6 \quad R^2 = 0,861$$

Fluxul azotului total din precipitațiile măsurate în ecosistemele forestiere din România scade în raport cu altitudinea după o curbă logaritmică, de la peste 25 kg/ha/an la altitudini de 100 m la 10 kg·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup> și chiar mai puțin la altitudini de peste 1000 m (fig. 5). Fluxul de azot total măsurat sub coronamentul pădurii are valori comparabile sau chiar mai mici decât în teren liber la altitudini mici (sub 200 m) și se menține mai ridicat decât în teren liber la altitudini mai mari de 600 m. Pierderile de azot total din ecosistemele forestiere estimate pe baza măsurătorilor la 60 cm în sol au valori neglijabile (sub 1 kg·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup>) la altitudini mai mici de 500 m și depășesc "intrările" la altitudini de peste 1100 m. Ecuațiile de regresie stabilite pentru estimarea fluxurilor de azot total în raport cu altitudinea sunt de tip logaritmic pentru "intrări" și de tip exponențial pentru "ieșiri". Coeficienții de determinare calculați au valori ridicate ( $R^2 > 0,7$ ) și demonstrează încă o dată că altitudinea controlează fluxul intrărilor de ioni poluanți din atmosferă prin intermediul precipitațiilor.

S-au stabilit următoarele ecuații de regresie pentru estimarea "intrărilor" (teren liber, sub coronament) și "ieșirilor" din ecosistem în funcție de altitudine sunt următoarele:

$$\text{Input în teren liber: } N_t \text{ (kg ha}^{-1}\text{ an}^{-1}\text{)} = -8,18 \ln(\text{alt.}) + 66,4 \quad R^2 = 0,753$$

$$\text{Input sub coronament: } N_t \text{ (kg h.}^{-1}\text{ an}^{-1}\text{)} = -8,18 \ln(\text{alt.}) + 66,4 \quad R^2 = 0,753$$

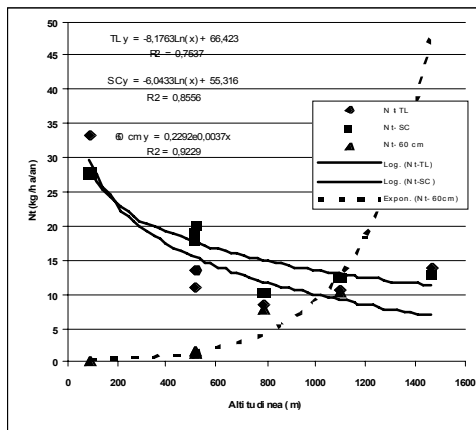
$$\text{Output din sol la 60 cm: } N_t \text{ (kg ha}^{-1}\text{ an}^{-1}\text{)} = 0,23e^{0,0037 \text{ alt}} \quad R^2 = 0,922$$

Coroborând rezultatele sintetice referitoare la fluxul ionilor poluanți în ecosistemele forestiere din România cu starea de sănătate a pădurilor (Badea ș.a, 1998), se poate afirma că între acestea există o legătură directă (fig. 6) Cu cât fluxul ionilor considerați poluanți cu efecte negative asupra vegetației (sulf, clor, azot) este mai mare, cu atât starea de sănătate a pădurilor este mai precară.

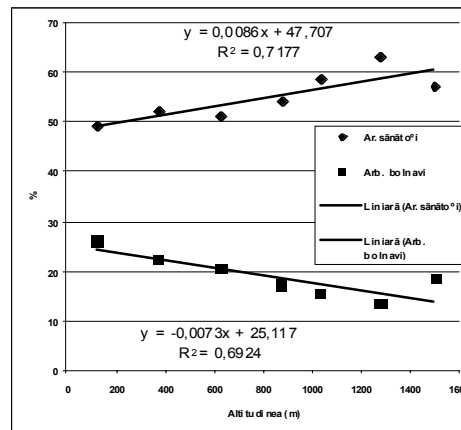
## 5. CONCLUZII

Cercetările efectuate au permis evidențierea rolului pădurii în modelarea fluxurilor de ioni poluanți în principalele ecosisteme forestiere din România și în metabolizarea ionilor poluanți de către arborii forestieri.

Rezultatele obținute își vor găsi aplicabilitatea în evaluarea impactului poluării atmosferice asupra stării de sănătate a arborilor, asupra creșterii și productivității pădurilor, în evaluarea rolului poluării atmosferice în acidifierea solurilor forestiere din România și în evaluarea riscului la acidifiere în ecosistemele forestiere din România.



**Fig. 5.** Corelația dintre altitudine și fluxul anual mediu al azotului total (Nt) măsurat în teren liber, sub coronament și pe profilul solului la 60 cm în suprafețele experimentale din România  
Correlation between the flux of yearly mean nitrogen (Nt) measured in open field, under the canopy and on the soil profile and the altitude of plots



**Fig. 6.** Distribuția în raport cu altitudinea a frecvenței arborilor sănătoși (% defoliere sub 10%) și bolnavi (% defoliere peste 26%) în suprafețele experimentale de monitoring național în anul 1995  
Distribution of healthy trees (less than 10% defoliation) and damaged trees (more than 26% defoliation) in relation with the mean altitude of plots in the national monitoring network in 1995

#### BIBLIOGRAFIE

- BADEA, O., PĂTRĂȘCOIU, N., GEAMBAȘU, N., BARBU, I., BOLEA, V., 1998: Forest Condition Monitoring in Romania (1990 -1996), Eds. Office National des Forests, Departement des Recherches Techniques, ISBN 2-84207-153-0, 62p.
- BARBU, I., 1991: Moartea bradului. Simptom al degradării mediului. Ed. Ceres, București, 276 p.
- BARBU, I. și colab., 2001 - Cercetări privind dinamica depunerilor minerale din atmosferă și nutriția speciilor de arbori în principalele ecosisteme forestiere. Referate științifice parțiale. Manuscrise ICAS București.
- BARBU, I., IACOBAN, C., Barbu, C., 1998. Cercetări pentru stabilirea influenței materialului vegetal asupra preciziei determinării ionilor minerali din precipitații, Bucovina forestieră, Nr. 1-2, p.1-9
- BARBU, I., IACOBAN, C., CHICHIFOI, L., 1997. Intensive monitoring of deposition in forest ecosystems from Romania, 56p., Stațiunea Experimentală de Cultura Molidului, Câmpulung Moldovenesc
- BARBU, I., IACOBAN, C., POPA, I., 2000. Monitoringul intensiv al depunerilor atmosferice în perioada anilor 1997 - 1998 în 7 ecosisteme forestiere din România, Revista pădurilor, Nr. 4, p. 16 - 20
- BRECHTEL, H.M., 1989 - Monitoring air pollution and forest ecosystem research. RIVM. Bruxelles. p. 39 - 63.
- DAMBRINE, E., 1992 - Acidification et desaturation des sols. Les recherches en France sur les ecosistemes forestieres. Ministere de l'agriculture et de la foret..
- DRAAIJERS, G., 1993 - The variability of atmospheric deposition to forests. The effects of canopy structure and forest edges. Faculteit Ruimtelijke. Utrecht.
- IACOBAN, C., 1996: Aspecte privind repetitivitatea și repetabilitatea rezultatelor obținute la analiza unor parametri ai apelor de precipitații, Bucovina forestieră, Nr.1-2, p. 47-52
- IACOBAN, C., 1998. Rezultatele obținute în cadrul proiectului AQUACON la analiza probelor de precipitații și a apelor de suprafață de către laboratorul I.C.A.S. Câmpulung Moldovenesc, Bucovina

- forestieră, Nr 1 - 2, p.25 - 33
- IACOBAN, C., 2000. Comparabilitatea rezultatelor obținute la analiza unor parametri ai apelor de precipitații, Bucovina forestieră, Nr 2, p. 3 - 14
- LANDMANN, G., (ed.), 1992 - Les recherches en France sur les écosystèmes forestiers. Actuelles et Perspectives. Ministère de l'agriculture et de la forêt. Paris..
- URLICH, E. et al., 1998 - Depots atmosphériques, concentrations dans les brouillards et dans les solutions du sol. Rapport scientifique sur les années 1993 à 1996.
- UN/ECE-CEC, 1994 - Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. PCC, Praga, 177 pp.
- \*\*\*, NILU 1995 - EMEP manual for sampling and chemical analysis. Norwegian Institute for Air Research, Kjeller, Norway.

**ABSTRACT**

**RESEARCHES ON THE MODELLING OF THE FLUX OF POLLUTANT IONS FROM THE ATMOSPHERE IN THE MAIN FOREST ECOSYSTEMS IN ROMANIA**

Researches in the field of atmospheric deposition performed in the period 1996-2000 in 7 representative forest ecosystems from Romania permitted to realise a data base that can be used to interpret how these ecosystems work. In 5 of the 7 ecosystems were made measurements of soil solution till the depth of 60 cm, too.

The integration of the experimental data obtained from the quantitative and qualitative measurement of precipitation in the open field, under the forest canopy and on the soil profile permitted to evaluate the variability of precipitation registered in the period 1996-2000, to determine the yearly retention in canopy and to establish the relation between the ions concentrations in the soil solution at different depths and the periodical precipitation flux in the open field. On the basis of the synthesis of results obtained was realised the spatial model of the mineral pollutant ions ( $S-SO_4$ ,  $N-NO_3$ ,  $Cl$ ,  $N-NH_4$ ) in the studied forest ecosystems.

The correlation of the results obtained in this study with those published in the field of the forest health in Romania permitted to establish the direct relation between the flux of pollutant ions and the forest health, taking into consideration the altitude where the plots are located.