APLICAREA UNOR METODOLOGII EUROPENE ELABORATE ÎN CADRUL PROGRAMELOR CONTINENTALE ÎN CERCETĂRILE ECOLOGICE DIN MOLDOVA

THE APPLICATION OF SOME EUROPEAN METHODOLOGIES ELABORATE WITHIN THE CONTINENTAL PROGRAMS IN ECOLOGICAL RESEARCH IN MOLDOVA

Adam BEGU, ORCID:
Valeriu BRAŞOVEANU, ORCID: 0000-0002-8974-6700
Institutul de Ecologie și Geografie din cadrul Universității de Stat din Moldova, Republica Moldova

CZU: [630*1:502.3]:303.4(478) e-mail: adambegu@gmail.com

The monitoring of the state of the environment carried out in the Republic of Moldova by means of non-instrumental (bio-indication) and instrumental (analysis/analytical) methods applied in European programs allowed to obtain some parameters compatible with those of other countries and which are included in the continental databases. Thus, based on the spatial distribution of SO2 in the atmospheric air, established on the basis of bioindication, we find that it differs greatly from that indicated in the same 32 cells (50x50km) of the European EMEP program, the main reason being the low elevation and the fragmentation of the forests and the rugged relief, fact that allowed us to propose the reduction of the cell surface.

It performed a comparative analysis of throughfall atmospheric deposition in the Republic of Moldova to that determined in the intensive (level II) forest monitoring plots in Europe. Monitoring ions S-SO_4^{2-}, N-NO_3^- și N-NH_4^+ was carried out according to the methodology recommended by the International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP Forests). Throughfall deposits of mineral ions recorded in forests studied in Republic of Moldova are comparable to deposits recorded in the central and central-eastern European regions.

***Cuvinte-cheie**: depuneri atmosferice, monitoring ecologic, păduri.*

INTRODUCERE

Pe lângă faptul că, ponderea ecosistemelor ecologic stabilizatoare din țara noastră este sub necesarul de 15%, în zonele industriale ele sunt supuse unui impact antropic local şi transfrontalier puternic [1]. Poluarea cu SO_2 afectează clorofila, transformând-o în feofitină prin înlocuirea ionului de Mg cu doi ioni de H, astfel micşorând capacitatea de fotosinteză [2,3]. Surplusul de metale grele, în asociere cu SO_2, inhibă procesele fotochimice ale fotosintezei [4]. SO_2 pătrunde în frunze prin stomate sau prin difuzie cuticulară, unde se dizolvă, formând HSO_3 şi SO_3, ce schimbă pH-ul citoplasmei spre mediu acid, care afectează fotosinteza [5].

Tradiţional, monitorizarea strictă a fenomenelor negative, se realizează prin metoda instrumentală, instalând o reţea ecologică complexă [6], care semnalizează, în regim non-stop, dinamica fenomenelor. Făcând o retrospectivă largă a fito– şi zooindicaţiei, metoda biomonitoringului este propusă spre utilizarea în supravegherea stării ecosistemelor forestiere ca alternativă importantă metodei instrumentale [7]. În cadrul Institutului de Ecologie și Geografie au fost realizate studii privind poluărea aerului și a depunerilor atmosferice prin metoda biomonitoringului (neinstrumentală) și metoda analizelor chimice (instrumentală), bazate, respectiv, pe ***programul EMEP*** (Programului de cooperare pentru monitorizarea și evaluarea transportului pe distanță lungă a poluanților atmosferici în Europa) și ***programul ICP Forests*** **(**International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests).

Studiul bazat pe programul EMEP. Convenţia privind poluarea atmosferică transfrontalieră pe distanţe lungi (Geneva, 1979) [8] a fost ratificată de republica Moldova la 09.07.1995, ulterior RM a semnat şi Protocoale din cadrul Convenţiei:, privind POPs (Aarhus, 1998);, privind MG (Aarhus, 1998) şi, privind combaterea acidifierii, eutroficării şi ozonului la nivelul solului (Gothenburg , 2000). Reieşind din prevederile art. 6 „Controlul calităţii aerului” ţările sunt chemate să elaboreze sisteme de control al calităţii aerului compatibile, econome şi care nu produc deşeuri.

Deoarece amplasarea staţiilor de supraveghere (art. 9, p. e) pe o arie largă este imposibilă, situaţia reală dictează aplicarea altor tehnici, neinstrumentale (art. 7, p. b) în supravegherea emisiilor de poluanţi atmosferici. Astfel, noi considerăm actuală şi de perspectivă aplicarea metodei bioindicaţiei în estimarea efectelor compuşilor sulfuroşi, îndeosebi, asupra vegetaţiei forestiere, care în RM consatitue circa 13,8 % din teritoriul ţării şi au funcţie ecologică (Biraul Național de Statistică al RM, 2019) [9] .

Cei mai cunoscuţi indicatori ai calităţii aerului sunt lichenii, utilizaţi cu succes în monitoringul ecologic din multe ţări ale lumii, fapt confirmat prin recunoaşterea lor mondială ca bioindicatori [10, 11, 12, 13, 14]. Creşterea lentă şi longevitatea sporită a lichenilor (uneori 2000-4000 ani) permite utilizarea lor ca bioindicatori în orice anotimp. Conform EMEP Report 1/2023 elaborat de Institutul Meteorologic din Norvegia, poluarea transfrontalieră rămâne actuală pentru multe state din Europa, iar Republica Moldova este situată în zona depunerilor de SO_2 dintre 400-500 Gg/an [15]. Conform definiției date în Protocolul privind finanțarea pe termen lung a Programului de cooperare pentru monitorizarea și evaluarea transportului pe distanță lungă a poluanților atmosferici în Europa (EMEP): „Sfera geografică a EMEP înseamnă zona în care, coordonată de centrele internaționale ale EMEP, se efectuează monitorizarea.” Această definiție a fost menționată în toate protocoalele următoare la Convenție. De la adoptarea sa în 1984, pe măsură ce părțile au ratificat sau au aderat la Protocolul EMEP, domeniul geografic de aplicare al EMEP s-a extins, iar grila EMEP a fost modificată în mod semnificativ de două ori. Din 1984 până în 1997 a fost utilizată o grilă de 150x150 km^2. În 1997, rezoluția grilei a fost modificată la 50x50 km^2, în timp ce zona acoperită de grila EMEP cu rezoluție mai fină a rămas neschimbată. În 2008, domeniul EMEP de 50x50 km^2 a

fost extins. Din anul 2017 rezoluția spațială a fost crescută la 0,1° x 0,1° grila de longitudine-latitudine. Dacă grila din 2008 conținea circa 21500 celule, apoi cea din 2017 include circa 624000 celule în Europa, iar pentru Republica Moldova aceste date au evoluat de la 32 până la 489 celule.

La cea de-a 36-a sesiune a Corpului de conducere EMEP, Centrele EMEP au sugerat să crească rezoluția spațială și să schimbe proiecția la o grilă EMEP de 0,1° x 0,1° longitudine-latitudine într-un sistem de coordonate geografice (WGS84). Noul domeniu EMEP va acoperi zona geografică cuprinsă între 30° N-82° latitudine N și 30° W-90° longitudine E. Acest domeniu reprezintă un echilibru între nevoile politice, nevoile științifice și fezabilitatea tehnică. Părțile sunt obligate să raporteze emisiile din rețea în noua rezoluție a rețelei din anul 2017.

Studiul bazat pe programul ICP Forests. Fenomenul de poluare atmosferică, considerat un factor predispozant, însoţitor sau atenuant al disfuncţionalităţii întregului ecosistem, a fost apreciat ca ipoteză principală privind cauzele simptomelor diferitelor tipuri de vătămare, de natură fiziologică şi mecanică. Totuşi, majoritatea explicaţiilor dezvăluie insuficienţa cunoştinţelor legate de funcţionarea normală a ecosistemelor forestiere, insuficienţa cercetării declinului pădurilor, respectiv a stării de sănătate a acestora, având drept ţintă fundamentarea ştiinţifică a criteriilor de stabilitate a pădurilor [16, 17].

În studiul realizat de Draaijers (1993) [18], este dată o caracteristică a principalilor tipuri de poluanți atmosferici transportați la distanță, care sunt consideraţi ca potenţială cauză ce contribuie la intensificarea degradării stării ecosistemelor forestiere. Astfel, poluanții atmosferici care influențează direct sau indirect declinul pădurilor sunt: în stare gazoasă – compuși ai sulfului (SO_2, SO_3), compuși ai azotului (NO, NO_2, HNO_3, NH_4NO_3, HNO_2, NH_3), foto-oxidanți, hidrocarburi, amestecuri de poluanți; în stare lichidă: ploi și ceață acide, conținând NO_3^-, SO_4^{2-}, NH_4^+, oxidanți (H_2O_2), hidrocarburi; în stare solidă (particule): compuși acizi ai sulfului și ai azotului, conținând NO_3^-, SO_4^{2-}, NH_4^+, metale grele, hidrocarburi [19].

Activitatea de evaluare şi supraveghere a stării de sănătate a pădurilor desfăşurată la nivel global, regional şi local s-a dezvoltat continuu, culminând în perioada actuală cu efectuarea unor ample cercetări ştiinţifice cu caracter interdisciplinar de evaluare a efectelor principalilor factori ce acţionează asupra stării ecosistemelor forestiere, în special, poluarea atmosferică și modificările climatice. Astfel, la nivel european, în 1985 a fost lansat Programul ICP Forests (International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests), cu două nivele de monitorizare. Nivelul I de supraveghere la scară mare (națională și continentală) a stării pădurilor, bazată pe rețele naționale (2x2 km) și cea europeană (16x16 km), include sondaje permanente, cu o intensitate mai redusă a evaluărilor, înregistrându-se doar vătămările fiziologice – defolierea şi decolorarea frunzişului, precum şi vătămările fizice. Nivelul II de supraveghere intensivă a stării pădurilor, include evaluarea concentraţiilor agenţilor fitotoxici (O_3, NO_2, SO_2, NH_3), supravegherea stării de sănătate a pădurilor (boli și dăunători), al nivelului de nutriţie al arborilor, a stării solurilor forestiere, a calităţii depunerilor atmo-

sferice, a parametrilor climatici, evaluarea biodiversităţii vegetale etc [20, 21]. În acest program este încadrată și țara noastră, prin rețeaua națională și transnațională sistematică (16x16 km), unde Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice efectuează doar defolierea şi decolorarea frunzişului speciilor edificatoare.

Pornind de la experiența unor țări europene de monitorizare a depunerilor atmosferice de ioni minerali în ecosistemele forestiere și de la faptul că până în prezent în Republica Moldova astfel de studii nu au fost efectuate [22], scopul cercetărilor noastre este de a evalua cantitativ și calitativ depunerile atmosferice pentru a preveni impactul ecologic și pentru ameliorarea stării ecosistemelor forestiere din Republica Moldova (RM).

În aceste condiţii se cere ca în ţara noastră să fie efectuate cercetările de supraveghere a stării ecosistemelor forestiere, care se reflectă și în obiectivele Conferințelor Ministeriale privind protecția pădurilor din Europa (Strasbourg, 1990; Helsinki, 1993; Lisabona, 1998; Viena, 2003; Varșovia, 2007; Oslo, 2011), precum și în Convenția – cadru privind Schimbările Climatice (Rio de Janeiro, 1992) și Convenția privind Diversitatea Biologică (Rio de Janeiro, 1992).

MATERIAL ȘI METODĂ

Studiul bazat pe programul EMEP. Cercetări în teren: inventarierierea speciilor de licheni şi a surselor de poluare; colectarea mostrelor de biotă. ***Cercetări în laborator****:* determinarea apartenenţei sistematice a speciilor colectate [23], a statutului de protecţie şi a toxitoleranţei faţă de SO_2 [24], abundenţei/acoperirea substratului de către speciile de licheni, conform scalei [25] cu modificările propuse de autor [26] .

Studiul bazat pe programul ICP Forests. Pentru evaluarea și supravegherea efectelor poluării atmosferice asupra componentelor ecosistemelor forestiere din Republica Moldova, cercetările din lucrarea dată, au fost efectuate în 10 suprafețele experimentale incluse în reţeaua europeană sistematică de monitoring forestier (Fig.1), conform metodologiei armonizate și recomandate de programul internațional ICP Forests [21]. Riscul poluării aeriene a ecosistemelor forestiere a fost evaluat în funcție de poziția fizico-geografică a ecosistemelor studiate și de repartizarea geografică a surselor locale și transfrontaliere de poluare. La fel, s-a ținut cont de influențele factorilor biotici (tip de vegetație, specii dominante ș.a.) și abiotici (tip de sol, relief, altitudine, condiții climatice).

A fost aplicată metoda de estimare a depunerilor atmosferice sub coronamentul arborilor („*throughfall method*”), prin determinare cantitativă şi calitativă a precipitațiilor incidente în coronamentul arborilor [21, 27]. Colectarea, determinarea, păstrarea și analiza chimică a mostrelor a fost realizată conform metodologiei recomandate de programele internaționale ICP Forests, EMEP, ICP Vegetation și ICP IM [28, 29, 30, 31].

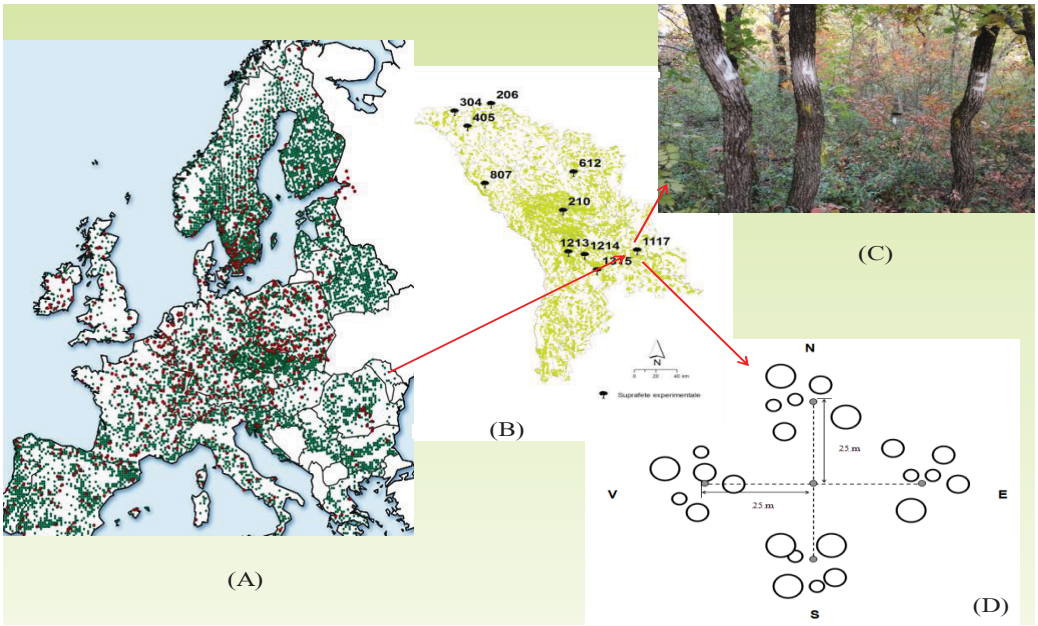


Fig. 1. Schema amplasării suprafețelor experimentale din RM (B), incluse în rețeaua sistematică europeană de monitoring forestier (A), aspectul (C) și schema unei suprafeței de probă permanentă (D)

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Studiul bazat pe programul EMEP. Studii privind poluanţii atmosferici, ce provoacă dereglări în activitatea vitală a lichenilor au realizat: [32, 33, 34, 35, 36, 37] Bazându-ne, atât pe studiul diversității, abundenței și toxitoleranței lichenilor din 62 de ecosisteme (Fig.2), cât și pe cele mai cunoscute 20 de scale (cu 2-12 trepte) a fost elaborată o scală cu 6 trepte pentru țara noastră (Tab. 1), conform căreia am apreciat calitatea aerului atmosferic (Fig. 2).

Tabelul 1

Gradaţii de Evaluare a Calităţii Aerului în funcţie de abundenţa speciilor cu diferit grad de toxitoleranţă faţă de conţinutul de SO_2 în atmosferă

Calitatea aerului	Conţinutul SO în aşr, mg/m	Abundenţa speciilor cu diferit grad de toxitoleranţă, % din suprafaţa substratului	Culoare convenţională
1.Curat	<0,05	I > 10 sau I < 10 și II > 75	albastru
2.Slab poluat	0,05-0,1	I – 0 -10 sau II – 50-75	azuriu
3.Moderat poluat	0,1-0,2	II - 10-50 sau III > 50	verde
4.Poluat	0,2-0,3	III - 10-50 sau IV > 50	galben

5.Puternic poluat	0,3-0,5	IV - 10-50 sau V - 1-100	roşu
6.Poluare critică	>0,5	Lipsa deplină a lichenilor	negru

Pe teritoriul Republicii Moldova au fost identificate 3 ecosisteme forestiere în care aerul este evaluat ca aer curat, 11- aer slab poluat, 31- aer moderat poluat, 12- aer poluat, 3- aer puternic poluat și cele cu poluare critică a aerului - lipsesc.

(a) (b)

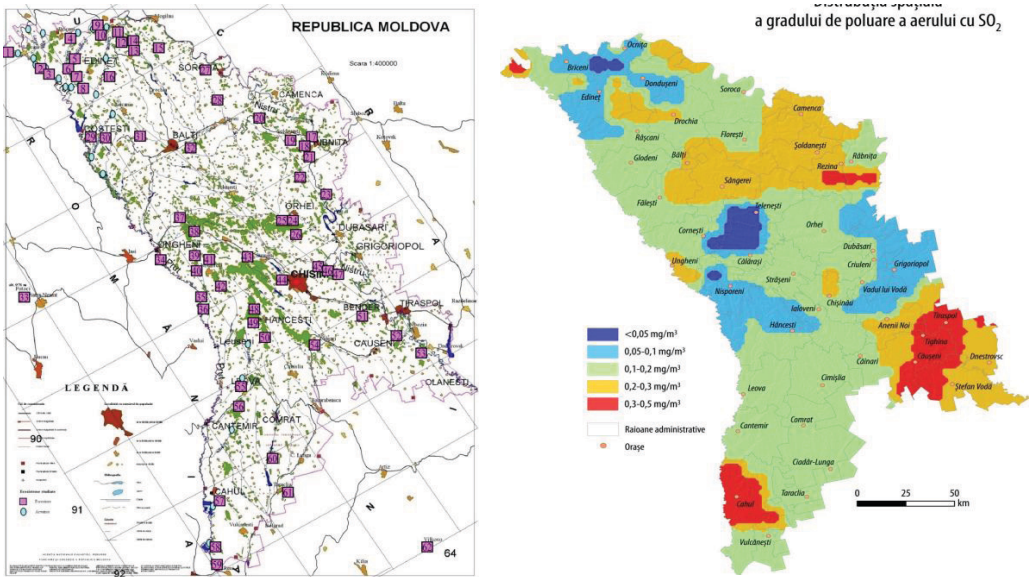


Figura 2. Repartizarea stațiilor studiate (62) în rețeaua EMEP cu 32 de celule 50x50km (a) și gradul de poluare cu SO_2 a teritoriului Moldovei (b).

Ca bază a unui echilibru durabil de mediu în funcționarea ecosistemelor forestiere din Republica Moldova, servesc nivelurile critice stabilite de Convenția de la Geneva (1979) pentru SO2, NOx și NH3. Astfel, ecosistemele forestiere din Republica Moldova nu oferă rezerve pentru sarcinile critice de poluare cu SO2 - 0,02 mg/m^3 aer (pentru dendrospecii) și 0,01 mg/m^3 (pentru licheni și cianobacterii). Lichenoindicația a demonstrat că nivelul actual de poluare cu SO_2 este între 0,05 și 0,5 mg/m^3 de aer, astfel că efectele nocive pe termen lung, se manifestă în toate cele 62 de ecosisteme forestiere investigate.

Racordarea lichenoindicaţiei, stabilită pentru cele 62 ecosisteme studiate, la reţeaua EMEP 50x50 km, conform celor 32 de celule în care e cuprinsă Moldova (Tab. 2), denotă o divergență a situaţiei ecologice reale, probabil datorită faptului că efectele poluării sunt mai pronunţate până la circa 25-30 km de la sursa de poluare. În cazul reţelei EMEP 50x50 km, situaţia ecologică este nivelată pe tot cuprinsul (50x50 km), fapt ce nu

corespunde realităţii. Spre exemplu în celula 86/64 cele 11 ecosisteme studiate denotă: un aer curat - pentru ecosistemul Ocniţa, un aer slab poluat - pentru ecosistemele Feteşti, Trebisăuţi, Zăbriceni, La Castel, Lipnic, Dondușeni, moderat poluat – pentru Clocuşna, Cernoleuca, iar aer poluat – pentru Trinca şi Chetroşica Nouă. Matricea EMEP însă caracterizează aerul din acestă celulă ca poluat (culoare galbenă), iar datele noastre – ca slab poluat (culoare verde). Analiza comparativă a evaluărilor noastre şi celor efectuate de EMEP a coincis doar în 2 cazuri (celulele 91x63 şi 92x63).

Tabelul 2

Repartizarea staţiilor studiate (62) în reţeaua EMEP cu 32 de celule 50x50km

Nord - Sud	Direcţia Vest – Est						
	62	63	64	65	66	Total	RO, UA
85	RO	1	-	UA	UA	1	
86	RO	2	11	1	UA	14	
87	RO	2	1	2	-	5	
88	RO	-	2	1	4	7	1- RO
89	RO	3	6	4	1	14	
90	RO	1	4	3	-	8	
91		2	1	3	-	6	
92	3	2	-	-	-	5	
93	-	UA	UA	UA	UA	-	
94	UA	UA	1- UA	UA	UA	-	1- UA
Total	3	13	25	14	5	60	2

Abrevieri: RO – România; UA – Ucraina

Astfel, metoda biomonitoringului, respectă legitatea de bază, dar, în particular, oferă informaţii cu mult mai precise şi concrete pentru fiecare ecosistem forestier în parte sau pentru grupe de ecosisteme compact amplasate, comparativ cu Programul EMEP. Grila de 50x50 km, probabil e reuşită în cazul zonelor extinse de păduri (taiga) sau ţări cu un grad sporit de împădurire şi relief de câmpie şi nicidecum pentru pădurile dezmembrate şi puţine din RM, amplasate, prioritar, pe relief colinar accidentat, care redirecţionază esenţial efectele poluanţilor nocivi, atât locali, cât şi transfrontalieri. Astfel, la nivel naţional a fost propusă pentru aplicare grila de 25x25 km.

Studiul bazat pe programul ICP Forests. Studiul fluxurilor ionilor minerali atmosferici efectuat în 10 ecosisteme forestiere din Republicii Moldova, în care sunt amplasate suprafeţele experimentale ale reţealei europeane sistematice (16x16 km) de monitoring forestier (Fig. 1), denotă unele legități și tendințe de acumulare, în dependență de zona de amplasare și tipul de poluant.

Rezultatele analizelor chimice demonstrează că în ecosistemele forestiere din Republica Moldova, depunerile de $S\text{-}SO_4^{2-}$, conform scalei de evaluare a depunerilor de sub

coronament (“throughfall”) la nivel european, se atribuie categoriilor de *depuneri mari* (5,7-8 kg/ha/an) și *depuneri foarte mari* (8-32 kg/ha/an) (Tab. 3).

Tabelul 3

Depunerile anuale de ioni minerali înregistrate sub coronament (“throughfall”) în ecosistemele forestiere studiate din Republica Moldova

Suprafața experimentală (SE)	Întreprinderea de Stat pentru Silvicultură	Ocolul Silvic	Compoziția dendrologică	**S-SO_4** (kg/ha/an)	**N-NO_3** (kg/ha/an)	**N-NH_4** (kg/ha/an)
SE 304	Edineț	Briceni	7ST2STR1MO	**10,42**	**2,83**	**6,36**
SE 405	Edineț	Edineț	10FR	**10,18**	**2,27**	**6,15**
SE 206	Edineț	Otaci	7GO1FR2TE	**10,11**	**2,79**	**6,31**
SE 807	Glodeni	Călinești	10ST+CI	**7,57**	**1,53**	**4,04**
SE 612	Șoldănești	Olișcani	10ST+FR	**10,85**	**2,81**	**6,35**
SE 210	Călăraș	Vărzărești	7FR2ST1ULC	**10,76**	**3,17**	**6,77**
SE 1214	Hîncești	Buțeni	10ST+FR	**9,19**	**4,16**	**9,15**
SE 1213	Hîncești	Mereșeni	6GO4FR	**10,38**	**2,77**	**8,99**
SE 1117	Tighina	Hîrbovăț	10STP+SC	**12,50**	**5,20**	**9,10**
SE 1315	Răzeni	Zloți	10SC	**8,38**	**3,60**	**6,56**
Diferența minimal semnificativă **(DMS)**				**1,56**	**1,15**	**1,85**
Amplitudinea	Minim			7,6	1,5	4,0
	Maxim			12,5	5,2	9,2
Media aritmetică				10,0	3,1	7,0
Deviația standart				1,4	1,0	1,6
Coeficientul de variație				13,7	32,7	23,4
Scala europeană pentru aprecierea intensității depunerilor de ioni minerali sub cotonament						
Intensitatea depunerilor (ICP Forests, 2010; 2012)				**S-SO_4 (kg/ha/an)**	**N-NO_3 (kg/ha/an)**	**N-NH_4 (kg/ha/an)**
Depuneri foarte reduse				**0-3,3**	**0-1,8**	**0-1,6**
Depuneri reduse				**3,3-4,2**	**1,8-3,2**	**1,6-3,3**
Depuneri mijlocii				**4,2-5,7**	**3,2-4,5**	**3,3-5,1**
Depuneri mari				**5,7-8**	**4,5-6,3**	**5,1-7,5**
Depuneri foarte mari				**8-32**	**6,3-23,5**	**7,5-22,4**

Notă: ST - Stejar penduculat (*Quercus robur*), STR-Stejar roșu (*Quercus rubra*), STP-Stejar pufos (*Quercus pubescens*), GO-Gorun (*Quercus petraea*), FR-Frasin comun (*Fraxinus excelsior*), MO-Molid (*Picea abies*), CI-Cireș (*Cerasus avium*), TE-Tei argintiu (*Tilia tomentosa*), SC-Salcîm (*Robinia pseudacacia*), ULC-Ulm de cîmp (*Ulmus campestris*).

Conform scalei de evaluare a depunerilor de $N\text{-}NO_3^-$ la nivel european, depunerile de $N\text{-}NO_3^-$ înregistrate sub coronamentele studiate s-au încadrat, în majoritatea cazurilor, în categoria *depunerilor reduse* (1,8-3,2 kg/ha/an). *Depuneri foarte reduse* (0-1,8 kg/ha/an) sunt specifice pentru SE 807 (1,5 kg/ha/an), *depuneri mijlocii* (3,2-4,5 kg/ha/an) – SE 1214 și 1315 (4,2-3,6 kg/ha/an), iar *depuneri mar* (4,5-6,3 kg/ha/an) – SE 1117 (5,2 kg/ha/an) (Tab. 3) .

Fluxul ionilor de $N\text{-}NH_4^+$ de sub coronament, în 6 cazuri (SE 304, 405, 206, 612, 201 și 1315), se încadrează în categoria de *depuneri mari* (5,1-7,5 kg/ha/an), în trei cazuri (SE 1214, 1213 și 1117) în categoria *depunerilor foarte mari* (7,5-22,4 kg/ha/an) și un caz, SE 807, *depuneri mijlocii* (3,3-5,1 kg/ha/an) (Tab. 3).

Analiza comparativă a rezultatelor obținute în țara noastră, cu cele determinate în alte regiuni din Europa, raportate pentru suprafețele europene de monitoring intensiv (nivel II), conform "Technical Report of ICP Forests" [38], s-a realizat prin completarea hărților de distribuție a depunerilor sub coronament cu valori originale pentru Republica Moldova, calculate în baza modelelor prezentate de Fischer et al. (2010) [38] și Lorenz et al. (2012) [20].

Depunerile anuale ale ionilor de $S\text{-}SO_4^{2-}$ înregistrate sub coronamentul pădurilor din RM, au fost *mari* și *foarte mari* și sunt comparabile cu cele înregistrate în Europa centrală: Polonia, Germania, Republica Cehă, Austria și România. Conform rapoartelor programului ICP Forests, în suprafețele europene de monitoring intensiv (nivel II), depunerile medii anuale a ionilor de $S\text{-}SO_4^{2-}$, pentru ultimii 5 ani, au constituit: 16,3% - *depuneri foarte reduse*, 9,3% - *depuneri reduse*, 18,6% - *depuneri mijlocii*, 29,3% - d*epuneri mari* și 26,5% - *depuneri foarte mari*. Astfel, depunerile înregistrate în ecosistemele forestiere din RM se încadrează în ultimile două categorii, care sunt cele mai specifice țărilor Europene. Depunerile *mari* și *foarte mari* pot spori riscul degradării pădurilor de foioase prin distrugerea clorofilei și diminuarea procesului de fotosinteză.

Depunerile reduse de $N\text{-}NO_3^-$ înregistrate sub coronamentul arboretelor studiate în RM sunt comparabile cu depunerile înregistrate în România și alte regiuni din centrul și central-estice ale Europei - Slovacia, Austria, Polonia, Lituania. Pentru ultimii 5 ani, aceste depuneri, în pădurile din Europa, au constituit: 12,6% - *depuneri foarte reduse*, 9,7% - *depuneri reduse*, 11,6% - *depuneri mijlocii*, 24,2% - *depuneri mari* și 41,9% - *depuneri foarte mari*. Deci, majoritatea ecosistemelor studiate din RM au înregistrat *depuneri reduse*, categorie căreia îi revine cea mai mică cotă la nivel european, fapt ce exclude riscul provocării unor efecte de poluare și degradare ulterioară a ecosistemelor forestiere.

Fluxul mediu anual al ionilor de $N\text{-}NH_4^+$ înregistrat în ecosistemele forestiere studiate din RM s-a încadrat în *depuneri mari* și *foarte mari*, valori caracteristice depunerilor din Europa centrală și central-estică: Germania, Republica Cehă, Austria, Polonia, Lituania, Slovacia și România. La nivel european, depunerile medii anuale de $N\text{-}NH_4^+$ sub coronamentul arboretelor au avut următoarea ponderea: 13,0% - *depuneri foarte reduse*, 13,0% - *depuneri reduse*, 17,7% - *depuneri mijlocii*, 24,2% - *depuneri mari* și 32,1% - *depuneri*

foarte mari. Ca și în cazul depunerilor de S-SO_4^{2-}, depunerile ionilor de N-NH_4^+, înregistrate în ecosistemele forestiere studiate se încadrează în categoriile cele mai reprezentative pentru ecosistemele forestiere din Europa – *depuneri mari* și *foarte mari.*

Persistența a peste 50% a depunerilor mari și foarte mari de ioni minerali atmosferici cu proprietăți de acidifiere (S-SO_4^{2-}, N-NO_3^-, N-NH_4^+), dar, în special, a depunerilor de N-NO_3^- (66%), determină amenințarea prin efecte de acidifiere și eutrofizare a ecosistemelor forestiere din Europa. Un impact mai sporit asupra biodiversității forestiere, prin efecte de eutrofizare se presupune și pentru zona central-sudică a RM, determinat de depuneri mai mari de azot total, în special, de azot amoniacal.

CONCLUZII

1. Aplicarea lichenoindicaţiei în monitoringul poluării aeruilui din ecosistemele forestiere reprezintă o metodă contemporană neinstrmentală ce oferă date veridice cu cheltuieli minime, conform cerințelor Convenției de la Geneva (1979).

2. Programul european EMEP exprimă doar o tendință a calitatea aerului din ecosistemele forestiere ale RM, comparativ cu metoda bioindicației, deoarece ele sunt destul de dezmembrate şi puține, amplasate prioritar pe relief accidentat, de acea la nivel naţional este recomandată grila 25x25km.

3. Depunerile ionilor minerali (SO_4^{2-}, NO_3^-, NH_4^+) înregistrate sub coronamentul arboretelor studiate din Republica Moldova sunt comparabile cu depunerile înregistrate în România, și alte regiuni din centrul și central-estice ale Europei (Slovacia, Austria, Polonia, Lituania).

4. Asigurarea funcției ecologice a fondului forestier, conform actelor normative naționale, necesită complementarea grupului de cercetare din cadrul Institutului de Cercetări și Amenajări Silvice cu specialiști din domeniul ecologiei, pentru realizarea monitoringului forestier intensiv, obligațiune asumată de Republica Moldova prin aderarea la Convenția de la Geneva (1979).

Referinţe:

1. BEGU, A., LIOGCHII, N., CREŢU, A., 2006. Aspecte privind lichenoflora unor ecosisteme forestiere şi calitatea aerului. *Conferinţa internaţională „Aspecte ştiinţifico-practice a dezvoltării durabile a sectorului forestier din Republica Moldova”,* Chişinău 17-18 noiembrie, ICAS: 150 – 155.
2. BERCEA, V., BATHORY, D., RUSU, A. Schimbări sezoniere în acumularea pigmenţilor acumulatori la *Fagus sylvatica L.* şi *Carpinus betulus L.* sub acţiunea poluanţilor cu SO_2 // Contribuţii Botanice. Cluj - Napoca, 1991-1992. p. 197-202.
3. GARROU, E. e CASTROGIOVANNI, G. 1991. Indicatori biologici.-Piemonte parchi. Numero 42. AnnoVI. № 7. Ottobre. Spedizione in Abbonamento Postale Gr. IV/70%. II°simestre. 30-32.

4. BESSONOVA, V. P. et al. Effects of surplus of trace elements and sulfur dioxide on light reactions of photosynthesis in pea chloroplasts. In: Fiziol. Biochim. Kult. Rast., 1990, 22; 3, p. 220-225.
5. BATHORY, D., BERCEA, V., RUSU, A. Manifestări metabolice sub influenţa factorilor de poluare la nivelul frunzelor de fag şi carpen. În: *Contrib. bot*. Cluj-Napoca, 1991-1992, p.203-208.
6. АНДРЕЕВ, А. Оценка биоразнообразия, мониторинг и экосети. Кишинев: BIOTICA, 2002. 168 с.
7. MĂCIUCĂ, A. Aspecte privind utilizarea bioindicatorilor în supravegherea ecosistemelor. În: Bucovina Forestier. Comentarii. Univ. Ştefan cel Mare. Suceava, 2003, XI, p. 53-58.
8. Convenţia asupra Poluării Atmosferice Transfrontaliere pe Distanţe Lungi (Geneva,1979). Adoptată de Parlamentul RM prin Hot. nr. 399-XII din 16.03.95. Chişinău. 11p.
9. Biraul Național de Statistică al RM, 2019 (www statistica.gov.md/ro accesat 14.09.2023).
10. NYLANDER, W. Les lichens du Jardin de Luxemburg. In: Bul. bot., France. 1865, V. 13, p. 364-372.
11. SERNANDER-DU RIETZ, G. *Parmelia tiliacea*, en kustlav och marin inlandsrelikt i Skandinavien. Svensk Botanisk Tidskrift, 1926. 20:352- 365.
12. ВИКТОРОВ, С. V. Введение в индикационную геоботанику. М., 1962.
13. RICHARDSON, D. H. C., NIEBOER, E. Surface binding and accumulation of metals in lichens // Cellular interactions in symbiosis and parasitism. Columbus: Ohio State University Press, 1980. p. 75- 94.
14. BARTÓK, K. Aplicarea cercetărilor lichenologice în monitoringul poluării. În: Ocrot. nat. şi a med. înconj., 36, № 1, 1992, p. 41-46.
15. EMEP Report 1/2023 (EMEP_Status_Report_1/2023 (pdf 56 MB) https://www.emep.inf. (Accesat 07.09.2023).
16. LORENZ, M. et al. Forest Condition in Europe, 2004 Techn. Rep. UNECE, Geneva, p. 90-91.
17. BEGU, A. Ecobioindicaţia: premise şi aplicare. Chișinău: Digital Hardware, 2011. 166 p.
18. DRAAIJERS, G. The variability of atmospheric deposition to forests: the effects of canopy structure and forest edges. Ph.D. Thesis, University of Utrecht, Netherlands, 1993, 200 p.
19. IACOBAN, C. Evaluarea poluării atmosferice în ecosisteme forestiere din România. Editura Silvica, București, 2009, 243 p.
20. LORENZ, M., BECHER, G. Forest Condition in Europe, 2012 Technical Report of ICP Forests. Work Report of the Thünen Institute for World Forestry 2012/1. Hamburg, 2012, 167 p.

21. ICP Forests. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre, Hamburg, 2010. [Accesat 2021-2023] Disponibil: http://www.icp-forests.org/Manual.htm.
22. BOAGHIE, D. Monitoring ecologic și forestier. Chișinău, 2004, 186 p.
23. KONDRATYUK, S., KHODOSOVTSEV, A., ZELENKO, S. The scond checklist of lichen forming, lichenicolous and allied fungi of Ukraine. Kiev: M.H. Kholodny Institute of Botany, 1998. 183 p.
24. BEGU, A., BREGA, V. The assessment of air quality through lichen indication in forest ecosystems. Studia universitaris Babeş–Bolyai, series Geographia, V. 54 Nr. 3. (2009), p. 95 – 102.
25. BRAUN-BLANQUET, J. *Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde*. (3. Auflage). Springer Verlag, Wien, 1964. 865 p.
26. BEGU, A. Studiul ecobioindicaţiei în Republica Moldova şi implementarea ei în monitoringul calităţii mediului. Autoref. tez. de dr. hab. în biol., Chişinău, 2010, 45 p.
27. BADEA, O. ș.a. Forest condition monitoring in Romania 1990-1996. Office National des Forets, Departement des Recherches Techniques, 1998. 62 p.
28. EMEP: Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe. Manual for sampling and chemical analysis, EMEP/CCC-Report 1/95, Norwegian Institute for Air Research,Norway, 1996. 185 p.
29. ICP Forests. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE ICP Forests Programme Coordinating Centre, Hamburg, 2010. [Accesat 2021-2023] Disponibil: http://www.icp-forests.org/Manual.htm.
30. HARMENS, H., NORRIS, D., MILLS, G. Heavy metalsand nitrogen in mosses: spatial patterns in 2010/2011 and long-term temporal trends in Europe. ICP Vegetation Programme Coordination Centre, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, UK, 2013. 63 p.
31. ICP IM. Manual for Integrated Monitoring. Iternational Coop. Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems, Finnish Environment Institute, 2000. 244 p. [Accesat 2021-2023] Disponibil: http://www.vyh.fi/eng/intcoop/projects/icp_im/manual/index.htm.
32. ATLAS, R. M., SCHOFIELD, E. Respons of the lichens Peltigera aphthosa and Cetraria nivalis and alga Nostoc commune to suplur dioxide, natural gas and crude oil in Artic Alaska / Astarte. 1975. V. 8, № 2. p. 35-38.
33. BURTON, M. A. S. 1986. Biological monitoring of environmental contaminants (plants). MARC Report Number 32. Monitoring and Assessment Research Centre, King's College London, University of London.
34. RICHARDSON, D. H. C., NIEBOER, E. Surface binding and accumulation of

metals in lichens // Cellular interactions in symbiosis and parasitism. Columbus: Ohio State University Press, 1980. p. 75- 94.

35. ТРАСС, Х. Х. Лишайники и загрязненность воздуха // Жизнь растений. В 6 – тит. Гл. ред. чл.-кор. АНСССР, проф. Ал. Федоров. Т. 3. Водоросли. Лишайники. Под ред. проф. М. М. Голербаха. М., “Просфешение”, 1977. с. 431-433.
36. БЛЮМ, О. Б. Сравнительная оценка действия токсических газов на CO_2 - газообмен лишайников // Экологическ. и физиолого-биохим асп. антропотолер. растений. Всес. конф. Тезисы докл I., Таллин, 1986. с. 39-41.
37. МИХАЙЛОВА, И. Н. ВОРОБЕЙЧИК, Е. Л. Эпифитные лихепо-синузии в условиях химического загрязнения: зависимость доза - эффект. - Экология, 1995, № 6, с. 455-460.
38. FISCHER, R., et al. Forest Condition in Europe, 2010 Technical Report of ICP Forests. Work Report of the Institute for World Forestry 2010/1. ICP Forests, Hamburg, 2010, 175pp.