CZU: 504.5:712(478) **https://doi.org/10.59295/sum1(191)2026_36**

LICHENODIVERSITATEA – ECO-BIOINDICATOR AL POLUĂRII ATMOSFERICE CU SO_X DIN UNELE SPAȚII VERZI URBANE ALE REPUBLICII MOLDOVA

Valeriu BRAȘOVEANU,
Ala DONICA,

Universitatea de Stat din Moldova

Scopul acestui studiu constă în evaluarea și aprecierea impactului poluării atmosferice cu SO_x asupra unor ecosisteme urbane din Republica Moldova. Prin analiza datelor naționale ale emisiilor/depunerilor poluanților atmosferici, modelărilor EMEP privind depunerile atmosferice transfrontaliere de SO_x și aplicarea lichenoindicației a fost analizat impactul depunerilor de SO_x asupra spațiilor verzi urbane și asupra stabilității structurale și funcționalității lor. În final, atât metoda lichenoindicației, cât și modelările EMEP, atestă că majoritatea ecosistemelor urbane studiate posedă o stabilitate structurală și o funcționalitate fragilă, iar capacitatea lor de a reduce efectele poluării atmosferice, de conservare a biodiversității și de reglare a serviciilor ecosistemice va fi dependentă de impactul transfrontalier și efectele schimbărilor climatice.

Cuvinte-cheie: *poluare atmosferică, emisii, SOx, lichenoindicație, spații verzi urbane, ecosisteme urbane.*

LICHEN DIVERSITY AS ECO-BIOINDICATORS OF SO_X AIR POLLUTION IN SOME URBAN GREEN SPACES OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

The purpose of this study is to evaluate and assess the impact of SO_x air pollution on some urban ecosystems in the Republic of Moldova. By analyzing national data on emissions/depositions of air pollutants, EMEP modeling on transboundary atmospheric SO_x depositions and applying bioindication (lichenoindication) was analyzed the impact of SO_x depositions on urban green species and on their structural stability and functionality. Finally, both the lichen indication method and EMEP modeling, attest that most of the studied urban ecosystems have a fragile structural stability and functionality, and their capacity to reduce the air pollution effects, conserve biodiversity and regulate ecosystem services will be dependent on the transboundary impact and the climate change effects.

Keywords: *atmospheric pollution, emissions, SOx, lichen indication, urban green spaces, urban ecosystems.*

Introducere

Poluanții atmosferici, pe lângă faptul că afectează sănătatea oamenilor, sunt și unul dintre principalele motive pentru pierderea biodiversității, în special, în zonele urbane. Aceștia reduc capacitatea ecosistemelor de a furniza servicii și perturbă funcționalitatea lor. Conform Agenției Europene de Mediu (2025) [1], la nivel European, deși, emisiile principalilor poluanți atmosferici au scăzut în ultimele decenii, nivelurile de poluare a aerului din Europa nu sunt, încă, sigure. Impactul asupra sănătății oamenilor, asupra funcționalității ecosistemelor naturale, rolul vegetației forestiere în purificarea aerului atmosferic, sunt unele din argumentele privind importanța evaluării impactului poluanților atmosferici în studiile noastre. Cu atât mai mult, emisiile principalilor poluanți în aer (PPM, NO_x, SO_x) proveniți din activitățile extractive europene au scăzut într-un ritm mai lent între 2010 și 2024, comparativ cu deceniile anterioare (1990-2010) și înregistrează o ușoară creștere pentru toți poluanții după anul 2020 [1]. O atenționare este că, în condițiile actuale, impactul poluanților este mai puternic atunci când aceștia acționează în sinergism cu schimbările climatice [25].

De menționat este faptul că gazele acide, cum ar fi SO_x și NO_x, sunt considerate principalii factori implicați în afectarea negativă a coronamentului arborilor și de creștere a acidității solului [26]. În literatură [7] este menționat că efectele sulfului se manifestă prin tamponarea cationilor bazici nutritivi și prin acidifiere. În același timp, prin acidifierea solului este favorizată și accelerată mobilitatea metalelor grele, acumulate în sol datorită depunerilor atmosferice. În cele din urmă, în baza angajamentelor impuse de Convenția

LRTAP (Geneva, 1979) și de legislația Uniunii Europene (UE), a început reglementarea reducerii emisiilor de sulf. Ca urmare, emisiile SO_x, actualmente, în multe țări puternic industrializate sunt considerabil mai mici decât acum 30 de ani [24, 18, 11].

Aprecierea impactului ionilor poluanți atmosferici asupra ecosistemelor forestiere reprezintă unul din principalele obiective de cercetare științifică fundamentale la nivel european [24, 18, 11]. Astfel, pe lângă analiza și monitorizarea directă a emisiilor/depunerilor poluanților atmosferici, pe lângă modelările digitale privind răspândirea poluanților, o atenție deosebită este atrasă și utilizării biomonitoringului. Bioindicatorii oferă informații atât despre cantitatea și calitatea de poluanți, cât și despre efectul poluanților asupra stării acestora [2, 3, 4].

Astfel, pentru monitorizarea poluării atmosferice a ecosistemelor forestiere, un șir de state au pus în aplicare largă metoda ecobioindicației. Această metodă se bazează pe studiul unor specii și comunități de organisme, sensibile la schimbarea condițiilor de mediu, sau cu particularități cumulative, îndeosebi a poluanților chimici. Cei mai cunoscuți bioindicatori ai calității aerului sunt lichenii, utilizați cu succes în monitoringul ecologic din multe state ale lumii [3, 4, 5, 6, 9]. Lichenii sunt extrem de sensibili la condițiile de stres ale mediului, în special, privind poluarea atmosferică, eutrofizarea și schimbările climatice [2, 6]. Un alt aspect menționat în literatură [2, 6] este că lichenii reacționează relativ rapid la deteriorarea calității aerului și pot recoloniza mediile urbane și industriale ca o consecință a îmbunătățirii condițiilor, în decurs de câțiva ani, așa cum s-a înregistrat în multe părți ale Europei.

Importanța lichenilor în domeniul monitoringului de mediu, este redat și prin faptul utilizării lor în programe internaționale și europene de monitoring a poluării/calității aerului. În cadrul Convenției de la Geneva (1979), lichenii au fost propuși pentru definirea/revizuirea nivelurilor și încărcărilor critice ale poluanților atmosferici pentru diferite tipuri de ecosisteme sensibile [19]. Programul internațional de supraveghere pe scară largă a efectelor poluării aerului asupra pădurii – ICP Forests, trasează unul dintre obiectivele de bază – evaluarea lichenilor, prin monitorizarea diversității specifice și a modificărilor acestora în scopul facilitării supravegherii și evaluării stării pădurilor în Europa [21].

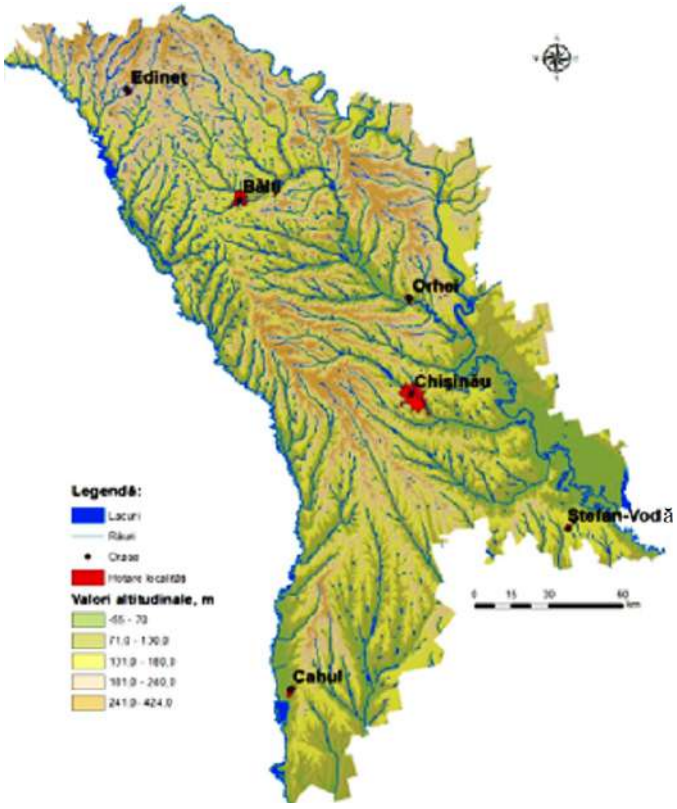


Figura 1. Schema amplasării obiectelo de studii

În Republica Moldova, ample cercetări, privind rolului bioindicator al lichenilor, sensibilitatea acestora la poluarea mediului aerian cu SO_2, NO_x și MG sunt redate prin lucrările dr. hab. Begu A., începând cu anul 2001 [3, 4, 5, 6, 9]. Ținând cont de similitudinea condițiilor geografice şi rezultatele testărilor proprii, prin transplantare şi studii în teren, a elaborat Gradații de Evaluare a Calității Aerului la poluarea aerului cu SO_2 în ecosistemele forestiere şi urbane, bazate pe abundența/acoperirea reală a indicatorului, gradul de toxitoleranță și coraportul dintre diferite specii bioindicatoare și a demonstrat, experimental, faptul că la baza construirii teoriei generale a bioindicației, trebuie să fie pus principiul sistemic (holistic).

Reeșind din obiectivele cercetărilor noastre din cadrul Proiectului 25.80012.7007.24SE *"Fundamente pentru orașe verzi, sănătoase și reziliente - Evaluarea complexă, protecția și promovarea sustenabilității biodiversității spațiilor verzi urbane - sanogene în contextul modificărilor de mediu, inclusiv a schimbărilor climatice"*, în aceste studii ne vom axa pe evaluarea și interpretarea datelor privind poluarea atmosferică cu SO_x și corelarea cu lichenodiversitatea unor spații verzi urbane din Republica Moldova. Prin aplicarea lichenoindicației vom putea concluziona asupra rezilienței ecosistemelor urbane către impactul antropic. De asemenea, vom putea

aprecia valența ecologică și toxitoleranța speciilor edificatoare de arbori din spațiile verzi ale Republicii Moldova, a capacității de reducere a poluării atmosferice, de conservare a biodiversității și de reglare a serviciilor ecosistemice în sporirea efectelor sanogene pentru locuitorii orașelor.

Metode şi materiale aplicate

Pentru a atinge obiectivele trasate au fost studiate spații verzi urbane din 6 urbe (Fig. 1) amplasate în trei zone ale țării: regiunea de nord (mun. Edineț – Grădina Publică „V. Alecsandri” și mun. Bălți – Parcul “M. Volontir” și Parcul „Victoria”); regiunea de centru (mun. Orhei – Parcul „Ivanos” și „Grădina Publică Orhei”; mun. Chișinău – Parcul „Alunelul”) și regiunea de sud-vest/sud-est (mun. Cahul – Parcul „Grigore Vieru” și Parcul „Veteranilor”; or. Ștefan Vodă – parcul „Kizil”, Parcul „Mihai Eminescu” și Pădurea-Parc „Ion Palancean”). Obiectele de studiu sunt caracterizate printr-o compoziție dendrologică dominată de speciile de arțar (*Acer spp*.), tei (*Tilia spp*.), frasin (*Fraxinus excelsior*), ulm (*Ulmus spp*.), salcie (*Salix spp.*), pinul negru (*Pinus nigra*), pinul de pădure (*Pinus sylvestris*), salcâm (*Robinia pseudoacacia*), jugastru (*Acer campestre*), stejar (*Quercus spp*.).

Analiza și evaluarea impactului poluării atmosferice este efectuată conform metodologiilor recomandate de programele internaționale: ICP Forests (2010) [27]; ICP IM (2000) [15]; EMEP (2001) [12, 22, 23, 13]. Conform modelărilor EMEP/MSC-W (2025) [23], este analizată și utilizată informația științifică privind dinamica emisiilor și depunerilor de poluanți din Republica Moldova, analiza cantitativă și calitativă a noxelor transfrontaliere de SO_x. La fel, este utilizată informația privind sursele locale de poluare, fixe și mobile, care sunt studiate în baza rapoartelor anuale ale Agenției de Mediu [20], Serviciului Hidrometeorologic de Stat [8], Biroul Național de Statistică al Republicii Moldova [14].

Aplicarea lichenoindicației în monitoringul de mediu a fost efectuată prin inventarierea diversității speciilor de licheni epifiți din spațiile verzi urbane cercetate. A fost determinat gradul de acoperire a substratului de către licheni – în baza scalei abundenţei-dominanţei Braun – Blanquet și cu aprecierea vizuală aproximativă a % de acoperire a tulpinii de către fiecare specie în parte [16, 17]. Determinarea apartenenţei sistematice, a fost efectuată în condiţii de laborator, începând cu analiza vizuală, apoi cu ajutorul lupei МБС-10 şi ulterior, a microscopului Mikmed-5, utilizând determinatoarele speciale [28, 29, 30, 31]. Aplicând metoda lichenoindicaţiei, care ține cont de abundenţa şi toxitoleranţa speciilor indicatoare față de SO_2 (Tab. 1), a fost evaluată calitatea aerului din ecosistemele forestiere studiate, conform Scalei de Gradaţii de Evaluare a Calităţii Aerului (GECA) propuse de Begu (2009) pentru teritoriul Republicii Moldova (Tab. 2).

Tabelul 1. Toxitoleranţa lichenilor în funcţie de concentrația SO_2 în aerul atmosferic (scală adaptată de Begu A., 2009, la condițiile Republicii Moldova)

Toxitoleranța	Particularitățile Zonei	Concentrația SO_2 în aer, mg/m3 aer	Prezența lichenilor cu diferit grad de sensibilitate la poluarea cu SO_2
I	nepoluată	< 0,05	foarte sensibili
II	poluare ușoară	0,05-0,1	sensibili
III	poluare moderată	0,1-0,2	cu rezistență moderată
IV	poluată (de luptă)	0,2-0,3	cu rezistență sporită
V	poluare puternică	0,3-0,5	cu rezistență mare
VI	poluare critică	> 0,5	lipsă completă a lichenilor; „deșert lichenic”

Tabelul 2. Gradaţii de Evaluare a Calităţii Aerului (GECA) în baza abundenţei speciilor de licheni cu diferit grad al toxitoleranţei (Begu A., 2011) [6]

Calitatea aerului	Conţinutul SO_2 în aer, mg/m^3	Abundenţa speciilor cu diferit grad de toxitoleranţă, % din suprafaţa substratului	Culoare convenţională
1. Curat	<0,05	I > 10 sau I < 10 şi II > 75	albastru
2. Slab poluat	0,05-0,1	I – 0 -10 sau II > 50	verde

3. Moderat poluat	0,1-0,2	II - 10-50 sau III > 50	violet
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

Stabilirea dependențelor dintre datele lichenoindicației și rețeaua EMEP (50x50 km^2), conform cadranelor în care sunt cuprinse spațiile verzi urbane, au oferit informații cu mult mai precise şi mai concrete pentru fiecare ecosistem în parte sau pentru grupe de ecosisteme compact amplasate, decât privite la nivel general, pe țară.

Rezultate obţinute şi discuţii

Reieșind din scopul cercetărilor noastre, în acest studiu ne-am axat pe evaluarea și analiza emisiilor și a depunerilor atmosferice de SO_x și aprecierea corelației acestui poluant cu lichenodiversitatea unor spații verzi urbane. Actualitatea acestor studii este argumentată și prin faptul că, conform BNS (2025) [14], tendințele de urbanizare sunt în creștere pentru RM (în 2024, 46,4% din populația țării locuia în orașe, comparativ cu 39,4% în 2014), tendințe care induc presiuni asupra calității mediului urban, inclusiv asupra funcțiilor ecologice și sociale ale spațiilor verzi.

Presiuni și amenințări asupra calității mediului urban pot fi reflectate și prin impactul principalilor poluanți atmosferici (NO_x, SO_x, NH_3, $PM_{2.5}$ și PM_{10}). De altfel, poluanții respectivi sunt monitorizați în cadrul Convenţiei de la Geneva privind poluarea atmosferică transfrontalieră pe distanțe lungi (1979) (CLRTAP, 1979), care are ca scop protejarea mediului uman împotriva poluării atmosferice, reducerea și prevenirea treptată a poluării atmosferice, inclusiv a poluării atmosferice transfrontaliere pe distanțe lungi [12, 13]. Conform rapoartelor EMEP (2025) [23], Republica Moldova nu este o excepție, asemenea situației europene, pe parcursul anilor 1990-2023 s-a înregistrat o descreștere a emisiilor de poluanți atmosferici (1990-2000), cu o stagnare sau mică fluctuație pentru perioada 2000-2020 și o creștere ușoară începând cu anul 2020 (Fig. 2). De asemenea, conform Informative Inventory Report of the Republic of Moldova, 1990-2022 (2024) și EMEP/MSC-W (2025), emisiile de SOx s-au micșorat în 2023 comparativ cu 1990 cu peste 97%, și constituiau în anul 2023 – 6 kt [13, 22].

Republica Moldova s-a dovedit a fi un importator net de SO_x, datorită poziției sale geografice, supusă unei poluări transfrontaliere permanente a aerului atmosferic, care în ultimile 2 decenii devine principala sursă de poluare cu compuși ai sulfului. Teritoriul mic al țării și lipsa reliefului muntos, care ar stopa sau redirecționa masele de aer cu poluanți, sunt principalii factori geografici, datorită cărora depunerile transfrontaliere nu înregistrează diferențe mari pe întreg teritoriul țării.

Pe lânga analiza emisiilor și a depunerilor atmosferice de SO_x, în studiile noaste este realizată și evaluarea rezilienței ecosistemelor urbane către impactul antropic prin aplicarea lichenoindicației. Astfel, inventarierea diversității speciilor de licheni epifiți din spațiile verzi urbane cercetate, a particularităților bioindicatoare ale lor - indicarea toxitoleranței speciilor de licheni, oferă informații privind echilibru ecologic al spațiilor verzi urbane și capacitatea lor de autoreglare, în mod natural, a capacităților de reducere a poluării. Cu atât mai mult, lichenii sunt recomandați/utilizați în programele internaționale de monitorizare, precum EMEP, ICP Forests, ICP Vegetation din cadrul Convenției LRTAP (Geneva, 1979), DIRECTIVA 2008/50/CE A privind calitatea aerului înconjurător si un aer mai curat pentru Europa [18, 27, 10].

Prin cercetări în teren și laborator, au fost identificate 18 specii de licheni, cu predominarea speciilor epifite și foliacee – specii recomandate în activitățile de monitorizare, în scopul cuantificării efectelor depunerilor atmosferice asupra ecosistemelor forestiere. De asemenea, multe dintre speciile de licheni analizate aparțin la 2-3 grupe ecologice, fapt benefic în monitorizarea calității mediului în diferite tipuri de ecosisteme. Corologia lichenilor cercetați, indică o abundență sporită a speciilor comune pentru teritoriul *țării noastre (13),* apreciate în activitatea de monitoring ecologic, dar și prezența a 5 specii rare pentru Republica Moldova, ca: *Parmelia quercina, Pertusaria globulifera, Ramalina farinacea, Parmeliopsis ambigua, Candelariella xanthostigma* (specii care merită a fi studiate, în special, pentru stabilirea habitatelor preferabile, cu scopul conservării acestora).

În cele 6 orașe studiate a fost inventariată diversitatea speciilor de licheni epifiți, precum și determinate caracteristicile lor bioindicatoare (Tab. 3), pentru a evalua rezistența ecosistemelor urbane la impactul activităților antropice. Conform Gradațiilor de Evaluare a Calității Aerului, bazate pe abundența speciilor de licheni, cu diferit grad de toxitoleranță [6], s-a stabilit că în 9 parcuri cercetate (Parcul „V. Alecsandri” din orașul Edineț; Parcul „M. Volontir” din orașul Bălți; Parcul „Ivanos” și „Grădina Publică Orhei” din orașul Orhei; Parcul „Alunelul” din orașul Chișinău; Parcul „Gr. Vieru” și Parcul „Veteranilor” din orașul Cahul; Parcul „M. Eminescu” și Parcul „Kizil” din orașul Ștefan Vodă), calitatea aerului este considerată *moderat poluată* (conținutul de SO_2 în aer este de 0,1-0,2 mg/m^3). La extreme opuse sunt amplasate Parcul „Victoria” din orașul Bălți, unde aerul este *poluat* (SO_2 în aer 0,2-0,3 mg/m^3), și Pădurea-Parc „I. Palancean” din orașul Ștefan Vodă, cu aer *slab poluat* (SO_2 în aer 0,05-0,1 mg/m^3). Speciile de licheni cu cea mai mare abundență pe trunchiurile copacilor au fost cele cu rezistență moderată la SO_2 (gradul de toxitoleranță II sau III), cum ar fi: *Parmelia sulcata, P.caperata, P.acetabulum, Pertusaria globulifera, Physcia stellaris, Ph. caesia, Parmeliopsis ambigua, Candelariella xanthostigma* etc.

Conform Gradațiilor de Evaluare a Calității Aerului (Begu, 2011), abundența speciilor de licheni cercetați în parcul „V. Alecsandri” or. Edineț ne indică că calitatea aerului este considerată *moderat poluată* (conținutul de SO_2 în aer este de 0,1-0,2 mg/m^3). *Poluarea moderată* este determinată, în mare parte, de depunerile transfrontaliere. Dacă analizăm rapoartele EMEP/MSC-W (2025) [23], observăm că pentru cadranul EMEP, în care este inclus or. Edineț, depunerile totale de sulf oxidat (SO_x) constituie, pentru anul 2023, 100-200 mgS/m^2, dintre care peste 90% le revin depunerilor transfrontaliere (Fig. 3). Astfel, în cazul depunerilor de SO_x, impactul surselor locale va fi minor, sub 10%, iar starea de sănătate a biodiversității spațiilor verzi urbane din or. Edineț va fi determinată de cantitatea și calitatea depunerilor transfrontaliere. Impactul minor al surselor locale de poluare din r. Edineț este stabilit și în baza datelor BNS (2025), conform cărora în ultimii 5 ani evaluați (2017-2021), în r. Edineț emisiile de SO_2 de la sursele fixe de poluare înregistrează o stabilitate cu mici fluctuații (Fig. 2), astfel pentru anul 2021 emisiile de SO_2 au constituit 3 t.

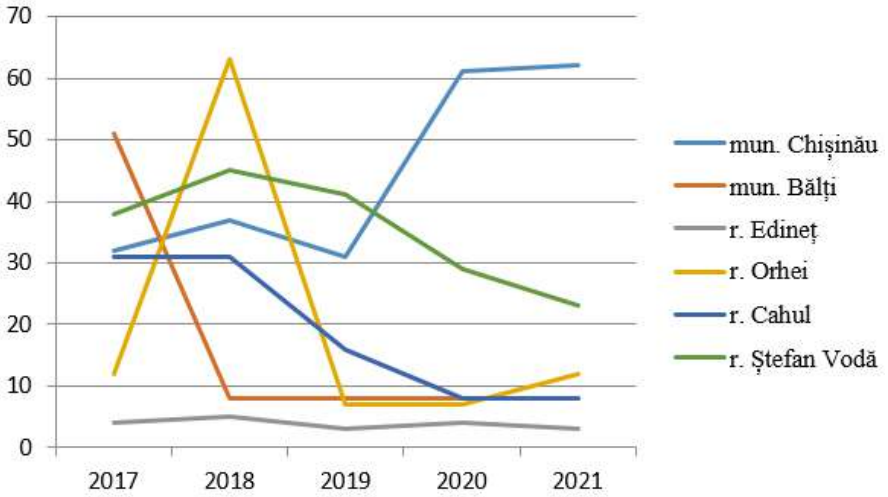


Figura 2. Emisiile de SO2 în aerul atmosferic de la sursele staționare (tone), BNS (2025) [14]

Pentru mun. Bălți, cu o diversitate mai mare a activităților economice, influențată și de un flux mai sporit al unităților de transport auto, calitatea aerului din parcul „M. Volontir”, după GECA, este *moderat poluat* (conținutul de SO_2 în aer este de 0,1-0,2 mg/m^3) și *poluat* (SO_2 în aer 0,2-0,3 mg/m^3) - în parcul „Victoria”; deși, impactul transfrontalier asupra biodiversității spațiilor verzi din mun. Bălți, conform EMEP/MSC-W (2025) [23], practic este esemănător cu or. Edineț, unde depunerile totale de SO_x constituie, pentru anul 2023, 100-200 mgS/m^2, dintre care 80-90% le revin depunerilor transfrontaliere (Fig. 3). În cazul mun. Bălți se observă intensificarea impactului emisiilor locale, cu cantități mai mari de emisii pe municipiu de SO_2 – 8 t în anul 2021 (Fig. 2). Totuși, starea de sănătate a biodiversității spațiilor verzi urbane din mun. Bălți va fi determinată, în mare parte, de cantitatea și calitatea depunerilor transfrontaliere.

Tabelul 3. Lichenodiversitatea unor spații verzi urbane – partcularități biologice și eco-bioindicatoare (2025-2026)

№	Gradul de toxitoleranță față de SO_2 atmosferic (Begu A., 2011)	Specii studiate	Parcul V. Alecsandri, or. Edineț	Parcul M. Volontir, mun. Bălți	Parcul Ivanos, or. Orhei	Grădina Publică, or. Orhei	Parcul Alunelul, mun. Chișinău	Parcul Gr. Vieru, or. Cahul	Parcul Veteranilor, or. Cahul	Parcul M.Eminescu, or. Ștefan Vodă	Parcul Kâzâl, or. Ștefan Vodă	Pădurea-Parc I. Palancean, or. Ștefan Vodă	Structura corpului	Grupa ecologică	Corologia, Rep. Moldova	Frecvența
1	II	Bacidia luteola						5		10			crustos	epifleoid	comun	3
2		Evernia prunastri								3		5	fruticulos	epifleoid	comun	2
3		Parmelia sulcata	10		10		3			3		3	foliculos	epifleoid, epixilic, epilitic	comun	6
4		Parmelia quercina										3	foliculos	epifleoid, epixilic	foarte rar	1
5		Parmelia caperata	20				3			3			foliculos	epifleoid	comun	3
6		Pertusaria globulifera	40		50		10			40	30	70	crustos	epifleoid	rar	6
7		Ramalina farinacea			3								fruticulos	epifleoid, epixilic	rar	1
		№ sp./ abund.max	3/40		3/50		3/10	1/5		4/40	1/30	4/70				
8	III	Physcia stellaris	50		50	10	3	3					foliculos	epifleoid, epilitic	comun	5
9		Physcia caesia						5	10	10			foliculos	epilitic, epifleoid, epixilic	comun	3
10		Parmelia acetabulum							45	3			foliculos	epifleoid, epixilic	comun	2
11		Parmeliopsis ambigua	80	90		70	90	90	70				foliculos	epifleoid, epixilic	rar	6
12		Candelariella xanthostigma	30										crustos-lepros	epifleoid, epixilic	rar	1
13		Lecidea glomerulosa					5			3			crustos	epifleoid, epixilic	comun	2
		№ sp./ abund.max	3/80	1/90	1/50	2/70	3/90	3/90	3/70	2/10						

14	IV	Candelariella vitelina								15		10	crustos-areolat	epifleoid, epixilic	comun	2
15		Physcia tenella	50							3			foliculos	epifleoid, epilitic	comun	2
16		Physcia adscendens	80	70	80	90	70	90	70	80	70	30	foliculos	epifleoid, epilitic	comun	11
17		Physconia enteroxantha	40				3			3			foliculos	epifleoid	comun	3
		№ sp./ abund.max	3/80	1/70	1/80	1/90	2/70	1/90	1/70	4/80	1/70	3/30				
18	V	Xanthoria parietina	80	3	40	30	10	50	30	70	80	80	foliculos	epifleoid, epixilic, epilitic	comun	11
		№ sp./ abund.max	1/80	1/3	1/40	1/30	1/10	1/50	1/30	1/70	1/80	1/80				
Calitatea aerului, conform GECA, Begu, 2011			moderat poluat (III)	moderat poluat (III)	poluat (IV)	moderat poluat (III)	moderat poluat (III)	moderat poluat (III)	moderat poluat (III)	moderat poluat (III)	moderat poluat (III)	slab poluat (II)				

În orașul Orhei au fost efectuate cercetări în Parcul „Ivanos" și „Grădina Publică Orhei", unde în baza lichenoindicației calitatea aerului este considerată *moderat poluată* (conținutul de SO_2 în aer este de 0,1-0,2 mg/m^3). Cu toate acestea, pentru r. Orhei, conform datelor BNS (2025) [14], în ultimi 5 ani evaluați (2017-2021), se înregistrează o creștere fluctuantă a emisiilor de noxe de la sursele staționare de poluare (Fig. 2). Valorile sunt mai mari comparativ cu mun. Bălți și r. Edineț și constituia, în anul 2021, 12 t pentru SO_2. Depunerile totale de SO_x, pentru zona or. Orhei, constituie 200-350 mgS/m^2, astfel se identifică o presiune transfrontalieră mai puternică asupra biodiversității spațiilor verzi din or. Orhei, comparativ cu zona de nord a Republicii Moldova. Ponderea transfrontalieră constituie 80-90% (Fig. 3).

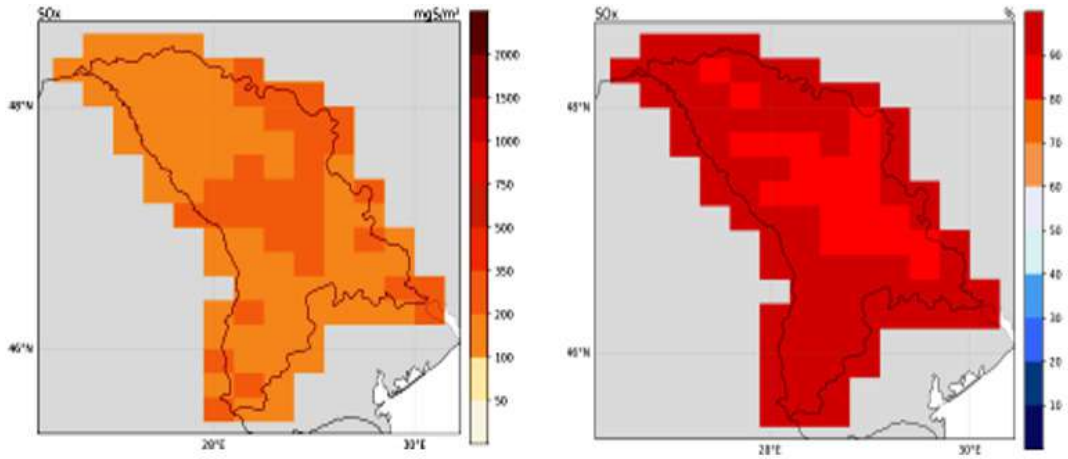


Figura 3. Depunerile totale de sulf oxidat (SOx), mg(S)/m2 și ponderea depunerilor transfrontaliere de SOx, conform EMEP/MSC-W (2025) [23]

Municipiul Chișinău, comparativ cu toate urbele studiate, înregistrează cele mai mari emisii de la sursele locale de poluare. Conform datelor BNS (2025) [14], în ultimi 5 ani evaluați (2017-2021), în mun. Chișinău,

emisiile de SO_2, de la sursele fixe de poluare înregistrează o creștere, care este mai accentuată începând cu anul 2019 (Fig. 2). Astfel, pentru anul 2021 emisiile de SO_2 au constituit 617 t. Cu toate acestea, conform GECA, s-a stabilit că în Parcul „Alunelul" calitatea aerului este considerată *moderat poluată* (conținutul de SO_2 în aer este de 0,1-0,2 mg/m^3). Calitatea aerului, relative bună, din acest parc poate fi determinată de amplasarea în partea de nord a orașului – amonte de sursele locale de poluare, favorizată și de direcția dominanta a vântului (N-NV). Impactul transfrontalier în zona EMEP, unde este amplasat mun. Chișinău, este identic cu caracteristicile zonei de centru a țării. Conform rapoartelor EMEP/MSC-W (2025) [23], depunerile totale de sulf oxidat (SO_x) constituiau, pentru anul 2023, 200-350 mgS/m^2, dintre care 80-90% le reveneau depunerilor transfrontaliere (Fig. 3). Chiar dacă impactul transfrontalier este practic același pentru toate urbele studiate, cantitățile mari de emisii locale din mun. Chișinău pot avea efecte mai pronunțate asupra biodiversității zonelor verzi ale orașului, comparativ cu alte zone verzi studiate.

În or. Ștefan Vodă lichenodiversitatea a fost studiată în trei spații verzi urbane. Conform GECA, s-a stabilit că în Parcul „M. Eminescu" și Parcul „Kizil" calitatea aerului este considerată *moderat poluată* (conținutul de SO_2 în aer este de 0,1-0,2 mg/m^3), iar în Pădurea-Parc „I. Palancean" – aer *slab poluat* (SO_2 în aer 0,05-0,1 mg/m^3). Calitatea aerului, relativ bună, poate fi explicată și prin dinamica negativă a emisiilor locale de SO_2 (Fig. 2), unde conform datelor BNS (2025) [14], în anul 2021, în r. Ștefan Vodă, au constituit 23 t. Emisiile locale din această zonă pot fi determinate de emisiile de SO_x de la centrala termoelectrică Dnestrovsk de la Cuciurgan, amplasată în apropiere de zona de studiu. De asemenea, amplasarea raionului Ștefan Vodă la hotar cu Ucraina este factorul fizico-geografic ce determină căderea acestei zone de studiu sub un impact transfrontalier mai pronunțat. Conform rapoartelor EMEP/MSC-W (2025) [23], depunerile totale de sulf oxidat (SO_x) constituiau, pentru anul 2023, 100-200 mgS/m^2, dintre care peste 90% le reveneau depunerilor transfrontaliere (Fig. 3).

Lichenodiversitatea studiată în orașul Cahul, Parcul „Gr. Vieru" și Parcul „Veteranilor", ca și în majoritatea cazurilor, atestă o calitate *moderat poluată* a aerului (conținutul de SO_2 în aer este de 0,1-0,2 mg/m^3). De asemenea, se înregistrează o scădere a emisiilor de SO_2 de la sursele fixe de poluare (Fig. 3). Conform rapoartelor EMEP/MSC-W (2025) [23], depunerile totale de sulf oxidat (SO_x) constituiau, pentru anul 2023, 200-350 mgS/m^2, dintre care peste 90% le reveneau depunerilor transfrontaliere (Fig. 3). Astfel, obiectele de studiu amplasate la hotarele țării, spre deosebire de celelalte zone studiate, se înregistrează un impact transfrontalier mai sporit.

În final, putem deduce că emisiile de SO_2 de la sursele locale fixe pot induce unele efecte negative asupra biodiversității ecosistemelor urbane Chișinău și Bălți. Dar totuși, acestea sunt infime în comparație cu poluarea transfrontalieră, care constituie 80-90 % pentru toate regiunile Republicii Moldova. Astfel, reziliența ecosistemelor urbane către impactul antropic, capacitatea spațiilor verzi de reducere a poluării atmosferice, de conservare a biodiversității și de reglare a serviciilor ecosistemice va fi dependentă de impactul transfrontalier și efectele schimbărilor climatice.

Concluzii

- Lichenodiversitatea spațiilor verzi urbane studiate, în dependența de abundența şi toxitoleranța speciilor indicatoare de licheni față de SO_2, indică faptul că calitatea aerului în majoritatea spațiilor verzi cercetate, este considerată moderat poluată ceea ce imprimă o stabilitate structurală și o funcționalitate fragilă a infrastructurii verzi urbane.

- Concordanța legităților obținute, privind poluarea atmosferică cu SO_x, obținute prin metoda lichenoindicației (aer moderat poluat; conținutul SO_2 în aer este de 0,1-0,2 mg/m^3), și prin modelările EMEP privind depunerile de SO_x (conținut de 100-350 mgS/m^2), confirmă fiabilitatea evaluării prin bioindicație și oferă o imagine coerentă a impactului poluării atmosferice asupra ecosistemelor urbane.

Bibliografie:

1. *Air quality status report 2025.* European Environment Agency (EEA). ISBN: 978-92-9480-710-6 - ISSN: 1977-8449 - doi: 10.2800/9895153. Disponibil: https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/air-quality-status-report-2025 [Accesat: 21.02.2025].

2. ASTA, J., et al. *European guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress.* 2002. Disponibil: https://www.researchgate.net/publication/303255153_European_guideline_for_mapping_lichen_diversity_as_an_indicator_of_environmental_stress[Accesat: 10.01.2025].
3. BEGU, A., LIOGCHII, N., DONICA, A. Aspecte privind realizarea monitoringului biologic pasiv şi activ în ecosistemele forestiere şi urbane. *Mediul Ambiant*. Chişinău., 2007, nr. 5(35), p. 1-4.
4. BEGU, A., BREGA, V. The Assessment of Air quality Through Lichen Indication in Forest Ecosystems. În: *Studia Universitatis Babeş-Bolyai. Series Geographia*, vol. 54 (3), Cluj-Napoca, p. 95-102.
5. BEGU, A. *Studiul ecobioindicației în Republica Moldova și implimentarea ei în monitoringul calității mediului*/ Autoref. tezei de dr., hab., Chișinău, 2010. 45 p.
6. BEGU, A. *Ecobioindicaţia: premise şi aplicare*. Ch.:,,Digital Hardware” SRL, 2011. 166 p. ISBN 978-9975-4022-3-1.
7. BRÜMMER, G., HERMS, U. Influence of Soil Reaction and Organic Matter on The Solubility of Heavy Metals in Soils. In: Ulrich, B., Pankrath, J. (eds) *Effects of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystem*s. Springer, Dordrecht. 1983. https://doi.org/10.1007/978-94-009-6983-4_18. p. 233-243.
8. *Buletine lunare privind calitatea mediului.* SHS 2018. Disponibil: https://www.meteo.md/index.php/mediu/c/buletine-curente/[Accesat 13.06.2025].
9. CREŢU, A., BEGU, A. Evaluarea calităţii aerului atmosferic din spaţiile verzi ale municipiului Chişinău în baza ecobioindicaţiei. *Mediul Ambiant*. Chişinău, 2005, nr. 3 (21), p 1-4.
10. *DIRECTIVA 2008/50/CE A PARLAMENTULUI EUROPEAN S, I A CONSILIULUI din 21 mai 2008 privind calitatea aerului înconjurător s,i un aer mai curat pentru Europa.* Disponibil: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050 [Accesat: 19.02.2026].
11. 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.
12. EMEP: *MSC-W modelled air concentrations and depositions*. EMEP/MSC-W Disponibil: http://emep.int/mscw/index_mscw.html [Accesat 2025].
13. EMEP: *Centre on Emission Inventories and Projections.* Disponibil: https://www.ceip.at/ [Accesat 01-02.2026].
14. Biroul Național de Statistică, 2025. *Emisiile de substante poluante in aerul atmosferic de la sursele stationare ale agentilor economici pe ingrediente, in profil teritorial, 2017-2021.* Disponibil: https://statbank.statistica.md/pxweb/pxweb/ro/60%20Statistica%20regionala/60%20Statistica%20regionala__01%20MED/MED030600reg.px/?rxid=b2ff27d7-0b96-43c9-934b-42e1a2a9a774 [Accesat 19.02.2026].
15. ICP IM. *Manual for Integrated Monitoring. Iternat. Coop. Prog. on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems*, Finnish Environment Institute, 2000. 244 p. Disponibil: http://www.vyh.fi/eng/intcoop/projects/icp_im/manual/index.htm [Accesat: 05.08.2025].
16. IVAN, D. *Fitocenologie şi vegetaţia Republicii Socialiste România.* Bucureşti: Didac. şi pedag., 1979. 332 p.
17. IVAN, D., DONIŢĂ, N. *Metode practice pentru studiul ecologic şi geografic al vegetaţiei*. Bucureşti, 1975. 250 p.
18. LORENZ, M., et al. *Forest Condition in Europe, 2012 Technical Report of ICP Forests.* Work Report of the Thünen Institute for World Forestry 2012/1. ICP Forests, Hamburg, 2012. 167 p. ISSN 1020-587X.
19. NIMIS, P., SCHEIDEGGER, C., WOLSELEY, P. *Monitoring with lichens: monitoring lichens.* Kluwer Academic published in association with the NATO Scientific Affairs Division, Dordrecht, London. 2002. DOI: 10.1639/0007-2745(2002)105[0501:]2.0.CO;2. ISBN: 978-1-4020-0430-8.
20. Agenția de Mediu 2025. *Rapoarte privind starea mediulu*i. Disponibil: https://am.gov.md/ro/content/rapoarte-privind-starea-mediului [Accesat 10.02.2026].
21. STOFER, S. et al., *Assessment of Epiphytic Lichen diversity.* Manual Part VII.2. UN/ECE ICP Forests Programme, Hamburg. ISBN: 978-3-926301-03-1. 14 p. Disponibil: http://www.icp-forests.org/Manual.htm [Accesat: 14.10.2025].
22. EMEP/CEIP, *The Emission Database*. Disponibil: http://www.ceip.at/webdab-emission-database/ [Accesat 2025].
23. *Transboundary air pollution by sulphur, nitrogen, ozone and particulate matter in 2023.* The Republic of Moldova. 23 p. ISSN 1890-0003. Disponibil: https://emep.int/publ/reports/2025/Country_Reports/report_MD.pdf [Accesat 05.02.2026].

24. *Transboundary particulate matter, photo-oxidants, acidifying and eutrophying components.* EMEP Status Report 2/2025. 366 p. ISSN 1504-6192 (on-line). Disponibil: *https://msc-east.org/wp-content/uploads/2025/09/EMEP_Status_Report_2_2025.pdf* [Accesat: 15.02.2025].
25. TYLER, G. The impact of heavy metal pollution on forest: A case study of Gusum, Sweden. In: *Ambio*, 1984, no. 13, p. 18-39.
26. ULRICH, B. *Acute und chronische Wirkungen von Luftverunreinigungen auf unsere Walder.* Rehein Ruhr Druck. Sander Dortmund, 1983. p. 85-92.
27. UNECE ICP. *Forests Programme Co-ordinating Centre. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*. Hamburg, 2010. Disponibil: http://www.icp-forests.org/Manual.htm [Accesat 21.08.2025].
28. ГАРИБОВА, Л., и др. *Водоросли, лишайники и мохообразные СССР.* «Мысль». М, 1978. 365 с.
29. ГОЛУБКОВА, Н. *Определитель лишайников средней полосы Европейской части СССР.* Изд-во «Наука» М. – Л., 1966. 256 с.
30. ОКСНЕР, А. *Флора лишайників Украіни.* Київ, 1970, Т. 2.
31. СИМОНОВ, Г. *Эпифитная флора лишайников влажных и свежих дубрав Молдавии. // Флора и геоботаника:* Ботан. исл. Кишинев: Штиинца, 1990, Вып. 7 с. 113-121.

N. B.: *Studiul a fost efectuat în cadrul proiectelor: - 25.80012.7007.24SE „Fundamente pentru oraşe verzi, sănătoase şi reziliente - Evaluarea complexă, protecţia şi promovarea sustenabilităţii biodiversităţii spaţiilor verzi urbane - sanogene în contextul modificărilor de mediu, inclusiv a schimbărilor climatice"; - 010801„Sporirea securităţii ecologice şi rezilienţei geo-ecosistemelor la modificările actuale de mediu".*

Date despre autori:
Valeriu BRAŞOVEANU, doctor în ştiinţe biologice, cercetător ştiinţific coordonator, Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova.
ORCID: 0009-0006-0488-8096
E-mail: *valeriubrasoveanu@yahoo.com*

Ala DONICA, doctor în ştiinţe biologice, cercetător ştiinţific coordonator, Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova.
ORCID: 0000-0003-3308-8048
E-mail: aladonica1980@gmail.com

Prezentat: 02.02.2026
Recenzat: 05.03.2026
Acceptat spre publicare: 20.05.2026