

CZU: 631.8

[https://doi.org/10.59295/sum1\(181\)2025_22](https://doi.org/10.59295/sum1(181)2025_22)

FUNCȚIILE SANO-PEDOREGENERATIVE ȘI CLIMATO-ADAPTIVE ALE SISTEMULUI DE SUBSTANȚE ORGANICE AL CERNOZIOMURILOR

Gheorghe JIGĂU, Sergiu DOBROJAN, Galina DOBROJAN, Tatiana BUNDUC,

Universitatea de Stat din Moldova

Funcțiile sano-pedoregenerative și climato-adaptive ale diverselor grupe de substanțe organice din sol sunt examinate prin prisma funcționalității sistemului de substanțe organice, acesta fiind perceput ca continuum heterogen integral, interdeterminat și interdependent al substanțelor organice labile și humice inerte integrate în matricea minerală care asigură desfășurarea continuă a circuitului carbonului organic și elementelor biofile în cadrul eco/agro-ecosistemelor.

Interacțiunea echilibrată interdependentă și interdeterminată a substanțelor organice labile și celor inerte asigură stabilitatea funcțională a sistemului de substanțe organice.

Managementul funcționalității sistemului de substanțe organice și, respectiv al funcțiilor sano-pedoregenerative și climato-adaptive, presupune asigurarea continuității circuitului carbonului organic și al elementelor nutritive prin sustenabilizarea resurselor bioenergetice și a proceselor de humificare și de stabilizare a carbonului organic în sol.

Cuvinte-cheie: *sistem de substanțe organice, funcții ecosistemice, funcții sano-pedoregenerative.*

HEALTH-PEDOREGENERATIVE AND CLIMATE-ADAPTIVE FUNCTIONS OF THE ORGANIC SUBSTANCES SYSTEM OF CHERNOZIOMS

The health-pedoregenerative and climate-adaptive functions of various groups of organic substances in the soil are examined through the prism of the functionality of the organic substances system, which is perceived as an integral, interdetermined and interdependent heterogeneous continuum of labile organic substances and inert humic substances integrated into the mineral matrix that ensures the continuous development of the organic carbon and biophilic elements cycle within eco/agroecosystems.

The balanced interdependent and interdetermined interaction of labile and inert organic substances ensures the functional stability of the organic substances system.

The management of the functionality of the organic substances system and, respectively, of the health-pedoregenerative and climate-adaptive functions, involves ensuring the continuity of the organic carbon and nutrient cycle by sustaining bioenergetic resources and the processes of humification and stabilization of organic carbon in the soil.

Keywords: *organic substance system, ecosystem functions, health-pedoregenerative functions.*

Introducere

Provocările globale (schimbările climatice, degradarea vertiginoasă a sănătății și fertilității solurilor în special a celor biologic productive, extinderea spațiilor afectate de aridizare-deșertificare implică concluzia că agricultura intensivă sub orice formă nu a asigurat unul din obiectivele de bază reproducerea largită a funcțiilor ecosistemice, în special a celor sano-pedoregenerative și climato-adaptive.

În contextul funcțiilor specificate solul este definit sistem dinamic politazic, biorutinar, paraviu, ierarhic structurat, polinivellar, polifuncțional înzestrat cu funcții și servicii ecosistemice. Aceasta a implicat o abordare nouă, pedofuncțională, a solurilor cu plasarea accentelor pe sustenabilizarea proceselor tipogenetice cu regenerarea resurselor de sol și funcțiilor ecosistemice ale acestora.

Aceasta implică necesitatea identificării sensului și intensității proceselor pedogenetice cernoziomice în condiții de dereglare, progresiv unidirecționată, a echilibrului dintre factorii pedogenetici și învelișul de sol în condiții de stabilitate climatică și degradare accelerată a învelișului de sol.

În acest context scopul prezentelor cercetări presupune identificarea cadrului conceptual-metodologic de asigurare a funcționării regenerative unidirecționate a solurilor în condiții de perturbare a echilibrului dintre factorii pedogenetici și învelișul de sol în condiții de instabilitate climatică și degradare accelerată a învelișului de sol.

Metode și materiale aplicate

În cadrul prezentelor cercetări pornim de la o serie de provocări cu care se confruntă resursele de sol din spațiul dintre Prut și Nistru în contextul managementului funcțiilor sano-regenerative și climato-adaptive cărora le revine un rol decisiv în conservarea și reproducerea procesului pedogenetic cernoziomic.

În acest context cercetările noastre au arătat că în cadrul actului trend al condițiilor biopedoclimatice regionale acțiunea intercalată a schimbărilor climatice și agrogenezei au cauzat o serie de modificări pedofuncționale cu impact decisiv asupra funcțiilor ecosistemice în special a celor sano-pedoregenerative și climato-adaptive ale cernoziomurilor arabile cu impact decisiv asupra sensului și intensității proceselor tipogenetice cernoziomice [1]. Efectele specificate sunt intensificate de vulnerabilitatea sporită a spațiului dintre Prut și Nistru la schimbările climatice deoarece, ca urmare a suprafeței mici a spațiilor acvatice și a gradului sporit de dezmembrare-drenare erozională, încălzirea, caracteristică actualului trend al condițiilor climatice, se realizează accelerat și este cauzată de supraîncălzirea suprafeței solurilor aceasta fiind favorizată de mai mulți factori:

1. Reducerea gradului de acoperire cu vegetație și, respectiv, de umbrire a suprafeței solului;
2. Distrugerea, totală, pe mai mult de 80% din suprafața spațiului dintre Prut și Nistru a stratului de detrit humifer care în cernoziomuri îndeplinește funcția de strat protector și reglator al regimului termic;
3. Sporirea albedoului și reducerea căldurii specifice a solurilor ca urmare a dehumusierii, destructurării și deshidratării acestora;
4. Reducerea semnificativă a umidității relative a aerului aceasta prezentând valori caracteristice pentru spațiile aride.

Ca urmare a sporit frecvența secetelor, în special a celor bi-și triennale, gradul de severitate a acestora cu tendința de sporire a duratei.

Fenomenele specificate s-au răsfrânt asupra regimului hidrologic al solurilor, bilanțului apei și regimului hidric.

În profilul hidrologic al cernoziomurilor arabile pe parcursul perioadei de vegetație clar se conturează un strat secundar aridizat cu trăsături caracteristice stratului „fiziologic mort”. Ca urmare a destructurării s-a redus ascensiunea capilară. A scăzut drastic capacitatea pentru apă dar și cea de conservare a apei în sol. În același timp, s-a stabilit că modificările specificate poartă caracter rezidual-cumulativ, iar ca urmare climatul cernoziomurilor arabile nu mai poate fi considerat semi-arid-semiumid [2].

În aceste condiții managementul resurselor de sol se confruntă cu o serie de provocări:

1. Solurile nu mai corespund condițiilor climatice (fenomen necunoscut teoriei pedogenezei);
2. Solurile, ca urmare a reducerii capacității de adaptare, nu mai fac față actualelor condiții climatice;
3. Solurile nu mai corespund tehnologiilor practicate;
4. Nici una din tehnologiile actualmente practicate nu asigură reproducerea capacității de adaptare la actualul trend al condițiilor climatice.

Actualul trend al evoluției cernoziomurilor arabile din regiune presupune revederea paradigmei managementului carbonului organic în sensul atenuării impactului schimbărilor climatice asupra proceselor tipogenetice cernoziomice bazat pe sustenabilizarea circuitului carbonului prin plasarea accentelor pe sechestrarea și stabilizarea acestuia în sol.

Aceasta presupune identificarea și evaluarea funcțiilor diverselor fracțiuni de substanțe organice în funcționarea sistemului de substanțe organice al solului, realizarea funcțiilor de reproducere a sănătății solului și de adaptare a acestuia la schimbările climatice.

Prin esența sa noua paradigmă presupune elaborarea cadrului teoretic-conceptual și aplicativ de management sustenabil, a procesului de formare și de acumulare a humusului și celui de depozitare-stabilizare a carbonului organic în sol.

În acest sens, cercetările noastre anterioare au arătat că procesul de formare-acumulare a humusului este responsabil de regenerarea proceselor tipogenetice cernoziomice responsabile de reproducerea lărgită a sănătății și fertilității solului. În acest context sanatatea și fertilitatea solului sunt categorii biofizice interdependente și interdeterminate.

Prin această prismă de idei sanatatea solurilor presupune stări fizice, chimice, fizico-chimice, biologice care asigură condiții optimale pentru realizarea capacității acestuia de a funcționa ca sistem paraviu în cadrul ecosistemului și de ași îndeplini funcțiile esențiale, îndeosebi a celor de a contribui la producția vegetală, la asigurarea calității apelor și a aerului, precum și a sănătății omului.

În acest context, fertilitatea solului presupune capacitatea solului de a asigura stări fizice, chimice, fizico-chimice, și biologice optimale pentru realizarea capacității acestuia de a funcționa în cadrul ecosistemului și de ași îndeplini funcțiile esențiale îndeosebi a celor de a contribui la producția vegetală, la asigurarea calității apelor și a aerului, precum și a sănătății omului.

În atare abordare considerăm, că reproducerea sănătății solului asigură condiții optimale pentru reproducerea fertilității solului și invers fertilitatea solului asigură producerea de resurse bioenergetice necesare pentru reproducerea sănătății solului.

Reproducerea unidirecționată interdependentă și interdeterminată a sănătății și fertilității solului conduce, în timp la regenerarea unidirecționată a proceselor tipogenetice cernoziomice materializate în restabilirea funcționalității sistemului pedofuncțional [sistem bioenergetic]↔[sistem agregatic] responsabil de sechestrarea-stabilizarea carbonului organic în agregatele structurale și reproducerea unidirecționată funcțiilor ecosistemice sano-pedoregenerative și climato-adaptive [3].

În acest sens, managementul carbonului organic și asigurarea reproducerii unidirecționată a funcțiilor ecosistemice sano-pedoregenerative și climato-adaptive presupune asigurarea unui cadru pedofuncțional optimal pentru sechestrarea și stabilizarea carbonului organic.

Conform cercetărilor mai recente sechestrarea și stabilizarea carbonului organic este determinată de un complex de diverse procese care se realizează concomitent în soluri, un rol deosebit revenind proceselor de încadrare a acestuia în componența agregatelor structurale care fizic protejează substanțele organice. În acest context, cercetările au scos în evidență o dependență direct proporțională între conținutul de humus și gradul de structurare a solurilor, gradul de stabilizare a acestuia fiind în sporire pe măsura reducerii dimensiunilor agregatelor [4].

Prin această prismă de idei cercetările noastre au arătat că procesul de sechestrare-stabilizare a carbonului organic în sol presupune realizarea a patru funcții de bază care asigură circuitul biogeochimic al acestuia [5]:

1. funcția de bază a procesului de humificare-presupune furnizarea substanțelor humice nou-formate care asigură asocierea particulelor minerale și organice cu formarea de produse organo-minerale cu formarea materiei pedostructurale.

2. funcția de bază a humusului-presupune asigurarea proceselor de asociere a materiei pedostructurale în agregate structurale cu diverse dimensiuni:

3. funcția de bază a procesului de agregare-structurare-presupune totalitatea proceselor fizice (gonflare-contrație; deshidratare, compactare) de stabilizare a agregatelor manifestată în stabilitatea mecanică și hidrică (hidrostabilitate).

4. funcția de bază a structurii agregatice-presupune asigurarea cadrului pedofuncțional responsabil de desfășurarea proceselor biochimice de formare a humusului, reînnoirea materiei pedostructurale și desfășurarea proceselor de agregare-structurare manifestate în continuitatea unidirecționată a proceselor de sechestrare-stabilizare a carbonului organic în agregatele structurale.

În contextul funcțiilor menționate putem concluda că procesele de sechestrare și stabilizare a carbonului organic în cernoziomuri și cele de agregare-structurare sunt interdependente și interdeterminate.

Utilizarea intensivă a solurilor în condiții de deficit cumulativ al resurselor bioenergetice și de presiuni tehnno-antropice sporite, caracteristice sistemelor agricole practicate în regiune, a condus la perturbarea sistemului pedofuncțional [sistem bioenergetic]↔[sistem agregatic], responsabil de reproducerea lărgită a proceselor tipogenetice, cernoziomice și, respectiv, a funcțiilor sano-pedoregenerative și climato-adaptive.

Cauză nemijlocită a degradării fizice a cernoziomurilor arabile sunt transformările negative în procesul de humificare și cel de agregare-structurare ca urmare a realizării acestora la un nivel energetic mai redus și modificarea localizării materiei organice indusă de „agregarea-structurarea” agrogenă cu formarea de „agregate agrogene” puțin stabile predispune la dezagregare cu reducerea gradului de protecție fizică a materiei organice.

Degradarea alcătuirii structural-agregative, care se manifestă în reducerea stabilității agregatelor > 3 mm este însoțită de reducerea mecanismelor de stabilizare a materiei organice și conduce la intensificarea proceselor de degradare fizică a solurilor.

Impactul intercalat al modificărilor negative a materiei organice a solului, în calitatea acesteia de factor biologic de modelare a componentei abiotice materializată în alcătuirea structural-agregativă, determină degradarea funcțiilor ecosistemice a solurilor responsabile de capacitatea sano-pedoregenerativă și cea climato-adaptivă.

În baza celor expuse considerăm că materiei organice din sol și componentelor acesteia îi revine rolul decisiv în organizarea structural-funcțională a solurilor responsabile de funcțiile sano-pedoregenerative și climato-adaptive [6].

Aceasta implică necesitatea evaluării rolului componentelor materiei organice în realizarea funcțiilor ecosistemice, în special a celor sano-pedoregenerative și climato-adaptive.

În acest context în cadrul prezentelor cercetări ne-am propus o analiză sintetică a cercetărilor proprii dar și ale altor autori, accentele fiind plasate pe dezvoltarea cadrului conceptual cu privire la sistemul de substanțe organice al solurilor și funcțiile sano-pedoregenerative și climato-adaptive ale acestuia.

Rezultate obținute și discuții

Prin prisma conceptului ierarhiei componentelor și însușirilor solurilor însușiri de bază (genetice) a solurilor sunt alcătuirea granulometrică, în calitate de însușire care caracterizează materia inertă și substanța organică în calitate de „agent activ” cu acțiune transformațional-modelatoare asupra materiei inerte [7].

În acest context transformarea-modelarea materiei inerte este genetic determinată și se realizează sub acțiunea proceselor induse de transformarea biologică a substanțelor organice iar rezultatele acestei interacțiuni se materializează în rolul polifuncțional al materiei organice materializat în multiple funcții responsabile de capacitatea sano-pedoregenerativă și climato-adaptivă (Tab. 1, 2). În acest sens conform unor abordări mai recente sistemul de substanțe organice al solurilor reprezintă; 1) un continuum heterogen, polifuncțional de biomolecule parțial sau totalmente transformate care se deosebesc prin dimensiuni, masă, alcătuire chimică [8; 9]; 2) subsistem al solului format din substanțe organice și compuși de origine vegetală, microbială, animală care au parcurs etapele humificațională și nehumificațională de stabilizare [10].

Tabelul 1. Funcțiile sano-pedoregenerative ale sistemului de substanțe organice al cernoziomurilor arabil

Funcțiile	Efecte-sano-pedoregenerative
Agregarea-structurarea masei solului	Furnizarea de substanțe humice cu acțiune coagulațional-agregativă cu formarea de agregate structurale cernoziomice bulgăroase 3-7 mm, grăunțoase (1-3 mm) și fine (1-0,25 mm), responsabile de procesele de reproducere a sănătății și fertilității solului materializată în regenerarea procesului cernoziomic
Reacții organominerale și stabilizarea carbonului organic	Formarea de produse organominerale, deshidratarea-condensarea substanțelor humice, formarea de agregate hidrostabile și stabilizarea carbonului organic în agregatele structurale
Susținerea proceselor pedogenetice cernoziomice în stratul pedogenetic activ	Formarea de bariere capilare hidro-acumulative care asigură interceptarea curenților capilar-ascendente de apă și reducerea pierderilor inutile de apă la evaporare. Reducerea potențialului capilar-adsorbțional în stratul superior al profilului solului ca urmare a reducerii volumului porilor capilari și formarea stratului de apă capilar-suspendată în segmentul subiacent
Substrat pentru microbiomul solului	Sursă de carbon și energie pentru microbiomul solului și realizarea proceselor pedogenetice
Rezerve de elemente biofile	Sursă de elemente biofile pentru fitocenoză și biota solului (zoocenoză, pedocenoză)

Furnizarea de substanțe biologice active	Producerea continuă de fermenți nativi și substanțe fiziologic active pentru biota solului
Furnizor de fitonutrienți organo-minerali	Producerea de substanțe humice azotoase mobile cu pondere mare în nutriția plantelor, zoocenozei și pedocenozei
Susținerea circuitului activ al carbonului și elementelor nutritive	Reîncadrarea carbonului, micro-și macroelementelor biofile în circuitul biogeochimic al substanțelor în condiții de agroecosisteme
Catalizarea procesului pedogenetic cernoziomic în orizont de tranziție „B”	Furnizarea de substanțe humice mobile purtătoare ale „codului genetic cernoziomic” acumularea cărora în orizontul de tranziție „B” asigură condiții biohidrotermice și bioaerohidrice pentru extinderea procesului cernoziomic în acesta
Reproducerea sistemului cernoziomic de substanțe organice	Menținerea, în timp a „zonei humificațional-productivă” în orizontul „Am” și dezvoltarea „zonei transformațional-acumulativă” în orizontul de tranziție „B” materializată în profilul humifer
Activitate antipatogenă	Substrat nutritiv pentru organismele antagoniste cu efecte antipatogene.
Capacitatea de autoepurare	Cosubstrat pentru organisme destructoare mineralizatoare a poluanților organici
Imobilizator al poluanților	Sorbant-detoxicant al substanțelor toxice pentru biota solului și plantelor
Schimb cationic	Factor al schimbului de cationi și molecule cu complexul adsorbitiv al solului [CAS] inclusiv a cationilor metalelor grele
Stabilizarea reacției solului (pH)	Inductor al capacității de tamponare a solului, stabilizării reacției solului și reducerii riscului poluării cu substanțe nocive
Formarea de compuși complecși	Furnizor de substanțe humice cu formarea de compuși complecși cu metalele grele
Stabilizator al ecosistemelor terestre	Factor de stabilitate, flexibilitate și reziliență a sistemului „sol-fitocenoză-zoocenoză-pedocenoză-fitocenoză-sol”
Biotop pentru geobionți	Spațiu vital pentru biota solului și factor determinant al biodiversității acestuia
Acumulativă	Sursă de nutriție, energie, informație pentru funcționarea sistemului ecologic „sol-fitocenoză-zoocenoză-pedocenoză-sol” cu reducerea necesarului în îngrășăminte minerale
Migrațională	Formarea de compuși organo-complecși mobili predispuși migrării pe profilul solului cu curențele descendente de apă
Sano-protectoare	Imobilizarea radionuclizilor, metalelor grele, compușilor organici nocivi, descompunerea pesticidelor

Tabelul 2. Funcțiile climato-adaptive ale sistemului de substanțe organice al cernoziomurilor arabile

Funcțiile	Efecte climato-adaptive
Hidrofizice	
Asigurarea și optimizarea cadrului hidrofizic	Optimizarea însușirilor hidrofizice (capacitatea totală, de camp pentru apă și de conservare a acesteia), sporirea permeabilității pentru apă și conductivității hidraulice, asigurarea stabilității diapazonului optimal pentru apă utilă (DOAU) și diapazonului pentru apa utilă (DAU)
Autoafânarea și autoorganizarea masei solului	Reducerea masei volumetrice și asigurarea stabilității acesteia; dezvoltarea mezo-și macroporilor; favorizarea proceselor de transformare-sinteza biochimică, precum și a proceselor de migrare și diferențiere a substanțelor. Optimizarea regimurilor hidrotermic, aerohidric și de oxido-reducere

Reglator al densității aparente	Aasigurarea unui regim favorabil al densității aparente și al spațiului poros rezistent la secetă și cantități deficitare de precipitații atmosferice
Reglator al regimului termic al solurilor și aerului atmosferic aferent	Determină însușirile termice de bază: capacitatea de absorbție a căldurii, albedoul, căldura specifică, capacitatea termică, conductivitatea termică, regimul temperaturilor, schimbul de substanțe și energie cu aerul atmosferic
Reglarea regimului hidrotermic	Determină regimul hidrotermic al solului și adaptarea funcționalității sistemului „sol-fitocenoză-zoocenoză-pedocenoză-sol” la condițiile climatice, ciclicitatea și trendul acestora
Asigură stabilitatea regimului hidric	Asigură stabilitatea dinamicii și circuitului apei în sol materializată în asigurarea rezervelor de apă productive
Hidrologică	Acumularea, stocarea, conservarea apei în sol materializată în profilul hidrologic al solului și consumarea rațională a acesteia
Reglarea fluxurilor de gaze cu efect de seră	Producător și acceptor/sechestrator de gaze cu efect de seră
Reglarea stabilității funcționale	Asigurarea stabilității relative a funcțiilor hidrologice prin compensarea-regenerarea anuală a sistemului de substanțe organice prin fluxuri de materie organică proaspătă
Carbon-sechestrațional-stabilizatoare	Sechestrarea carbonului organic și stabilizarea acestuia în agregatele pentru perioade de 10^2 - 10^3 ani

În cercetările noastre sistemul de substanțe organice al solurilor este examinat prin prisma unui continuum intergrat heterogen interdeterminat și interdependent al tuturor formelor de materie organică de origine biogenă (vegetală, radiculară, microbială, exudați radicular) și biomoleculelor de origine nehumică și a substanțelor humice adsorbite și integrate în conglomeratul (matricea) de particule minerale ale solului care asigură continuitatea circuitului carbonului organic în cadrul ecosistemelor [fig 1].

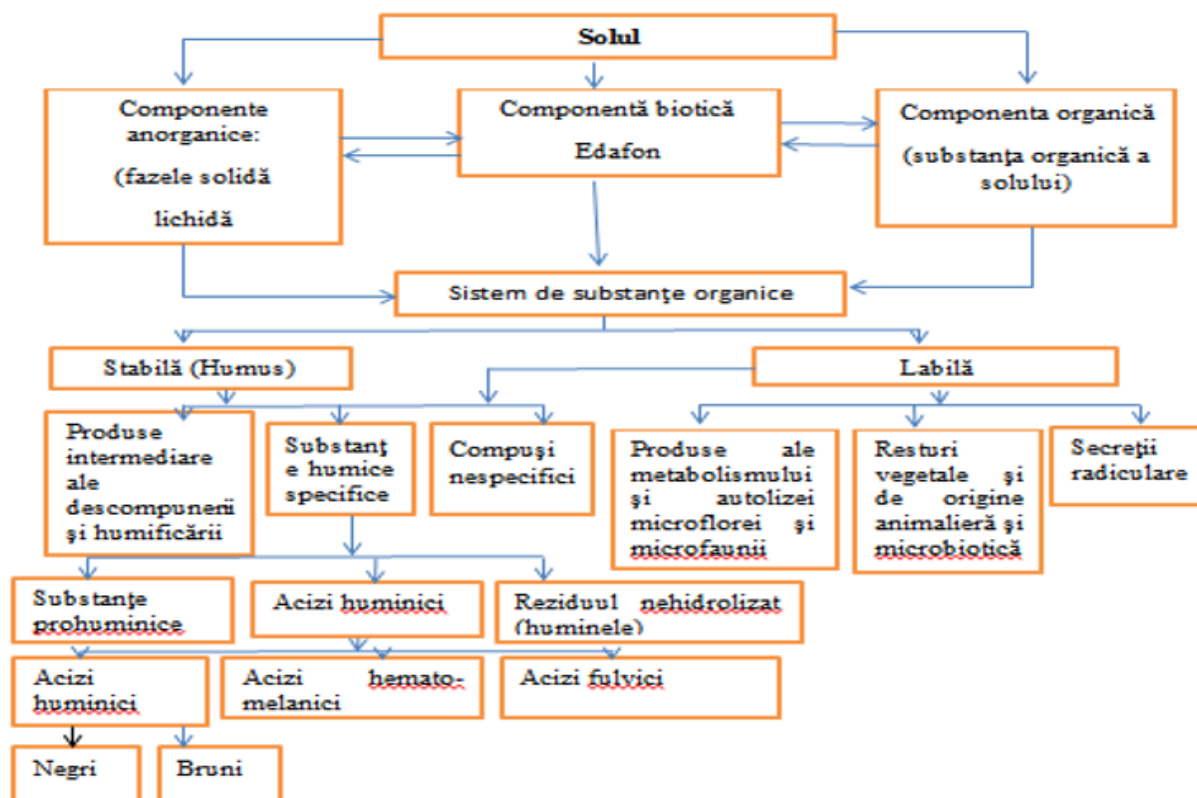


Figura 1. Alcătuirea sistemului de substanțe organice al solului

Prin această prismă de idei sistemul de substanțe organice al solului presupune două fracțiuni de substanțe de origine pedogenetică interacționate, interdependente și interdeterminate dar cu alcătuire, însușiri și funcții diferite: a) substanțe organice labile; substanțe organice stabile (inerte).

În cercetările H. II. Масьютенко fracțiunea de substanțe organice labile este divizată în 3 grupe: substanțe humice; biomasă microbiană; materie organică nehumificată; iar interacțiunile dintre fracțiunile labilă și inertă de substanțe organice se realizează conform relațiilor prezentate în [fig 2] [11].

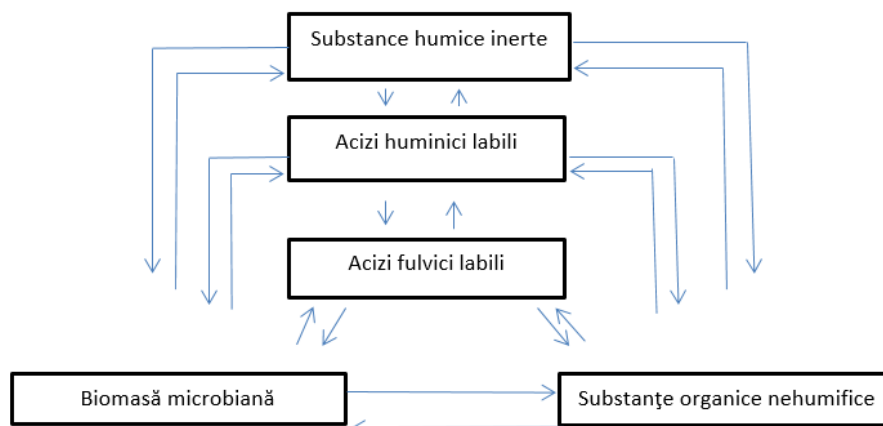


Figura 2. Model conceptual de interacțiune a fracțiilor de substanțe în componența sistemului de substanțe organice al solului [11] (adaptare Gh. Jigău)

Componentele sistemului de substanțe organice al solului se deosebesc, substanțial, prin relațiile cu partea minerală a solului, reziliență la biodegradare, intensitatea și durată procesului de descompunere.

Prin prisma conceptului „resursele solului” în conformitate cu cele prezentate în fig. 2. fracțiunea de substanțe organice labile reprezintă un sistem bioenergetic complex heterogen cu alcătuire determinată, în exclusivitate, de condițiile de landșaft responsabilă de cantitatea și calitatea (alcătuirii) fracțiunii de substanțe humice inerte.

În acest context, menționăm că cercetările mai recente cu privire la sistemul de substanțe organice au arătat că fracțiunea labilă de substanțe organice îndeplinește funcția de substrat energetic de bază supus descompunerii materializată în funcția de sistem tampon energoplastic care protejează substanțele humice inerte responsabile de organizarea structural-funcțională a ecosistemului solului prin reducerea proceselor de mineralizare microbiană a acestora în condiții când se modifică (sporesc) necesitățile biotei heterotrofe în energie și metaboliți ai schimbului plastic (fig 3) [12]. În același timp, fracțiunea labilă de substanțe organice este considerată un indicator cu grad înalt de sensibilitate a sănătății solului utilizat în scopul aprecierii modului de management a resurselor de sol, în special pentru monitorizarea sensului și intensității fluxurilor de carbon, și argumentarea deciziilor de gestionare a crizelor și provocărilor globale și regionale determinate de degradarea solurilor și în special a funcțiilor sano-pedoregenerative și climato-adaptive.

Substanțele humice inerte caracterizează trăsăturile pedogenetice ale solului și scot în evidență procesele pedogenetice ale respectivului tip de pedogeneză. Acestea sunt reprezentate, în primul rând, prin acizii huminici maturi, humații de calciu, acizii hematamelanici, humine și, parțial, o serie de substanțe asociate procesului de humificare (compuși nespecifici). Ultimii au fost incluși în această grupă de substanțe organice datorită gradului avansat de stabilitate chimică și biologică, iar cantitatea lor este în funcție de tipul de pedogeneză.

Substanțele din această grupă se formează pe parcursul unei perioade mari de timp și se păstrează în sol sute și mii de ani, iar însușirile lor determină regimurile pedogenetice și pedofuncționale. Aceasta implică concluzia ca fracțiunea de substanțe humice inerte asigură dezvoltarea intercalată a funcțiilor sano-pedoregenerative și celor climato-adaptive materializate în susținerea reproducerii unidirecțională interdependentă și interdeterminată a structurii agregatice (indice integrator sano-pedoregenerativ) și parametrilor hidrofizici (indici integratori climato-adaptivi).

Interacțiunea echilibrată interdependentă și interdeterminată a fracțiunii labile de substanțe organice și celei inerte asigură stabilitatea funcționării sistemului de substanțe organice și reproducerea funcțiilor sano-

pedoregenerative și climato-adaptive.

În acest sens fiecare componentă a sistemului de substanțe organice are un rol determinat în alcătuirea și funcționarea sistemului de substanțe organice. Componenta inertă-stabilă (humusul) asigură stabilitatea „carcasei” sistemului, organizarea spațială a proceselor care se realizează în materia organică, formează baza spațială a heterogenității însușirilor și localizării proceselor [11].

O trăsătură specifică a componentei inertă-stabilă a sistemului de substanțe organice a solului este gradul foarte redus de predispunere la gestionare și reproducere.

Substanțele humice labile fiind componenta cu cel mai mare grad de predispunere transformărilor, ca urmare a gradului înalt de îmbogățire cu azot, reprezintă cea mai apropiată sursă de energie acumulată în substanțele humice și de elemente nutritive pentru plante și microorganisme, este mineralizată, astfel protejând fracțiunea inertă-stabilă de procesele de destrucție profundă. În același timp, acestea activ reacționează la impactul din exterior, sunt mai ușor predispușe restabilirii și gestionării.

Materia organică nehumificată în relațiile cu substanțele humice din sol îndeplinește două funcții de bază: 1) protectoare-fiind o sursă ușor accesibilă de substanțe nutritive și energie pentru organismele vii din sol și protejează substanțele humice de la impactul distructiv-mineralizator; 2) humuso-reproductivă este sursă de materie organică încadrată în humificare cu reproducerea resurselor de humus.

Substanțele organice nemumificate reprezintă o componentă a sistemului de substanțe organice ușor gestionabilă. O condiție obligatorie pentru realizarea funcțiilor menționate este fluxul anual de materie organică proaspătă în sol în cantități optime pentru condițiile concrete de landșaft și conținuturi de carbon și azot $C:N=32\pm 4$.

Reducerea fluxurilor de substanțe și energie precum și intensificarea proceselor de mineralizare în sol conduc la reducerea rezervelor de humus, modificarea raportului dintre humusul inert și cel labil, dintre humus și materia organică nehumificată, dintre substanțele humice labile și materia organică nehumificată, iar ca urmare cauzează perturbarea stabilității și funcționalității sistemului de substanțe organice și, respectiv, a funcțiilor sano-pedoregenerative și climato-adaptive.

În acest sens s-a stabilit că reducerea cantității de materie organică nehumificată în soluri sporește conținutul de substanțe humice labile ceea ce contribuie protejării, în oarecare măsură, a humusului inert de la impactul proceselor de destrucție profundă (fig. 3).

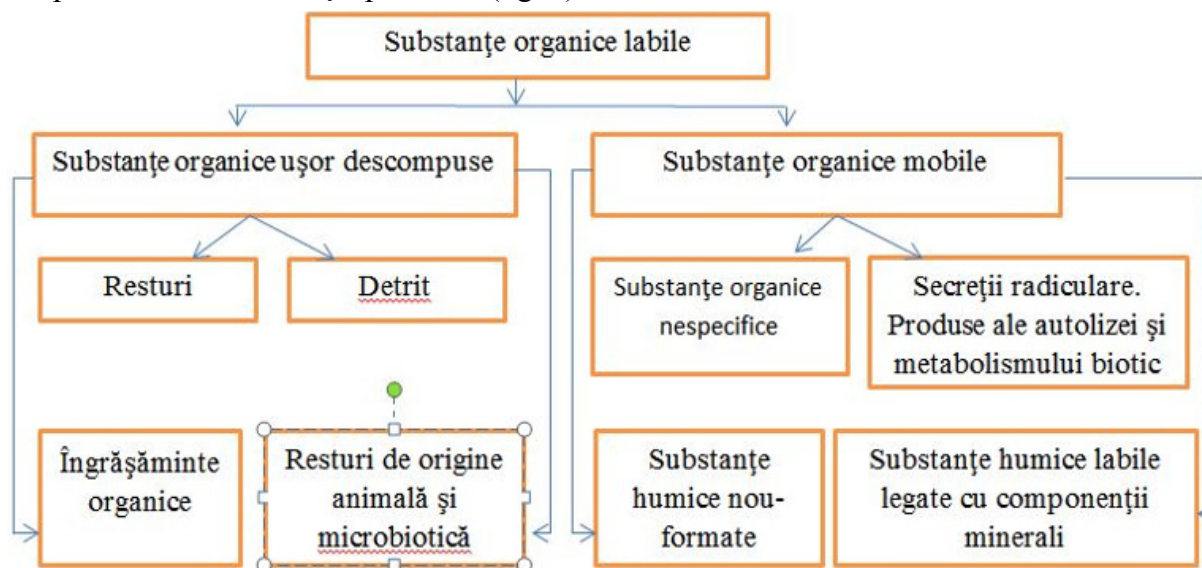


Figura 3. Alcătuirea fracțiunii de substanțe organice labile [11]

Totuși, în atare condiții se atestă o tendință de reducere ușoară a cantității de humus inert în sol și ponderii lui în componența sistemului de substanțe organice.

În cazul când conținutul de materie organică nehumificată sporește în sol are loc reducerea de facto a conținutului de substanțe humice labile iar ponderea lor în componența sistemului de substanțe organice se

reduce. Ca urmare se atestă o tendință de sporire a conținutului de humus inert și de reducere a conținutului procentual al acestei fracțiuni (ca urmare a sporirii conținutului total de materie organică în componența sistemului de substanțe organice determinată de sporirea conținutului de materie organică nehumificată). Prin urmare materia organică nehumificată îndeplinește funcția de sistem-tampon între impactul din exterior și substanțele humice dar și o condiție necesară pentru restabilirea alcătuirii echilibrate corespunzătoare condițiilor concrete de landșaft și a funcționalității sistemului de substanțe organice al solului după perturbări și asigură autoreglarea relativă a acestuia (fig. 3) [11].

În contextul celor expuse clar se conturează concluzia că anume fracțiunii de substanțe organice labile îi revine rolul decisiv în funcționarea sistemului de substanțe organice a solului și realizării intercalate a funcțiilor sano-pedoregenerative și climato-adaptive (fig. 4).

Prin această prismă de idei managementul funcțiilor sano-pedoregenerative și climato-adaptive presupune plasarea accentelor atât pe sustenabilizarea procesului de formare-acumulare a humusului cât și pe procesele de sechestrare-stabilizare a carbonului organic.

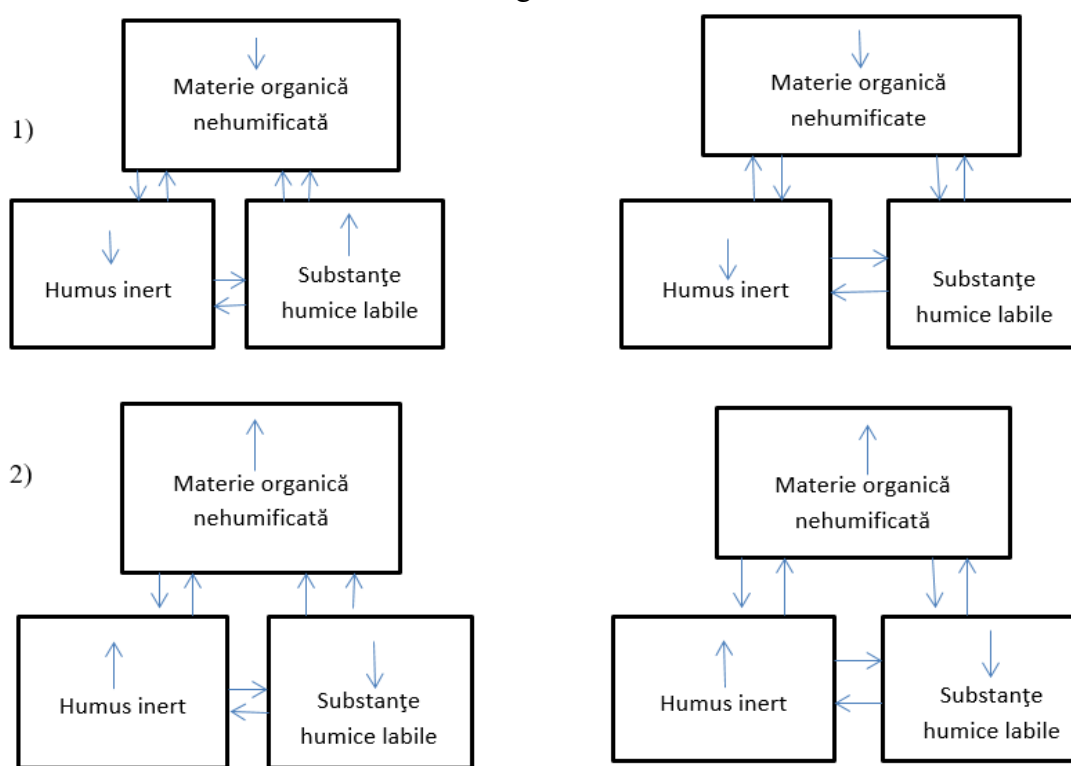


Figura 4. Schema funcționării sistemului de substanțe organice al solului în funcție de conținutul de materie organică nehumificată

- 1 – În cazul reducerii conținutului de materie organică nehumificată.
 - 2 – În condiții de sporire a conținutului de materie organică nehumificată.
- a, c – în unități absolute; b, d – în % din conținutul total de materie organică.

Atât un aspect, cât și altul presupune reproducerea lărgită a circuitului carbonului organic prin deplasarea accentelor de la asigurarea unui bilanț pozitiv al humusului la optimizarea circuitului carbonului organic și elementelor biofile cu luarea în calcul a potențialului de sechestrare a acestuia și capacității de deponare-stabilizare.

Prin esența sa managementul circuitului carbonului organic și elementelor biofile presupune abordarea sistemică a gestionării interdeterminată și interdependentă a tuturor factorilor responsabili de reproducerea lărgită a procesului pedogenetic.

Necesitatea promovării unui atare sistem de management este determinată de interacțiunile interdeterminate și interdependente al factorilor degradativ (fizici, chimici, fizico-chimici și biologici) cu impact-limitativ asupra funcționalității ecosistemului solului și funcțiilor de bază ale acestuia.

În atare abordare, sistemul de management se rezumă la:

1. identificarea, evaluarea și ierarhizarea proceselor cu impact degradativ și factorilor care le determină;
2. stabilirea parametrilor optimali ai fiecărui factor în parte în constituirea funcțiilor sano-pedoregenerative și climato-adaptive în condiții concrete de landșaft;
3. identificarea interacțiunilor interdependente și interdeterminate a factorilor și proceselor care limitează funcționalitatea ecosistemului solului și celor mai eficiente mijloace și procedee de sustenabilizare eficientă mijloace și procedee de sustenabilizare și optimizare a funcțiilor și serviciilor sano-pedoregenerative și climato-adaptive.

Prin această prismă de idei reproducerea lărgită a funcțiilor sano-pedoregenerative și climato-adaptive presupune abordare eșalonată în timp cu luarea în calcul a stării solului, în special a capacității bioproductive a acestuia.

În acest context este cunoscut că la etapa actuală de evoluție a pedogenezei antropo-naturale resursele de sol din regiune se caracterizează cu grad avansat de supracultivare manifestat în conținuturi nesatisfăcătoare sau insuficiente de fracțiuni de substanțe organice labile și conținuturi scăzut ($< 3\%$) sau moderat de humus (3-4%) materializate în productivitate scăzută și moderată și, respectiv, cantități mici de resurse bioenergetice încadrate în pedogeneză.

Prin urmare, tentativele de a intensifica funcțiile sano-pedoregenerative și climato-adaptive fără a ține cont de gradul de bioproductivitate și a recoltelor culturilor presupun, în cel mai bun caz, obținerea unui profit-scăzut al resurselor consumate și efecte pedo-ambientale neesențiale care, în cele din urmă, vor conduce la compromiterea sistemului tehnologic aplicat.

Concluzii

Funcțiile sano-pedoregenerative și climato-adaptive ale diverselor grupe de substanțe organice din sol urmează a fi examinate prin prisma funcționalității sistemului de substanțe organice din sol. În acest context acesta reprezintă un continuum heterogen integral, interdeterminat și interdependent al tuturor formelor de materie organică de origine biogenă, biomoleculelor de proveniență nehumică și substanțelor humice adsorbite și integrate în conglomeratul (matricea) de particule minerale ale solului care asigură desfășurarea și continuitatea a circuitului carbonului organic și elementelor biofile în cadrul ecosistemelor.

Prin această prismă de idei sistemul de substanțe organice al solului presupune două fracțiuni de substanțe de origine pedogenetică interacționate, interdependente și interdeterminate cu alcătuire, însuși și funcții diferite: substanțe organice labile; substanțe organice stabile (inerte).

Interacțiunea echilibrată interdependentă și interdeterminată a fracțiunii de substanțe organice labile și celei inerte asigură stabilitatea funcționării sistemului de substanțe organice și reproducerea funcțiilor sano-pedoregenerative și climato-adaptive.

Managementul funcțiilor sano-pedoregenerative și climato-adaptive presupune plasarea accentelor atât pe sustenabilizarea procesului de formare-acumulare a humusului cât și pe procesele de sechestrare-stabilizare a carbonului organic în cadrul unor sisteme tehnologice de gestionare a circuitului carbonului organic și elementelor biofile adaptate la condițiile concrete de landșaft.

Bibliografie:

1. JIGĂU, GH. *Solurile Moldovei și particularitățile de bază 65 de ani după N. A. Dîmo*. In: *lucrările conferinței științifice cu participare internațională „Solul și gestionarea durabilă a resurselor de sol”*: Chișinău: Editura USM, 2023a, 27 p.
2. JIGĂU, GH., DOBROJAN, S., TURCHIN, B., DOBROJAN, G. *Locul și rolul substanțelor humice în constituirea sănătății cernoziomurilor arabile*. In: *Particularitățile pedo-geomorfologice în bazinul mijlociu al Siretului*. Ed: Univ. Al. I. Cuza, Iași, 2023b, p. 76-88. ISBN:978-606-714-805-3. ISSN:1582-4616
3. JIGĂU, GH., STADNIC, A., CIOLACU, T., TURCHIN, B. *Tehnologii agricole pedoregenerative: abordare pedofuncțională*. In: *Simpozionul “Factori și procese pedogenetice din zona temperată”*. Ed: Univ. „Al. I. Cuza”, Iași 2022 p. 74-87. ISBN 3978-606-714-718-6. ISSN 1582-4616

4. АРТЕМЬЕВА, З. С., КИРИЛЛОВА, Н. П. Роль продуктов органо-минерального взаимодействия в структурообразовании и гумусообразовании основных типов почв центра русской равнины. *Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева*. 2017. Вып. 90, с. 73-95.
5. JIGĂU, Gh, PLĂCINTĂ, N., TURCHIN, B., DOBROJAN, S., JIGĂU, C., DOBROJAN, G., STADNIC, A. *Indici de sechestrare ai carbonului organic în agregatele structurale ale cernoziomului tipic slab humifer*. In: *Știința în Nordul Republicii Moldova: realizări, probleme, perspective*. 2021, Bălți: ÎS FEP „Tipografia Centrală”, 2021, Ediția 5, p. 139-146. ISBN 978-9975-62-432-9
6. JIGĂU, GH., DOBROJAN, S., DOBROJAN, G., GABERI, V., TURCHIN, B., PLĂCINTĂ, N., MOȘOI, I. *Sano-ecological functions of the labile fraction of soil organic substances: a conceptual-theoretical*. In: *Integrare prin cercetare și inovare. Studia Universitatis Moldaviae (Științe exacte și ale naturii)*, 2024, SNE, p. 451-458. ISBN 978-9975-62-808-2.
7. СЕМЕНОВ, В. А., КУЛЬКОВ, О. В., ПЕТРОВА, М. В. *Приборное обеспечение принятия агротехнологических решений почвенно-агрофизической информацией. Достижения науки и техники АПК*, 2004, 1. с. 13-17.
8. LUI, E. X., HERBERT, S. J., HASNEMI, A. M., ZHANG, X., DING, G. *Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation - A review*. In: *Plant, Soil and Environment*. 2006. V. 52(12), p. 531-543.
9. LEHMANN, J., KLEBER, M. *The contentious nature of soil organic matter*. In: *Journal Nature*. 2015. V (528), p. 60–68. doi: 10.1038/nature16045.
10. КОГУТ, Б. М., СЕМЕНОВ, В. М. *Эволюция доминирующих парадигм в учении о гумусе и почвенном органическом веществе*. In: *Агрохимия*. 2015, № 12. с. 3-19.
11. МАСЮТЕНКО, Н. П. *Энергетический потенциал органического вещества черноземов и управление его воспроизводством*. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук. Курск. 2003, 47 с.
12. ГАМКАЛО, З. Г., БЕДЕРНИЧЕК, Т. Ю. *Лабильное органическое вещество почвы как индикатор ее экологического качества в разных условиях землепользования*. In: *Экосистемы, их оптимизация и охрана*. 2014, Вып. 10, с. 193–200.

N. B.: Lucrarea a fost discutată în cadrul seminarului științific cu participare internațională „Schimbările climatice și sanatatea solului” în 17.12.2024.

Date despre autori:

Gheorghe JIGĂU, doctor în biologie, conf. univ., cercetător științific principal LCȘ ”Procese Pedogenetice”, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-4778-2105

E-mail: gheorghe.jigau@gmail.com

Sergiu DOBROJAN, doctor în biologie, conf. univ., cercetător științific principal LCȘ „Algologie Vasile Șalaru”, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0003-0040-5836

E-mail: sergiudobrojan84@yahoo.com

Galina DOBROJAN, cercetător științific LCȘ „Algologie Vasile Șalaru”, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0009-0003-1629-2220

E-mail: galinadobrojan87@gmail.com

Tatiana BUNDUC, doctor în biologie, cercetător științific principal, Institutul de Ecologie și Geografie.

ORCID: 0000-0001-7706-2451

E-mail: tbulimaga@gmail.com

Prezentat: 05.03.2025