

CZU: 631.417.1:582.232

## LOCUL ȘI ROLUL ALGELOR CIANOFITE FIXATOARE DE AZOT ÎN SECHESTRAREA CARBONULUI ORGANIC ÎN SOL

Gheorghe JIGĂU, Elena TOFAN, Victor ȘALARU, Sergiu DOBROJAN,  
Nina PLĂCINTA, Cristian JIGĂU, Eugeniu CIOBANU

Universitatea de Stat din Moldova

În articol sunt prezentate rezultatele indicatorilor fizici ai solului ce indică modul de sechestrare a carbonului în sol la administrarea biomasei algelor cianofite fixatoare de azot la cultivarea porumbului și florei soarelui. Astfel, s-a constatat că toate speciile de alge cianofite fixatoare de azot contribuie la acumularea carbonului organic în sol. Totodată, s-a observat că activitatea de agregare-structurare este intercalată cu activitatea de structurare a sistemului radicular al plantelor cultivate (porumb, floarea soarelui). Mai intensiv acest proces decurge în cazul culturii porumbului. Intensitatea procesului de sechestrare a carbonului organic în sol cu participarea algelor experimentate poate fi redată cu următoarele rânduri pedofuncționale în sensul scăderii acesteia: Cultura porumbului: *Nostoc gelatinosum* > *Calothrix gracilis* > *Lot combinat* > *Cylindrospermum licheniforme* > *Nostoc linckia*. Cultura floarea soarelui: *Nostoc gelatinosum* > *Lot combinat* > *Cylindrospermum licheniforme* > *Calothrix gracilis* > *Nostoc linckia*.

**Cuvinte-cheie:** sol, carbon organic, alge cianofite, sechestrarea carbonului, agregare-structurare, structură organic valoroasă, stabilitate agregatică, indice de sechestrare a carbonului organic în sol.

### PLACE AND ROLE NITROGEN FIXING CYANOPHYT ALGAE OF THE SOIL ORGANIC CARBON SEQUESTRATION

This paper presents the results of soil physical indicators indicating how carbon sequestration in the soil is administered when nitrogenous cyanophyte algae biomass is used to grow corn and sunflower. Thus, it was found that all nitrogen fixing cyanophyte algae species contribute to the accumulation of organic carbon in the soil. At the same time, it was observed that the aggregation-structuring activity is interspersed with the activity of saturation of the root system of the cultivated plants (corn, sunflower). This process is more intensive in the case of corn crops. The intensity of the organic carbon sequestration process in the soil with the participation of the experimental algae can be reproduced with the following pedofunctional rows in the sense of decreasing: Corn crop: *Nostoc gelatinosum* > *Calothrix gracilis* > *Combined lot* > *Cylindrospermum licheniforme* > *Nostoc linckia*. Sunflower culture: *Nostoc gelatinosum* > *Combined lot* > *Cylindrospermum licheniforme* > *Calothrix gracilis* > *Nostoc linckia*.

**Keywords:** soil, organic carbon, cyanophyte algae, carbon sequestration, aggregation-structuring, valuable organic structure, aggregate stability, sequestration index of organic carbon in soil.

### Introducere

Imperativul evoluției sustenabile a solurilor în regim arabil și de schimbare a climei, în special a cernoziomurilor, implică necesitatea practicării unor tehnologii agricole bazate pe managementul rolului prioritar al procesului de formare și de acumulare a humusului în funcționarea sistemului biorutinar al acestora. Realizarea acestui obiectiv presupune soluționarea sincronizată a problemelor legate de asigurarea stabilității agroecosistemelor, atenuarea efectelor de schimbare a climei și reducerea vulnerabilității agrosferei la schimbările climatice. Principalul indicator de performanță a unor atare tehnologii agricole este sechestrarea și stabilizarea carbonului și azotului în componența humusului din care acestea sunt mobilizate la scara pedologică a timpului.

Sechestrarea carbonului în sol presupune câteva componente importante:

- ✓ Pedovegetală – cultivarea speciilor de plante cu creștere intensivă și ulterioara încorporare a fitomasei sau a unei părți a acesteia în sol în calitate de sursă de carbon și elemente biofile;
- ✓ Pedobiochimică – intensificarea proceselor de producere a biomasei microbiene și algale în calitate de sursă de humus și de humificare a acesteia;
- ✓ Humico-genetică – intensificarea proceselor de formare și de acumulare a humusului. Aceasta presupune două mecanisme intercalate: humificarea și stabilizarea substanțelor humice nou-formate în compuși organo-minerali.

Interacțiunea substanțelor humice cu fracțiunea argiloasă este în funcție de natura primelor și alcătuirea mineralogică a argilei. Adsorbția substanțelor humice pe suprafața mineralelor argiloase reprezintă un mecanism important de stabilizare și de conservare a substanțelor humice.

Prin această prismă de idei, algele, în special cele cianofite, sunt o parte componentă a tuturor mecanismelor descrise mai sus [1,2].

Prin prisma conceptului rolului prioritar al algelor în funcționarea microbiomului solurilor, locul acestora în sechestrarea carbonului organic în sol este direct și indirect.

Rolul direct presupune participarea acestora la agregarea–structurarea solurilor [3-8]. În acest sens, R.Hasanova constată că în număr maximal algele cianofite se conțin în agregatele 1-0,5 mm, iar în număr minimal în agregatele >10 mm. În aceleași cercetări se constată dependența pozitivă dintre conținutul de humus și abundența algoflorei, pe de o parte, și gradul de hidrostabilitate a agregatelor, pe de altă parte. Aceeași dependență se constată și între gradul de abundență a algoflorei și conținutul de agregate 5-1 mm. Sporirea conținutului de agregate 5-1 mm contribuie la crearea condițiilor favorabile pentru dezvoltarea plantelor și sporirea gradului de abundență a algoflorei [3]. I.Suiunducov et al. constată corelația dintre numărul de alge cianofite și conținutul de agregate hidrostabile ( $r = 0,71$ ), precum și corelația pozitivă dintre numărul de celule de alge cianofite și conținutul de agregate 5-1 mm ( $r = 0,89$ ) [7].

Participarea indirectă a algelor în sechestrarea carbonului organic în sol reiese din funcția lor de producere a materiei organice îmbogățite în carbon și azot. Algelor cianofite le este specifică nutriția autotrofă și, respectiv, în rezultatul procesului de fotosinteză o parte din carbon se acumulează în biomasa algală. Totodată, biomasa algelor cianofite conține până la 70% de glucide, 50% de proteine, 10% lipide și alte elemente care în procesul de descompunere nimeresc în sol și contribuie la acumularea carbonului. Grație conținutului sporit de azot, aceasta este nu doar o sursă importantă de formare a humusului, dar și un catalizator al procesului de formare și de acumulare a humusului.

Creșterea biomasei algale în soluri conduce la constituirea efectului algorizosferic: acumularea algelor în zona preradiculară și crearea unui mediu favorabil pentru dezvoltarea sistemului radicular al plantelor. Prezența substantelor humice labile în agregatele 5-1 și 1-0,5 mm, dar și a apei, creează condiții favorabile pentru patrunderea rădăcinilor plantelor în aceste agregate și pentru dezvoltarea structurii solului.

Influența indirectă a algelor asupra relațiilor sol → plantă → structură se realizează prin intermediul edafotopului (modificarea însușirilor fizico-chimice, fizice și chimice ale solurilor), prin secreția compușilor helatici (helaților) în mediu, acumularea elementelor biofite în stratul superior al solului și îmbogățirea mediului cu carbon și azot prin fixarea azotului din atmosferă. Plantele superioare influențează asupra cenozelor algaice prin secrețiile radiculare, dar și prin regimurile specifice care se creează în rizosferă. Prin urmare, rizosferei fiecărei plante de cultură îi corespund anumite grupe de alge și, respectiv, efecte structural-agregative diferite în funcție de specia plantelor de cultura [3].

### Obiecte și metode de studiu

Cercetările s-au efectuat în zona centrală a Republicii Moldova în perioada 2015-2018. Lotul experimental se caracterizează cu înveliș de sol omogen reprezentat prin cernoziomuri tipice moderat humisfere, moderat groase cu profil de tipul  $A_m-A_mB-B_m1-B2_{ca}-BC_{ca}-C_{ca}$ . În componența granulometrică raportul argilă fizică : nisip fizic (<0,01 : >0,01 mm) variază în intervalul 0,97-1,04 și denotă un potențial sporit de structurare. Factorul de dispersie pe întreg profilul variază într-un interval îngust de valori (9,3-11,6%) și indică la conținuturi reduse (1-2%) de argilă neasociată în agregate (neagregată). În aceste condiții, de la 88,4 până la 90,7% din elementele granulometrice sunt asociate în microagregate agronomice valoroase cu dimensiuni >0,01 mm. Indicele Granulometric de Structurare (IGS) pe întreaga grosime a stratului pedogenetic activ ( $A_m + B$ ) prezintă valori > 100%. Principalul factor care limitează realizarea potențialului de structurare este conținutul redus de humus. Raportul humus: argilă fină ( $r < 0,001$  mm) chiar și în orizontul  $A_m$  alcătuiește doar 0,16-0,14. În orizontul B1 valorile acestuia se reduc până la 0,08. În aceste condiții, cantitatea de humus este insuficientă pentru a asigura procesele fizico-chimice de asociere a particulelor elementare și a microagregatelor în agregate structurale. Cantitatea de humus formată anual nu acoperă cantitatea anual mineralizată. În același timp, se reduce sub minimum (0,18-0,2%) conținutul necesar de substanțe humice mobile care sunt principalul factor de agregare-structurare a substanței solului. Ca urmare, în soluri se realizează reproducerea necompensată (regresivă) a stării structural-agregative. Reducerea ponderii agregatelor formate cu participarea humusului conduce la diminuarea hidrostabilității structurii. Renaturarea procesului de structurare în cernoziomurile cercetate presupune restabilirea rolului prioritar al procesului de formare și de acumulare a humusului. În cadrul experienței montate, pentru realizarea acestui obiectiv au fost testate procedeele de administrare sistematică a resturilor vegetale în sol și cel de algalizare (administrarea biomasei algelor cianofite fixatoare de azot în fomă vie) a solurilor cu alge cianofite în calitate de sursă de materie organică și de agent participant la optimizarea circuitului azotului în cadrul procesului de transformare – humificare a resturilor organice.

Tabelul 1

## Schema experiențelor

Cultura: Floarea soarelui	Cultura: Porumb
Control	
<i>Nostoc linckia</i> – 3 kg/ha	<i>Nostoc linckia</i> – 3 kg/ha
<i>Colothrix gracilis</i> – 3 kg/ha	<i>Colothrix gracilis</i> – 3 kg/ha
<i>Nostoc gelatinosum</i> – 3 kg/ha	<i>Nostoc gelatinosum</i> – 3 kg/ha
<i>Cylindrospermum licheniforme</i> - 3kg/ha	<i>Cylindrospermum licheniforme</i> – 3 kg/ha
Lot combinat – 3 kg/ha	Lot combinat – 3 kg/ha

Probele de sol supuse analizelor s-au recoltat din stratul 0-50 cm peste fiecare 10 cm la începutul și la sfârșitul perioadei de vegetație.

Alcătuirea agregatică a solurilor s-a determinat prin metoda Savvinov (fracționare uscată). Stabilitatea agregatică s-a determinat prin metoda Savvinov (fracționare umedă). Conținutul de humus în sol și agregatele structurale s-au determinat prin metoda Tiurin în modificarea Simacov.

**Material și discuții****I. Sechestrarea carbonului organic în sol și locul algelor cianofite în realizarea acesteia**

Procesul de sechestrare-stabilizare a carbonului organic în sol este intercalat cu procesul de formare și de acumulare a humusului. În acest context, V.Semionov și B.Kogut disting procese de formare a humusului (formarea substanțelor organice și a humusului) și procese de humificare (formarea substanțelor humice) [8].

În opinia autorilor citați, sechestrarea-stabilizarea carbonului organic în sol reprezintă totalitatea proceselor și fenomenelor care contribuie la sporirea stabilității substanțelor organice în relațiile cu factorii biofizici și abiotici de descompunere și de asigurare a unei perioade mai mari de rotație a acestora în sol [9,10]. Sechestrarea-stabilizarea substanțelor organice se realizează în cadrul unui spectru larg de procese fizice și fizico-chimice, acestea fiind parte componentă a mecanismelor de formare a micro- și macroagregatelor [11,12].

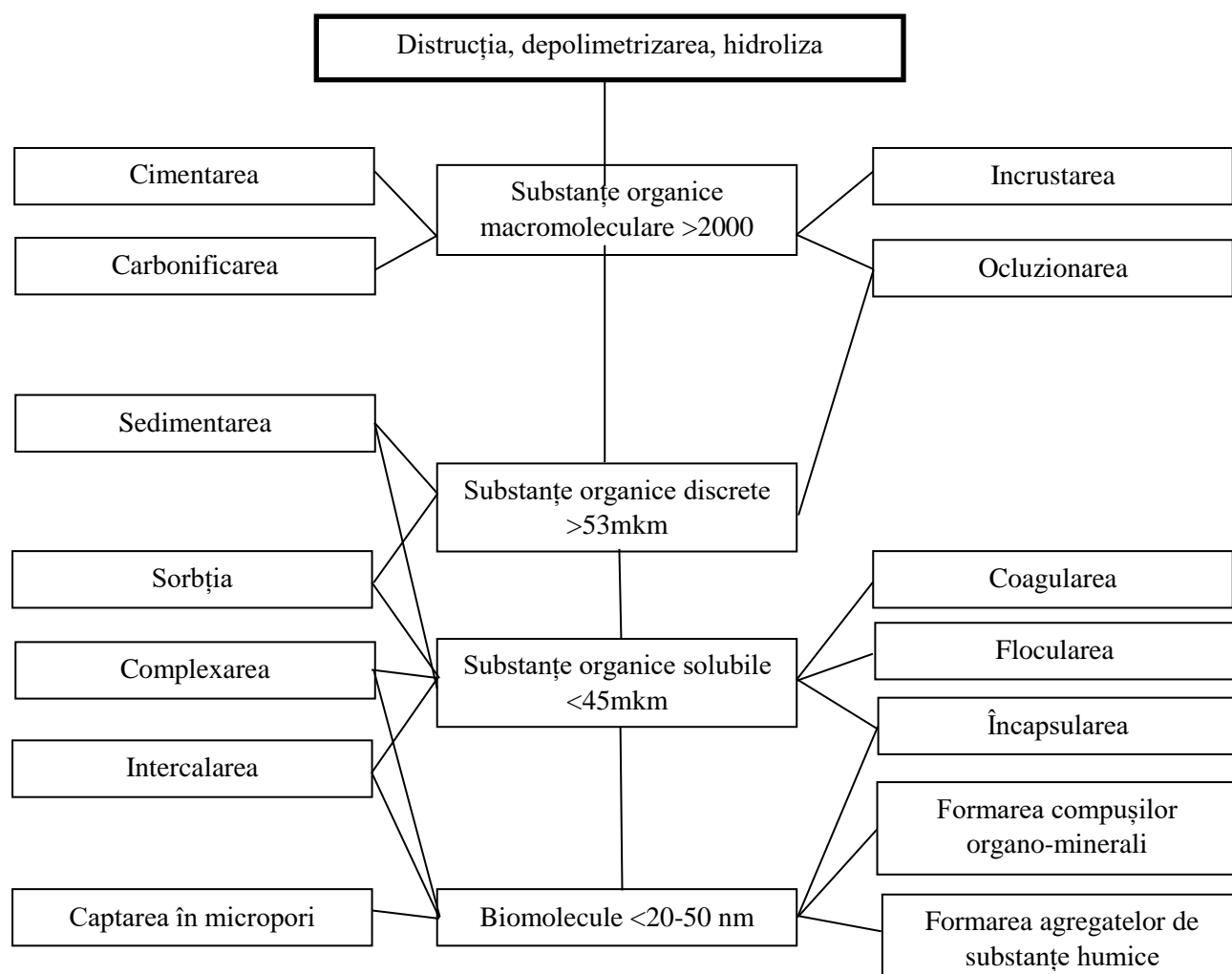
Procesele fizico-chimice de stabilizare a substanțelor organice și de sechestrare a carbonului în sol presupun următoarele etape [13]:

- 1) Formarea nucleelor din complexe organo-minerale. Nuclee ale microagregatelor pot fi coloniile de micro-organisme, secrețiile polizaharide ale cărora formează capsule care atrag pe suprafața lor particule argiloase. Acestea acoperă capsulele și împiedică procesele de descompunere a substanței organice microbiene;
- 2) Legarea nucleelor organo-minerale prin intermediul substanțelor aglutinante (oxizi, minerale argiloase, substanțe humice) în microagregați;
- 3) Legarea microagregatelor în macroagregate prin intermediul unor substanțe aglutinante cu stabilitate redusă (polizaharide microbiene și vegetale) conținutul cărora este dinamic. Conținutul acestora este maximal în perioada activității biologice maxime a solurilor: aprilie-iunie [3]. Algalizarea solurilor contribuie la prezența substanțelor aglutinante huminice, dar și a celor nespecifice în stratul arabil pe parcursul întregii perioade de vegetație. Astfel, în condiții de algalizare în stratul arabil se realizează procese de restabilire și menținere a alcătuirii agregatice în stare optimală [1];
- 4) Compactarea-consolidarea agregatelor sub acțiunea rădăcinilor plantelor, hifelor ciupercilor, algelor și microorganismelor [14].

Paralel cu procesele de formare a agregatelor se formează spațiul poros al solurilor. Dinamica acestuia este sincronizată cu dinamica alcătuirii agregatice a structurii [15].

În opinia expusă de Z.S. Artemieva, procesul primar de stabilizare a materiei organice demarează de la formarea microagregatelor cu formă ovală (50-250 mkm), în interiorul cărora sunt concentrate particule minerale de materie organică nespecifică proaspătă și de materie organică parțial transformată de mezofaună [16].

Modelul fizic de agregare și de sechestrare-stabilizare a carbonului organic în sol se realizează în aceeași consecutivitate și presupune mai multe etape. Conform autorului citat, procesul de stabilizare-sechestrare a carbonului și cel de agregare a solului demarează de la aderarea particulelor elementare/microagregatelor prin intermediul microorganismelor/algelor pe suprafața resturilor vegetale proaspete cu formarea de macroagregate (etapa 1).



**Fig.1.** Procese fizico-chimice și fizice de stabilizare-sechestrare a substanțelor organice în soluri [10].

Procesele de transformare-descompunere a materiei organice în porii agregatici conduc la formarea de nuclee organo-minerale stabile fizic, protejate de acțiunea proceselor de descompunere (etapa 2). În timp, pe măsură ce rezervele de materie organică, ușor descompuse, lent se epuizează, se reduce activitatea microbiană, iar ca urmare – și cantitatea de substanțe aglutinante (etapa 3). În consecință, demarează procesele de destabilizare și de dezagregare a macroagregatelor, iar din nucleele organo-minerale din interiorul acestora se formează microagregate noi care pot fi antrenate în crearea de noi macroagregate în condițiile unor fluxuri de materie organică proaspătă (etapa 4).

În condiții de lucrări mecanice intensive în cadrul unei atare succesiuni a proceselor de sechestrare-stabilizare a carbonului organic în sol are loc distrugerea în masă a macroagregatelor cu expunerea materiei organice descompunerii. Prin urmare, în absența fluxului de materie organică proaspătă nu are loc formarea de noi nuclee organo-minerale stabile și în soluri se instaurează procese unidirecționale de dezagregare și de dehumifiere [1,2]. Aceasta implică concluzii că pentru asigurarea sechestrării unidirecționale a carbonului este necesară prezența permanentă în sol a unor rezerve de materie organică proaspătă, ușor descompusă în faza de transformare-humificare. În condiții de agroecosisteme, acest obiectiv este practic irealizabil pe parcursul perioadei de vegetație; or, resturile organice pot fi încorporate în sol doar la sfârșitul perioadei de vegetație. În schimb, algalizarea asigură reproducerea permanentă a rezervelor proaspete de materie organică în sol. Prin urmare, în condiții de algalizare în sol sunt prezente substanțe organice în diverse faze de descompunere-humificare. În aceste condiții, pe parcursul perioadei de vegetație, în sol se asigură reproducerea proceselor de agregare cu sechestrarea carbonului. Aceste procese sunt susținute de conținutul sporit de azot în componența biomasei algale și microbiene.

Prin această prismă de idei, în condiții de algalizare agregarea-structurarea este principalul proces de stabilizare fizică a carbonului organic în sol, iar agregatele structurale reprezintă formațiuni pedogenetice în care se acumulează carbonul organic [17,18]. În acest sens, agregatele structurale sunt complexe organo-minerale formate în rezultatul interacțiunii particulelor elementare cu substanțele organice și minerale în cadrul proceselor de regrupare a particulelor, sedimentării, floculării și cimentării (saturare difuză superficială care le atribuie duritate) [13]. Agregatele structurale se deosebesc unele de altele prin procesele de agregare dominante, formă, dimensiuni și se divizează în: coloizi organo-minerali (<20 mkm), microagregate (20-250 mkm), macroagregate (250-2000 mkm) și fragmente (>2000 mkm).

Substanțele organice prezente în microagregate sunt mai vechi, au grad de descompunere mai mare și sunt mai protejate decât cele care sunt prezente în macroagregate [19]. Divizarea spațială a substratului și microorganismelor este confirmată prin densitatea maximală a populațiilor microbiene pe suprafața agregatelor și prin ponderea mare a substanțelor organice prezente în interiorul agregatelor [20]. Durata perioadei de rotație a substanțelor organice conținute în macroagregate este de 15-50 de ani, iar a celei conținute în microagregate – de 100-300 de ani [19]. Procesele de agregare și de sechestrare-stabilizare a carbonului organic sunt controlate prioritar de fluxul de materie organică proaspătă în sol, care determină activitatea mezo-microfaunei și a microorganismelor.

În același timp, este demonstrat că materia organică, în stadiu de descompunere, este un agent de agregare mai eficient comparativ cu substanțele humice, rolul cărora constă în susținerea stabilității agregatice. În acest sens, pentru formarea și dezvoltarea structurii importanță are nu atât cantitatea de materie organică în sol, cât cantitatea formelor biologic și chimic modificate ale acesteia.

În baza celor expuse considerăm că pentru evaluarea proceselor de sechestrare a carbonului organic în sol mai indicați sunt parametrii de evaluare a potențialului de agregare-structurare (indicele granulometric de structurare, indicii de agregare, indicele de structurare, conținutul de argilă fină (calculați în baza analizei granulometrice și microagregatice), indicii de calitate a structurii (coeficientul de structurare, indicele de stabilitate agregatică, conținutul de agregate agronomice valoroase (10-0,25 mm), conținutul de agregate 5-1 mm etc., indicii stării de humus a solurilor (conținutul total de humus, raportul argilă fizică : conținut de humus, conținutul de substanțe humice labile, indicii de humusiere a agregatelor structurale s.a.).

## II. Procese de sechestrare-stabilizare a carbonului organic în cadrul proceselor de agregare-structurare cu participarea algelor

În conformitate cu conceptul mecanismelor de agregare-structurare a pedomatricei cu participarea algelor cianofite fixatoare de azot, aceasta include câteva etape evolutiv-ierarhice [1,2]:

1. Particulă elementară  $\frac{\text{alge}}{\text{microbiota}}$  microagregat (<0,25 mm);
2. Microagregate  $\frac{\text{alge}}{\text{microbiota} \text{ și } \text{substanțe humice}}$  particula elementară → agregate (1-0,25 mm);
3. Agregate (1-0,25 mm) – substanțe humice – agregate (1-0,25 mm) → agregate (7-1 mm)

Procesul de agregare-structurare a cernoziomurilor cu participarea algelor este însoțit de formarea a trei grupe de agregate:

- a) cu stabilitate mică – 7-5 mm;
- b) cu stabilitate moderată – 5-1 mm;
- c) cu stabilitate sporită – 1-0,25 mm.

În dezvoltarea acestui concept considerăm că un rol mai important în formarea agregatelor structurale revine interacțiunii lor în cadrul complexelor materie (substanță) organică – microorganisme.

În cadrul acestora decurg permanent procese de formare a substanțelor humice proaspete care asigură agregarea *in situ*. În calitatea lor de component de bază (nucleu) al cenozelor microbiotice algele cianofite fixatoare de azot conduc la formarea de asociații de organisme, responsabile de descompunerea diferitor grupe de substanțe organice (rețele geno-metabolice) care descompun resturile organice, consecutiv asigurându-se un circuit închis al substanțelor și al energiei cu dezvoltarea nivelului agregatic de organizare structural-funcțională a materiei organo-minerale a solului [21].

Cercetările noastre au arătat ca biomasa tuturor speciilor de alge fixatoare de azot experimentate contribuie la agregarea-structurarea pedomatricei solului. În același timp, efectele de agregare-structurare diferă de la o specie la alta (Tab.2).

Tabelul 2

Alcătuirea agregatică a cernoziomului tipic moderat humifer în condiții de algalizare  
(regim neirigat; valori medii pentru stratul 0-30 cm)

Varianata	Diametrul agregatelor, mm. Conținutul agregatelor, %					
	>10	10-0,25	5-1	3-0,5	<0,25	$K_s$
Porumb						
Martor	17,91	77,57	42,42	30,36	4,37	3,46
<i>Nostoc linckia</i>	10,70	84,39	46,25	32,96	4,59	5,58
<i>Nostoc gelatinosum</i>	9,80	86,95	49,50	33,78	4,27	7,09
<i>Calothrix gracilis</i>	15,42	81,67	44,58	3,53	4,16	4,58
<i>Cylindrospermum licheniforme</i>	13,09	82,81	46,57	32,29	5,50	4,83
Lot combinat	11,92	84,97	48,05	33,06	3,47	6,29
Floarea soarelui						
Martor	10,38	78,82	40,69	33,25	10,83	4,17
<i>Nostoc linckia</i>	14,52	77,84	41,67	36,16	7,74	3,51
<i>Nostoc gelatinosum</i>	9,23	87,70	56,12	34,84	4,01	7,27
<i>Calothrix gracilis</i>	12,64	81,21	54,16	32,51	6,15	4,41
<i>Cylindrospermum licheniforme</i>	13,09	83,01	43,04	32,55	6,08	5,58
Lot combinat	10,62	86,06	47,74	33,45	3,39	6,42

$K_s$  – coeficientul de structurare.

Aplicarea biomasei algei *Nostoc linckia* contribuie la constituirea unor conținuturi mai mari de agregate agronomic valoroase (10-0,25 mm) în stratul de 10-30 cm, ceea ce se datorează condițiilor mai favorabile și mai stabile în cadrul acestuia. Procesele de agregare-structurare a biopedomatricei solului cu participarea speciei *Nostoc linckia* decurg cu formarea, preponderentă, de agregate <5 mm, care, grație unei structuri optime a spațiului poros favorizează dezvoltarea sistemului radicular al plantelor de cultură. În același timp, din datele prezentate în Tabelul 3 constatăm că agregatele <5mm în cadrul acestei variante dispun de stabilitate hidrică relativ redusă.

Aplicarea biomasei algei *Calothrix gracilis* contribuie la agregarea-structurarea biopedoplasmei pe întreaga grosime a stratuului arabil (0-30 cm). Procesele de agregare-structurare cu participarea acestei specii asigură formarea, preponderentă, a agregatelor 10-0,25 mm. În același timp, în componența acestora ponderea agregatelor 5-1 și 3-0,5 mm este sub 50%. Pondere mai mare au agregatele >5 mm, care se caracterizează cu hidrostabilitate foarte mică. Aplicarea biomasei algei *Cylindrospermum licheniforme* contribuie la procesul de agregare-structurare a biopedoplasmei doar în primii 0-20/0-30 cm. Agregarea-structurarea biopedoplasmei cu participarea acestei specii decurge cu formarea de agregate bulgăroase medii (7-5mm) și mărunte (5-3mm), din contul cărora sporește gradul de structurare. În același timp, este mic conținutul de agregate grăunțoase (3-0,5 mm) care se caracterizează cu cel mai înalt grad de hidrostabilitate.

Administrarea combinată a biomasei de alge studiate (*Nostoc linckia* + *Nostoc gelatinosum* + *Calothrix gracilis* + *Cylindrospermum licheniforme*) conduce la ameliorarea structurii solului pe întreaga grosime a stratului agrogen din contul agregatelor bulgăroase medii și fine cu hidrostabilitate doar satisfăcătoare.

Cel mai intensiv decurg procesele de agregare-structurare cu participarea algei *Nostoc gelatinosum* pe întreaga grosime a stratului 0-50 cm cu formarea de agregate 5-1 și 3-0,5 mm. Aceasta se datorează procesului de aglutinare cu participarea substanțelor humice nou-formate cu sporirea gradului de protecție și de sechestrare a carbonului în agregatele structurale. În același timp, agregatele nou-formate dispun de hidrostabilitate redusă. Pentru sporirea acesteia considerăm oportună administrarea concomitentă a unei surse adăugătoare de calciu.

În baza celor expuse putem conchide că toate speciile de alge studiate contribuie la agregarea-structurarea biopedoplasmei cu formarea de agregate bulgăroase și grăunțoase care dispun de stabilitate agregatică redusă ca urmare a unei alcătuirii difuze (afânată).

Tabelul 3

Stabilitatea agregatică a srtucturii cernoziomului tipic moderat humifer în condiții de algalizare (regim neirigat; valori medii pentru startul de 0-30 cm)

Varianta	Diametrul agregatelor, mm. Conținutul agregatelor, %				
	>5	5-1	3-0,5	1-0,5	$K_c$
Porumb					
Martor	-	23,67	24,03	8,83	232
<i>Nostoc linckia</i>	-	22,13	27,87	11,80	220
<i>Nostoc gelatinosum</i>	-	28,29	32,67	15,17	516
<i>Calothrix gracilis</i>	-	23,62	28,36	13,70	517
<i>Cylindrospermum licheniforme</i>	-	29,43	37,94	15,32	457
Lot combinat	-	26,12	33,12	14,20	501
Floarea soarelui					
Martor	-	17,84	21,95	9,35	230
<i>Nostoc linckia</i>	4,30	34,80	34,66	16,41	216
<i>Nostoc gelatinosum</i>	6,46	34,60	37,71	18,07	442
<i>Calothrix gracilis</i>	5,18	26,15	3,70	16,32	460
<i>Cylindrospermum licheniforme</i>	4,80	43,04	33,00	16,70	305
Lot combinat	4,88	49,41	38,18	17,50	537

$K_c$  - indicele de hidrostabilitate.

În cadrul ecosistemelor naturale procesul de agregare-structurare decurge, de asemenea, cu formarea de agregate afânate. Stabilitatea acestora este asigurată de consolidarea lor sub acțiunea forțelor exercitate de sistemul radicular al plantelor ierboase. Influența plantelor se realizează atât prin acțiunile mecanice ale sistemului radicular (deplasarea particulelor, compactarea ș.a.), cât și ale diverselor substanțe (metaboliți) formate în rezultatul activității vitale a acestora.

Plantele de cultură asigură în măsură mică procesele descrise. Pornind de la aceasta, considerăm oportună utilizarea biomasei algelor cianofite fixatoare de azot în combinație cu măsurile de fitoameliorare a cernoziomurilor prin cultivarea ierburilor multianuale. În acest sens, menționăm că atare procedee au asigurat efecte de agregare-structurare a cernoziomurilor în alte regiuni [22].

Plantele de cultură au acțiune diferită asupra proceselor de agregare-structurare a biopedoplasmei cu participarea algelor cianofite fixatoare de azot.

În linii generale, intensitatea procesului de sechestrare a carbonului organic în sol poate fi redată, în cadrul prezentelor cercetări, cu următoarele rânduri pedofuncționale în sensul scăderii acesteia:

Porumbul: *Nostoc gelatinosum* > *Calothrix gracilis* > *Lot combinat* > *Cylindrospermum licheniforme* > *Nostoc linckia*;

Floarea soarelui: *Nostoc gelatinosum* > *Lot combinat* > *Cylindrospermum licheniforme* > *Calothrix gracilis* > *Nostoc linckia*.

Pornind de la particularitățile mecanismelor de structurare cu participarea algelor cianofite fixatoare de azot, considerăm că unul dintre criteriile de evaluare a acestora este Indicele de Sechestrare a Carbonului.

Conform calculului, cca 90% din conținutul total al carbonului organic din orizontul superior al solului sunt concentrate în componența agregatelor structurale. Din ele, cca 60-80% se conțin în macroagregate.

În baza celor expuse, considerăm că mecanismele de sechestrare a carbonului organic în sol în cadrul proceselor de agregare-structurare pot fi reprezentate prin lanțul pedofuncțional prezentat în Figura 2.

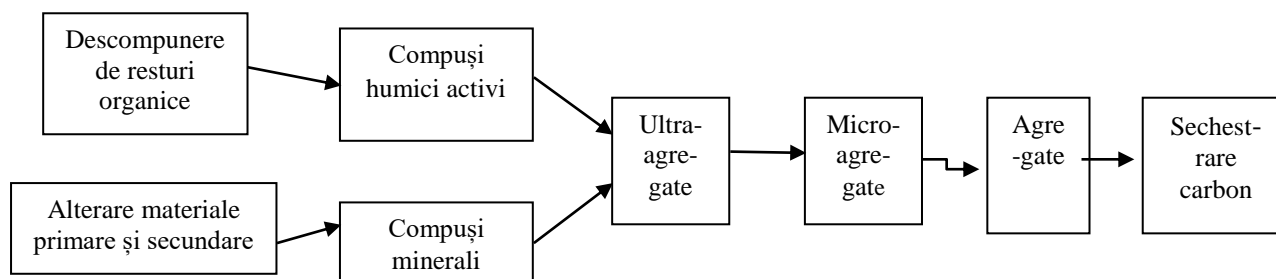


Fig.2. Mecanisme de sechestrare a carbonului organic în sol în cadrul proceselor de agregare-structurare.

În cadrul ierarhiei mecanismelor de constituire a nivelului ierarhic agregat de organizare structural-funcțională a ecosistemului solului sechestrarea carbonului organic presupune următoarele procese consecutiv- sincronizate (fig. 3).

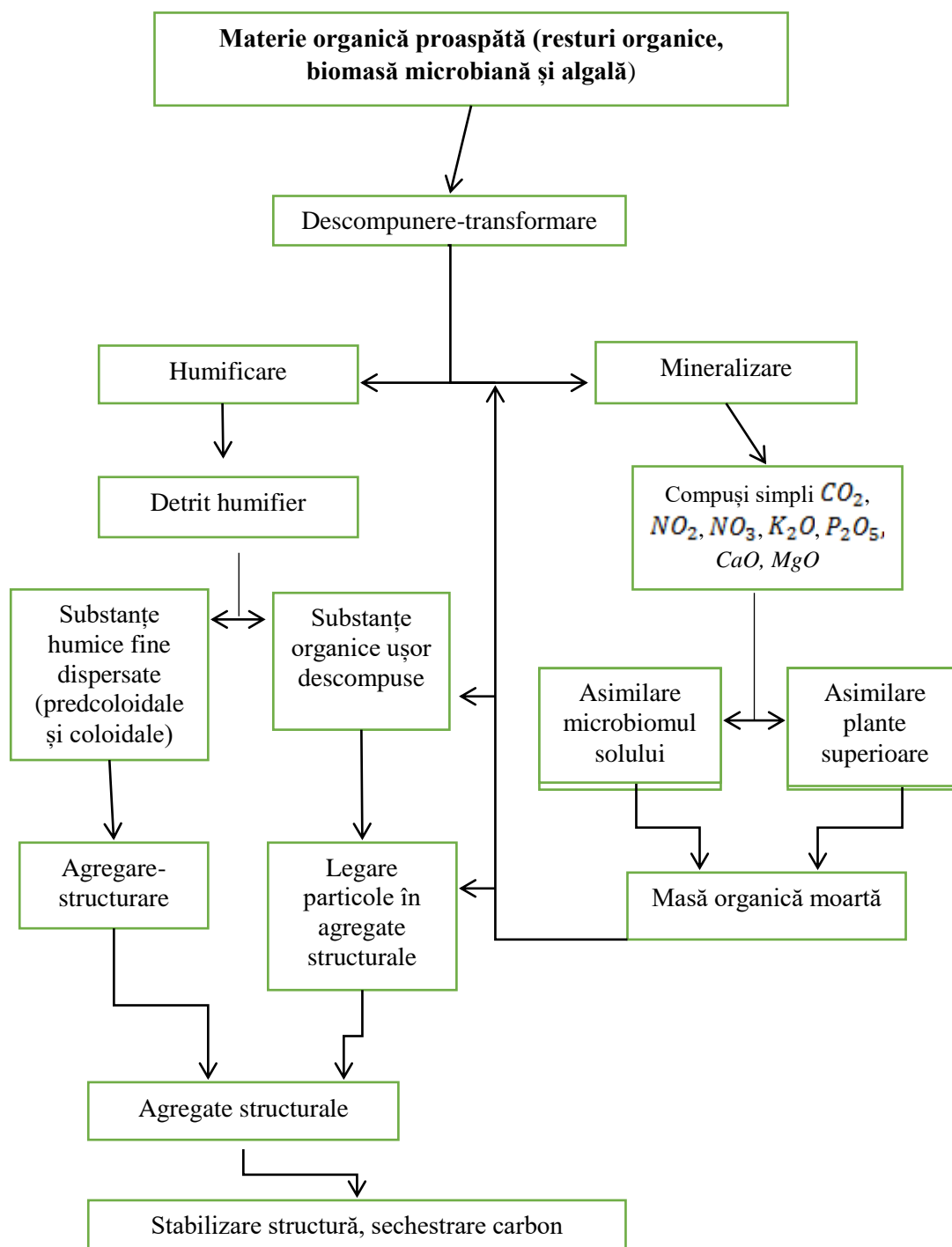


Fig.3. Lanțul pedofuncțional de sechestrare a carbonului organic în sol.

În componența agregatelor cu diverse dimensiuni conținutul de humus este relativ identic. Totuși, datele prezentate în Tabelul 4 arată că cu conținuturi minimale de humus se caracterizează agregatele >10 și <0,25 mm.



Tabelul 4

## Conținutul de humus în agregatele structurale ale cernoziomului tipic moderat humifer

Varianta Cultura	Dimensiunile agregatelor	Adâncimea, cm									
		0-10		10-20		0-30		30-40		40-50	
		Conținutul de humus/carbon, %									
		Humus	C	Humus	C	Humus	C	Humus	C	Humus	C
Martor Porumb	>10	-	-	-	0,77	1,42	0,82	1,66	0,97	1,38	0,79
	10-7	1,93	1,12	1,68	0,97	1,62	0,94	1,77	1,03	1,58	0,91
	7-5	186	1,08	1,66	0,96	1,89	1,09	1,88	1,09	1,61	0,93
	5-3	2,09	1,22	1,49	0,86	1,87	1,12	1,91	1,11	1,35	0,79
	3-2	2,34	1,36	1,89	1,09	1,93	1,12	1,87	1,08	1,44	0,84
	2-1	2,21	1,28	1,77	1,03	1,76	1,02	1,96	1,24	1,53	0,89
	1-0,5	2,26	1,31	1,71	0,81	1,91	1,11	2,09	1,21	1,45	0,84
	0,5-0,25	2,28	1,32	23,04	1,19	2,01	1,16	1,92	1,11	1,51	0,88
<0,25	2,25	1,30	1,89	1,09	1,84	1,07	2,20	1,28	1,44	0,84	
Martor Floarea soarelui	>10	2,21	1,28	2,61	1,51	1,71	1,57	2,17	1,26	1,93	1,12
	10-7	2,21	1,28	2,32	1,35	2,39	1,38	2,30	1,33	2,1	1,28
	7-5	2,08	1,21	2,04	1,18	2,39	1,38	2,37	1,37	2,06	1,19
	5-3	2,34	1,36	2,38	1,38	2,37	1,38	2,49	1,45	2,20	1,28
	3-2	2,44	1,41	2,36	1,37	2,42	1,36	2,61	1,51	2,14	1,25
	2-1	2,39	1,38	2,44	1,42	2,16	1,26	2,34	1,36	2,31	1,34
	1-0,5	2,36	1,37	2,41	1,40	2,68	1,55	2,38	1,38	2,28	1,32
	0,5-0,25	2,31	1,34	2,43	1,44	2,70	1,56	2,46	1,43	1,99	1,16
<0,25	2,10	1,22	2,17	1,26	2,67	1,55	2,41	1,39	2,09	1,21	

În agregatele bulgăroase mari (10-7 mm) și medii (7-5 mm) conținutul de humus ușor sporește.

Agregatele >10 și 10-7 mm sunt lipsite de hidrostabilitate. La umezire acestea ușor se desfac în agregate < 3mm. Ca urmare, se reduce gradul de protecție fizică a substanțelor organice, în special a celor nespecifice, dar și a celor humice, cu intensificarea proceselor de mineralizare.

Conținutul de humus sporește, sesizabil, în agregatele bulgăroase mărunte (5-3 mm) și grăunțoase mari (3-2 m). Acestea se caracterizează cu sporirea gradului de hidrostabilitate. Prin urmare, substanțele organice în componența acestora au un grad de protecție fizică mai mare. În plus, substanțele organice proaspete în stadiu de transformare dispun de un grad mai avansat de humificare și, respectiv, de un grad mai sporit de stabilitate. În același timp, substanțele humice dispun de un grad avansat de polimerizare, condensare și maturitate și mai greu sunt supuse mineralizării.

Prin cel mai mare grad de hidrostabilitate și stabilitate a substanțelor organice, în special a celor humice, se caracterizează agregatele 2-1 și 1-0,25 mm. Prin urmare, anume acestora le revine rolul principal în sechestrarea carbonului organic în sol.

Pornind de la aceasta, propunem ca în scopul aprecierii capacității de sechestrare a carbonului organic în sol să se aplice Indicele de Sechestrare a Carbonului Organic în Sol (ISCS) care cantitativ este egal cu conținutul total de agregate agronomic valoroase (10-0,25 mm), iar în calitate de Indice de Sechestrare Stabilă a Carbonului Organic în sol (ISSCS) – conținutul agregatelor 5-0,25 mm. În cadrul acestui interval de valori propunem să se facă distincție între Indicele de Sechestrare Moderat Stabilă (ISMS) cantitativ egal cu conținutul sumar al agregatelor 5-2 mm și Indicele de Sechestrare Puternic Stabilă (ISPS) cantitativ egal cu conținutul de agregate 2-0,25 mm.

În cadrul procesului de sechestrare a carbonului în sol, algelor cianofite le mai revine și rolul de furnizor de substanțe humice mobile care se consumă la nutriția plantelor. Astfel, se reduc cantitățile de humus consumat la mineralizare în aceste scopuri. În acest sens, cercetarile noastre au arătat că administrarea biomasei algelor experimentate pe sol deja în fazele incipiente ale perioadei de vegetație conduce la sporirea de 1,4-2 ori a conținutului de substanțe humice mobile comparativ cu varianta martor (trebuie să se țina cont că pe parcursul perioadei de vegetație aceasta a participat direct la nutriția plantelor). Cantitățile maxime ale acestei fracțiuni se constată în cadrul variantei *Cylindrospermum licheniforme* (Tab.5).

Tabelul 5

Conținutul de substanțe humice mobile în stratul arabil al cernoziomului tipic moderat humifer în condiții de algalizare (regim neirigat) (valori medii, strat de 0-30 cm)

Varianta	Porumb				Floarea soarelui			
	Conținutul,%				Conținutul,%			
	Humus	Carbon organic	Carbon, substanțe humice mobile	% din conținutul de carbon total	Humus	Carbon organic	Carbon, substanțe humice mobile	% din conținutul de carbon total
Martor	2,06	1,20	0,042	3,50	2,21	1,27	0,063	4,98
<i>Nostoc linckia</i>	2,39	1,39	0,037	2,61	-	-	-	-
<i>Nostoc gelatinosum</i>	2,15	1,24	0,055	4,47	-	-	-	-
<i>Calothrix gracilis</i>	2,23	1,28	0,062	4,76	-	-	-	-
<i>Cylindrospermum licheniforme</i>	1,72	1,07	0,060	5,72	-	-	-	-
Lot combinat	2,43	1,42	0,053	3,58	2,30	1,45	0,068	4,32

În cadrul variantelor cu administrare de bioasă a speciilor *Nostoc gelatinosum* și *Calothrix gracilis* conținutul fracțiunii de substanțe humice mobile este de 1,4-1,8 ori mai mare decât în cadrul variantei de control. În baza celor expuse putem conchide ca administrarea algelor cianofite fixatoare de azot conduce la intensificarea procesului de humificare și sechestrare a carbonului organic în sol. În opinia noastră, mecanismele acestui proces sunt determinate de participarea biomasei algale alterate în calitate de sursă de azot biologic pentru desfășurarea procesului de humificare și de sechestrare a carbonului organic în sol. Pornind de la conceptul cu privire la rolul algelor cianofite fixatoare de azot, propunem ca în calitate de indicator al gradului de biologizare a procesului de sechestrare a carbonului organic în sol să fie utilizat Indicele de Humusiere a Structurii Agregative (IHSA).

Acesta reprezintă raportul dintre conținutul de agregate cu diverse funcții biogeocenotice și pedofuncționale către conținutul de humus în sol. Cu cât valorile acestuia sunt mai mici, cu atât ponderea humusului în construirea respectivelor agregate este mai mare și, respectiv, cu atât rolul acestora în sechestrarea carbonului organic în sol este mai mare.

Tabelul 6

Indici de humisiere a structurii cernoziomurilor tipice în condiții de algalizare

Varianta	Adâncimea, cm	Cultura. Dimensiunile agregatelor, mm					
		Porumb			Floarea soarelui		
		10-0,25	5-1	3-0,5	10-0,25	5-1	3-0,5
Martor	0-10	36,71	20,29	16,70	36,75	19,00	18,27
	10-20	37,75	19,51	12,97	34,96	17,03	15,49
	20-30	37,59	21,78	14,34	35,52	19,36	12,01
	30-40	58,85	40,92	29,16	34,22	22,46	14,08
	40-50	57,01	39,18	23,73	34,57	27,58	14,88
<i>Nostoc linckia</i> 3 kg/ha	0-10	23,50	15,02	11,90	-	-	-
	10-20	35,34	20,16	13,33	-	-	-
	20-30	40,43	27,18	16,67	-	-	-
	30-40	51,57	32,12	17,06	-	-	-
	40-50	54,14	35,16	23,79	-	-	-
<i>Nostoc gelatinosum</i> 3 kg/ha	0-10	34,92	18,69	14,77	-	-	-
	10-20	37,80	23,00	14,62	-	-	-
	20-30	43,38	28,00	18,03	-	-	-
	30-40	60,21	43,60	29,38	-	-	-

	40-50	78,48	55,22	38,31	-	-	-
<i>Calothrix gracilis</i> 3 kg/ha	0-10	33,14	17,82	12,85	-	-	-
	10-20	35,32	18,23	10,86	-	-	-
	20-30	42,01	24,51	15,82	-	-	-
	30-40	55,97	42,09	28,09	-	-	-
	40-50	60,00	40,57	27,27	-	-	-
<i>Cilindrospermum licheniforme</i> 3 kg/ha	0-10	37,70	15,76	14,68	-	-	-
	10-20	43,66	25,74	16,98	-	-	-
	20-30	46,88	26,02	18,42	-	-	-
	30-40	62,12	43,02	30,89	-	-	-
	40-50	59,20	38,15	23,49	-	-	-
Lot combinat	0-10	26,99	14,04	12,52	32,86	11,34	15,09
	10-20	32,71	17,52	11,16	33,21	17,88	10,91
	20-30	36,75	33,13	18,99	37,28	24,41	14,23
	30-40	60,10	41,80	25,20	37,38	37,38	15,62
	40-50	57,46	37,12	26,43	41,77	27,73	19,27

Din datele prezentate în Tabelul 6 constatăm că în cazul agregatelor 10-0,25 mm în fazele incipiente ale procesului de biologizare a mecanismelor de agregare-structurare efectele determinate de aplicarea algelor fixatoare de azot se limitează la grosimea stratului arabil (0-20 cm). Mai pronunțat aceasta se atestă în cazul variantei *Nostoc linckia* (cultura porumb). În cadrul acestuia în stratul de 0-10 cm unui procent de humus îi revin 35,34%. Aceeași legitate, dar cu altă exprimare cantitativă, o constatăm în cadrul variantei Lot combinat.

Cu eficiență moderată de agregare-structurare se utilizează humusul în cazul variantei *Calothrix gracilis* (cultura porumb), unde cantitatea de agregate ce revine unui procent de humus este cu 3-4% mai mare decât la varianta martor. În cazul variantei *Nostoc gelatinosum* humusul se consumă la agregare-structurare doar în stratul de 0-10 cm.

În cazul culturii floarea soarelui (varianta Lot combinat), humusul este mai puțin eficient consumat la agregare-structurare.

Un rol mai important are humusul în cazul agregatelor pedofuncțional prețioase (5-1 mm) în care se realizează procesele responsabile de circuitul azotului și carbonului în sol.

În opinia lui E.C. Vasilenco și coaut., conținutul mare de organisme diazotrofe în aceste agregate asigură sporirea hidrostabilității. În acest sens, mecanismele de agregare-structurare cu formarea agregatelor hidrostabile sunt determinate de cenozele cianofite algo-bacteriene care produc cantități mari de polizaharide mucelagii cu capacitate mare de aglutinare a substanțelor organo-minerale în agregate cu dimensiuni cuprinse, preponderent, în intervalul 5-1 mm [7]. Cantitativ, rolul substanțelor humice proaspăt formate, în formarea agregatelor 5-1 mm, este mai pronunțat în stratul de 0-10 cm atât în cazul culturii porumbului, cât și al culturii floarea soarelui. În cazul variantei Lot combinat, efectul de agregare-structurare cu formarea agregatelor 5-1 mm cu participarea substanțelor humice proaspăt formate se extinde pe întreaga grosime a stratului arabil (0-20 cm) (cultura porumb). Legități analogice se atestă și în cazul agregatelor grăunțoase (3-0,5).

Analiza comparativă a Indicilor de Humusiere a structurii agregatice a cernoziomurilor tipice în cazul culturii porumbului și florii soarelui implică concluzia că procesul de structurare cu participarea substanțelor humice proaspăt formate este intercalat cu efectele de agregare-structurare exercitate de sistemul radicular al plantelor de cultură.

### Concluzii

Procesele de agregare-structurare a biopedoplasmei cernoziomurilor conduc la formarea de formațiuni pedogenetice (agregate structurale), în care substanțele organice sunt protejate de la mineralizare.

Conținutul de humus în fracțiunile de agregate structurale cu diverse dimensiuni este relativ identic și este aproximativ egal cu conținutul acestuia în respectivul orizont al ofilului genetic. Cu conținuturi mai mici de humus se caracterizează agregatele >10 și <0,25 mm. În agregatele 10-5 mm conținutul de humus sporește ușor și variază în funcție de tipul orizontului genetic. Cu cantități maxime de humus se caracterizează agregatele 2-0,25 mm. Agregatele 5-2 mm se caracterizează cu conținuturi ușor mai sporite decât agregatele

10-5 mm. Legitățile specificate se materializează în valorile Indicilor de Sechestrare a Carbonului Organic în Sol (ISCS) și Indicilor de Humisiere a Structurii Agregatice (IHSA).

Toate speciile de alge cianofite fixatoare de azot experimentate contribuie la sechestrarea carbonului organic în sol. Activitatea de agregare-structurare a algelor cianofite este intercalată cu activitatea de structurare a sistemului radicular al culturilor cultivate (porumb, floarea soarelui). Mai intensiv acest proces decurge în cazul culturii porumbului.

În linii generale, intensitatea procesului de sechestrare a carbonului organic în sol cu participarea algelor poate fi redată cu următoarele rânduri pedofuncționale în sensul scăderii acesteia:

Porumbul: *Nostoc gelatinosum* > *Calothrix gracilis* > *Lot combinat* > *Cylindrospermum licheniforme* > *Nostoc linckia*;

Floarea soarelui: *Nostoc gelatinosum* > *Lot combinat* > *Cylindrospermum licheniforme* > *Calothrix gracilis* > *Nostoc linckia*.

#### Referințe:

- JIGĂU, Gh., ȘALARU, V., BLIDARI, A., DOBROJAN, S., TOFAN, A., PLĂCINTĂ, N. Vizion on the structural-gregation mechanism of humifer moderated chernozems, with participation of cuanopyte algae. În: *Lucrări științifice, seria Agronomie*. Iași: Universitatea „Ion Ionescu de la Brad”, 2018.
- JIGĂU, Gh., ȘALARU, V., BLIDARI, A., DOBROJAN, S., TOFAN, A., PLĂCINTĂ, N., BUHNĂ, M. Plase of cyanophyta algae in suport and achievement of the structural aggregation processes of humifer moderated typical chernozems. În: *Factori și procese pedogenetice din zona temperată*. Iași: Universitatea „Al.I. Cuza”, 2018.
- САФИУЛИНА, Р.Р. Цианобактериально-водорослевые ценозы чернозёма обыкновенного под растениями фитомелиораторами, в Зауралье Республики Башкортостан: Дисс. на соискание учёной степени кандидата биологических наук. Уфа, 2014. 187 с.
- ХАСАНОВА, Р.Ф. Алгоагрофизическая характеристика почвенных агрегатов под травами естественных и сельскохозяйственных экосистем. В: *Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук*, 2015, №17, с.875-879.
- ХАСАНОВА, Р.Ф., СУИНДУКОВ, И.Т., СУИНДУКОВА, М.Б. Фитомелиоративный способ экологической реабилитации чернозёмов Зауралья. В: *Вестник Академии Наук Республики Башкортостан*, 2016, том 20, №1, с.6-16.
- СУИНДУКОВ, И.Т., ХАСАНОВА, Р.Ф. Качественный анализ агрегатного состояния чернозёмов под травами естественных и сельскохозяйственных экосистем. В: *Вестник Академии Наук Республики Башкортостан*, 2016, том 21, №1(81), с.24-30.
- ВАСИЛЕНКО, Е.С., КУТОВАЯ, О.В., ТАКАХОВА, А.К., МАРТЫНОВ, А.С. Изменение численности микроорганизмов в зависимости от величины агрегатов гумусового горизонта миграционно-мицелиарного чернозёма. В: *Бюллетень Почвенного Института им. В.В. Докучаева*, 2014, вып.73, с.85-97.
- СЕМЕНОВ, В.М., КОГУТ, Б.М. *Почвенное органическое вещество*. Москва: ГЕОС, 2015. 232 с.
- СЕМЕНОВ, В.М., ИВАННИКОВА Л.А., ТУЛИНА А.С. Стабилизация органического вещества в почве. В: *Агрохимия*, 2009, №10, с.77-96.
- СЕМЕНОВ, В.М., ТУЛИНА, А.С., СЕМЕНОВА, Л.А., ИВАНИКОВА, В.А. Гумификационные и негумификационные пути стабилизации органического вещества в почве (обзор). В: *Почвоведение*, 2013, №4, с.393-407.
- BRONICK, C.J., LAL, R. Soil structure and management: a review. In: *Geoderma*, 2005, vol.124, p.3-22.
- SIX, J., BOSSNYT, H., DEGRYZE, S., DENET, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. In: *Soil Tillage Res.*, 2004, vol.7, p.7-31.
- OADES, J.M., WATERS, A.G. Aggregate hierarchy in soils. In: *Austral. J. Soil Res.*, 1991, vol.29, p.815-828.
- LUPAȘCU, Gh., JIGĂU, Gh., VIRLAN, M. *Pedologie generală*. Iași: Junimea, 1998. 297 p.
- JIGĂU, Gh. *Geneza și Fizica solurilor*. Chișinău: CEP USM, 2009. 164 p.
- АРТЕМИЕВА, З.С. *Органическое вещество и гранулометрическая система почв*. Москва: ГЕОС, 2010. 240 с.
- JASTOW, J.D. Soil aggregate formation and the actual of particularite and mineral – asociated organic matter. In: *Soil Biol. Biochem.*, 1996, vol.28, p.656-676.
- SIX, J., PAUSTIAN, K., ELLIOT, E.T., COMBRIN, K.C. Soil structure and soil organic matter: I. Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon. In: *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2000, vol.64, p.681-689.
- Von LIITZOV, M., KÖGEL-KNABNER, J., EKSCHEMITT, K. et al. SOM fractionation methods: Relevance to functional pools to stabilization mechanisms. In: *Soil. Biol. Biochem.*, 2007, vol.39, p.2183-2207.
- OLCHIN, A., OADES, J.M., SKJEMSTAD, J.O., CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. In: *Austral J. Soil Res.*, 1994, vol.32, p.1043-1068.
- ЗУБКОВА, Т.А., КАРПАЧЕВСКИЙ, Л.О. *Матричная организация почв*. Москва: РУСАКЖ, 2001. 249 с.

22. ХАСАНОВА, Р.Ф, ШАЛАГИНА (Сафиулина), Р.Р., ДУБВИК И.Е. Влияние климатических показателей на цианобактериально-водорослевые ценозы. В: *Вестник НБГУ*, 2016, №2, с.3-8.

**Date despre autori:**

**Gheorghe JIGĂU**, doctor în biologie, conferențiar universitar, Facultatea de Biologie și Pedologie, Universitatea de Stat din Moldova.

**Victor ȘALARU**, doctor habilitat în biologie, profesor universitar, Facultatea de Biologie și Pedologie, Universitatea de Stat din Moldova.

**Sergiu DOBROJAN**, doctor în biologie, conferențiar universitar, Facultatea de Biologie și Pedologie, Universitatea de Stat din Moldova.

**E-mail:** sergiudobrojan84@yahoo.com

*Prezentat la 20.05.2019*