

AGENȚIA "MOLDSILVA"
INSTITUTUL DE CERCETĂRI ȘI AMENAJĂRI SILVICE



RAPORT

privind monitorizarea schimbărilor la nivel de depozite de carbon (biomasă și soluri) produse în perdelele de protecție reabilitate în cadrul Proiectului "Agricultura Competitivă în Moldova" (starea post-implementare)

CUPRINS

I. DISPOZIȚII GENERALE	4
II. CALCULAREA EȘANTIONULUI NECESAR PENTRU ESTIMAREA CARBONULUI DIN BIOMASA ȘI SOL A PERDELELOR FORESTIERE DE PROTECȚIE PRECONIZATE PENTRU REABILITARE ÎN CADRUL MACP	4
2.1. Calcularea eșantionului necesar pentru estimarea carbonului din biomasa perdelelor forestiere de protecție	4
2.1.1. Eșantionul pentru estimarea carbonului din biomasa perdelelor forestiere de protecție.....	5
2.1.2. Eșantionul pentru estimarea carbonului din sol	6
III. ESTIMAREA STOCULUI INIȚIAL DE CARBON DIN ARBORI ȘI ARBUȘTI DIN PERDELE FORESTIERE DE PROTECȚIE INCLUSE ÎN MACP	7
3.1. Rezultatele determinării conținutului de carbon în arbori și arbuști din PFP, selectate pentru estimarea carbonului după realizarea lucrărilor de reabilitare	7
IV. ESTIMAREA STOCULUI INIȚIAL DE CARBON DIN LITIERĂ DIN PERDELE FORESTIERE DE PROTECȚIE INCLUSE ÎN MACP	8
V. ESTIMAREA STOCULUI DE CARBON DIN SOL ÎN PERDELE FORESTIERE DE PROTECȚIE REABILITATE ÎN CADRUL MACP	9
5.1. Obiecte și metode de lucru	9
VI. ESTIMAREA STOCULUI TOTAL DE CARBON ÎN PERDELE FORESTIERE DE PROTECȚIE REABILITATE ÎN CADRUL MACP	10
6.1. Stocul total de carbon în perdele forestiere de protecție reabilitate în cadrul MACP	10
6.2. Proiecții privind reducerile de emisii în cadrul proiectului MACP pentru perioada de 20 ani	11
VII. BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	12

I. DISPOZIȚII GENERALE

Prezentul Raport reflectă activitatea Institutului de Cercetări și Amenajări Silvice (ICAS) de estimare a carbonului sechestrat în perdele forestiere reabilitate în cadrul Proiectului "Agricultura Competitivă în Moldova" în conformitate cu prevederile Contractului MD-CAPMU-329081-CS-CDS din 25 ianuarie 2023 cu Amendamentului nr.1 din 24.09.2024 și Amendamentul nr. 2 din 06.08.2025 între UCIMPA și ICAS. Activitățile nemijlocite descrise în Raport au fost implementate în perioada noiembrie-decembrie 2025 și includ următoarele:

-  Calcularea eșantionului de suprafețe de probă;
-  Selectarea sectoarelor pentru amplasarea suprafețelor de probă;
-  Realizarea calculelor privind cantitatea carbonului sechestrat de perdelele forestiere până la realizarea lucrărilor de reabilitare (Linia de Bază).

La estimarea stocului de carbon din biomasa terestră a fost utilizată Metodologia AR-AM0002 "Restabilirea terenurilor degradate prin împădurire/regenerare" (Versiunea 03). Această metodologie a fost aprobată în anul 2009 de Consiliul executiv al Mecanismului de Dezvoltare Nepoluantă (MDN) din cadrul Protocolului de la Kyoto și Convenției-cadru a Națiunilor unite privind schimbarea climei (CCONUSC) și este aplicabilă pentru proiecte de împădurire și regenerare în Republica Moldova. Concomitent, se menționează că metodologia respectivă a fost utilizată în cadrul proiectelor "Conservarea solurilor în Moldova" și "Dezvoltarea sectorului forestier comunal în Moldova", inclusiv pentru validare și certificare internațională a reducerilor de emisii.

II. CALCULAREA EȘANTIONULUI NECESAR PENTRU ESTIMAREA CARBONULUI DIN BIOMASA ȘI SOL A PERDELELOR FORESTIERE DE PROTECȚIE PRECONIZATE PENTRU REABILITARE ÎN CADRUL MACP

2.1. Calcularea eșantionului necesar pentru estimarea carbonului din biomasa perdelelor forestiere de protecție

Mărimea eșantionului determină numărul de suprafețe de probă necesare pentru fiecare strat pentru a atinge precizia scontată, luând în vedere variația și suprafața fiecărui strat. Aceasta ar însemna că stratul cu varietatea sporită, care ocupă suprafețe mici va avea mai puțină influență asupra numărului total de suprafețe necesare decât stratul care ocupă o suprafață mai mare. Bazându-se pe experiența empirică, un grad de

exactitate de aproximativ +/-10% de la medie, cu un interval de încredere de 90% poate fi realizat la un preț accesibil.

Nivelul de exactitate recomandat este determinat doar în baza erorii de eșantionare. Alte surse de eroare cuprind erorile care țin de măsurări și de model. Eroarea de eșantionare este cea mai mare sursă de eroare și, de regulă, constituie mai mult de 80% din eroarea totală. Deci, se recomandă, la obținerea unei erori totale de +/- 10% de la medie, o valoare mai mică a erorii de eșantionare. La monitorizarea carbonului din sol și biomasă, intervalul de încredere pentru eroarea de eșantionare propusă este 90%, constituind +/- 7% de la medie. Mărimea calculată a eșantionului este suficientă pentru a rezolva cel mai mic interval absolut de încredere anticipat. Unele straturi vor produce rezultate mai înalte, însă cadrul de monitorizare trebuie să fie capabil de a rezolva cele mai mici schimbări anticipate. Astfel, odată cu creșterea mediei, exactitatea trebuie să crească proporțional.

Timpu și efortul realizat la măsurările în teren depinde de mărimea eșantionului (numărul loturilor) și suprafața loturilor. Deși, mărirea eșantionului va spori exactitatea, creșterea suprafeței loturilor reduce variabilitatea dintre eșantioane conform relației derivate de Freese (1962):

$$CV_2^2 = CV_1^2 * \sqrt{(P_1 / P_2)}$$

unde,

 CV – coeficientul de variație;

 P – suprafața lotului de probă;

 1 și 2 reprezintă diferite suprafețe de loturi și CV-urile corespunzătoare.

Prin urmare, la mărirea suprafeței lotului, variația dintre loturi este redusă, ceea ce permite un eșantion mai mic la același grad de exactitate.

2.1.1. Eșantionul pentru estimarea carbonului din biomasa perdelelor forestiere de protecție

Estimarea carbonului din biomasă (arbori, arbuști, litieră) în perdele forestiere de protecție s-a realizat în baza sectoarelor/ perdelelor forestiere de protecție parcurse cu lucrările de reabilitare pe parcursul implementării **MACP** (2023-2025). Toate calculele și modelările au fost realizate pe baza terenurilor respective, fiind ulterior raportate la suprafața totală a perdelelor forestiere din proiect (902,2 ha).

Calcularea eşantionului necesar pentru estimarea carbonului din biomasă în perdele forestiere de protecție a demarat cu stratificarea sectoarelor în dependență de 2 criterii de stratificare:

- specia de bază: *Quercus* – stejar, *Robinia* - salcâm, *Juglans* – nuc;
- tipul de lucrare propusă: reconstrucție (categoria dată include lucrările de reconstrucție, ajutorare a regenerării naturale, tratamente silvice), conducerea arboretului (curățiri, rărituri, igienă), îngrijirea arboretului și subarboretului (elagaj, emondaj, lucrări de îngrijire a subarboretului).

În rezultatul stratificării perdelelor forestiere conform criteriilor stabilite s-au obținut 6 straturi relativ omogene. Ulterior a fost calculat un eşantion de 27 suprafețe de probă repartizate în 8 straturi (Tabelul 1).

Tabelul 1

Eşantion de suprafețe de probă necesare pentru evaluarea biomasei

Straturile	Denumirea straturilor	Aria, ha	Numărul de SP calculate
stratul 1	<i>Quercus</i> _reconstrucție	121,94	3
stratul 2	<i>Quercus</i> _conducere arboret	57,59	1
stratul 3	<i>Robinia</i> _reconstrucție	499,99	18
stratul 4	<i>Robinia</i> _conducere arboret	82,13	2
stratul 5	<i>Juglans</i> _reconstrucție	8,57	1
stratul 6	<i>Juglans</i> _conducere arboret	131,98	2
TOTAL		902,2	27

2.1.2. Eşantionul pentru estimarea carbonului din sol

Stratificarea sectoarelor pentru calcularea eşantionului necesar pentru estimarea carbonului din sol se face în dependență de bonitate, deoarece acest indicator stabilește în mare măsură cantitatea de carbon în stratul de 30 cm al solurilor respective.

Etapa de apreciere a stării inițiale a obiectelor/ PFP apte pentru includere în proiect nu a prevăzut și studiul solului, accentul fiind pus pe funcționalitatea etajului de arbori și arbuști. Din cauza aceasta, pentru stratificare sectoarelor pentru calcularea eşantionului necesar pentru estimarea carbonului din sol au fost folosite datele statistice obținute în cadrul proiectului "Dezvoltarea Sectorului Forestier Comunal în Moldova" (PDSFCM) și etapa inițială a MACP (2014-2017).

În rezultatul stratificării au fost constituite 2 straturi pentru calcularea carbonului din sol. Stratificarea este bazată pe indicatorii care țin de productivitatea solurilor. Astfel, acestea au fost încadrate în două categorii convenționale:



soluri sărace (humus < 2%);



soluri bogate (humus > 2%).

Tabelul 2

Lista straturilor pentru calcularea carbonului din sol în perdelele forestiere de protecție

Straturile	Denumirea straturilor	Aria, ha	Pondere, %	Numărul de SP calculate
stratul 1	Soluri bogate	622,13	69,0	11
stratul 2	Soluri sărace	280,07	31,0	4
TOTAL		902,2	100	15

Analiza datelor din Tabelul 2 denotă că majoritatea PFP reabilite în cadrul MACP cresc pe soluri bogate (humus > 2%), care constituie circa 69%.

III. ESTIMAREA STOCULUI ÎNȚĂL DE CARBON DIN ARBORI ȘI ARBUȘTI DIN PERDELE FORESTIERE DE PROTECȚIE INCLUSE ÎN MACP

3.1. Rezultatele determinării conținutului de carbon în arbori și arbuști din PFP, selectate pentru estimarea carbonului după realizarea lucrărilor de reabilitare

Stocul de carbon a fost estimat prin aplicarea unei metodei analitice, având ca sursa datele din etapele precedente MACP (2014-2017). În rezultatul extrapolării datelor obținute din calcule efectuate pe baza datelor colectate în teren au fost obținute date privind conținutul de carbon în biomasa terestră și subterană a arborilor și arbuștilor. Datele respective au fost raportate la suprafața totală a proiectului (Tabelul 3).

Tabelul 3

Rezultatele determinării conținutului de carbon în arbori și arbuști din PFP, selectate pentru estimarea carbonului

Stratul	Suprafața stratului	Conținutul mediu de carbon în arbori+ arbuști (partea terestră)	Conținutul mediu de carbon în arbori+ arbuști (partea subterană)	Conținutul de carbon partea terestră pe strat	Conținutul de carbon partea subterană pe strat
	(ha)	(t C ha-1)	(t C ha-1)	(t C stratum i)	(t C stratum i)
1	121,94	11,58	3,47	1.412,07	423,13
2	57,59	10,79	2,11	621,40	121,51
3	499,99	20,50	3,96	10.249,80	1.979,96
4	82,13	30,90	5,80	2.537,82	476,35
5	131,98	61,90	6,94	8.169,56	915,94
6	8,57	5,06	1,08	43,36	9,26
Total	902,20	-	-	23.034,00	3.926,16

În biomasa terestră (arbori și arbuști) și subterană (rădăcinile arborilor și arbuștilor) din perdele forestiere incluse în proiectul **MACP** după realizarea lucrărilor de reabilitare se conține circa 27 mii tone de carbon.

IV. ESTIMAREA STOCULUI ÎNȚĂL DE CARBON DIN LITIERĂ DIN PERDELE FORESTIERE DE PROTECȚIE INCLUSE ÎN MACP

În rezultatul calculelor efectuate în baza analizelor de laborator au fost obținute date primare privind conținutul de carbon în litiera din PFP (frunze, ace de conifere, crenguțe, scoarță și alte resturi vegetale și animale). Datele respective au fost raportate la suprafața actuală totală a proiectului (Tabelul 4).

Tabelul 4

Rezultatele determinării conținutului de carbon în litiera din PFP, selectate pentru estimarea carbonului după realizarea lucrărilor de reabilitare

Stratul	Suprafața stratului	Stocul mediu de carbon în litieră pe unitate de suprafață	Stocul de carbon în litieră pe strat
	(ha)	(t C ha-1)	(t C stratum i)
1	121,94	6,68	814,56

Stratul	Suprafața stratului	Stocul mediu de carbon în litieră pe unitate de suprafață	Stocul de carbon în litieră pe strat
	(ha)	(t C ha ⁻¹)	(t C stratum i)
2	57,59	6,40	368,58
3	499,99	6,08	3.039,94
4	82,13	6,90	566,70
5	131,98	3,77	497,56
6	8,57	2,49	21,34
TOTAL	902,2	-	5.308,68

Conform datelor din Tabelul 4 în litiera din perdele forestiere incluse în proiectul **MACP** după realizarea lucrărilor de reabilitare se conține 5,3 mii tone de carbon. Până la demararea lucrărilor de reabilitare conținutul carbonului în litieră a fost cu circa 74% mai puțin.

V. ESTIMAREA STOCULUI DE CARBON DIN SOL ÎN PERDELE FORESTIERE DE PROTECȚIE REABILITATE ÎN CADRUL MACP

5.1. Obiecte și metode de lucru

La calculele carbonului din sol au fost utilizate datele obținute în rezultatul măsurărilor în etapa precedentă a proiectului MACP (2014-2017), reieșind din straturi similare pentru sol. Astfel, s-a constatat că pe solurile sărace sunt depozitate în medie 54,85 tone carbon la hectar, iar pe solurile bogate – 70,06 tone carbon la hectar. Datele respective servesc pentru estimarea totală a carbonului din sol pe straturile actuale ale proiectului (Tabelul 5).

Tabelul 5

Calculul carbonului din sol pe straturile proiectului

Stratul	Descriere strat	Aria, ha	Volumul mediu al carbonului pe strat, tC/ha	Carbon total pe strat, t C
1	Soluri bogate	622,13	70,06	43.586,43
2	Soluri sărace	280,07	54,85	15.807,15
TOTAL		902,2	-	59.393,58

La momentul demarării proiectului volumul total al carbonului din sol constituia 68,4 mii tone (Tabelul 6). Scăderea cantității volumului carbonului din sol se explică prin faptul, că pentru unele lucrări de reabilitare a perdelelor forestiere realizate în cadrul **MACP** a fost necesară prelucrarea solului. În rezultatul prelucrării respective (proces de

mineralizare), conform datelor din literatura de specialitate, volumul pierderilor medii anuale de carbon în sol constituie circa 320 kg/ha¹. Concomitent, este necesar de menționat că acest volum se va restabili într-o perioadă relativ scurtă prin acumularea sporită a humusului din contul biomasei (arbori, arbuști, litieră), cantitatea căreia este în creștere în rezultatul procesului de reabilitare.

VI. ESTIMAREA STOCULUI TOTAL DE CARBON ÎN PERDELE FORESTIERE DE PROTECȚIE REABILITATE ÎN CADRUL MACP

6.1. Stocul total de carbon în perdele forestiere de protecție reabilitate în cadrul MACP

După efectuarea calculării stocului de carbon în toate rezervoarele (arbori, arbuști, litieră și sol) s-a realizat generalizarea pe MACP. În rezultatul încorporării rezultatelor pe componente: arbori, arbuști, litieră și sol în Tabelul 6 s-a calculat volumul total al carbonului stocat în sectoarele din cadrul MACP. Astfel, s-a constatat că în sectoarele din cadrul MACP este stocată o cantitate totală de 91,7 mii tone carbon sau 101,6 tC/ha. Echivalentul în dioxid de carbon (CO₂) a volumului respectiv constituie circa 336,1 mii tone CO₂.

Tabelul 6

Calculul carbonului stocat pe sectoarele din cadrul MACP

Etapă la care s-a efectuat monitorizarea stocurilor	Stocul de carbon în biomasa arborilor și arbuștilor, tC	Stocul de carbon în litieră, tC	Stocul de carbon în sol, tC	Total stoc de carbon în sectoare MACP, tC
Inițial	16.307,38	3.057,70	68.406,04	87.771,12
După efectuarea lucrărilor	26.960,16	5.308,68	59.393,58	91.662,41
Diferența, %	+65,3	+73,6	-13,2	+4,4

Modificările produse demonstrează efectul benefic al lucrărilor de reabilitare a perdelelor forestiere de protecție a terenurilor agricole realizate în cadrul MACP. Creșterea biomasei terestre și subterane a arborilor și arbuștilor, creșterea cantității litierii se răsfrânge imediat asupra cantității carbonului stocat de plantațiile reabilitate.

¹ IPCC. 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. [Internet] Intergovernmental Panel on Climate Change. Available from: http://www.ipccnggip.iges.or.jp/lulucf/gpglulucf_unedit.html [Accessed on December 2003].

Pierderile mici de carbon stocat în sol la etapa inițială – de cca 13%, pot fi explicate prin faptul prelucrării solului necesară pentru eficiența plantărilor culturilor silvice. Pierderile respective vor fi recuperate într-o perioadă relativ scurtă, odată cu creșterea continuă a vigurozității arborilor și arbuștilor din cadrul perdelelor forestiere reabilite.

Pentru estimarea secheștrărilor nete cumulative (biomasă arbori, litieră, sol) a gazelor cu efect de seră (GES) realizate de către PFP reabilite în cadrul MACP se efectuează o diferență între stocul *ex ante* și cel *ex post*. În rezultatul calculelor s-a stabilit că PFP reabilite în cadrul MACP au realizat reduceri nete de GES de către absorbânți în volum de 8,23 tCO₂e/an/ha sau o valoare cumulativă de 29 710,84tCO₂e (Tabelul 7).

Tabelul 7

Calculul reducerilor nete de carbon/GES pe sectoarele din cadrul MACP

Element	Stocul actual net de carbon, <i>ex post</i> , tC	Stocul net de carbon, <i>ex ante</i> , tC	Schimbarea în stocul net de carbon, tC	Reduceri de emisii antropogene nete de GES de către absorbânți, tCO ₂ e	Reduceri de emisii antropogene nete de GES de către absorbânți (tCO ₂ e/an/ha)
TOTAL	91.662,41	83.559,45	8.102,96	29.710,84	8,23

6.2. Proiecții privind reducerile de emisii în cadrul proiectului MACP pentru perioada de 20 ani

În baza calculelor și rezultatelor expuse în Capitolul V și paragraful 6.1 din prezentul Raport s-au realizat proiecții privind capacitățile estimative de secheștrare a GES de către PFP ameliorate/reabilite în MACP posibile în perioada de 20 ani. Perioada respectivă este una minimă de creditare/valabilitate pentru proiectele de Împădurire/Reîmpădurire din cadrul Mecanismului Dezvoltării Nepoluante a Protocolului de la Kyoto sau a Mecanismului Creditelor de Carbon Verificate (VCU/VCS, eng. Verified Carbon Standard). Simulările respective sunt valabile în cazul unui management adecvat al PFP (902,2 ha), inclusiv efectuarea lucrărilor periodice de îngrijire stabilite prin normele tehnice în vigoare reieșind din evoluția stării PFP.

În Tabelul 8 sunt expuse valorile previziunilor privind reducerile potențiale de GES realizate de PFP ameliorate/reabilite în MACP în perioada de 20 ani. Conform datelor din tabelul respectiv se presupune că volumul total al secheștrărilor de GES va constitui 148.502,12 tCO₂e în biomasă și sol la o valoare medie de 8,23 tCO₂e/an/ha.

Schimbarea în stocul net de carbon în biomasa terenurilor împădurite în cadrul PCSM în perioada de 20 ani

Element	Reduceri reale de GES de către absorbanți (tCO ₂ e)	Reduceri de emisii antropogene nete de GES de către absorbanți la unitate de suprafață (tCO ₂ e/an/ha)	Reduceri de emisii antropogene nete de GES de către absorbanți în perioada de 20 ani (tCO ₂ e)
Total	29.710,84	8,23	148.502,12

În calitate de concluzie, se menționează influența pozitivă asupra stocurilor de carbon a operațiunilor tehnice realizate în perdelele forestiere de protecție în procesul de reabilitare în cadrul proiectului MACP. Totodată, experiența acumulată în cadrul proiectului MACP poate servi drept bază pentru lansarea unor proiecte în cadrul mecanismelor Acordului de la Paris (art. 6), precum și a Mecanismului Creditelor de Carbon Verificate (VCU/VCS), cu sau fără atribuții la obligațiunile Republicii Moldova care țin de Contribuția Națională Determinată 3.0 (mai 2025).

Pentru evaluarea și raportarea performanțelor proiectului MACP, principalii parametrii caracteristici pe dimensiunea stocuri de carbon se consideră următoarele:

-  Reduceri totale nete de emisii GES perioadă implementare (2023-2025) – 29.710,84 tCO₂e;
-  Reduceri nete de emisii GES la unitate de suprafață în perioada de implementare (2023-2025) – 8,23 tCO₂e/an/ha;
-  Previziuni privind reducerile potențiale de GES realizate de PFP ameliorate/reabilitate în MACP în perioada de 20 ani - 148.502,12 tCO₂e.

VII. BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Forest Agency Moldsilva, Forest Research Institute, GFA Terrasystems, Winrock International and World Bank, (2009), *Methodology AR-AM0002 „Restoration of degraded lands through afforestation/reforestation”* In: Decision nr. 50 of CDM Executive Board from UNFCCC, 1-82, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.004.
2. Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice, (2016), *Raport privind monitorizarea schimbărilor la nivel de depozite de carbon (biomasă și soluri) produse în perdelele de protecție reabilitate în cadrul Proiectului ”Agricultura Competitivă în Moldova” (starea post-implementare)*, 26 p.
3. IPCC (2006), *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories*

- Programme*. Published by Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Available from: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>.
4. Galupa D., Talmaci I., Șpitoc L. (2006), *Proiectul „Conservarea solurilor în Moldova”*. Chișinău, Centrul editorial al UASM, 18 p.
 5. Galupa D., Talmaci I., Șpitoc L., Miron A., Vedutenco D. (2017), *Ghid tehnic privind cele mai bune practici agroforestiere în cadrul gestionării durabile a terenurilor*. Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice. – Chișinău: S. n., Tipografia „Print Caro”. – 148 p.
 6. Galupa D., Talmaci I., Șpitoc L., Caisin V., Varzari A., Mînzat Gr., Odainic V., Opincă V., Moțoiianu I. (2018), *Rezultate preliminare privind reducerile de emisii a gazelor cu efect de seră în cadrul proiectului „Dezvoltarea sectorului forestier comunal în Moldova”*. Analele ICAS, Chișinău, vol. 1, p. 46-57.
 7. Dumitru Galupa, Ion Talmaci (2021). *Înființarea perdelelor forestiere de protecție în calitate de măsură de adaptare la schimbările climatice. Ghid practic pentru producătorii agricoli*. – Chisnau.: UCIP IFAD, 60 p.
 8. Karjalainen T., Pussinen A., Liski J., Nabuurs G. J., Eggers T., Lapveteläinen T., Kaipainen T., (2003), *Scenario analysis of the impacts of forest management and climate change on the European forest sector carbon budget*. For. Policy Econ., 5 (2), 141-155, DOI: 10.1016/S1389-9341(03)00021-2.
 9. Talmaci I., Miron A., Sfecă V., Cerbari V., Leah T., Țăranu M. (2018), *Impactul modului de utilizare a terenurilor asupra neutralității degradării terenurilor în contextul intervențiilor adecvate de stocare și reducere a emisiilor de carbon*. Analele ICAS, Chișinău, vol. 1, p. 58-70.