

MANAGEMENTUL MATERIEI ORGANICE A SOLULUI – MĂSURĂ DECISIVĂ ÎN ATENUAREA ȘI ADAPTAREA LA SCHIMBĂRILE CLIMATICE

CZU: 631.442.5+551.583

DOI: <https://doi.org/10.52673/18570461.23.3-70.07>Membru corespondent al AȘM **Boris BOINCEAN**E-mail: bboincean@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4648-2351>

Institutul de Cercetări pentru Culturile de Câmp „Selecția” (mun. Bălți)

SOIL ORGANIC MATTER MANAGEMENT – A DECISIVE MEASURE IN CLIMATE CHANGE MITIGATION AND ADAPTATION

Summary. Global warming requires the implementation of both immediate and long-term mitigation and adaptation measures in agriculture, which is affected by greenhouse gas emissions through the use of practices from the industrial model arsenal of agricultural intensification (oversaturation of planting areas with arable crops and lack of crop rotations with a greater diversity of arable and successive crops; excessive tillage; irrigation; application of mineral fertilizers, especially nitrogen etc.). Data from the long-term field experiments at Research Institute of Field Crops “Selecția” (Bălți, Republic of Moldova) are proving the dominance of mineralization over humification of soil organic matter with the emissions of CO₂ and oxides of nitrogen in the atmosphere. Chernozem soils have a high potential for carbon sequestration and consequently for mitigation and adaptation to climate change. Sustainable and resilient management of soil organic matter is one of the key issues for the transition to a more sustainable agriculture, capable to supply ecosystem and social services.

Keywords: soil organic matter, global warming, climate change, CO₂, N₂O and NO, soil, mineralization of SOM, sustainable agriculture.

Rezumat. Încălzirea globală necesită implementarea unor măsuri de atenuare și adaptare atât imediate, cât și de lungă durată în domeniul agriculturii, afectată astăzi de emisia gazelor cu efect de seră prin utilizarea unor practici din arsenalul modelului industrial de intensificare a agriculturii (suprasaturarea suprafețelor de însămânțare cu culturi prășitoare și lipsa rotațiilor de culturi cu o diversitate mai mare de culturi prășitoare și succesive; lucrarea excesivă a solului; irigarea; aplicarea de îngrășăminte minerale, în special azot etc.). Datele experimentelor de câmp de lungă durată efectuate la Institutul de Cercetări pentru Culturile de Câmp „Selecția” (Bălți, Republica Moldova) demonstrează dominarea mineralizării asupra humificării materiei organice din sol cu emisii de CO₂ și oxizi de azot în atmosferă. Solurile de cernoziom au un potențial ridicat de captare a carbonului și, în consecință, de atenuare și adaptare la schimbările climatice. Managementul durabil și rezilient al materiei organice din sol este una dintre problemele-cheie în procesul de tranziție către o agricultură durabilă, capabilă să ofere servicii ecosistemice și sociale.

Cuvinte-cheie: materia organică a solului, încălzirea globală, schimbări climatice, CO₂, oxizi de azot, sol, mineralizarea MOS, agricultură durabilă.

INTRODUCERE

Pe parcursul ultimelor decenii omenirea se confruntă cu o serie de provocări, inclusiv cu schimbările climatice – consecință a activității umane în era Antropocenă. Schimbările climatice se manifestă la nivel global, regional și local prin secete frecvente, incendii de vegetație, ploi torențiale și inundații, vânturi puternice, fenomene meteo extreme determinate de schimbarea anotimpurilor etc. La nivel global sunt evidente așa fenomene ca topirea ghețarilor, ridicarea nivelului apelor în mări și oceane, acidificarea mărilor și oceanelor soldate cu dispariția coralilor, perturbarea circuitului apei în oceane etc. Cu părere de rău, aceste

fenomene se vor agrava pe viitor din cauza resurselor naturale limitate și deteriorate în urma activității umane. Printre ele menționăm pierderea biodiversității, pierderea capacității de acordare a serviciilor ecosistemice și sociale, degradarea și deșertificarea terenurilor agricole, deteriorarea cantitativă și calitativă a resurselor de apă potabilă etc.

Așadar, criza climatică reflectă criza următoarelor resurse:

- umane – sănătate afectată de temperaturi înalte;
- de apă potabilă – rezultat al secetelor și deșertificării terenurilor;
- de sol – consecință a pierderii biodiversității la diferite nivele.

Economia de piață orientată spre creșterea economică în condițiile capitalului natural limitat, ale cărei probleme sunt neglijate și externalizate, nu poate asigura o dezvoltare durabilă. Dominarea intereselor economice de scurtă durată asupra intereselor economice de lungă durată la fel nu favorizează dezvoltarea durabilă a societății.

Schimbările climatice sunt provocate de emanarea în atmosferă a gazelor cu efect de seră (GES) (dioxid de carbon, oxizi de azot, metan ș.a.), care provoacă la rândul ei încălzirea atmosferei. Din anul 1750 până în prezent conținutul de dioxid de carbon în atmosferă a crescut de la 280 ppm până la 375 ppm [1]. Eșecul reducerii conținutului de dioxid de carbon în atmosferă astăzi va complica și mai mult situația pe viitor, deoarece consecințele schimbărilor climatice pot fi ireversibile. Cu cât mai puțin vom investi în diminuarea încălzirii globale acum, cu atât mai mult vom fi nevoiți să investim în adaptarea la schimbările climatice mâine.

Atenuarea și adaptarea la schimbările climatice presupune reducerea dependenței de sursele energetice neregenerabile și a derivatelor lor în vederea reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră. Aceasta deschide perspective reale pentru o dezvoltare durabilă sub aspect economic, ecologic și social și asigurarea securității alimentare în condițiile instabilităților climatice, creșterii pericolelor conflictelor militare și a pandemiilor [2].

Solul joacă un rol-cheie atât în diminuarea, cât și în adaptarea la schimbările climatice, reieșind din capacitatea sa înaltă de sechestrare a carbonului care depășește de 3-5 ori conținutul de carbon în vegetația terestră [1; 3; 4]. Pentru a asigura necesitățile populației crescânde a globului pământesc, Organizația pentru Alimentație și Agricultură a Națiunilor Unite (FAO) prevede o majorare cu 60 % a producerii produselor alimentare până în 2050. Este cunoscut că 95 % din consumul global de produse alimentare provin direct sau indirect de la sol [4; 5].

MATERIALE ȘI METODE

Cercetările au fost realizate în experimente de câmp de lungă durată pe asolamente și culturi permanente fondate în 1962; pe sisteme de fertilizare în asolament fondate în 1970; pe sisteme de fertilizare și regimuri de irigare în asolament fondate în 1968 și o experiență polifactorială cu studierea acțiunii și interacțiunii diferitor rotații de culturi, diferitor sisteme de lucrare și fertilizare în asolament, fără aplicarea mijloacelor chimice în „combaterea bolilor, dăunătorilor și buruienilor” [6; 7; 8]. O descriere mai detaliată a schemelor experimentelor de câmp menționate

mai sus se conține în cartea *Management durabil și rezilient al solurilor de cernoziom* [6; 7]. Sunt folosite datele Stațiunii Meteorologice a Institutului de Cercetări pentru Culturile de Câmp „Selecția” pe perioada 1961–2021, dările de seamă anuale ale ICCC „Selecția”, Anuare statistice pentru Republica Moldova din anii 1970–2022) [9; 10].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Datele Stațiunii Meteorologice a Institutului de Cercetări pentru Culturile de Câmp „Selecția” pe perioada 1961–2021, prezentate în figurile 1 și 2, arată că precipitațiile atmosferice au tendința de scădere, iar temperaturile medii ale aerului pentru anii agricoli cresc, în special începând cu anii 1990 încoace.

Aceeași tendință se observă și în ceea ce privește producția grâului de toamnă atât în experiențele pe termen lung în teren pe asolamente la ICCC „Selecția”, cât și în medie pe Republica Moldova pentru aceeași perioadă de timp (figura 3). De menționat că sortimentul de soiuri de grâu de toamnă a fost permanent reînnoit cu cele mai productive soiuri de origine autohtonă incluse în Registrul de Stat al Soiurilor de Plante. Producția de grâu de toamnă a fost mai înaltă în experiențele pe termen lung în teren ale ICCC „Selecția” comparativ cu media obținută în Republica Moldova. Folosirea irigației contribuie la creșterea productivității în experiența de câmp de lungă durată la ICCC „Selecția” cu diferite sisteme de fertilizare și regimuri de irigare, dar nu schimbă tendința de reducere în timp a producției pe parcursul ultimilor 25-30 de ani.

Scăderea producției la majoritatea culturilor din asolament are loc pe fondul reducerii rezervelor de materie organică în sol, care se consideră indicele integral al fertilității solului (tabelul 1). Rezervele de materie organică în stratul de sol 0-100 cm s-au micșorat cu 68,6 t/ha (20 %) și cu 60,6 t/ha (17,7 %) comparativ cu pârloaga (vegetație naturală), corespunzător, în asolamentul cu lucernă (30 %) + culturi prășitoare (40 %) și asolamentul fără lucernă + culturi prășitoare (60 %) + 12 t/ha de asolament gunoi de grajd. Cele mai mari pierderi de materie organică a solului au loc sub ogorul negru timp de 55 ani. Ele s-au dublat comparativ cu asolamentele cu și fără lucernă, constituind 120,0 t/ha (35,1 %). Trebuie menționat că ponderea rezervei de materie organică a solului în stratul 0-60 cm față de rezerva de materie organică în stratul 0-100 cm este aproximativ stabilă pe toate variantele studiate (65,8-72,6 %). În același timp, ponderea rezervelor de materie organică în stratul 0-60 cm față de stratul 0-100 cm este cea mai mare în pârloagă (65,8 %) și scade considerabil pe variantele arabile (41,3-52,8 %).

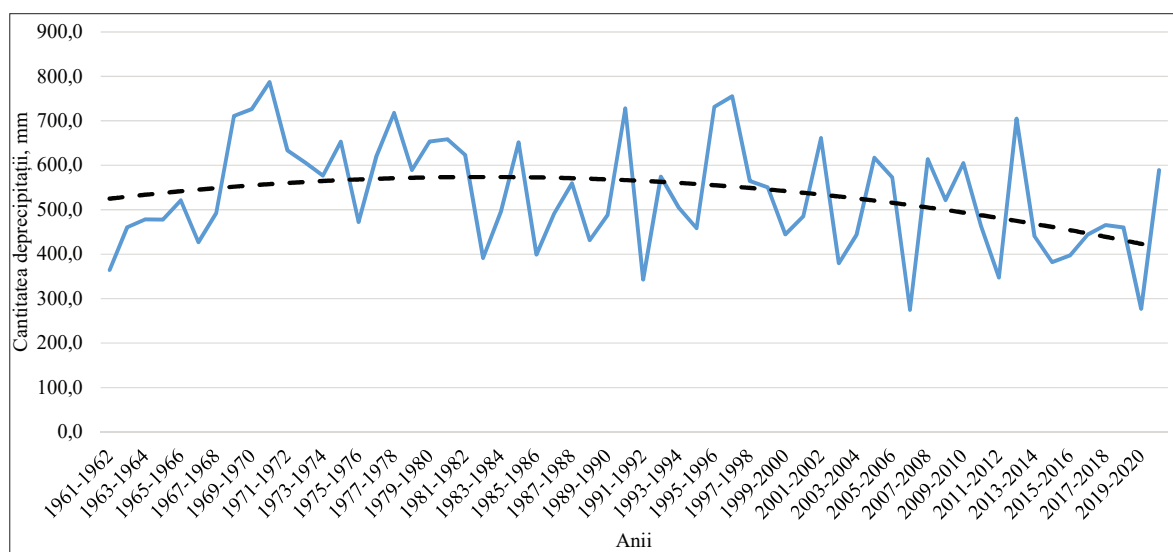


Figura 1. Cantitatea de precipitații (mm) căzute în perioada anilor agricoli 1961–2021 [10].

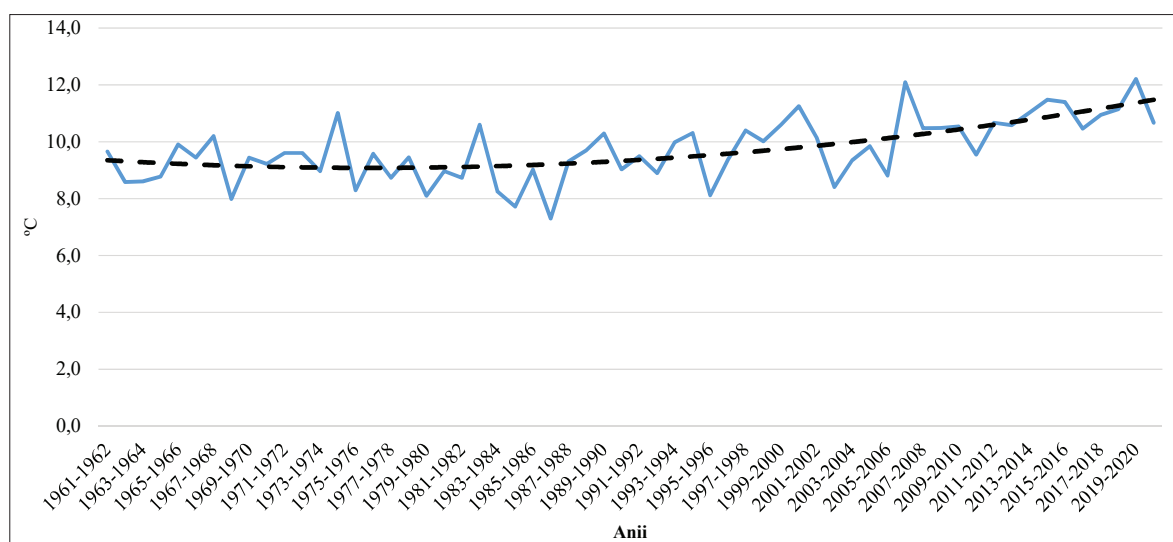


Figura 2. Dinamica temperaturilor pentru anii agricoli 1961–2021 [10].

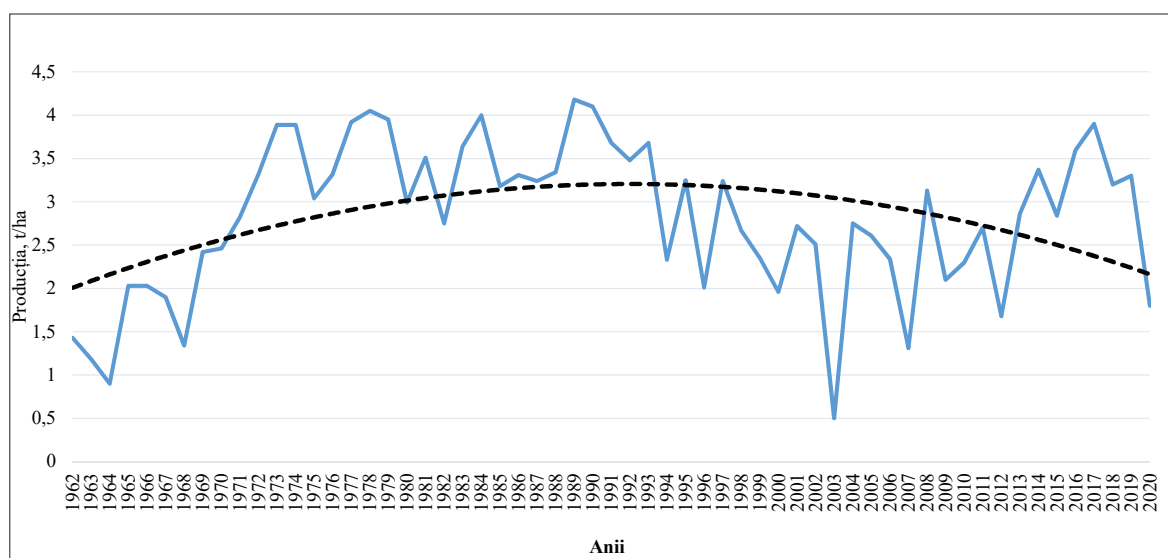


Figura 3. Producția grâului de toamnă (t/ha) în Republica Moldova, media pentru anii 1962–2020 [10].

Tabelul 1

**Rezervele și pierderile de materie organică a solului (calculat după cantitatea de carbon)
pe cernoziomul tipic din stepa Bălțiului, stratul de sol 0-100 cm, anul 2019 [7]**

Stratul de sol, cm	Pârloagă (vegetație naturală)		Rezervele și pierderile de materie organică în raport cu pârloaga								
			Asolament cu lucernă (30 %) + culturi prăși- toare (40 %)			Asolament fără lucer- nă + culturi prășitoare (60 %) + 12 t/ha g.g.*			55 de ani ogor negru permanent		
	t/ha	%	t/ha	±	%	t/ha	±	%	t/ha	±	%
0-100	342,3	100	273,7	-68,6	20,0	281,7	-60,6	17,7	222,3	-120,0	35,1
0-60	225,3	65,8	184,2	-158,1	46,2	200,8	-141,5	41,3	161,5	-180,8	52,8
% față de 0-100 cm	65,8		67,3			71,3			72,6		

Notă: *g.g. – gunoi de grajd compostat.

Astfel, introducerea în circuitul arabil a solurilor de cernoziom cauzează scăderea mai rapidă a rezervei de materie organică în stratul 0-60 cm comparativ cu pârloaga, în special pentru ogorul negru.

Reducerea conținutului și rezervei de materie organică a solului conduce la înrăutățirea calității (sănătății) acestuia. Prof. J. Doran definește sănătatea solului drept „capacitatea unui sol viu de a funcționa în limitele unui ecosistem natural sau gospodăriei, de a susține productivitatea plantelor și animalelor, de a menține sau îmbunătăți calitatea apei și aerului și de a susține sănătatea plantelor și animalelor” [11, p. 26].

Pentru funcționarea durabilă a solurilor, adică pentru menținerea sănătății lor, asigurarea echilibrului dintre procesele de sinteză și descompunere a materiei organice a solului, e necesar să fie permanent introduse în sol cantități suficiente de materie organică în formă de resturi vegetale, gunoi de grajd, îngrășăminte verzi etc. Așadar, funcționalitatea solului o determină diversitatea organismelor pe întreg lanțul trofic din sol: sol-plante-animale-om-biosferă. [3; 4; 11].

Rolul polifuncțional al solului este încă slab conștientizat de societate, inclusiv de autoritățile publice, pe când doar un sol sănătos poate acorda servicii ecosistemice și sociale, și anume:

- filtrarea și curățarea apei până la scurgerea ei în apele subterane și rezervoarele cu apă;
- descompunerea și absorbția poluanților organici și anorganici;
- efect de diminuare a schimbărilor climatice prin absorbția unei cantități mai mari de CO₂ din atmosferă și acumularea unei cantități mai mari de carbon în sol ș.a.

Degradarea solurilor creează un cerc vicios din cauza acumulării unei cantități reduse de carbon în sol și creșterii conținutului de dioxid de carbon în atmosferă, ceea ce provoacă degradarea ulterioară a solurilor. Sănătatea solului este decisivă pentru a preîntâmpina

dezvoltarea „bolilor, dăunătorilor și buruienilor”, dar nu „lupta” cu acestea.

Despre importanța sănătății solului pentru a reduce și exclude mijloacele chimice în agricultura ecologică au relatat clasicii agriculturii ecologice [2; 12]. Noi am determinat câțiva indicatori agrofizici și agrochimici ai fertilității solului pe diferite variante din experiența de câmp de lungă durată pe asolamente și culturi permanente a Institutului de Cercetări pentru Culturile de Câmp „Selecția” (tabelul 2). Cei mai favorabili indicatori ai fertilității solului au fost determinați pe parcelele de pârloagă în raport cu toate celelalte variante studiate. Această variantă este urmată de asolamentul cu ierburi perene (lucernă) – asolamentul nr. 5, care se deosebește prin indicatori mai înalți comparativ cu asolamentul fără ierburi perene – asolamentul nr. 2. Acest asolament include și un câmp cu ogor negru. Trebuie menționat că densitatea aparentă a solului este considerabil mai mare în asolamentul nr. 2 (1,35 g/cm³) comparativ cu asolamentul nr. 5 (1,16 g/cm³). Includerea ierburilor perene în asolament contribuie la ameliorarea structurii solului, iar ca rezultat porozitatea și capacitatea de câmp ale solului crește considerabil, constituind 53,6 și 21,44 % corespunzător, comparativ cu 46,0 și 18,4 % corespunzător, în asolamentul fără ierburi perene. Aceasta îmbunătățește capacitatea de acumulare a apei în sol și reduce pericolul eroziunii solului.

Deteriorarea structurii solului și compactarea lui sub influența mașinilor agricole și tractoarelor grele, frânează creșterea rădăcinilor, în special până la maturarea lor fizică, ceea ce conduce la scăderea consumului de apă și de nutrienți din sol necesare culturilor. Reducerea conținutului de materie organică în sol din cauza arăturii excesive scade capacitatea de penetrare și reținere a apei în sol, ceea ce face culturile mai vulnerabile la deficitul de apă în sol provocat de secete. Solurile de o calitate mai bună (cu proprietăți agrofizice, agro-

Tabelul 2

Indicatorii agrofizici și agrochimici ai solului pe diferite variante din experiența de câmp de lungă durată pe asolament și culturi permanente, ICCIC „Seleția”, 2022 [7]

Nr.	Indicatorii	Stratul de sol, cm	Ogor negru	Pârloagă	Asolament		Culturi permanente	
					nr. 5 (cu ierburi perene)	nr. 2 (fără ierburi perene)	Grâu de toamnă	Porumb boabe
1.	Conținutul de carbon, %	0-20	2,25	3,29	2,83	2,51	2,90	2,62
2.	Rezerva de carbon, t/ha	0-20	54,0	71,5	67,9	60,2	69,6	62,8
3.	Rezerva de carbon, t/ha	0-100	196,2	280,8	269,9	231,4	252,3	267,7
4.	Densitatea aparentă, g/cm ³	0-20	1,32	1,12	1,16	1,35	1,34	1,37
5.	Porozitatea totală, %	0-20	47,20	55,20	53,60	46,00	46,40	45,20
6.	Capacitatea de câmp, %	0-20	18,88	22,08	21,44	18,40	18,56	18,08

chimice și biologice satisfăcătoare) asigură o producție mai mare și generează corespunzător un profit mai mare comparativ cu solurile de calitate joasă.

Deseori producătorii agricoli sunt induși în eroare de reacția promptă a culturilor față de fertilizantii minerali și față de irigare pe solurile mai sărace și mai compactate, înțelegând-o ca pe un argument în favoarea folosirii fertilizantilor minerali și a irigației. În același timp, solurile fertile reacționează cu mult mai slab sau nu reacționează deloc la fertilizare și irigare. De aceea trebuie să ținem cont nu doar de impactul benefic al irigației și fertilizării asupra nivelului de producție, ci și de impactul lor negativ asupra mediului ambiant, inclusiv asupra încălzirii globale. Despre aceasta vom discuta în continuare.

Creșterea culturilor de grâu de toamnă și porumb boabe în cultura permanentă cedează asolamentului cu ierburi perene la așa indicatori ca: densitatea aparentă, porozitatea totală și capacitatea de câmp (tabelul 2). După conținutul și rezervele de carbon în straturile 0-20 cm și 0-100 cm, solurile sub culturile permanente de grâu de toamnă și porumb boabe pot depăși asolamentele, îndeosebi fără ierburi perene, fapt determinat de schimbarea calității materiei organice a solului.

Corespunzător, ecosistemul natural (sub pârloagă) este capabil să acorde cele mai importante servicii ecosistemice și sociale precum: acumularea materiei organice în sol; reziliența la eroziune; rezistența la patogeni și insecte; eficacitate înaltă la folosirea apei din precipitații; lipsa dependenței de surse energetice neregenerabile și derivatele lor; infestare limitată cu buruieni; reținere masivă a nutrienților (tabelul 3). O agricultură durabilă este posibilă prin imitarea ecosistemelor naturale [7; 12].

Ecosistemele naturale (sub pârloagă) sunt urmate de asolamentul cu ierburi perene ce imită într-o măsură

oarecare ecosistemele naturale care au contribuit la formarea solurilor de cernoziom. Cele mai nesemnificative servicii ecosistemice sunt acordate de solul din ecosistemele agricole cu culturi anuale preponderent prășitoare.

Producția obținută nu întotdeauna corelează cu calitatea solului. Drept exemplu servește producția grâului de toamnă în diferite verigi ale asolamentului cu lucernă și cu ogor negru, în raport cu producția obținută în cultura permanentă în medie pentru perioada 1994–2022. Astfel, producția grâului de toamnă după ogor negru în asolament fără ierburi perene a fost mai mare (5,08 t/ha) comparativ cu amplasarea grâului de toamnă după lucernă (4,85 t/ha), în pofida indicilor agrofizici și agrochimici mai inferiori celor din asolamentul cu ierburi perene. În schimb, situația diferă în veriga asolamentului unde grâul de toamnă este amplasat după porumb la siloz – 4,55 și 4,34 t/ha, corespunzător pentru asolamentul cu lucernă și fără lucernă. Cel mai mic nivel de producție a fost obținut în cultura permanentă a grâului de toamnă pe fond fertilizat – 2,77 t/ha.

Așadar, diminuarea schimbărilor climatice este posibilă prin:

- perfecționarea structurii suprafețelor de însămânțare în vederea reducerii suprafețelor ocupate de culturi prășitoare cu majorarea suprafețelor sub culturile de semănat compact;
- reducerea sau excluderea arăturii cu plug cu cormană;
- reducerea sau excluderea folosirii îngrășămintelor minerale de azot;
- optimizarea cheltuielilor de surse energetice neregenerabile atât la sinteza produselor industriale (îngrășăminte minerale, îndeosebi de azot; pesticide etc.), cât și la aplicarea lor.

Structura suprafețelor de însămânțare în Republica Moldova a suportat schimbări esențiale odată

Tabelul 3

Servicii ecosistemice acordate de ecosistemul natural
și de ecosisteme agricole cu diverse culturi [6]

Ecosistem natural	Ecosistem agricol	
Pârloagă	Cu culturi anuale (predominant prășitoare)	Cu culturi erbacee perene (lucernă)
		
Acumularea materiei organice a solului	Reducerea conținutului de materie organică a solului	Acumularea materiei organice a solului
Rezistent la eroziune	Vulnerabil la eroziune	Tolerant la eroziune
Rezistent la patogeni și insecte	Vulnerabil la patogeni și insecte	Tolerant la patogeni și insecte
Eficacitate înaltă la folosirea apei din precipitații	Eficacitate scăzută de folosire a apei din precipitații	Eficacitate moderată de folosire a apei din precipitații
Lipsa dependenței de sursele energetice neregenerabile și derivatele lor	Dependența înaltă de sursele energetice neregenerabile și derivatele lor	Dependență redusă de sursele energetice neregenerabile și derivatele lor
Infestarea limitată cu buruieni	Infestarea rapidă cu buruieni	Infestare moderată cu buruieni
Reținerea masivă a nutrienților	Reținerea slabă de nutrienți	Reținere moderată de nutrienți

cu privatizarea terenurilor. Din 1990 până în 2015, de exemplu, ponderea culturilor prășitoare a crescut, de la 59,9 % la 65,0 %, fără a ține cont de amplasarea terenurilor agricole pe pante; suprafețele sub floarea-soarelui de la 134,0 mii ha (8 %) până la 330,3 mii ha (22,0 %); suprafața sub porumb boabe de la 258,0 mii ha (15,4 %) până la 492,8 mii ha (32,8 %). În aceeași perioadă suprafața sub lucernă a scăzut de la 192,1 mii ha (11,5 %) până la 47,5 mii ha (3,2 %) (tabelul 4). Concomitent, cantitatea de îngrășăminte organice aplicată la 1 ha a scăzut de la 5,6 t/ha până la 0,07 t/ha.

Suprasaturarea suprafețelor de însămânțare din Republica Moldova cu culturi prășitoare, inclusiv cu cele tehnice, de rând cu dozele mici de aplicare a gunoierului de grajd (tabelul 4) și arătura excesivă a solului au condus la intensificarea mineralizării materiei organice a solului și creșterea pierderilor în urma eroziunii solului.

Potrivit calculelor noastre, deficitul de materie organică a solului (calculat după cantitatea de carbon) conform structurii suprafețelor de însămânțare și recoltelor obținute în Republica Moldova în anul 2015 constituie 669 kg/ha de carbon. Ținând cont de carbonul din re-

Tabelul 4

Dinamica structurii suprafețelor de însămânțare în Republica Moldova
(după Anuare statistice) și în perspectivă [9]

Indicatori	1990		2015		În perspectivă	
	mii ha	%	mii ha	%	mii ha	%
Suprafețe însămânțate	1674,5	100	1502,6	100	1447,2	100
Inclusiv culturi de semănat compact	687,9	41,1	462,4	30,8	723,0	50,0
Cereale spicoase	407,1	24,3	430,0	31,8	385,0	26,6
Ierburi perene	192,1	11,5	47,5	3,2	200,0	13,8
Culturi prășitoare	986,6	59,9	977,5	65,0	724,2	50,0
Inclusiv porumb boabe	258,0	15,4	492,8	32,8	330,0	22,8
Floarea-soarelui	134,1	7,0	330,3	22,0	140,0	9,7
Culturi furajere	538,1	32,1	47,5	3,2	325,0	22,3

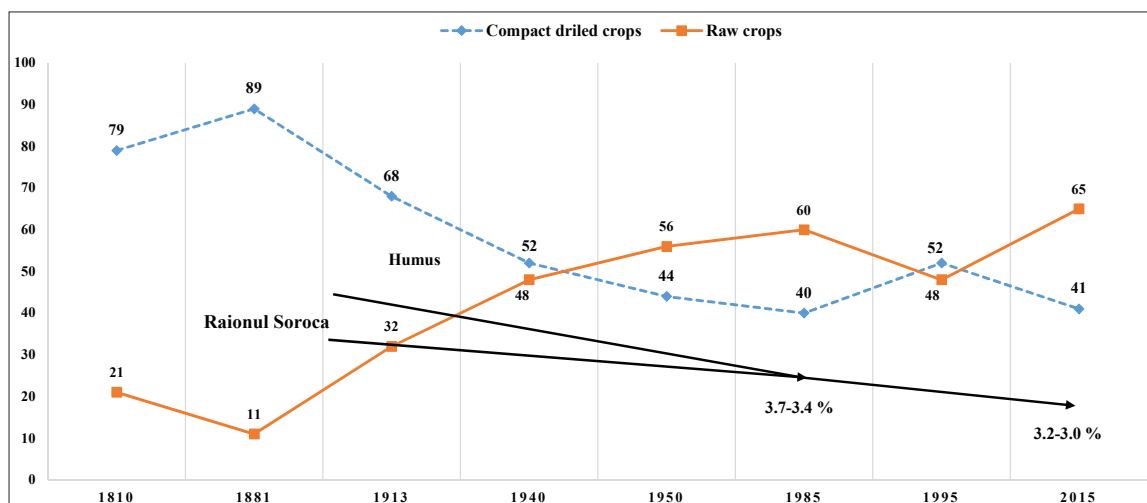


Figura 4. Structura suprafețelor de însemănțare pentru perioada 1810–2015 (ponderea culturilor prășitoare și de semănat compact) în Republica Moldova, potrivit lui M.T. Lupașcu (1996), completată de B. Boincean (2021) [6].

sturile vegetale, deficitul constituie 586 kg/ha [7]. La mineralizarea materiei organice a solului în atmosferă se emană dioxid de carbon care intensifică procesul de încălzire globală. Odată cu sechestrarea carbonului în sol în formă de materie organică are loc atenuarea procesului de încălzire globală.

Din cauza pierderilor anuale necompensate de materie organică a solului cernoziomurile din Republica Moldova au pierdut mai bine de 2 % de materie organică în raport cu conținutul acesteia determinat de

V.V. Dokuceaev în perioada expediției sale pedologice în Basarabia în anul 1877 [13] (figura 4).

Folosirea îngrășămintelor minerale contribuie la creșterea producției, în special în anii cu umiditate suficientă, dar concomitent intensifică procesele de mineralizare a materiei organice a solului. La aplicarea diferitor doze de îngrășămintă minerale coeficientul de folosire a azotului din salpetru de amoniu variază de la 24,9 până la 31,0 % (tabelul 5).

Tabelul 5

Eficacitatea folosirii azotului din îngrășămintele minerale în experiența de câmp de lungă durată pe diferite sisteme de fertilizare la cultura grâului de toamnă în asolament, ICCC „Selecția”, media pentru anii 1970–2020 [3]

Sisteme de fertilizare în asolament	Spor de producție, t/ha	N extras cu sporul de producție, kg/ha	N introdus cu îngrășămintă minerale, kg/ha	Coeficient de folosire a N, %	Compensarea extrasului total de N cu îngr. min., %	Pondere fertilității solului în form. prod., %
Martor (nefertilizat)	-	-	-	-	0	100,0
NPK ₁	0,72	18,58	60,0	31,0	14,8	85,2
NPK ₂	0,91	23,48	90,0	26,1	18,2	82,0
NPK ₃	1,16	29,93	120,0	24,9	21,9	78,1
NPK ₁ +10 t g.g.*	1,12	28,90	60,0	48,2	21,3	78,7
NPK ₂ +10 t g.g./ha	1,22	31,48	90,0	35,0	22,8	77,2
NPK ₃ +10 t g.g./ha	1,11	28,64	120,0	23,9	21,1	78,9
NPK ₁ +15 t g.g./ha	1,15	29,67	60,0	49,5	21,7	78,3
NPK ₂ +15 t g.g./ha	1,16	29,93	90,0	33,3	21,9	78,1
NPK ₃ +15 t g.g./ha	1,24	31,99	120,0	26,7	23,1	77,0
15 t g.g./ha	1,09	28,12	-	-	-	79,2
Remanența îngrășămintelor minerale (până în 1990)	0,95	24,51	-	-	-	81,3

Notă: *g.g. – gunoi de grajd compostat.

Tabelul 6

Producția grâului de toamnă sub influența diferitor sisteme de lucrare și fertilizare a solului în asolamente cu și fără amestec de lucernă și reigras, media pe 3 rotații în asolamente cu 7 câmpuri în experiența polifactorială a ICCC „Selecția”, t/ha și % [6]

Sisteme de lucrare a solului în asolamente	Asolament fără ierburi perene			Asolament cu ierburi perene		
	Martor (nefertilizat)	Gunoii de grajd	Gunoii de grajd + NPK	Martor (nefertilizat)	Gunoii de grajd	Gunoii de grajd + NPK
Arătura cu plug cu cormană	2,85	3,30	4,10	4,40	4,44	4,51
Lucrarea solului fără întoarcerea brazdei	2,82	3,23	4,16	4,32	4,42	4,55
Diferența (± și %)	-0,03/1,1 %	-0,07/2,1 %	+0,06/1,5 %	-0,08/1,8 %	-0,02/0,5 %	+0,04/0,9 %

Cantitatea de azot utilizată din îngrășămintele minerale compensează circa 14,8-21,9 % din cantitatea totală de azot extrasă cu producția. Astfel, ponderea fertilității solului în formarea nivelului de producție pe fondul fertilizat cu îngrășămintele minerale constituie 78,1-85,2 %. Folosirea suplimentară a îngrășămintelor organice în asolament pe fondul îngrășămintelor minerale contribuie atât la o compensare nesemnificativă a extrasului total de azot de către plante, cât și la reducerea nesemnificativă a ponderii fertilității solului în formarea nivelului de producție.

Reieșind din faptul că doar $\frac{1}{3}$ sau $\frac{1}{4}$ din cantitatea de azot introdusă în sol este folosită de plante, pierderile de azot în condițiile secetelor frecvente și levigării limitate a nitratilor au loc mai ales în formă de oxizi de azot. Precizăm că impactul oxizilor de azot asupra încălzirii globale este de 300 de ori mai mare decât impactul dioxidului de carbon.

Excluderea folosirii îngrășămintelor minerale cu azot e posibilă în cazul respectării asolamentului cu lucernă și cu aplicarea gunoii de grajd compostat. Dovadă sunt rezultatele obținute în experiența polifactorială a ICCC „Selecția” (anii 1986–2006) privind acțiunea și interacțiunea diferitor asolamente, sisteme de lucrare și fertilizare a solului în asolament, fără aplicarea mijloacelor chimice în combaterea „bolilor, dăunătorilor și buruienilor”. Datele din tabelul 6 arată că folosirea suplimentară a îngrășămintelor minerale pe fondul postacțiunii îngrășămintelor organice în asolament cu ierburi perene nu contribuie la creșterea semnificativă a producției. Concomitent, aplicarea suplimentară a îngrășămintelor minerale pe fondul postacțiunii îngrășămintelor organice, în asolament fără ierburi perene, contribuie la creșterea considerabilă a producției grâului de toamnă. Astfel, pe solurile fertile cu adăugarea regulată de materie organică proaspătă, folosirea suplimentară a îngrășămintelor minerale nu este eficientă. Excluderea folosirii îngrășămintelor minerale de azot permite reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră atât la producerea, cât și la aplicarea îngrășămintelor [3; 5; 6].

Irigarea este considerată o măsură de reducere a impactului negativ al secetelor prin compensarea deficitului de apă în sol. Deseori însă importanța structurii solului în acumularea rezervelor de apă în sol în lipsa unei cantități suficiente de precipitații atmosferice este subapreciată. V.V. Dokucaev și A.A. Izmail'skiy menționau că deficitul de apă în sol în condiții de stepă este determinat nu atât de insuficiența precipitațiilor atmosferice, cât de incapacitatea solului de a permite penetrarea și acumularea apei în sol [13; 14]. Producția culturilor crește sub influența irigației, dar totodată irigarea contribuie la intensificarea proceselor de mineralizare a materiei organice a solului. În lipsa irigației cernoziomului tipic din stepa Bălțiului timp de 50 de ani, în cadrul asolamentului cu 50 % lucernă și aplicarea anuală a 13,3 tone gunoii de grajd la un hectar de asolament s-au acumulat anual 641,2 kg/ha de carbon. La folosirea irigației, pe fondul aceluiași norme de fertilizare, pierderile anuale au constituit 656,9 kg/ha de carbon. În lipsa fertilizării pe fond irigat pierderile anuale de carbon au constituit 931,4 kg/ha, iar în lipsa irigației pe fond nefertilizat pierderile anuale au constituit 456,9 kg/ha de carbon (tabelul 7).

Reieșind din rezultatele obținute în experiența de câmp pe termen lung privind irigarea, este evidentă necesitatea reducerii suprafețelor terenurilor irigate, îndeosebi în lipsa măsurilor de compensare a pierderilor anuale de materie organică a solului. Este cu mult mai rațional de a ameliora proprietățile agrofizice ale solului prin adăugarea de materie organică proaspătă în sol, care va facilita acumularea apei din precipitațiile atmosferice. Mai mult ca atât, conținutul înalt de săruri în apa pentru irigații din iazuri și din alte rezervoare, cu excepția apei din râurile Prut și Nistru, va agrava starea fertilității solurilor de cernoziom.

Acumularea materiei organice (carbonului) în sol contribuie la reducerea semnificativă a efectului de încălzire globală. Calculele realizate confirmă că la implementarea sistemelor de agricultură durabilă, inclusiv ecologică, în Republica Moldova ar fi posi-

Tabelul 7

**Schimbări în rezervele de materie organică a solului (calculat după cantitatea de carbon)
sub influența irigației și fertilizării în experiența de câmp de lungă durată pe irigare a ICCC „Selecția”,
anii 1968–2019, stratul de sol 0-100 cm [3-5]**

Inițial, anul 1968, t/ha	Fără irigare						Cu irigare					
	Control (fără fert.)			NPK + Gunoi de grajd			Control (fără fert.)			NPK + Gunoi de grajd		
	Anul 2019	±, t/ ha	% față de inițial	Anul 2019	±, t/ ha	% față de inițial	Anul 2019	±, t/ ha	% față de inițial	Anul 2019	±, t/ ha	% față de inițial
224,2	200,9	-23,3	10,4	256,9	+32,7	14,6	176,7	-47,5	21,2	190,7	-33,5	14,9
Pierderi sau adaos anual, kg/ha	-456,9			+641,2			-931,4			-656,9		

bil de redus emanarea totală de dioxid de carbon cu 621,6 milioane de tone [1; 6; 7].

Odată cu reducerea pierderilor de materie organică a solului calitatea solului se ameliorează chiar și în lipsa unui spor în conținutul și rezervele de materie organică a solului. Bineînțeles că pe un astfel de sol pot fi micșorate cheltuielile legate de aplicarea fertilizanților, a pesticidelor pentru combaterea „bolilor, dăunătorilor și buruienilor”, arăturii cu plug cu cormană, irigației, care la rândul lor sunt mari consumatoare de surse energetice neregenerabile cu emisii considerabile ale gazelor cu efect de seră în atmosferă.

Prof. R. Lal (2004) a determinat cantitatea de energie folosită exprimând-o în kg de carbon echivalent la 1 ha, care este direct legată de acumularea CO₂ în atmosferă [1]. Pentru diferite metode de lucrare a solului acest indice diferă de la 2 la 20; pentru aplicarea pesticidelor de la 1,0 la 1,4; pentru recoltare – de la 6 la 12 etc. Pentru sinteza fertilizanților emisiile în kg carbon echivalent la fiecare kg de îngrășămintă constituie: pentru azot 0,9-1,8; pentru fosfor și potasiu 0,1-0,2. Pentru sinteza pesticidelor emisiile de carbon în kg carbon echivalent pentru fiecare kg de substanță activă constituie: la erbicide 6,3, la insecticide 5,1, la fumiganți 3,9. Pentru irigare prin aspersiune, inclusiv cu pomparea apei, emisiile de carbon constituie 129±98 kg carbon echivalent la folosirea a 250 m³/ha. La lucrarea solului cu plug cu cormană acest indice constituie 35,3 kg de carbon echivalent la 1 ha; la folosirea plugului cizel – 7,9, iar la No-till – 5,8 kg de carbon echivalent la 1 ha.

Reducerea sau excluderea dependenței de sursele energetice neregenerabile cu conținut înalt de carbon este calea radicală de atenuare a proceselor de încălzire globală. Pe moment și pentru viitorul apropiat, tranziția la un sistem de agricultură durabilă este unica șansă de diminuare și adaptare la schimbările climatice.

La nivel de landșaft este foarte important de păstrat un raport optim dintre păduri, pajiști și terenuri arabile, determinat de amplasarea terenurilor pe pantă. Tendința de extindere a suprafeței terenurilor arabile din contul pădurilor și pajiștilor a dus la un dezechilibru ecologic cu consecințe negative enorme asupra mediului ambiant.

La rândul său, pe terenurile arabile este deosebit de important de a respecta un plan de organizare a gospodăriei, indiferent de dimensiuni și forma de proprietate, în vederea preîntâmpinării, dar nu „combaterii” consecințelor greșelilor comise la etapa inițială de planificare a gospodăriei. Planul de organizare a gospodăriei la nivel de landșaft va include:

- plantarea fâșiilor de păduri în conformitate cu particularitățile landșaftului;
- formarea unei rețele de rezervoare cu apă (iazuri) în partea inferioară a landșaftului;
- respectarea asolamentului cu o diversitate mai mare de culturi de bază și succesive prin amplasarea lor diferențiată pe elementele de relief;
- reducerea și chiar excluderea arăturii cu plug cu cormană;
- îmbinarea ramurii de fitotehnie și zootehnie care prevede reîntoarcerea culturilor furajere în asolament, inclusiv a ierburilor perene și folosirea gunoiului de grajd în formă de compost;
- reducerea sau excluderea folosirii îngrășămintelor minerale, în special de azot, precum și a pesticidelor, în combaterea „bolilor, dăunătorilor și buruienilor”.

Se va acorda asistență agenților economici de pe întreg lanțul trofic responsabili de aprovizionarea populației cu produse alimentare de calitate înaltă la nivel local și de origine locală, cu susținerea producătorilor mici asociați în cooperative agricole. Cooperativele agricole vor îmbina fitotehnia și zootehnia cu procesarea și comercializarea produselor de origine cunoscută la nivel local, iar a surplusurilor în străină-

tate. Accentul necesită urmează să fie pus pe aprovizionarea populației, a școlilor și grădinițelor cu produse ecologice de origine locală, preponderent vegetală, prin acordarea priorității produselor de origine locală la organizarea tenderelor.

Subvenții și credite preferențiale vor fi acordate doar fermierilor care implementează sisteme inovative (agroecologice) de intensificare a agriculturii, precum: sistemul conservativ de agricultură, sistemul de agricultură ecologică, sistemul de agricultură regenerativă ș.a. capabile să asigure restabilirea bilanțului de materie organică în sol și să reducă cheltuielile de producere, astfel contribuind la creșterea competitivității producătorilor agricoli.

Restabilirea sistemului de producere a semințelor de origine autohtonă, mai bine adaptate la condițiile de secetă, prin compensarea adausului la preț pentru semințele de calitate biologică înaltă, de proveniență autohtonă este la fel de importantă în complexul de măsuri de adaptare la schimbările climatice.

În general, toate măsurile de diminuare și adaptare la schimbările climatice, în special la secetă, pot fi divizate în măsuri de lungă durată și măsuri de scurtă durată, altfel spus în măsuri de ordin tehnologic și măsuri de ordin sistemic.

Printre măsurile de scurtă durată (de ordin tehnologic) menționăm următoarele:

- folosirea soiurilor de culturi mai bine adaptate la secetă, preponderent de origine autohtonă;
- alocarea subvențiilor pentru producătorii agricoli care cultivă soiuri de categorii biologice înalte de origine autohtonă;
- înlocuirea culturilor mai puțin rezistente la secetă cu culturi mai rezistente la secetă precum: porumbul cu meiul și sorgul, soia cu năutul; folosirea soiurilor cu o perioadă de vegetație mai scurtă;
- respectarea termenilor și normelor de însămânțare pentru diferite culturi;
- amplasarea corectă a culturilor după premergători în asolament,
- refuzul la arătura cu plug cu cormană în favoarea lucrării minime a solului și No-till.

Printre măsurile de lungă durată (de ordin sistemic) menționăm:

- Perfecționarea structurii suprafețelor de însămânțare a culturilor în vederea respectării asolamentelor cu o diversitate mai mare de culturi prin:
 - reducerea suprafețelor ocupate de culturi prășitoare, îndeosebi de floarea-soarelui și porumb;
 - stabilirea unui raport de 1:1 dintre porumb boabe și culturile cerealiere de toamnă, care va permite echilibrarea producției de cerealiere în anii secetoși în prima și a doua jumătate a verii;

- reamplasarea treptată a porumbului și soia cu alte culturi cu un grad mai înalt de toleranță la secetă;

- lărgirea suprafețelor sub culturile leguminoase pe rene pentru acumularea azotului biologic și ameliorarea calității solului, dar și din perspectiva securității energetice a țării (folosirea biomasei culturilor leguminoase și a gunoiului de grajd pentru producerea biogazului);

- îmbinarea fitotehnicii și zootehnicii în cadrul fiecărei gospodării pentru asigurarea unui bilanț nedeficitar de materie organică în sol ca premisă pentru reducerea încălzirii globale;

- Promovarea sistemelor alternative de agricultură (agricultura conservativă, agricultura de precizie, agricultura ecologică, agricultura regenerativă etc.).

- Organizarea exploatațiilor agricole conform unui plan de organizare a gospodăriilor indiferent de dimensiunea și formele lor de proprietate în vederea asigurării unui management durabil și rezilient al solului pentru tranziție la sistemele de agricultură durabilă capabile să acorde servicii ecosistemice și sociale.

- Fondarea unui organ de stat interdepartamental responsabil de respectarea unui sistem rațional de gospodărire cu monitorizarea fertilității solului;

- Adoptarea unui program de stat de cercetări științifice cu caracter interdisciplinar susținut de stat în vederea ameliorării culturilor și elaborării sistemelor de agricultură durabilă, inclusiv ecologică;

- Restabilirea sistemului de producere a semințelor preponderent de origine autohtonă, mai bine adaptate la condițiile de secetă.

CONCLUZII

Încălzirea globală este o problemă majoră deja astăzi, nu doar una ce ține de viitor;

Agricultura este foarte vulnerabilă la schimbările climatice, dar concomitent le amplifică prin aplicarea practicilor cu emanare intensă a gazelor cu efect de seră în atmosferă;

Managementul durabil și rezilient al materiei organice a solului este cheia în tranziția la un sistem de agricultură durabilă cu acordarea serviciilor ecosistemice și sociale;

Este necesar un nou concept de intensificare agroecologică a agriculturii, bazat pe folosirea preponderent a surselor energetice regenerabile de proveniență locală cu respectarea legităților agronomice și ecologice, capabil să răspundă la multitudinea de provocări cu care se confruntă agricultura, inclusiv restabilirea fertilității solului,

Modelul industrial de intensificare a agriculturii bazat pe folosirea surselor energetice neregenerabile și a derivatelor lor n-a asigurat o dezvoltare durabilă a agriculturii și, inclusiv, nu corespunde cerințelor ate-

nuării și adaptării la schimbările climatice (suprasaturarea structurii suprafețelor de însămânțare cu culturi prașitoare; arătură excesivă; irigare; aplicarea îngrășămintelor minerale de azot etc.), din cauza pierderilor necompensate de materie organică din sol;

La nivel local și statal urmează să fie adoptat un șir de măsuri de scurtă și de lungă durată pentru a promova un sistem de agricultură durabilă axată pe atenuarea și adaptarea concomitentă la schimbările climatice;

În lipsa măsurilor de atenuare a schimbărilor climatice pe moment, investiția pentru adaptarea la ele va fi considerabil mai mare în viitor. Pericolul constă în faptul că unele schimbări negative ce intervin în funcționarea ecosistemelor agricole pot fi ireversibile.

BIBLIOGRAFIE

1. Lal R. Carbon emission from farm operations. In: Environment International, 30, 2004, 981-990.
2. Gliessman S.R. Agroecology. Ecological Processes in Sustainable Agriculture. Lewis Publishers, Boca Raton, London, New York, Washington D.C., CRC Press, 2000. 356 p.
3. Regenerative Agriculture. What's missing? What do we still need to know? Edited by David Dent and Boris Boincean. Springer Nature Switherland AG, 2021. 355 p.
4. Soil organic matter in sustainable agriculture. Edited by Fred Magdoff and Ray R.Weil. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C., 2004. 398 p.
5. Magdoff F. and Van Es. H. Building Soils for Better Crops. Sustainable Soil Management, SARE, USDA, 2009. 294 p.
6. Boincean B., Dent D. Farming the Black Earth. Sustainable and Climate-Smart Management of Chernozem Soils, Springer Nature Switherland AG, 2019. 226 p.
7. Boincean B., Dent D. Management durabil și rezili-ent al solurilor de cernoziom. Chișinău: Prut International, 2020. 244 p.
8. Boincean B.P. Ekologicheskoe zemledelie v Respubli-ke Moldova (sevooborot i organicheskoe veshchestvo poch-vy). Chișinău: Știința, 1999. 269 s.
9. Anuare statistice pentru Republica Moldova, anii 1970-2022.
10. Dări de seamă ale ICCC „Selecția” pentru perioada 1970-2020, Bălți.
11. Doran J. and Parkin T. Quantitative indicator of soil quality: Aminum data set. In: Methods by John Doran and Allce Jones, 1996, 25-37.
12. Soule J.D. and Piper J.K. Farming in Nature's Image. An Ecological approach to agriculture. Foreword by Wes Jackson, Island Press, Washington D.C., 2009. 286 p.
13. Dokuchaev V.V. Izbrannye sochineniya v 3-kh t. Moskva : Sel'khozgiz, 1948-1949 (16-ya tip. tresta Poligra-fkniga), t. 2.
14. Izmail'skiy A.A. Izbrannye sochineniya. Moskva, Gosudarstvennoe izdatel'stvo s/kh literatury, 1949.



Victoria Cozmolici. *Oraș vechi*, 2015, ulei, pânză, 60 × 120 cm.