

# STAREA ACTUALĂ A AZOTULUI DIN SOLURILE MOLDOVEI ȘI MASURI DE OPTIMIZARE A NUTRIȚIEI PLANTELOR

Academician **Serafim ANDRIEȘ**

Institutul de Pedologie, Agrochimie și Protecție a Solului „Nicolae Dimo”

## ACTUAL STATE OF NITROGEN FROM MOLDOVA'S SOILS AND MEASURES OF OPTIMIZATION OF PLANTS NUTRITION

**Summary:** The article describes the state of nitrogen reserves in the soils of Moldova, the availability of inorganic nitrogen for the plants, and the efficiency of nitrogen fertilizers. It presents the nitrogen losses through levigation, denitrification, volatilization and erosion. It describes the measures to optimize the plant nutrition.

**Keywords:** soil, nitrogen, organic matter, measures, crop.

**Rezumat:** Lucrarea este dedicată cercetărilor privind starea actuală a formelor și rezervelor de azot din solurile Moldovei, gradul de asigurare a plantelor cu azot mineral și eficacitatea îngrășămintelor cu azot. Sunt evaluate valorile pierderilor de azot prin levigare, denitrificare, volatilizare și eroziune. În baza rezultatelor obținute se argumentează măsurile necesare pentru optimizarea nutriției minerale a plantelor de cultură.

**Cuvinte-cheie:** sol, azot, materie organică, măsuri, recoltă.

## INTODUCERE

Azotul este cel mai activ element nutritiv care joacă un rol important în viața plantelor și animalelor. El este parte componentă a proteinelor protoplazmatice structurale, a acizilor nucleici, a pigmentilor clorofilieni, a unor vitamine și enzime.

Azotul este utilizat de plante în toată perioada de vegetație în cantități mari. Pentru formarea a 5,0 t/ha grâu de toamnă plantele extrag din sol 150 kg/ha de azot. Solurile Moldovei produc anual, în urma proceselor biologice, 75 kg/ha azot mineral (N<sub>min</sub>), disponibil plantelor. Solurile erodate, care ocupă circa 40% din terenurile agricole, se caracterizează prin capacitate de nitrificare mai scăzută și produc anual numai 30-60 kg/ha N<sub>min</sub> [1, 4]. Insuficiența de azot în nutriția plantelor conduce la îngălbenirea frunzelor, încetinirea sau oprirea creșterii lor. Cauzele principale de insuficiență a azotului în nutriția plantelor sunt: însușirile solului care frânează activitatea microorganismelor (conținutul scăzut de materie organică, compactarea secundară, destructurarea etc.); absența în asolamente a culturilor leguminoase, fixatoare de azot din atmosferă; neaplicarea îngrășămintelor organice sau introducerea lor în doze mici; lucrarea neadecvată a solului; utilizarea nerațională a resturilor vegetale.

În ultimii 15-20 de ani în gospodăriile agricole asolamentele nu se respectă, îngrășămintele organice se aplică în doze mici, iar volumul îngrășămintelor mi-

nerale s-a redus considerabil și constituie 10-50 kg/ha. Capacitatea de producție a solului a scăzut cu 25-35%. Ca urmare, recolta grâului de toamnă, într-un ciclu multianual, constituie numai 2,5-2,8 t/ha.

Scopul investigațiilor desfășurate constă în evaluarea stării actuale a fondului, formelor și rezervelor de azot din solurile Moldovei și elaborarea măsurilor de optimizare a nutriției minerale a plantelor de cultură.

## MATERIAL ȘI METODĂ

Cercetările au fost efectuate în anii 1985–2015 în experiențele de câmp de lungă durată ale Institutului de Pedologie, Agrochimie și Protecție a Solului „Nicolae Dimo”, fondate pe sol cenușiu, cernoziom levigat, obișnuit și carbonatic. Caracterizarea agrochimică a solurilor și unele rezultate obținute în experiențele de câmp, cu aplicarea îngrășămintelor în asolamente, sunt prezentate într-un șir de monografii [1, 2, 6, 13].

În perioada anilor 1989–2010, primăvara devreme, s-a efectuat cartarea agrochimică operativă a solului în diferite zone pedoclimatice pe 1 500-4 500 ha. S-au determinat rezervele de azot mineral în stratul de 0-100 cm și cele de umiditate pe grosimea 0-160 cm de sol, conținutul de fosfor mobil și potasiu schimbabil, fenofaza de dezvoltare a grânelor.

Au fost analizate datele Anualelor Statistice ale Republicii Moldova privind aplicarea îngrășămintelor

organice și minerale în agricultură, suprafața ocupată de plante și recolta acestora. Rezultatele experimentale au fost prelucrate prin diferite metode statistice.

## REZULTATE SI DISCUȚII

Azotul din sol s-a acumulat pe parcursul a sute și mii de ani și este strâns legat de materia organică. Coeficientul de corelație dintre conținutul de azot și cel de carbon constituie 0,82-0,98 [22]. Reducerea azotului molecular din atmosferă are loc în urma fixării lui de către bacteriile simbiotante cu includerea în masa microbiană, ulterior, în biomasa plantelor și animalelor. Substanțele organice acumulate în sol sunt supuse proceselor de descompunere și mineralizare cu formarea humusului și a formelor de azot mineral [17].

### 1. Conținutul și rezervele de azot din sol

Solurile Moldovei se caracterizează printr-un conținut relativ înalt de azot. S-a stabilit că în sol s-au acumulat circa 1 miliard de tone de humus și 50 de milioane de tone de azot. După cum arată datele generalizate (n=1527), conținutul de azot total în cernoziomuri constituie 0,21-0,24%. Rezervele de azot în stratul 0-20 cm de cernoziom constituie 5,5 t/ha. În solurile forestiere (brune, cenușii) cantitatea de azot total este mai mică decât în cernoziomuri și alcătuiește 3,9 t/ha [22].

Azotul din sol se conține în formă organică și anorganică. Forma organică a azotului din sol constituie 96-97% din total [6]. Azotul organic este alcătuit din următoarele fracțiuni: nehidrolizată, greu hidrolizată și ușor hidrolizată. Cantitatea principală de N organic din sol (circa 70-80% din total) este prezentată prin compuși organici nehidrolizați în soluții concentrate de acizi, cum sunt huminele, melaninele, bitumurile. Azotul nehidrolizat joacă un rol primordial în formarea și menținerea structurii fondului azotului din sol.

Fracțiunea greu hidrolizată constituie 10-15% din azotul organic și reprezintă o rezervă îndepărtată de N pentru nutriția plantelor. Această fracțiune participă la completarea și menținerea fondului azotului din sol. Fracțiunile azotului nehidrolizat și greu hidrolizat sunt parte componentă a materiei organice stabile (humusului), vârsta căreia se estimează de la 800 la 3 000 de ani [16].

Cota fracțiunii ușor hidrolizate de azot este de 8-15 %. În această fracțiune se înglobează atât compușii organici, cât și cei anorganici. Fracțiunea de N ușor hidrolizat constituie principala sursă de completare a rezervelor de azot organic din sol și de formare a azotului mineral (Nmin), accesibil plantelor. Azotul acestei fracțiuni este parte componentă a materiei organice labile, care în solurile Moldovei se estimează la 10-15 % din total [3, 19].

Formele minerale ale azotului din sol sunt: amoniul fixat, în cantitate de 2-3%, amoniul schimbabil, nitrații, nitriții și azotul în forma gazoasă. Ioni de amoniu schimbabili sunt adsorbiți la suprafața micelilor coloidale, iar cei în forma neschimbabilă sunt fixați în spațiile dintre foițele mineralelor argiloase [9]. Forma schimbabilă de amoniu din sol are o existență scurtă de timp, dat fiind că este absorbită de plante sau supusă proceselor biochimice și transformată în nitrați. Cantitatea de azot mineral constituie până la 1-2 % din total [5, 6].

În anii 1989–2010 a fost monitorizată cantitatea de Nmin din sol, în condiții de producere, la cultivarea grâului de toamnă. După cum s-a stabilit, cantitatea de Nmin depinde în mare măsură de sursele, formele și cantitatea de azot stocată în sol (tabelul 1). În 1980–1990, anual în sol se încorporau cantități considerabile de fertilizanți: 5,0-6,5 t/ha îngrășăminte organice și 50-60 kg/ha azot mineral. În asolamentele de câmp cota ierburilor perene era relativ mare și constituia 8-12%. Suprafața ocupată de mazăre alcătuia 80-90 mii ha.

Tabelul 1

Conținutul de N-NO<sub>3</sub> din stratul de 1 m de sol la cultivarea grâului de toamnă, % din suprafața cercetată

Conținutul de N-NO <sub>3</sub>	Rezerva de N-NO <sub>3</sub> , kg/ha	Anii				Necesarul grâului de toamnă în azot
		1986 n*=77	2003 n=51	2007 n=108	2010 n=17	
Scăzut	până la 60	9	70	75	70	ridicat
Moderat	60-100	29	14	19	18	moderat
Optimal	100-140	23	16	6	12	scăzut
Ridicat	peste 140	39	0	0	0	lipsește
Media ponderată de N-NO <sub>3</sub> , în stratul de 1m, kg/ha		115	56	46	51	

\* n – numărul de câmpuri cercetate

Resturile vegetale se utilizau ca îngrășământ organic. Cu astfel de flux al azotului în sol rezervele de N mineral erau mari (115 kg/ha), iar plantele pe 70% din suprafața cercetată erau asigurate cu azot mineral. Numai 10% din suprafața cercetată se caracteriza printr-un conținut scăzut de Nmin în sol.

În anii 1994–2015, s-a creat o altă situație în asigurarea plantelor cu nutriție minerală, inclusiv cu azot. În această perioadă fluxul de azot din sol s-a redus substanțial. Cota culturilor leguminoase, fixatoare de azot biologic, s-a micșorat de cinci ori. În sol se încorporau cantități foarte mici de îngrășămintă (0,1-0,02 t/ha gunoi de grajd și 10-50 kg/ha NPK). Resturile vegetale nu pretutindeni se utilizau în calitate de îngrășământ organic. Ca urmare, rezervele de Nmin s-au micșorat de două ori. Pe 70-75% din suprafața cercetată cantitatea de Nmin era scăzută, iar eficacitatea îngrășămintelor cu azot – ridicată. Fiecare kg de N se recupera cu 10-35 kg grâu de toamnă.

Producția tehnico-științifică elaborată de institut în anii 1994–2010 (prognoza recoltei grâului de toamnă, rezervele de Nmin și de umiditate din sol, gradul de asigurare a plantelor cu N, dozele și epocile de aplicare a îngrășămintelor) era pusă operativ la dispoziția fermierilor și specialiștilor din agricultură pentru implementare. Această acțiune se efectua cu susținerea Ministerului Agriculturii și Industriei Alimentare. Informația era difuzată prin intermediul mass-mediei și la seminarele agricole.

La etapa actuală de dezvoltare a agriculturii bilanțul materiei organice și a azotului din sol este negativ [3,13], iar plantele sunt insuficient asigurate cu elemente nutritive pentru obținerea recoltelor scontate de 4,0-5,0 t/ha grâu de toamnă.

## 2. Transformările biochimice ale azotului din sol

Regimul azotului din sol depinde de două procese biochimice: mineralizarea și imobilizarea. Pentru obținerea energiei și elementelor nutritive, microorganismele din sol descompun materia organică prin procesul de mineralizare. În urma acestui proces în

sol se constituie forme minerale de azot. Fenomenul de imobilizare reprezintă un proces de trecere a unui element chimic dintr-o formă anorganică într-o formă organică în țesuturile microbiene sau în țesuturile vegetale, transformare prin care acesta devine inaccesibil pentru alte microorganisme și pentru plante [10].

Procesele de mineralizare și imobilizare decurg în funcție de doi factori: raportul C:N și timpul. Rata de descompunere a substanțelor organice crește în cazul în care raportul C:N este mai mic de 15. În asemenea condiții predomină procesele de mineralizare cu acumularea în sol a formelor minerale de azot. Materialele organogene cu raportul C:N mai mare de 30 se caracterizează printr-o rată de descompunere mică și foarte mică. În aceste condiții de descompunere a substanțelor organice predomină procesele de imobilizare. Astfel, pentru descompunerea paielor culturilor spicoase cu raportul C:N de 50-100, a tulpinilor de porumb cu raportul C:N = 70 sau a rumegușului de lemn cu raportul C:N = 200-500 sunt necesare cantități considerabile de azot. Pentru descompunerea unei tone de paie de grâu de toamnă se recomandă de aplicat 10 kg de azot [13, 14, 15]. În caz contrar, procesul de descompunere se desfășoară destul de lent, iar azotul mineral, format în urma proceselor biochimice din sol, va fi imobilizat de microorganismele participante la descompunerea paielor culturilor spicoase. La o recoltă de 4,0 t/ha grâu de toamnă în sol se încorporează 5,0 t/ha paie. Pentru descompunerea acestora se recomandă de aplicat 50 kg/ha azot (140 kg/ha azotat de amoniu).

Nitrificarea reprezintă un proces de oxidare biologică a amoniului până la nitrați de către bacteriile nitrificatoare din sol. Pentru gruparea solurilor agricole după capacitatea de nitrificare au fost efectuate cercetări agrochimice în toate zonele pedoclimatice ale Moldovei. Cantitatea de materie organică în solurile cercetate variază de la 4,63 la 0,89%. Pentru aceste soluri capacitatea de nitrificare alcătuiește 19,1, respectiv 0,3 mg NO<sub>3</sub>/100g. Prelucrarea statistică a datelor experimentale au permis a scoate în evidență o corelație strânsă între capacitatea de nitrificare (Y, mg/100g sol)

Tabelul 2

### Capacitatea de producție a solului în funcție de indicii agrochimici

Conținutul de materie organică, %	Capacitatea de nitrificare, mg/NO <sub>3</sub> /100 g	Conținutul de azot nitric în stratul de 0-100 cm, kg/ha	Prognoza recoltei grâului de toamnă, t/ha
< 2,0	< 6,5	< 48	< 1,7
2,1-3,0	7,0-11,1	50-72	1,7-2,4
3,1-4,0	11,5-14,6	74-96	2,4-3,2
4,1-5,0	14,9-17,1	98-120	3,2-4,0
> 5,1	> 17,3	> 122	> 4,1

și conținutul de materie organică din sol ( $X$ , %), exprimată prin următoarea ecuație:

$$Y = -6,71 + 7,99X - 0,67X^2, r = 90; n = 75$$

În baza rezultatelor obținute s-a determinat capacitatea de nitrificare a solurilor arate (tabelul 2). În solurile cu conținut redus de materie organică (mai mic de 2,0 %) capacitatea de nitrificare este foarte scăzută și constituie sub 6,5 mg/100g. Solurile cu conținut de substanță organică cuprins între 4 și 5% se caracterizează printr-o capacitate de nitrificare optimală de 15-17 mg  $\text{NO}_3$ /100g.

Experimental s-a stabilit [1] că majorarea conținutului de materie organică în sol cu 1% asigură formarea a 24 kg/ha de azot mineral. Solurile cu conținut de materie organică de 2% produc anual 48 kg/ha Nmin, cantitate suficientă pentru formarea a numai 1,6 t/ha boabe grâu de toamnă. Solurile cu conținut de materie organică de 4,0%, precum cernoziomurile tipice și levigate, produc anual 96 kg/ha azot mineral. Această cantitate de Nmin asigură formarea a 3,2 t/ha grâu de toamnă, fără aplicarea suplimentară a îngrășămintelor cu azot. Parametrii agrochimici stabiliți pot fi utilizați pentru evaluarea gradului de asigurare a plantelor cu azot și pentru determinarea capacității de producție a solului.

### 3. Pierderile de azot din sol

Azotul din sol se pierde în urma proceselor de levigare, denitrificare, volatilizare și prin eroziune.

*Levigarea* este definită drept un fenomen de îndepărtare, cu apa de percolare, a componentelor solubile, inclusiv a elementelor nutritive, din partea superioară a solului spre cea inferioară [10]. Datorită mobilității ridicate a nitraților, aceștia migrează cu fluxul descendent, ajungând în apele pedofreatice. Fenomenul de levigare a nitraților are două aspecte: pierderi considerabile de azot din îngrășăminte și poluarea apelor pedofreatice cu nitrați.

Determinarea conținutului de nitrați în experiențele de câmp de lungă durată, dar și în condiții de producție până la adâncimea 20 m [1,18] au permis formularea următoarelor concluzii:

- levigarea nitraților sub influența precipitațiilor atmosferice are loc până la 9-10 m în cernoziomul obișnuit din zona de sud și până la 10-11 m în cernoziomul levigat din zona centrală a Moldovei;
- pierderile de azot din îngrășăminte, prin procesul de levigare, constituie 8,8-9,3 %;
- levigarea nitraților este mai intensă în perioada rece a anului; în perioada caldă levigarea azotului cu fluxul descendent are loc până la 20-60 cm, strat din care azotul nitric este pe deplin utilizat de plante.

Pentru minimalizarea pierderilor de azot din sol prin levigare sunt indicate următoarele măsuri [1, 2, 13, 14]:

- monitorizarea rezervelor de azot mineral din solurile agricole;
- determinarea dozelor de îngrășăminte cu azot în baza diagnozei complexe sol–plantă;
- aplicarea îngrășămintelor cu azot, preponderent în perioada primăvară–vară;
- utilizarea îngrășămintelor cu azot în câteva reprize (în sol, foliar) în perioada de maxim consum de către plantele de cultură.

Prin *denitrificare* (procesul de reducere biologică a nitraților sub formă de azot gazos, ca azot molecular sau ca oxizi de azot [10]), pierderile de azot pot constitui 5-20 % din cantitatea de N aplicată ca îngrășământ [5, 8].

*Volatilizarea* (procesul de evaporare a substanțelor volatile) amoniacului reprezintă una din căile importante de pierdere a azotului din sol [10]. Azotul amoniacal se pierde mai intens pe solurile calcaroase. Pierderile prin volatilizare pot atinge 20-50% la aplicarea superficială a amoniacului anhidru sau a ureei pe solurile alcaline, pe vreme cu vânt și cu temperaturi ridicate. Pentru evitarea pierderilor de azot prin volatilizare se recomandă de încorporat îngrășămintele cu azot în sol umed [14].

Pierderile de azot prin *eroziune* constituie 27-29 kg/ha. Cele mai mari scurgeri, implicit pierderi de azot, au loc la culturile prășitoare și în plantațiile pomivitice. La culturile dese pierderile de azot prin eroziune sunt mai mici și constituie 8-10 kg/ha. O parte din scurgerile lichide de pe terenurile în pantă pătrund în rețeaua hidrografică și poluează apele de suprafață cu compuși de azot.

Combaterea eroziunii solului se efectuează prin implementarea bunelor practici agricole, cu minimalizarea scurgerilor solide până la limitele admisibile de 5 t/ha [7].

### 4. Eficacitatea îngrășămintelor cu azot

Efectul aplicării îngrășămintelor depinde în mare măsură de tipul și subtipul de sol, însușirile agrochimice ale solului, condițiile agrometeorologice, planta de cultură etc. S-a stabilit [1] că eficacitatea îngrășămintelor cu azot este în strânsă legătură cu rezervele de azot mineral din sol. Sporul în recolta grâului de toamnă la aplicarea dozei  $\text{N}_{60}$  pe fondul de PK sau NPK a variat de la 67% la -12%. Între reacția plantelor la  $\text{N}_{60}$  ( $Y$ , %) și cantitatea de  $\text{N-NO}_3$  în stratul de 1 m, primăvara, la începutul perioadei de vegetație ( $X$ , kg/ha) s-a stabilit o corelație strânsă, exprimată de următoarea ecuație:

$$Y = (1181: X) - 4,2, r = 0,71$$

În baza datelor experimentale a fost elaborată građația rezervelor de Nmin în solurile agricole și s-a determinat necesarul de nutriție suplimentară cu azot a grâului de toamnă (tabelul 3).

Tabelul 3

Necesarul grâului de toamnă în azot în funcție de rezervele de N-NO<sub>3</sub> în sol

Conținutul de N-NO <sub>3</sub> în stratul de 0-100 cm, kg/ha		Sporul în recolta de la N <sub>60</sub>		Necesarul grâului de toamnă în azot
		kg/ha	%	
Foarte scăzut	sub 35	peste 1500	peste 40	Foarte mare
Scăzut	36-60	1000-1500	20-40	Mare
Moderat	61-100	300-1000	5-20	Mediu
Optim	101-140	0-300	0-5	Mic
Ridicat	peste 140	0	0	Lipsește

Pe solurile cu conținut foarte scăzut de azot mineral (mai mic de 35 kg/ha) sporul în recoltă este mare și depășește 1,5 t/ha boabe grâu de toamnă. Fiecare kg de azot se recuperează cu peste 20-25 kg boabe. Pe solurile cu conținut ridicat de N<sub>min</sub>, disponibil plantelor (peste 140 kg/ha), grâul de toamnă nu reacționează la nutriția suplimentară cu azot. Plantele sunt asigurate cu azot într-o cantitate optimă pentru formarea a 4,5-5,0 t/ha grâu de toamnă în condițiile când rezervele de azot mineral în stratul de 1 m de sol constituie 100-140 kg/ha.

Pentru confirmarea celor menționate prezentăm rezultatele experiențelor de câmp efectuate în diferite zone pedoclimatice ale Moldovei (tabelul 4). S-a stabilit că aplicarea N<sub>60</sub> pe sol cenușiu cu conținut foarte scăzut de azot nitric (12 kg/ha) a triplat recolta grâului de toamnă. Fiecare kg de N aplicat în calitate de nutriție suplimentară s-a recuperat cu 39 kg boabe. Îngrășămintele cu azot aplicate pe cernoziomul obișnuit moderat erodat cu conținut foarte scăzut de azot mineral au contribuit la creșterea producției de grâu de toamnă de 1,9 ori.

Tabelul 4

## Reacția grâului de toamnă la aplicarea îngrășămintelor cu azot în funcție de rezervele de azot mineral din sol

Rezerva de azot mineral în sol, kg/ha	Numărul de experiențe	Varianta	Recolta, t/ha	Sporul în recoltă, t/ha	Conținutul de gluten în boabe, %
Sol cenușiu din comuna Cuhurești, raionul Florești. Humus – 2,2%; fosfor mobil și potasiu schimbabil – optimi; premergător – floarea-soarelui.					
Foarte scăzută, 12,0	1	PK	1,2	–	15,1
		PK+N60	3,5	2,3	13,4
		PK+N120	4,9	3,7	23,0
DL (0,95), t/ha = 0,4, P% = 2,9%					
Cernoziom obișnuit moderat erodat din comuna Negrea, raionul Hâncești. Humus – 2,2%; fosfor mobil și potasiu schimbabil – optimi; premergător – porumb pentru boabe, grâu.					
Foarte scăzută, sub 35,0	2	PK	1,9	–	16,6
		PK+N60	3,6	1,7	16,8
		PK+N120	3,5	1,6	21,5
DL (0,95), t/ha = 0,3-0,5, P% = 2,0-4,0					
Cernoziom levigat din comuna Ivancea, raionul Orhei. Humus – 3,6%, fosfor mobil și potasiu schimbabil – optimi, premergător – mazăre					
Moderată, 60,0	6	PK	3,7	–	26,2
		PK+N60	4,5	0,8	26,4
Cernoziom levigat din comuna Ivancea, raionul Orhei. Humus – 3,6%; fosfor mobil și potasiu schimbabil – optimi; premergător – mazăre.					
Ridică, peste 140,0	3	PK	5,4	–	29,7
		PK+N60	5,5	0,1	30,5
DL (0,95), t/ha = 0,3-0,4, P% = 2,8-3,2					

Fiecare kg de N s-a recuperat cu 26 kg boabe [4]. La cultivarea acestei culturi pe cernoziomul levigat, cu conținut moderat de N<sub>min</sub> (circa 60 kg/ha), sporul în recoltă a constituit 800 kg/ha, iar fiecare kg de N s-a recuperat cu 12 kg boabe. Pe același subtip de cernoziom, cu conținut ridicat de N<sub>min</sub> (peste 140 kg/ha), s-a obținut o recolta înaltă de grâu de toamnă de 5,4 t/ha, însă plantele nu au reacționat la nutriția suplimentară cu azot.

Vom menționa că îngrășămintele cu azot au contribuit la creșterea conținutului de gluten în boabe, îndeosebi, pe solurile cu conținut scăzut de azot disponibil plantelor. Doza de azot ( $D_N$ ) pentru obținerea recoltelor scontate se determină conform formulei:

$$D_N = [R \cdot C - (Nrs + Nrv + Np) \cdot 100] : Ku,$$

unde simbolurile utilizate au următoarea semnificație:  $R$  – recolta, t/ha;  $C$  – consumul (exportul) de N pentru formarea 1 t grâu de toamnă, kg;  $Nrs$  – rezervele de N<sub>min</sub> în sol primăvara, kg/ha;  $Np$  – cantitatea de N acumulată în plante, kg/ha;  $Ku$  – coeficientul de utilizare a azotului din îngrășămintele, %. Metodologia optimizării nutriției minerale a grâului de toamnă și baza normativă sunt expuse în publicațiile anterioare [1, 2].

Din analiza și generalizarea rezultatelor cercetărilor științifice efectuate în ultimii 40-50 de ani în experiențele de câmp de lungă durată, cu aplicarea fertilizantilor în asolamente [1, 19, 20, 21, 23], se desprind următoarele concluzii:

- Sistemul mineral de fertilizare a solului, care se practică în ultimii 20-25 ani, poate asigura majorarea conținutului de elemente nutritive din sol și obținerea unui spor în recoltă de 25-35 %. Însă în condițiile funcționării acestui sistem de întreținere a solului, circuitul materiei organice este deschis, bilanțul humusului și azotului organic este negativ. Ca rezultat, capacitatea de producție a solului, într-un ciclu multianual, va scădea, iar riscul poluării apelor pedofreatice cu nitrați se va păstra. Contradicțiile dintre chimizarea agriculturii și menținerea echilibrului ecologic pot fi diminuate prin aplicarea îngrășămintelor conform recomandărilor în uz și prin controlul fertilității solului.

- Sistemul organo-mineral de fertilizare a solului, cu aplicarea a 10-15 t/ha gunoi de grajd, a resturilor vegetale, a dozelor calculate de îngrășămintele minerale în cadrul asolamentelor zonale (cu cota culturilor leguminoase de 20-25 %, inclusiv 10-15 % ierburi perene), asigură formarea unui bilanț echilibrat de materie organică și de azot, fosfor, potasiu în sol și obținerea recoltelor scontate. Biologizarea agriculturii și dezvoltarea sectorului zootehnic (cu producerea cantităților respective de îngrășămintele organice), conduc la formarea unui circuit închis a materiei organice și a

azotului în sol și la protecția mediului ambiant de degradare și de poluare.

### 5. Surse de menținere a conținutului de materie organică și de elemente nutritive din sol

Pierderile de azot din sol pot fi compensate din conținutul următoarelor surse: precipitații atmosferice, resturi vegetale, fixarea biologică, îngrășămintele organice și minerale. S-a stabilit [8] că anual, odată cu precipitațiile atmosferice în sol se introduc 6 kg N în zona de sud și 9 kg/ha în cea de nord a Moldovei.

Conform estimărilor [8], anual, prin mecanismul de fixare nesimbiotică (proces de fixare a azotului elementar de către microorganismele ce trăiesc liber în sol) în sol se acumulează 5-6 kg/ha azot biologic. Fixarea simbiotică a azotului este, după cum se știe, un proces de fixare a azotului atmosferic de către microorganismele fixatoare de azot, simbiotice cu plante, îndeosebi din familia Leguminoase [10]. Instituțiile de cercetări și universitare din Moldova [14] au determinat cantitatea de N biologic fixat din atmosferă de aceste culturi. Lucerna cu productivitate de 30 t/ha masă verde acumulează 150 kg/ha de azot. În sol, cu resturile vegetale și rădăcini, rămân 100-200 kg/ha azot. Soia fixează din atmosferă 130 kg de azot, mazărea – 80 kg/ha. Conform recomandărilor [11, 12, 13], cota culturilor leguminoase în asolamente trebuie să constituie 20-25%. Respectarea acestor recomandări asigură acumularea în agricultură a 35-40 mii t de azot biologic, sau circa 20 kg/ha.

Îngrășămintele organice reprezintă o sursă importantă de compensare a pierderilor de materie organică și de azot din sol. Experimental s-a stabilit că pentru conservarea materiei organice și a azotului din sol este necesar de aplicat 10-15 t/ha îngrășămintele organice [19, 20, 21, 23]. Cu această cantitate de îngrășămintele organice în sol se încorporează 50-75 kg/ha azot. Realizarea acestui obiectiv este posibilă numai prin dezvoltarea sectorului zootehnic și producerea cantităților respective de îngrășămintele organice.

Îngrășămintele minerale compensează deficitul de azot din sol, utilizat la descompunerea materialelor organogene proaspete, la sinteza substanțelor humice și la optimizarea nutriției minerale a plantelor de cultură. Prin cercetări agrochimice multianuale a fost determinat necesarul agriculturii Moldovei în îngrășămintele minerale [13]. Doza medie de azot pentru solurile agricole constituie 50 kg/ha.

Conform ultimelor estimări [13], cota azotului biologic în agricultură va constitui circa 60%, iar a celui industrial – 40%. Aplicarea în complex a măsurilor fitotehnice și agrotehnice va asigura conservarea fertilității solului, obținerea recoltelor scontate, protecția mediului ambiant de degradare și de poluare.

## CONCLUZII

Solurile Moldovei se caracterizează prin conținut relativ înalt de azot total. Cantitatea principală a acestui element nutritiv se conține în materia organică, în fracțiunile azotului nehidrolizat (70-80 %) și greu hidrolizat (10-15 %). Aceste două fracțiuni determină structura și stabilitatea fondului de azot din sol. Conținutul de azot mineral accesibil plantelor constituie doar 1-2% din total, valoare insuficientă pentru nutriția plantelor și obținerea recoltelor înalte de grâu de toamnă de 4,5-5,0 t/ha.

Cantitatea de azot mineral depinde de fluxul materiei organice și a azotului în sol. În ultimii 15-20 de ani fluxul de materiale organogene și de azot în sol a scăzut considerabil din cauza neaplicării în agricultură a îngrășămintelor organice, reducerii cotei culturilor leguminoase în asolamente de cinci ori, micșorării dozelor de îngrășămintă minerale (NPK) de 3-5 ori. Bilanțul materiei organice și a elementelor nutritive în agricultură este negativ, iar eficacitatea îngrășămintelor cu azot – ridicată.

Pentru conservarea fertilității solului și obținerea recoltelor scontate este oportună aplicarea următoarelor măsuri: cartarea agrochimică a terenurilor agricole și elaborarea sistemului de fertilizare a solului pentru un termen de 5-6 ani; determinarea periodică (peste 4-5 ani) a bilanțului materiei organice și a elementelor nutritive în sol; biologizarea agriculturii prin implementarea asolamentelor, aplicarea a 10-15 t/ha îngrășămintă organice și a dozelor respective de îngrășămintă minerale, utilizarea resturilor vegetale ca îngrășămant organic.

## BIBLIOGRAFIE

1. Andrieș S. Optimizarea regimurilor nutritive ale solurilor și productivitatea plantelor de cultură. Chișinău: Pontos, 2007. 374 p.
2. Andrieș S. Agrochimia elementelor nutritive. Fertilitatea și ecologia solurilor. Chișinău: Pontos, 2011. 223 p.
3. Andrieș S. Materia organică în solurile Moldovei și măsuri de sporire a fertilității. Akademos, nr. 2, 2017, p. 71-77.
4. Andrieș S., Cochină V., Lungu V., Leah N. Măsuri și procedee agrochimice de sporire a fertilității solurilor erodate. Simpozion internațional științifico-practic „Utilizarea eficientă a resurselor hidro-funciare în condițiile actuale. Realizări și perspective”. Chișinău, 2016, p. 51-54.
5. Camberado J. Bioavailability of Nitrogen. Handbook of Soil Sciences. Resources, management and environmental impact. Second edition, 2012, p.11.1 -11.14
6. Donos A. Acumularea și transformarea azotului în sol. Chișinău: Pontos, 2008. 206 p.
7. Eroziunea solului. Chișinău: Pontos, 2004. 476 p.
8. Instrucțiuni metodice perfecționate pentru determinarea și reglarea bilanțului elementelor nutritive în solurile Moldovei. Chișinău, 2001. 24 p.
9. Lăcătușu R. Mineralogia și agrochimia solului. Iași, 2000. 252 p.
10. Lăcătușu R. Dicționar de agrochimie. București, 2002. 312 p.
11. Lupașcu M. Agricultura Moldovei și ameliorarea ei ecologică. Chișinău: Știința 1996. 112 p.
12. Lupașcu M. Lucerna: importanța ecologică și furajeră. Chișinău, 2004. 304 p.
13. Programul complex de valorificare a terenurilor degradate și sporirea fertilității solurilor. Sporirea fertilității solurilor. Partea II. Chișinău: Pontos, 2004. 135 p.
14. Recomandări privind aplicarea îngrășămintelor. Chișinău, 1994. 169 p.
15. Rusu A. Îngrășămintele organice și resturile vegetale ca factori de majorare a rezistenței solului la fenomene ecologice nefavorabile. În: Diminuarea impactului factorilor pedoclimatici extremali asupra plantelor de cultură. Chișinău, 2008, p. 78-92.
16. Tan K.M. Environmental soil science. Second edition. New York, 2000, p. 80-144.
17. Tate R. Soil Microbiology, 2000. 508 p.
18. Андриеш С.В., Донос А.И., Лях Н.М. Профильное распределение нитратов в почвогрунтах при систематическом применении удобрений. Известия АН Республики Молдова, сер. биол. и хим. наук, № 40, 1993, с. 67-70.
19. Боинчан Б.П. Экологическое земледелие в Республике Молдова. Chișinău: Știința, 1999. 268 p.
20. Думитрашко М.И. Пути повышения плодородия черноземов и продуктивности полевых севооборотов при различных системах удобрения. Автореф. дисс. д.с.-х.н. Минск, 1987. 35 с.
21. Загорча К.Л. Оптимизация системы удобрения в полевых севооборотах. Chișinău: Știința, 1990. 288 с.
22. Почвы Молдавии. Т. 1. Кишинев: Штиинца, 1984. 352 с.
23. Цуркан М.А. Агрохимические основы применения органических удобрений. Кишинев: Штиинца, 1985. 287 с.
24. Parchictia preraep raturiam, tem nis accatur sequiandi as aliquiam sed et ent velit quisquontis aborepre nis doluptas que ditam, quis est quatur seque re porepud ipsusam, te di unt et idundios apid et quia sequaes aliqpe pelistrum as di archil is eum, cusae pos sum expelecerferum, que vendelest aut doluptia del is eum aut ullorpor sequi cum fugit, sapella borectissit odicipi temolor eicipsam expediciet.