

# MĂSURI ȘI PROCEDEE DE OPTIMIZARE A REGIMULUI DE FOSFOR ÎN SOL

Academician **Serafim ANDRIEȘ**

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

## MEASURES AND METHODS TO IMPROVE OF PHOSPHORUS REGIME IN THE SOIL

**Summary.** Phosphorus forms and its reserves content in different Moldavian soil types and subtypes; the degree of assurance of arable soil with mobile, available for plants, forms of phosphorus; the models of the mobile phosphorus reserves, accumulated in the soil, evolution as a result of fertilizer application; the methodology for optimal nutritional regime to obtain expected harvests and also agriculture needs for fertilizers to increase soil fertility are presented in this article.

**Keywords:** soil, plant, phosphorus, fertilizer, efficacy, harvest.

**Rezumat.** În articol sunt prezentate formele și rezervele de fosfor în diferite tipuri și subtipuri de sol; gradul de asigurare a solurilor arabile cu fosfor mobil; modele privind evoluția rezervelor de fosfor mobil acumulate în sol în urma aplicării îngrășămintelor: metodologia formării regimului nutritiv optim pentru obținerea recoltelor scontate; necesarul agriculturii în îngrășămintele pentru sporirea fertilității solului.

**Cuvinte-cheie:** sol, plantă, fosfor mobil, îngrășământ, eficacitate, recoltă.

## INTRODUCERE

Fosforul joacă un rol primordial în metabolismul organismelor vii. El se găsește în toate organele plantelor, mai cu seamă în semințe și în țesuturile de creștere.

Compușii cu fosfor sunt acumulatorii și surse de energie, participă activ la diferite reacții biochimice în celule. Prin intermediul acizilor nucleici, ei contribuie la alcătuirea codului genetic, iar al acizilor ribonucleici și dezoxiribonucleici – la acumularea și transformarea energiei pentru procesele de sinteză și producere a substanței organice. Fosforul sporește rezistența plantelor la secetă, stimulează creșterea sistemului radicular, contribuie la formarea recoltelor înalte de calitate superioară. Insuficiența nutriției cu fosfor, îndeosebi în primele perioade de vegetație, influențează negativ toate procesele metabolice de creștere și dezvoltare a plantelor.

Unica sursă de nutriție a plantelor cu fosfor, spre deosebire de azot, o constituie solul. Solurile Moldovei se caracterizează printr-un conținut scăzut de fosfor mobil, accesibil plantelor. Utilizarea îndelungată a solului fără compensarea exportului elementelor nutritive cu recoltele conduce la degradarea lor. Potrivit anualelor statistice ale Republicii Moldova, în ultimii 20 ani în agricultură au fost aplicate cantități insuficiente de fertilizanți (10-35 kg/ha), în special ai celor cu fosfor (până la 1 kg/ha pe an). Exportul anual al fosforului cu recolte constituie cca 30 kg/ha. Bilanțul elementelor nutritive în agricultură este negativ. Ca rezultat, productivitatea plantelor de cultură s-a micșorat cu

25-35%. În ultimii 15 ani recolta grâului de toamnă, de exemplu, a constituit numai 2,2-2,8 t/ha. Pentru obținerea recoltelor de 4,5-5,5 t/ha de grâu de toamnă este necesară implementarea realizărilor științei agricole, inclusiv utilizarea rațională a îngrășămintelor, inclusiv optimizarea regimului de fosfor în sol.

## MATERIAL ȘI METODĂ

Cercetările au fost efectuate în anii 1985–2015 în experiențele de câmp de lungă durată ale Institutului „Nicolae Dimo”, fondate pe sol cenușiu și cernoziom levigat din comuna Ivancea, raionul Orhei; cernoziom obișnuit din comuna Chirsovo, UTA Găgăuzia și cernoziom carbonatic din comuna Grigorievca, raionul Căușeni. Grupele de fosfor în solurile cercetate au fost identificate după metoda Cirișov [1956]. Conținutul de fosfor mobil a fost determinat prin metoda Macișghin [7].

Au fost formate diferite nivele de fosfor mobil în sol, de la cel natural, scăzut, de 1-2 mg/100 g, până la 5-6 mg/100 g, cu un interval de 0,5 mg/100 g de sol [1]. Nivelele formate de fosfor au fost menținute în timp prin compensarea  $P_2O_5$  exportat din sol cu recoltele, aplicând normele respective de îngrășămintele.

S-au analizat informațiile statistice privind aplicarea îngrășămintelor în agricultura Moldovei și productivitatea plantelor de cultură în perioada anilor 1963–2015. Datele experimentale au fost prelucrate prin diferite metode statistice.

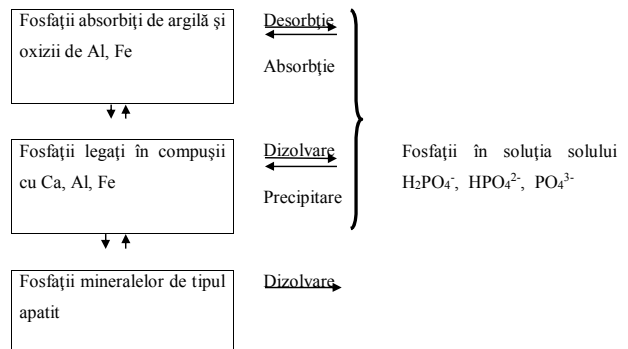
**REZULTATE ȘI DISCUȚII**

Conținutul de fosfor în solurile Moldovei constituie 0,12-0,20% [21, 22]. În cernoziomurile cu profil deplin, cantitatea de fosfor total constituie 145-190 mg/100 g de sol, în solurile cenușii 90-115 mg/100 g de sol. Rezervele de fosfor în stratul 0-50 cm alcătuiesc 7-17 t/ha. Însă cantitatea de fosfor mobil este scăzută și constituie numai 20-25 kg/ha, sau 0,2-0,3% din total [22].

**1. Formele și rezervele de fosfor în sol.** Fosforul în sol este de natură anorganică (50-70%) și în formă organică (30-50%). În procesul de solificare are loc acțiunea și interacțiunea între diferite grupe de fosfați – de la fosfații absorbiți de argilă și oxizii de aluminiu și fier la fosfații mineralelor de tip apatit (vezi schema preluată din [6]).

Din diferite grupe de fosfați, prin desorbție, se completează soluția solului cu ioni de fosfor accesibil plantelor. Concomitent au loc și procese inverse, de adsorbție sau de precipitare a fosfaților din soluția solului și trecerea lor în forme mai puțin solubile sau insolubile în apă [28]. Grupele de fosfor în sol sunt în formă de ioni de fosfor în soluția solului, de compuși insolubili și fosfor în formă de minerale (tabelul 1).

1. Fosforul în soluția solului este prezentat de ionii de fosfați accesibili în nutriția plantelor. Concentrația ionilor de fosfați în soluția solului este extrem de scăzută și constituie 0,03-0,3 mg/l. Difuzia acestora spre rădăcini este foarte limitată. Rădăcinile plantelor pot



**Schemă.** Completarea soluției solului cu fosfați din diferite grupe de fosfor [6]

asimila fosforul la distanța de 1 mm [26, 27]. Rezervele de fosfor în soluția solului în stratul de 0-30 cm alcătuiesc 0,3-0,5 kg/ha. În solurile foarte bogate în fosfor concentrația P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> poate atinge 1 mg/l, iar în cele sărace – 0,1 mg/l. Reacția culturilor agricole la îngrășămintă este invers proporțională concentrației ionilor de fosfați în soluția solului [19, 29].

În soluția solului fosforul este prezentat sub forma ionilor de monofosfat (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) și difosfat (HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Raportul dintre aceste grupe de fosfați depinde de pH-ul solului. În solurile acide predomină monofosfații, iar în cele alcaline – difosfații [8]. Fosforul absorbit în complexul adsorbțiv constituie una din rezervele de completare a fosforului în soluția solului.

Tabelul 1

**Acțiunea îngrășămintelor asupra grupelor de fosfor în solurile Moldovei [1]**

Durata experienței, ani	Varianta	Încorporat în sol, P205, kg/ha	Fosforul total	Grupele de fosfor (P205)			
				I+II	III	IV	V
<b>Sol cenușiu</b>							
12	Martor	0	107,6	5,3	9,1	67,1	26,1
	N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>60</sub>	840	122,3	15,1	16,0	61,5	29,7
14	Martor	0	113,0	8,8	10,9	68,7	24,6
	N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>60</sub>	1084	138,5	19,4	16,8	77,4	24,9
<b>Cernoziom levigat</b>							
12	Martor	0	123,0	15,1	9,8	66,9	31,8
	N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>60</sub>	780	140,9	23,7	14,8	73,1	29,3
14	Martor	8	134,2	16,9	10,6	80,2	26,5
	N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>60</sub>	960	157,4	29,9	17,1	82,5	27,9
<b>Cernoziom obișnuit</b>							
12	Martor	0	138,0	25,9	14,4	67,7	30,0
	N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>60</sub>	720	154,0	34,4	15,2	74,6	29,8
14	Martor	0	143,0	29,3	15,1	67,2	31,4
	N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>60</sub>	960	165,0	39,2	18,5	74,9	32,4

2. Fosforul adsorbit de argilă și de oxizii de aluminiu și fier constituie 5-20% din total. Fosfat-ionii pot fi adsorbiți de către complexul adsorbiv. Ionii de fosfor trec în soluția solului în urma proceselor de desorbție. Între fosforul din soluția solului, fosforul adsorbit la suprafața particulelor coloidale și oxizii de Al și Fe există un echilibru permanent.

3. Grupa a III-a include fosforul precipitat sub formă de săruri de calciu, fier, aluminiu și constituie 10-12% din total. Fosfații de calciu, aluminiu și fier au solubilitate slabă în apă. Fosfații acestei grupe pot trece în soluția solului drept rezultat al interacțiunii lor cu sistemul radicular și în procesul de solificare. Conform estimărilor, cota acestei forme de  $P_2O_5$  în nutriția plantelor alcătuiește circa 5 kg/ha [27, 28, 29].

4. Fosforul organic (grupa a IV-a) se află în cea mai mare parte în humus, în biomasa nedescompusă sau pe cale de descompunere [12]. Raportul C:N:P din materia organică a solului este de 100:10:1 [8]. De menționat că pentru formarea humusului se imobilizează cantități considerabile de elemente nutritive, inclusiv de fosfor. Anual din contul mineralizării materiei organice, în soluția solului trec 20 kg/ha  $P_2O_5$  [4, 29, 1].

5. Grupa a V-a este prezentată prin fosforul anorganic sub formă de minerale de apatit ale rocilor parentale și alcătuiește 25-40% din total. Fosfații se caracterizează drept substanțe nesolubile. Această grupă de fosfați în procesul de solificare completează rezervele celorlalte grupe de fosfor, însă procesul dat este foarte lent.

Din datele prezentate rezultă că solurile Moldovei se caracterizează printr-un conținut scăzut de fosfor, accesibil plantelor. Insuficiența acestui element în nutriția plantelor influențează în mare măsură productivitatea culturilor.

**2. Eficacitatea îngrășămintelor cu fosfor.** Primele experiențe de câmp cu îngrășăminte au fost

efectuate în anii 1889–1897 la stațiunea experimentală din comuna Ploti. La începutul secolului al XX-lea au fost fondate primele experiențe cu fertilizanți în școlile agricole din comunele Grinăuți, Cucuruzeni și Purcari. Experimental s-a stabilit [citată după 19] că aplicarea îngrășămintelor pe cernoziomuri contribuie la obținerea unui spor semnificativ în recoltă. Din elementele nutritive (azot, fosfor, potasiu), efecte pozitive se obțineau la aplicarea îngrășămintelor cu fosfor.

În perioada 1918–1940 au fost efectuate experiențe de câmp, în cadrul cărora s-a demonstrat că aplicarea îngrășămintelor la grâul de toamnă și la alte culturi cerealiere asigură un spor esențial în recolta [19].

Academicianul Preanișnikov [23], analizând rezultatele experiențelor cu îngrășăminte efectuate în Rețeaua Geografică a Experiențelor de Câmp din fosta URSS, arăta că pentru remedierea fertilității cernoziomului este necesară aplicarea îngrășămintelor cu fosfor.

Fondatorul pedologiei contemporane în Moldova, academicianul N. Dimo, în lucrarea sa de mare valoare științifică și practică [18] menționa necesitatea studierii fosforului în solurile Moldovei, determinării formelor de fosfor și bilanțului elementelor nutritive în sistemul sol-plantă.

În anii 1950, în Moldova a început a doua etapă de cercetări pedologice și agrochimice privind determinarea rolului îngrășămintelor în formarea recoltelor. Rezultatele [16, 17, 24] au demonstrat că îngrășămintele sunt eficiente pe toate tipurile de sol, la toate culturile agricole. Ele au fost utilizate la argumentarea necesității agriculturii Moldovei în îngrășăminte.

Studiile efectuate de Secția Agrochimie a Institutului „Nicolae Dimo” au demonstrat că eficacitatea îngrășămintelor cu fosfor depinde de tipul și subtipul de sol (tabelul 2). Sporul în recolta grâului de toamnă de la  $P_{60}$  constituie de la 11-18% pe cernoziomul

Tabelul 2

**Acțiunea îngrășămintelor cu fosfor ( $P_{60}$ ) asupra recoltei grâului de toamnă și porumbului pentru boabe, % [15]**

Cernoziom	Grâu de toamnă		Porumb pentru boabe	
	n*	sporul	n*	sporul
Levigat	42	11	21	18
Tipic	27	40	21	44
Obișnuit	42	45	49	46
Carbonatic	46	72	31	47
Medie	115	35	122	37

n\* - numărul de experiențe

Tabelul 3

**Modificarea grupelor de fosfați în cernoziomul carbonatic în funcție de sistemul de fertilizare, mg/100 g sol [1]**

Stratul de sol, cm	Humus, %	Grupele de fosfor				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total
		1+2	3	4	5	
<b>Martor (fără îngrășăminte)</b>						
0-20	2,9	31,7	15,1	42,5	54,4	143,7
20-40	2,7	27,0	17,7	42,5	58,8	146,0
40-60	2,1	29,4	18,4	42,5	50,6	140,9
<b>Sol fertilizat N P<sub>3,5</sub> K*</b>						
0-20	3,3	40,7	19,6	51,7	47,0	159,0
20-40	3,2	30,5	19,4	45,8	52,2	147,9
40-60	2,5	30,5	14,2	39,1	57,1	140,9

\*În perioada 1986–1996 au fost aplicate sistematic îngrășăminte, inclusiv 615 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

levigat până la 31-72% pe cernoziomul carbonatic. В. Цыганок [25], generalizând datele a 44 de experiențe-ani, efectuate de Serviciul Agrochimic de Stat, a stabilit o corelație dintre reacția grâului de toamnă la aplicarea îngrășămintelor cu fosfor și conținutul de fosfor mobil în sol ( $r=-0,61$ ). Un spor înalt în recoltă a fost obținut pe solurile cu un conținut scăzut de fosfor mobil. Aplicarea îngrășămintelor cu fosfor pe solurile cu conținut optim sau ridicat de fosfor nu conduce la majorarea recoltei.

Așadar, eficacitatea îngrășămintelor cu fosfor depinde de tipul și subtipul de sol, planta de cultură, rezervele elementelor nutritive în sol și alți factori.

### 3. Transformarea compușilor de fosfor în sol.

Compușii organici și anorganici ai fosforului în sol suferă o serie de transformări care influențează asupra formelor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> accesibile plantelor. Aplicarea îngrășămintelor are drept scop majorarea conținutului de fosfor accesibil plantelor. Însă cantitatea de compuși solubili ai fosforului în sol, în urma transformărilor survenite, nu este direct proporțională cu cantitatea de îngrășămintă aplicată. Are loc transformarea compușilor ușor solubili în forme mai greu solubile de fosfor în sol.

Rezultatele experiențelor de câmp de lungă durată ale Institutului „Nicolae Dimo”, fondate pe sol cenușiu și diferite subtipuri de cernoziom, au demonstrat că aplicarea sistematică a îngrășămintelor în cantități de 720-1084 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a condus la majorarea conținutului de fosfor în sol (grupa I+II) cu 8-12 mg/100 g (tabelul 1). Intensitatea și direcția proceselor de formare a fosfaților mai puțin solubili sunt determinate de particularitățile genetice ale solului. În solurile cenușii și-n cernoziomul levigat are loc acumularea fosfaților din grupa a III-a (după metoda Ciricov), legați cu aluminiul și fierul. În cernoziomul obișnuit

doar după 8 ani de aplicare sistematică a îngrășămintelor s-a evidențiat acumularea fosfaților din grupa a III-a. Conținutul fosfaților din grupa a V-a nu s-a schimbat sub acțiunea îngrășămintelor.

Mai detaliat fondul fosforului a fost studiat pe parcursul anilor 1985–2006 la Stațiunea experimentală a Institutului „Nicolae Dimo” în cernoziomul carbonatic [1]. S-a constatat că la aplicarea sistematică a îngrășămintelor în asolamentele de câmp s-a majorat conținutul de fosfați din grupele I+II, III și IV (tabelul 3). Cercetările efectuate la această stațiune, pe cernoziom carbonatic, au permis de a concretiza rolul grupelor de fosfor în formarea regimului nutritiv. Direct accesibili pentru nutriția plantelor sunt fosfații primei grupe. Fosfații din grupa a II-a sunt accesibili pentru nutriția plantelor parțial, la nivel de 3-5 kg/ha pe an. Fosfații din grupele a III-a și a V-a sunt, practic, inaccesibili pentru plante. În procesul de solificare, fosfații din aceste grupe trec în forme mai solubile, însă acest proces decurge foarte lent.

Principala sursă de fosfor mobil accesibilă plantelor o constituie materia organică. S-a constatat că anual în cernoziomul carbonatic se mineralizează 1,5 t/ha materie organică și se eliberează 22 kg/ha fosfor mobil [4]. Plantele consumă anual cantitățile de fosfați care se eliberează în urma mineralizării humusului în sol. Participarea fosfaților din grupele II, III și V în nutriția plantelor este la nivel de 3-5 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pe an. Aceste grupe de fosfor în procesul de utilizare a solului se modifică neesențial.

În continuare vom analiza modificarea regimului de fosfor în solurile Moldovei în urma aplicării sistematice a îngrășămintelor în agricultură. În acest scop în perioada anilor 1965–1997 Serviciul Agrochimic de Stat a efectuat cinci cicluri de cartare agrochimică a solurilor (tabelul 4).

Tabelul 4

Gradul de asigurare a solurilor arabile ale Moldovei cu fosfor mobil, % din suprafața cercetată [5]

Cercetări (ciclul), anul	Conținutul de fosfor					
	foarte scăzut	scăzut	moderat	relativ optim	ridicat	foarte ridicat
I 1965–1970	23,7	42,7	25,3	3,8	3,3	1,2
II 1971–1979	26,9	40,9	21,2	5,1	2,1	3,9
III 1980–1985	16,6	32,6	27,4	11,1	5,2	7,1
IV 1986–1990	7,0	23,7	33,8	17,7	8,3	9,5
V 1991–1997	5,8	18,6	33,6	20,2	10,6	11,2

S-a stabilit că în anii 1965–1970, suprafața solurilor cu conținut foarte scăzut și cu conținut scăzut de fosfor mobil constituia 66,4% [5]. Cota solurilor cu conținut ridicat de fosfor alcătuia doar 8,2% din total. De regulă, acestea sunt solurile aluviale, bogate în fosfor accesibil plantelor. Potrivit anuarelor statistice, în perioada 1963–1970 în agricultură se aplicau cantități insuficiente de îngrășăminte: 19-39 kg/ha NPK (figura 1) și 1,3-1,4 t/ha îngrășăminte organice (figura 2). Productivitatea culturilor de câmp era joasă și constituia 1,6-2,0 t grâu de toamnă și 2,8-3,4 t/ha porumb pentru boabe.

În anii 1971–1980 livrarea îngrășămintelor cu fosfor corespundea normei medii anuale de P<sub>30</sub>. Pe parcursul unui deceniu în sol s-au introdus circa 300 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Coeficientul de utilizare a fosforului din îngrășăminte variază de la 12% la 20% [4]. Către anul 1980 în sol s-au acumulat 240 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> din îngrășăminte. Suprafața solurilor agricole cu conținut foarte scăzut și scăzut de fosfor s-a redus până la 67,8%.

Acumularea în sol a fosfaților remanenți și crearea rezervelor mobile depinde de transformarea îngrășămintelor introduse. În anii 1950–1960, la începutul aplicării îngrășămintelor în agricultură, se considera ca fosfații se transformă rapid în forme insolubile. În

solurile carbonatice stadiul final de transformare a fosfaților remanenți este apatita (Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub>, iar în cele acide – fosfații de aluminiu și de fier de tipul Al<sub>2</sub>(Fe(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>). În baza acestor premise teoretice, s-ar putea presupune că fosfații remanenți neutilizați vor fi puțin accesibili plantelor.

Însă cercetările efectuate pe parcursul mai multor ani de Laboratorul Agrochimie al Institutului „Nicolae Dimo”, în condiții de câmp și de laborator, au demonstrat [27, 28, 29] că această ipoteză nu este pe deplin argumentată. Procesul de formare a compușilor termodinamici stabili, foarte puțin solubili în solurile Moldovei are loc, însă viteza lui este cu mult mai mică decât se presupunea. După cum s-a constatat, compensarea exportului de fosfor cu recoltele prin aplicarea îngrășămintelor este suficientă pentru menținerea chiar și a celor mai ridicate nivele de fosfor [4]. La introducerea sistematică pe parcursul a 10-15 ani a normei de fosfor de P<sub>60</sub>, se formează treptat un fond de fosfor mobil de 3,0 mg/100 g de sol, după metoda Macighin, adică aproape de cel optim [27].

În total, în perioada 1965–1990, au fost aplicate în sol circa 960 kg/ha de fosfor. În 1975–1990 pentru prima dată în istoria agriculturii Moldovei a fost format un bilanț pozitiv al fosforului în sol în mărime de la

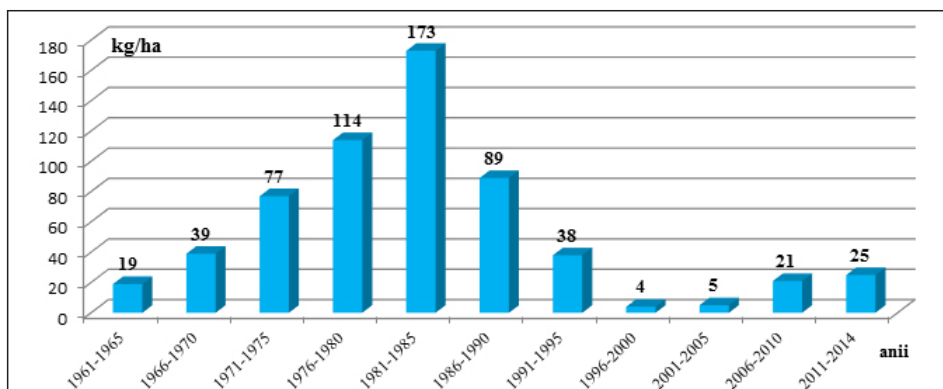


Figura 1. Aplicarea îngrășămintelor minerale în solurile Moldovei, kg/ha



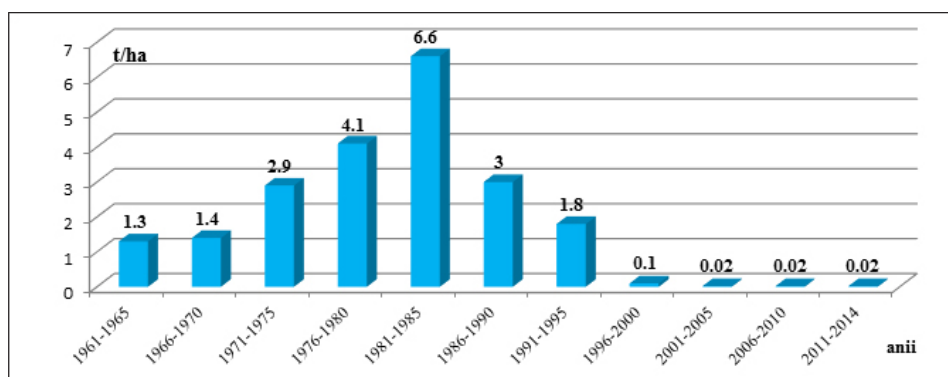


Figura 2. Aplicarea îngrășămintelor organice în agricultura Moldovei, t/ha

+5, până la +40 kg/ha [19, 14]. Ca rezultat, regimul fosforului în solurile Moldovei s-a ameliorat semnificativ. Către anul 1990 suprafața solurilor cu conținut scăzut de fosfor mobil s-a micșorat de 2,2 ori și a constituit 30,7%. La 35,5% din suprafețe s-a constatat un conținut optim, ridicat și foarte ridicat de fosfor mobil.

Este important de subliniat că suprafețele solurilor asigurate la nivel scăzut și ridicat cu fosfor practic s-au egalat. Din acest fapt rezultă că doza medie de  $P_{55}$  atinsă în agricultură în anul 1990, a fost suficientă pentru trecerea tuturor solurilor în categoria celor mediu asigurate cu fosfor mobil.

Aplicarea îngrășămintelor în asolamentele de câmp a contribuit la optimizarea regimului nutritiv și majorarea productivității plantelor de cultură. Re-

colta medie pentru anii 1986–1990 a constituit: 3,8 t grâu de toamnă, 3,9 t porumb pentru boabe, 19,6 t semințe de floarea soarelui. După anul 1992, volumul fertilizanților utilizați în agricultură s-a micșorat de 10-30 de ori. În ultimii 20 de ani în sol se aplică numai 4-25 kg/ha NPK, preponderent îngrășăminte cu azot. Îngrășăminte cu fosfor se aplică în cantități insuficiente pentru nutriția plantelor (până la 1 kg/ha). Anual se exportă din sol cu recoltele 25 kg/ha  $P_{2,0_5}$ . În ultimii 20 de ani din sol au fost extrase și exportate cu recoltele circa 500 kg/ha  $P_{2,0_5}$ . Bilanțul materiei organice și elementelor biofile în agricultura Moldovei este negativ. Ca rezultat, productivitatea grâului de toamnă constituie numai 2,2-2,5 t/ha.

Tabelul 5

Proгноza evoluției rezervei de fosfor mobil în solurile Moldovei, kg  $P_{2,0_5}$ /ha [29]

Anii	Rezerva mobilă	Exportul suplimentar	Retrogradarea, (10% pe an)	Reziduul pe $P_{2,0_5}$
1993	300	4	30	266
1994	266	4	27	235
1995	235	4	24	207
1996	207	4	21	182
1997	182	4	18	160
1998	160	4	16	140
1999	140	4	14	122
2000	122	4	12	106
2001	106	4	11	91
2002	91	4	9	78
2003	78	4	8	66
2004	66	4	7	55
2005	55	4	6	45
2006	45	4	4	37
2007	37	4	4	29
2008	29	4	3	22
2009	22	4	2	16
2010	16	4	2	10
2011	10	4	1	7
2012	7	4	1	2
În total, kg/ha	300	80	220	
În total, %	100	27	73	

După anul 1997, cartarea agrochimică sistematică a solurilor în republică nu se efectuează. Vom menționa că în Belarus s-a finalizat cel de-al IX-lea ciclu de cartare agrochimică, în Ucraina al VIII-lea. Republica Moldova a rămas cu rezultatele obținute la efectuarea celor cinci cicluri de evaluare a fertilității efective a solurilor îndeplinite în 1965–1997. Actualmente starea regimurilor nutritive, inclusiv cu fosfor, nu este cunoscută. În aceste condiții, starea regimului fosforului în sol a fost estimată în baza modelelor matematice privind transformarea  $P_2O_5$  în sol elaborate de secția Agrochimie a Institutului „Nicolae Dimo” [29]. Investigațiile au demonstrat că cele 960 kg/ha  $P_2O_5$ , încorporate în sol în perioada anilor 1965–1990, au fost supuse următoarelor transformări: 106 kg, sau 12% au fost folosite de culturile agricole pentru formarea sporului de recoltă, 300 kg/ha, sau 30% au rămas în sol în formă mobilă și 560 kg/ha, sau 58% s-au transformat în forme mai puțin solubile (tabelul 5).

După cum s-a calculat, utilizându-se parametrii modelelor elaborate [29], către 2015, rezervele de fosfor mobil acumulate în sol din îngrășăminte în anii 1965–1990 se vor epuiza. Conținutul de fosfor mobil va reveni la nivelul natural, scăzut, de 1,0-1,5 mg/100 g de sol, fapt care va asigura obținerea a 2,2-2,6 t/ha grâu de toamnă și 2,8-3,2 t/ha porumb pentru boabe. Din datele prezentate rezultă următoarele concluzii de ordin practic:

- Pentru sporirea coeficientului de utilizare a  $P_2O_5$  din îngrășăminte și micșorarea vitezei de retrogradare, nivelul regimului nutritiv trebuie sincronizat cu alți factori, care limitează formarea recoltelor. Norme majore de îngrășăminte pot fi recomandate în condițiile unei agrotehnici avansate, ca planta de cultură să poată utiliza o cantitate cât mai mare de fosfor din îngrășăminte.

- Pentru monitorizarea stării de calitate a solurilor și optimizarea regimurilor nutritive este necesară efectuarea cartării agrochimice a tuturor terenurilor agricole o dată în 10-12 ani.

**4. Formarea nivelului optim de fosfor mobil în sol.** Nivelul de fosfor în sol constituie unul din principalii indici ai fertilității și determină în mare măsură productivitatea plantelor de cultură. Pentru evaluarea și optimizarea regimului de nutriție a plantelor cu fosfor sunt necesare: aplicarea celei mai informative metode de determinare a rezervelor de fosfor mobil în sol; stabilirea consumului de  $P_2O_5$  pentru majorarea conținutului de fosfor mobil cu 1 mg/100 g de sol; determinarea nivelului optim de fosfor mobil în sol; elaborarea strategiei de utilizare a îngrășămintelor cu fosfor în agricultură.

În funcție de zona pedoclimatică, se aplică diferite

metode de extragere a fosforului mobil [3, 13]. Fiecare metodă extrage o anumită cantitate de fosfor mobil. Este cunoscut [22, 26, 7] că aplicarea anioniților modelează asimilarea acestui element nutritiv de sistemul radical al plantelor și nu exercită acțiuni chimice asupra solului.

Cercetările au demonstrat [26] că metoda Macighin, indiferent de conținutul de carbonați, extrage aceeași cantitate de fosfor ca și metoda cu anionit. Dependența datelor obținute prin aceste două metode este foarte strânsă ( $r=0,98$ ) și se înscrie prin următoarea ecuație:

$$y = 0,988x + 0,13,$$

unde

$y$  –  $P_2O_5$  extras cu anionitul, mg/100 g de sol;

$x$  – conținutul de  $P_2O_5$ , după metoda Macighin, mg/100 g de sol.

Ambele metode reflectă destul de bine nu numai rezerva, dar și gradul de mobilitate a fosfaților în sol, capacitatea lor de a menține o concentrație anumită de P-ioni în soluția solului. Interdependența între cantitatea de fosfor mobil ( $x$ , mg/100 g) și gradul de mobilitate ( $y$ , mg/l 0,01 M  $CaCl_2$ ) se exprimă prin următoarea ecuație:

$$y = 0,063 x - 0,054, \quad r = 0,83$$

După efectuarea testărilor respective a diferitor metode de evaluare a conținutului mobil de  $P_2O_5$  și determinării eficacității îngrășămintelor pe diferite tipuri și subtipuri de sol, metoda Macighin a fost recomandată pentru cartarea agrochimică a solurilor [Instrucțiuni metodice..., 2007].

Experimental s-a stabilit [2, 19, 22] că aplicarea normei de  $P_{130-160}$  conduce la majorarea fosforului mobil în sol după metoda Macighin cu 1 mg/100 g de sol.

Laboratorul Agrochimie a Institutului „Nicolae Dimo” a format și testat diferite nivele de fosfor mobil în solul cenușiu, cernoziomurile levigat, obișnuit și carbonatic la cultivarea plantelor de cultură în asolamentele de câmp [1]. Profesorul Загорча [1990] a elaborat indicii normativi ai conținutului de fosfor mobil pentru cernoziomul carbonatic în scopul obținerii recoltelor scontate. Gruparea solurilor după conținutul de fosfor mobil este prezentată în recomandările în uz [7, 10]. Pentru obținerea recoltelor înalte de 5,0-5,5 t grâu de toamnă și 6,5-7,5 t/ha porumb pentru boabe, nivelurile optime ale fosforului mobil după Macighin constituie: 4,1-4,5 mg pentru solurile cenușii; 3,1-4,0 mg pentru cernoziomul levigat și 3,1-3,5 mg/100 g pentru cernoziomul carbonatic.

Doza de îngrășăminte cu fosfor ( $D P_2O_5$ ) pentru formarea conținutului optim de fosfor mobil în sol se determină după formula:

$$(D P_2O_5) = (P_{opt.} - P_{init.}) \cdot 130, \text{ unde}$$

$P_{opt}$  – conținutul optim de fosfor mobil în sol, mg/100 g;

$P_{ini}$  – cantitatea de fosfor mobil în sol pe câmpul concret, mg/100 g;

130 – norma de  $P_2O_5$  necesară pentru majorarea conținutului de fosfor mobil în sol cu 1 mg/100 g.

În funcție de geneza solului, de indicii agrochimici și nivelul recoltei, doza de  $P_2O_5$  variază de la 120 până la 0 kg/ha. Pe solurile cu conținut scăzut de fosfor nivelul optim va fi format pe parcursul a câtorva ani. Pe solurile cu conținut ridicat de  $P_2O_5$  se recomandă de a nu aplica câțiva ani la rând îngrășăminte cu fosfor.

Metodologia aplicării îngrășămintelor cu fosfor în agricultura Moldovei constă în formarea nivelului optim de  $P_2O_5$  în sol pentru obținerea recoltelor înalte și menținerea lui în timp. S-a stabilit că aplicarea sistematică a  $P_{55}$  este suficientă pentru formarea pe parcursul a 10-15 ani a nivelului optim de fosfor mobil în sol [1].

Principalele procedee tehnologice de aplicare a îngrășămintelor cu fosfor sunt [10, 11]:

- Fertilizarea de bază, prin distribuirea uniformă a îngrășămintelor pe suprafața solului și încorporarea la lucrarea de bază la adâncimea de 22-32 cm. Cantitatea de îngrășământ la fertilizarea de bază constituie 60-100% din total.

- Fertilizarea în starter se efectuează concomitent cu semănatul. Îngrășământul se introduce în benzi sub semințe sau la 5-6 cm lateral de rândul de semănat. Cantitatea de fosfor la fertilizarea în starter constituie 20-30% din doza optimă economică sau  $P_{20}$ .

- Aplicarea îngrășămintelor cu fosfor în rezervă. Procedeu constă în administrarea dozelor majore de  $P_2O_5$ , destinate pentru 3-5 ani. Această practică generează economii energetice și materiale în condițiile în care fosfații aplicați rămân în stratul arat.

### 5. Necesarul în îngrășăminte cu fosfor pentru agricultură.

În „Programul complex de valorificare a terenurilor degradate și sporirea fertilității solurilor” [9], aprobat prin Hotărârea Guvernului Republicii Moldova nr. 841 din 26 iulie 2004, sunt prezentate măsurile și procedeele tehnologice pentru sporirea fertilității solului. Un compartiment special al acestui program este consacrat utilizării raționale a îngrășămintelor. Programul prevede trei nivele de asigurare a agriculturii cu îngrășăminte: minimal, moderat și optim.

Necesarul minim prevede: administrarea locală (la semănat) a  $P_{20}$  la culturile de câmp; aplicarea  $P_{45}$  la culturile legumicole și cartof și  $P_{200-300}$  la fondarea plantațiilor pomiviticole. Volumul de îngrășăminte cu fosfor în mărime de 29,6 mii tone ( $P_{14}$ , kg/ha) va permite obținerea unui spor semnificativ în recoltă și compensarea parțială a  $P_2O_5$  exportat cu recoltele.

Necesarul moderat în îngrășăminte cu fosfor este calculat pentru perioada de tranziție de la sistemul minimal la cel optim și constituie 65,3 mii t, sau circa  $P_{30}$ , kg/ha.

Sistemul optim de aplicare a îngrășămintelor cu fosfor prevede sporirea fertilității solului și obținerea recoltelor scontate. Doza medie anuală a fosforului în asolamentele de câmp constituie  $P_{50}$ . Culturile legumicole și cartoful se fertilizează cu  $P_{60}$ . Plantațiile pomiviticele pe rod primesc câte  $P_{60}$  o dată în trei ani. Necesarul în îngrășăminte cu fosfor pentru agricultura Moldovei constituie 91,1 mii tone anual, sau  $P_{43}$ , kg/ha. Aplicarea sistematică a dozelor recomandate de îngrășăminte [10, 11] va asigura formarea unui bilanț echilibrat de  $P_2O_5$  în sistemul sol-plantă, crearea și menținerea nivelului optim de fosfor mobil în sol și obținerea a 4,5 t grâu de toamnă, 5,5 t porumb pentru boabe, 2,5 t/ha semințe de floarea-soarelui.

Ameliorarea regimului de fosfor în sol constituie un obiectiv strategic pentru agricultură și poate fi realizat la nivel de stat. În țările cu o agricultură avansată, fermierii sunt subvenționați pentru procurarea și aplicarea îngrășămintelor. Pledăm pentru subvenționarea fermierilor pentru procurarea și utilizarea îngrășămintelor în vederea conservării fertilității solului – principala bogăție naturală a Moldovei.

### CONCLUZII

1. Cernoziomurile și solurile cenușii, ponderea cărora constituie 86 la sută din fondul funciar, se caracterizează printr-un conținut scăzut de fosfor mobil, accesibil plantelor. Insuficiența fosforului în nutriția minerală a plantelor de cultură conduce la formarea recoltelor destul de modeste, de 2,2-2,5 t/ha grâu de toamnă.

2. În vederea obținerii recoltelor înalte de 4,5-5,5 t/ha grâu de toamnă este necesar de format și menținut în timp un nivel optim de fosfor mobil în sol, prin aplicarea sistematică a îngrășămintelor organice și minerale, conform recomandărilor în uz.

3. Pentru monitorizarea fertilității efective a solurilor, în condițiile când în agricultură se aplică numai 25-35 kg/ha NPK, cartarea agrochimică a terenurilor agricole urmează a fi efectuată cu o periodicitate de 10-12 ani. Pentru formarea nivelurilor optime de nutriție minerală, în condițiile aplicării agriculturii intensive, periodicitatea captării agrochimice constituie 5-6 ani.

4. Formarea și menținerea în timp a nivelului optim de nutriție minerală a plantelor de cultură pot fi realizate numai cu suportul statului. Subvenționarea fermierilor pentru procurarea și aplicarea fertilizanților va conduce la sporirea capacității de producție a solurilor și obținerea recoltelor scontate.



**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, p. 211-223.
3. Borlan Z., Hera Cr. Metode de apreciere a stării de fertilitate a solului în vederea folosirii raționale a îngrășămintelor. București: Cereș, 1973, p. 132-198.
4. Buletin de monitoring ecopedologic (agrochimic). Ediția a VII-a. Chișinău: Pontos, 2000. 67 p.
5. Burlacu I. Deservirea agrochimică a agriculturii în Republica Moldova. Chișinău: Pontos, 2000. 228 p.
6. Care 4 Conservation Practices. USA, 1999, p. 1-9.
7. Instrucțiuni metodice privind cartarea agrochimică a solurilor. Chișinău: Pontos, 2007. 34 p.
8. Lăcătușu R. Agrochimie. Timișoara: Helicon. 2000. 311 p.
9. Programul complex de valorificare a terenurilor degradate și sporirea fertilității solurilor. Partea II. Sporirea fertilității solurilor. Chișinău: Pontos, 2004. 125 p.
10. Recomandări privind aplicarea îngrășămintelor pe diferite tipuri de sol la culturile de câmp. Chișinău: Pontos, 2012. 66 p.
11. Recomandări privind aplicarea îngrășămintelor. Chișinău, 1994. 169 p.
12. Tate III R. Soil Microbiology. 2000. 508 p.
13. Агрохимические методы исследования почв. Изд. 5-е. Москва: Наука, 1975. 648 с.
14. Zagorcea C. Unele aspecte ale bilanțului elementelor biofile principale (NPK) în agrofitecenozele din Republica Moldova. Serviciul agrochimic de stat la 35 ani. Chișinău, 1999, p. 53-72.
15. Андриеш С.В. Регулирование питательных режимов под планируемый урожай озимой пшеницы и кукурузы. Кишинев: Штиинца, 1993. 200 с.
16. Дикусар И.Г. Современное состояние агрохимии и перспективы ее развития в Молдавии. Первая научная сессия АН МССР. Кишинев: Штиинца, 1962, с. 70.
17. Дикусар И.Г., Тимошенко А.Г. Итоги полевых опытов по эффективности удобрений в Молдавии. Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1966. 53 с.
18. Димо Н.А. Почвы Молдавии, задачи их изучения и главнейшие особенности. Кишинев, 1958. 27 с.
19. Загорча К.Л. Оптимизация системы удобрения в полевых севооборотах. Кишинев: Штиинца, 1990. 228 с.
20. Чириков Ф.В. Агрохимия калия и фосфора. Москва, Сельхозиздат, 1956. 463 с.
21. Почвы Молдавии. Т.1,1984. 352 с.
22. Почвы Молдавии. Т.3, 1986. 336 с.
23. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. Москва: Колос. Т. 2. 767 с.
24. Тимошенко А.Г. Удобрение кукурузы. Кишинев, 1962. 51 с.
25. Цыганок В.Д. Влияние фосфорных удобрений на урожай озимой пшеницы в зависимости от содержания в почве подвижного фосфора. Удобрение, плодородие почв и продуктивность с.-х. культур в Молдавии. Кишинев: Штиинца, 1986, с. 39-44.
26. Цыганок В.Д., Андриеш С.В. Оптимизация фосфорного питания кукурузы при выращивании программированных урожаев. Сообщение 1. Оценка диффузии фосфора к корням растений. În: Агрохимия, № 9, 1986, с. 32-40.
27. Цыганок В.Д. Прогноз формирования запаса подвижного фосфора в черноземе. În: Агрохимия, №3, 1990, с. 12-27.
28. Цыганок В.Д. Стабильность фосфорных уровней в карбонатном черноземе. În: Плодородие почв и эффективность удобрений. Кишинев, 1992, с. 26-37.
29. Цыганок В.Д. Трансформация подвижного фосфорного запаса в почвах Республики Молдова. În: Lucrările Conferinței internaționale științifico-practice. Solul – una din problemele principale ale secolului XXI. Chișinău: Pontos, 2003, p. 283-294.



Eleonora Romanescu. *Vara*, u.p. 120 × 140 cm, 1975