

**INSTITUȚIA PUBLICĂ INSTITUTUL DE CERCETĂRI PENTRU  
CULTURILE DE CÂMP „SELECȚIA”**

Cu titlu de manuscris  
C.Z.U.: 631.452(478)

**ILUȘCA, MARINA**

**EVALUAREA FERTILITĂȚII SOLURILOR  
ÎN REPUBLICA MOLDOVA (CU FOLOSIREA  
ANALIZEI SPECTRALE)**

**411.01 – AGROTEHNICA**

Teză de doctor în științe agricole

Conducător științific:

**BOINCEAN Boris**  
membru corespondent al AȘM,  
doctor habilitat, profesor cercetător

Consultant științific:

**SCHMIDHALTER Urs**  
doctor habilitat, profesor universitar  
Universitatea Tehnică din München,  
Germania

Autor:

**CHIȘINĂU, 2023**

**© Iluşca Marina, 2023**

## CUPRINS

<b>ADNOTĂRI</b> .....	<b>5</b>
<b>LISTA TABELELOR</b> .....	<b>8</b>
<b>LISTA FIGURILOR</b> .....	<b>9</b>
<b>LISTA ABREVIERILOR</b> .....	<b>10</b>
<b>INTRODUCERE</b> .....	<b>11</b>
<b>1. FERTILITATEA SOLULUI ȘI METODELE DE EVALUARE (DISTRUCTIVE ȘI NEDISTRUCTIVE)</b> .....	<b>20</b>
1.1. Fertilitatea solului.....	20
1.1.1. Indicatorii de evaluare a fertilității solului.....	20
1.1.2. Utilizarea indicatorilor în evaluarea fertilității solului.....	22
1.1.3. Materia organică a solului ca indicator integral al fertilității solului .....	25
1.2. Starea de calitate a resurselor de sol în Republica Moldova.....	29
1.2.1. Evoluția în timp a fertilității solurilor.....	29
1.2.2. Fertilitatea solului și productivitatea culturilor în condițiile încălzirii globale.....	32
1.3. Monitorizarea calității solurilor.....	38
1.3.1. Variabilitatea spațială a fertilității solului .....	38
1.3.2. Avantajele și dezavantajele metodelor clasice.....	38
1.3.3. Potențialul spectroscopiei de absorbție în regiunea infraroșu apropiat (NIRS) ca metodă alternativă nedistructivă .....	40
1.4. Concluzii la capitolul 1.....	45
<b>2. CONDIȚIILE ȘI METODELE DE CERCETARE</b> .....	<b>46</b>
2.1. Condițiile meteorologice .....	46
2.2. Arealul studiat și prelevarea profilelor de sol.....	48
2.3. Analiza spectroscopică de absorbție în regiunea infraroșu apropiat .....	51
2.4. Analizele chimice de referință.....	52
2.5. Clase de evaluare a rezultatelor cercetărilor.....	53
2.6. Concluzii la capitolul 2.....	55
<b>3. EFICACITATEA METODEI DE ANALIZĂ SPECTROSCOPICĂ DE ABSORBȚIE ÎN REGIUNEA INFRAROȘU APROPIAT</b> .....	<b>56</b>
3.1. Compoziția chimică și fizică a datelor de referință .....	56
3.2. Procesarea datelor spectrale .....	57
3.3. Crearea modelelor de predicție.....	60
3.3.1. Calibrarea și modelele de predicție la nivel zonal.....	62
3.3.2. Calibrarea și modelele de predicție la nivel local .....	70
3.4. Concluzii la capitolul 3.....	77
<b>4. ANALIZA COMPARATIVĂ A FERTILITĂȚII SOLURILOR DIN ZONA DE NORD A MOLDOVEI DUPĂ DIFERIȚI INDICATORI</b> .....	<b>79</b>
4.1. Indicatorii de calitate a cernoziomurilor tipice cercetate .....	79
4.2. Indicatorii de calitate a cernoziomurilor obișnuite cercetate.....	85
4.3. Indicatorii de calitate a cernoziomurilor argiloiluviale cercetate .....	88
4.4. Indicatorii de calitate a cernoziomurilor levigate cercetate.....	91
4.5. Indicatorii de calitate a cernoziomurilor carbonatice cercetate .....	94
4.6. Indicatorii de calitate a solurilor cenușii cercetate .....	96
4.7. Concluzii la capitolul 4.....	102

<b>5. STUDIAREA VARIABILITĂȚII ORIZONTALE A PROPRIETĂȚILOR SOLULUI .....</b>	<b>104</b>
Concluzii la capitolul 5 .....	119
<b>6. EVALUAREA PRACTICILOR AGRICOLE DE MANAGEMENT A SOLULUI.....</b>	<b>120</b>
6.1. Influența rotației culturilor, sistemului de lucrare și fertilizare a solului asupra indicatorilor fertilității solului.....	120
6.2. Producția culturilor de câmp în experiența polifactorială .....	121
6.3. Concluzii la capitolul 6.....	126
<b>CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI .....</b>	<b>127</b>
<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>131</b>
<b>ANEXE.....</b>	<b>146</b>
Anexa 1. Evoluția efectivului de animale în perioada anilor 1989-2019, mii capete .....	146
Anexa 2. Coordonatele GPS a locațiilor pentru prelevarea profilelor de sol în raioanele din zona de Nord a Republicii Moldova .....	147
Anexa 3. Schema experienței polifactoriale de lungă durată a IP ICCC „Selecția” .....	149
Anexa 4. Pregătirea probelor de sol pentru analizele de laborator .....	151
Anexa 5. Analiza spectroscopică de absorbție în regiunile luminii vizibile și infraroșu apropiat .....	152
Anexa 6. Analiza conținutului de C și N prin metoda ANCA-MS .....	153
Anexa 7. Îndepărtarea carbonaților prin metoda fumegării acide .....	154
Anexa 8. Determinarea texturii solului prin metoda sedimentării.....	155
Anexa 9. Indicatorii agrochimici și agrofizici ai solurilor cercetate din zona de Nord.....	157
Anexa 10. Profilele de sol a cernoziomurilor tipice cercetate și pozițiile de prelevare.....	164
Anexa 11. Profilele de sol a cernoziomurilor obișnuite cercetate și pozițiile de prelevare.....	168
Anexa 12. Profilele de sol a cernoziomurilor argiloiluviale cercetate și pozițiile de prelevare .....	171
Anexa 13. Profilele de sol a cernoziomurilor levigate cercetate și pozițiile de prelevare .....	174
Anexa 14. Profilele de sol a cernoziomurilor carbonatice cercetate și pozițiile de prelevare .....	179
Anexa 15. Profilele de sol a solurilor cenușii molice cercetate și pozițiile de prelevare .....	182
Anexa 16. Studiarea heterogenității solului pe câmpul nr.1 (Sg-F1), r. Sîngerei.....	185
Anexa 17. Studiarea heterogenității solului pe câmpul nr.2 (Sg-F2), r. Sîngerei.....	186
Anexa 18. Studiarea heterogenității solului pe câmpul nr.3 (Sg-F3), r. Sîngerei.....	187
Anexa 19. Studiarea heterogenității solului pe câmpul nr.4 (F1-F4), r. Florești.....	188
Anexa 20. Rezultatele cercetărilor în experiența polifactorială de lungă durată a ICCC „Selecția” .....	189
Anexa 21. Act de implementare .....	193
Anexa 22. Act de implementare .....	194
<b>DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDĂRII.....</b>	<b>195</b>
<b>CURRICULUM VITAE.....</b>	<b>196</b>

## ADNOTARE

### Ilușca Marina „Evaluarea fertilității solurilor în Republica Moldova (cu folosirea analizei spectrale)”, teză de doctor în științe agricole, Chișinău, 2023

**Structura tezei:** introducere, 6 capitole, concluzii generale și recomandări, 120 pagini de text de bază, bibliografie din 220 surse, 24 tabele, 46 figuri, 22 anexe. Rezultatele obținute sunt publicate în 6 lucrări științifice.

**Cuvinte-cheie:** fertilitatea solului, materia organică a solului, textura solului, agricultura de precizie, NIRS, spectru, predicție, calibrare, variabilitate spațială, tip de sol, monitorizare.

**Scopul lucrării:** studierea potențialului spectroscopiei de absorbție în regiunea infraroșu apropiat (NIRS) în estimarea indicatorilor agrofizici și agrochimici ai fertilității solului pe cernoziomurile și solurile cenușii din zona de Nord a Moldovei, pentru evaluarea și monitorizarea stării de calitate a acestora în timp.

**Obiectivele cercetării:** stabilirea rolului indicatorilor fertilității solului, în special, a materiei organice a solului în asigurarea unei dezvoltări durabile a sectorului agricol; determinarea indicatorilor agrofizici și agrochimici ai fertilității solului prin metoda NIRS; estimarea preciziei modelului de predicție în dependență de variația tipului de sol și dimensiunea arealului geografic studiat; studierea posibilității de utilizare a metodei NIRS în cartografierea variabilității spațiale a solului, la nivel de câmp sau gospodărie agricolă, în scopul sporirii preciziei în producerea agricolă și reducerii impactului negativ asupra mediului ambiant; evaluarea aptitudinii utilizării datelor spectrale în evaluarea și monitorizarea impactului managementului agricol în timp asupra calității solurilor.

**Noutatea și originalitatea științifică.** A fost efectuată analiza comparativă a stării de calitate a solurilor cenușii și cernoziomurilor din zona de Nord a Moldovei, în baza studierii profilelor de sol extrase volumetric până la adâncimea de 1 m. Pentru prima dată a fost efectuată estimarea spectroscopică a indicatorilor fertilității solului, prin metoda NIRS, fiind una rapidă, cost-efectivă și alternativă la analizele clasice de laborator. A fost studiată variabilitatea orizontală și verticală la nivel regional și în cadrul câmpului individual, cu evaluarea impactului managementului agricol asupra calității solului și amplificării proceselor de degradare.

**Rezultatul obținut care contribuie la soluționarea unei probleme științifice importante** constă în *argumentarea potențialului spectroscopiei de absorbție în regiunea infraroșu apropiat* ca instrument în evaluarea și monitorizarea fertilității solului, *ceea ce a condus la elaborarea modelelor* statistice de predicție pentru estimarea proprietăților agrochimice și agrofizice a solului, *fapt care a permis* colectarea și analiza unui număr mare de probe pentru a obține o informație detaliată privind heterogenitatea orizontală și verticală a solului la nivel regional și local.

**Semnificația teoretică:** Cercetările științifice efectuate au contribuit la fundamentarea și aprofundarea cunoștințelor în domeniul statisticii multivariabile, pentru a modela relația dintre datele spectrale și proprietățile solului, cu o precizie rezonabilă. Analiza evoluției în timp a stării de calitate a solurilor în Republica Moldova a confirmat necesitatea extinderii practicilor de management durabil și rezilient a solurilor de cernoziom.

**Valoarea aplicativă:** Rezultatele obținute vor servi drept bază inițială pentru instituirea unui sistem complex de monitorizare a calității solului în timp și spațiu, în Republica Moldova, prin utilizarea metodelor alternative și cost-efective de analiză a solului. Informația privind heterogenitatea fertilității solului poate fi folosită în cartografierea digitală a câmpului ca un instrument în managementul culturilor de câmp specific locației, în scopul utilizării raționale a resurselor de sol din gospodărie, cu reducerea cheltuielilor de producere și a impactului negativ asupra mediului ambiant.

**Implementarea rezultatelor științifice:** Rezultatele cercetărilor au fost implementate în procesul didactic la Universitatea Agrară de Stat din Moldova, la Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți, precum și de Agenția Națională de Relații Funciare și Cadastru.

## ANNOTATION

### **Ilușca Marina: *Soil fertility assessment in the Republic of Moldova (using spectral analysis)* PhD thesis in agricultural sciences, Chisinau, 2023**

**Thesis structure:** Introduction, 6 chapters, Conclusions and recommendations; 120 pages of text, Bibliography of 220 sources, 24 tables, 46 figures, 22 annexes. The obtained results are published in 6 scientific papers.

**Keywords:** soil fertility, soil organic matter, soil texture, precision agriculture, NIRS, prediction, calibration, spatial variability, soil type, monitoring.

**Purpose:** To study the potential of near infrared reflection spectroscopy (NIRS) in the estimation of agrophysical and agrochemical indicators of soil fertility on Chernozem and Dark Grey Soils in the North of Moldova, for the assessment and monitoring of their quality.

**Objectives:** Establishing the role of soil fertility indicators, in particular, soil organic matter in ensuring a sustainable development of the agricultural sector; determining the agrophysical and agrochemical indicators of soil fertility by the NIRS method; estimating the prediction model accuracy based on the soil type variation and size of the geographical area studied; studying the possibility of using the NIRS method in mapping the spatial variability of the soil at field or farm level in order to increase precision in agricultural production and reduce the negative impact on the environment; assessing the suitability of spectral data for use in monitoring the impact of agricultural management practices on soil quality.

**Scientific novelty and originality:** The comparative analysis of the quality status of Chernozem and Dark Grey soils in the North of Moldova was carried out, based on the study of volumetrically extracted soil profiles up to a 1m depth. For the first time, the spectroscopic estimation of soil fertility indicators was carried out using the NIRS method: a quick, cost-effective alternative to conventional laboratory analyses. Horizontal and vertical variability at the regional level and within the individual field was studied, with the assessment of the agricultural management impact on soil quality and the amplification of degradation processes.

**The obtained result that contributes to the solution of an important scientific problem** consists in *arguing* the potential of *near infrared reflectance spectroscopy* as a tool for soil fertility assessment and monitoring, *which led to the development* of statistical prediction models for the estimation of agrochemical and agrophysical soil properties and *which allowed* the collection and analysis of a large number of soil samples to obtain detailed information on the horizontal and vertical soil variability at regional and local levels.

**Theoretical significance:** The scientific research carried out has contributed to the foundation and deepening of knowledge in the field of multivariable statistics to model the relationship between spectral data and soil properties with reasonable accuracy. The analysis of the evolution over time of the state of soil quality in the Republic of Moldova has highlighted the role and importance of extending sustainable and resilient soil management practices on Chernozem soils.

**Application value:** The obtained results will serve as an initial basis for the establishment of a complex system for monitoring soil quality in time and space in the Republic of Moldova through application of alternative, cost-effective methods in soil analysis which, in turn, will support farmers with good advice. Information on the soil fertility heterogeneity can be used in digital field mapping as a tool in site-specific field crop management with the aim of rational use of farm's soil resources, reducing production costs and the negative impact on the environment.

**Results implementation:** The research results were implemented in the teaching process at the State Agrarian University of Moldova, at the Alecu Russo Balti State University, as well as by the National Agency for Land Relations and Cadastre.

## АННОТАЦИЯ

**Илушка Марина «Оценка плодородия почв в Республике Молдова (с применением спектрального анализа)», диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук, Кишинёв, 2023 г.**

**Структура:** введение, 6 глав, выводы и рекомендации, 120 страниц основного текста, библиография из 220 источников, 24 таблиц, 46 графиков, 22 приложений.

**Ключевые слова:** плодородие, органическое вещество почвы, механический состав почвы, точное земледелие, БИКС, прогноз, калибровка, пространственная изменчивость, тип почвы, мониторинг.

**Цель работы:** изучение возможностей спектроскопии поглощения в ближней инфракрасной области (БИКС) при оценке агрофизических и агрохимических показателей плодородия почв на черноземах и сероземах северной части Молдовы, для оценки и мониторинга их качественного состояния во времени.

**Задачи работы:** установление роли показателей плодородия почв, в частности органического вещества почв, в обеспечении устойчивого развития аграрного сектора; определение агрофизических и агрохимических показателей плодородия почвы методом БИКС; оценка точности прогностической модели в зависимости от вариации типа почвы и размера изучаемой географической области; изучение возможности использования метода БИКС при картографировании неоднородности почвы на уровне поля или фермы с целью повышения точности сельскохозяйственного производства и снижения негативного воздействия на окружающую среду; оценка пригодности спектральных данных для использования в мониторинге воздействия систем земледелия и ведения хозяйств на качество почвы с течением времени.

**Новизна и научная оригинальность:** Проведен сравнительный анализ качественного состояния сероземов и черноземов в северной части Молдовы на основе изучения объемно извлеченных почвенных профилей до глубины 1 м. Впервые проведена спектроскопическая оценка показателей плодородия почв методом БИКС, который является быстрым, экономичным и альтернативным классическим лабораторным анализом. Изучена горизонтальная и вертикальная изменчивость почв с оценкой влияния агротехники на качество почвы и усиление деградационных процессов.

**Полученный результат, способствующий решению важной научной задачи,** заключается в обосновании перспективности спектроскопии БИК как инструмента оценки и мониторинга плодородия почв, что привело к разработке моделей статистического прогноза для определения свойств почвы, что позволило собрать и анализировать подробную информацию о горизонтальной и вертикальной неоднородности почв на региональном и локальном уровнях.

**Теоретическая значимость работы:** Проведенные научные исследования способствовали формированию и углублению знаний в области многомерной статистики для моделирования взаимосвязи между спектральными данными и свойствами почвы с достаточной точностью. Анализ эволюции состояния качества почвы в Республике Молдова с течением времени выявил роль и значимость расширения методов устойчивого управления почвами.

**Практическая значимость работы:** Полученные результаты послужат исходной основой для создания комплексной системы мониторинга качества почвы во времени и пространстве в Республике Молдова путем использования альтернативных и экономически эффективных методов анализа почвы. Информация о неоднородности почвенного плодородия может быть использована в цифровом полевом картографировании как инструмент технологии точного земледелия с целью рационального использования земельных ресурсов фермы, снижения себестоимости продукции и негативного воздействия на окружающую среду.

**Внедрение полученных результатов:** Результаты исследования были внедрены в учебный процесс в Государственном аграрном университете Молдовы, в Бельцком государственном университете им. Алеку Руссо, а также Агентством Земельных отношений и Кадастра Республики Молдова.

## LISTA TABELELOR

1.1.	Dinamica producerii și folosirii gunoiului de grajd în Republica Moldova.....	p. 35
1.2.	Dinamica producției la diferite culturi în Republica Moldova pentru perioada 1986-2015 (după anuarele statistice ale Republicii Moldova).....	p. 36
2.1.	Suma precipitațiilor căzute în perioada anilor 2016-2018, conform stației meteorologice a IP ICCC „Selecția”.....	p. 46
2.2.	Clase de conținut de humus și elemente nutritive utilizate la cartarea agrochimică.....	p. 53
2.3.	Clase texturale de sol.....	p. 53
2.4.	Clase ale conținutului de humus în stratul arabil (0-30 cm) ale solurilor Moldovei.....	p. 54
2.5.	Aprecierea reacției solurilor după valorile pH în soluție apoasă.....	p. 54
2.6.	Clase de conținut de azot din humus.....	p. 54
2.7.	Conținutul de azot și nivelul de fertilitate a solului.....	p. 54
2.8.	Clase de adâncime de apariție a carbonaților și de conținut de carbonați în stratul 0-30 cm.....	p. 54
3.1.	Parametrii statistici ai indicatorilor solului mășurați (datele de referință obținute prin metode clasice).....	p. 56
3.2.	Performanța predictivă a modelelor de calibrare și rezultatele validării.....	p. 64
3.3.	Performanța modelelor de predicție a texturii solului.....	p. 68
3.4.	Parametrii statistici ai indicatorilor solului mășurați (datele de referință obținute prin metode clasice) ai experienței polifactoriale ICCC „Selecția”.....	p. 71
3.5.	Performanța predictivă a modelelor de calibrare și rezultatele validării.....	p. 73
5.1.	Indicatorii agrochimici ai solului pe câmpul nr. 1, r. Sîngerei.....	p. 107
5.2.	Indicatorii agrochimici ai solului pe câmpul nr. 2, r. Sîngerei.....	p. 110
5.3.	Indicatorii agrochimici ai solului pe câmpul nr. 3, r. Sîngerei.....	p. 112
5.4.	Indicatorii agrochimici ai solului pe câmpul nr. 3, r. Drochia.....	p. 114
5.5.	Indicatorii agrochimici ai solului pe câmpul nr. 4, r. Florești.....	p. 116
5.6.	Indicatorii agrochimici ai solului pe câmpul nr. 2, r. Soroca.....	p. 118
6.1.	Producția grâului de toamnă în veriga asolamentelor cu și fără ierburi leguminoase și graminee pe diferite fonduri de fertilizare, anii 2016-2018, t/ha.....	p. 121
6.2.	Producția sfeclei de zahăr în veriga asolamentelor cu și fără ierburi leguminoase și graminee pe diferite fonduri de fertilizare, anii 2016-2018, t/ha.....	p. 123
6.3.	Producția porumbului la boabe în veriga asolamentelor cu și fără ierburi leguminoase și graminee pe diferite fonduri de fertilizare, anii 2016-2018, t/ha.....	p. 124



## LISTA FIGURILOR

1.1.	Repartiția terenurilor arabile (%) după gradul de asigurare a solului cu humus.....	p. 30
1.2.	Repartiția terenurilor arabile (%) după gradul de asigurare a solului cu P.....	p. 31
1.3.	Repartiția terenurilor arabile (%) după gradul de asigurare a solului cu K schimbabil.....	p. 31
1.4.	Distribuirea fondului funciar după categorii de destinație a terenurilor (la 01.01.2020).....	p. 32
1.5.	Modificări în structura suprafețelor cultivate din 1990 până în 2019, mii ha.....	p. 34
1.6.	Spectrul electromagnetic.....	p. 41
1.7.	Procedura de elaborare a modelelor de predicție.....	p. 44
2.1.	Cantitatea de precipitații căzute în perioada anilor 2016-2018, conform stației meteorologice a IP ICCC „Selecția”.....	p. 47
2.2.	Temperatura aerului în perioada anilor 2016-2018, conform stației meteorologice a IP ICCC „Selecția”.....	p. 47
2.3.	Hărțile de sol utilizate în identificarea locațiilor pentru prelevarea profilelor de sol.....	p. 49
2.4.	Burghiu pentru prelevarea profilelor de sol.....	p. 50
3.1.	Spectrele absorbantei brute în regiunile Vis și NIR a probelor de sol.....	p. 57
3.2.	Spectrele probelor de sol după procesul de transformare.....	p. 58
3.3.	Distribuția celor 554 probe de sol pe primele 2 componente principale (PC1 și PC2).....	p. 59
3.4.	Graficul dispersiei valorilor măsurate față de valorile prezise ale conținutului de $N_{total}$ în sol la etapele de calibrare și validare a modelului.....	p. 62
3.5.	Graficul dispersiei valorilor măsurate față de valorile prezise ale $C_{total}$ în sol.....	p. 63
3.6.	Graficul dispersiei valorilor măsurate față de valorile prezise ale $C_{organic}$ în sol.....	p. 63
3.7.	Graficul dispersiei valorilor măsurate față de valorile prezise ale carbonaților în sol.....	p. 63
3.8.	Graficul dispersiei valorilor măsurate față de valorile prezise ale pH-lui solului.....	p. 63
3.9.	Graficele de suprapunere a valorilor prezise și măsurate ale conținutului de $N_{total}$ , $C_{total}$ , $C_{organic}$ , carbonați și a pH-lui solului.....	p. 66
3.10.	Graficele dispersiei valorilor măsurate față de valorile prezise ale texturii solului la etapele de calibrare și validare a modelelor.....	p. 67
3.11.	Graficele de suprapunere a valorilor prezise și măsurate ale fracțiilor texturii solului.....	p. 69
3.12.	Graficele dispersiei valorilor măsurate față de valorile prezise ale $N_{total}$ , $C_{total}$ , $C_{organic}$ , carbonați, pH-lui și texturii solului în experiența polifactorială a ICCC „Selecția”.....	p. 72
3.13.	Graficele de suprapunere a valorilor prezise și măsurate ale conținutului de $N_{total}$ , $C_{total}$ , $C_{organic}$ și carbonați în solul experienței polifactorială a ICCC „Selecția”.....	p. 74
3.14.	Graficele de suprapunere a valorilor prezise și măsurate ale pH-ului și fracțiilor texturii solului în experiența polifactorială a ICCC „Selecția”.....	p. 75
4.1.	Conținutul de C organic și N total al cernoziomurilor tipice din zona de Nord.....	p. 81
4.2.	Profilele de sol a cernoziomurilor tipice cercetate din r. Rîșcani.....	p. 82
4.3.	Conținutul de C organic și N total al cernoziomurilor obișnuite din zona de Nord.....	p. 86
4.4.	Conținutul de C organic și N total al cernoziomurilor argiloiluviale din zona de Nord.....	p. 90
4.5.	Conținutul de C organic și N total al cernoziomurilor levigate din zona de Nord.....	p. 93
4.6.	Conținutul de C organic și N total al cernoziomurilor carbonatice din zona de Nord.....	p. 95
4.7.	Profilele solurilor cenușii tipice cercetate.....	p. 97
4.8.	Conținutul de C organic și N total al solurilor cenușii tipice din zona de Nord.....	p. 98
4.9.	Conținutul de C organic și N total al solurilor cenușii molice din zona de Nord.....	p. 100
5.1.	Ortofoto câmpul nr. 1, cu indicarea punctelor de prelevare a profilelor de sol.....	p. 105
5.2.	Profile de cernoziom tipic arabil și pozițiile de prelevare pe câmpul nr. 1, r. Sîngerei.....	p. 106
5.3.	Ortofoto câmpul nr. 2 (Sg-F2), s. Rădoaia, r. Sîngerei.....	p. 108
5.4.	Profile de sol prelevate pe câmpul nr. 2 (Sg-F2), r. Sîngerei.....	p. 109
5.5.	Ortofoto câmpul nr. 3 (Sg-F3), com. Biliceni Noi, r. Sîngerei.....	p. 111
5.6.	Profile de sol prelevate pe câmpul nr. 3 (Sg-F3).....	p. 111
5.7.	Ortofoto câmpul nr. 3 (Dr-F3), com. Pelinia, r. Drochia.....	p. 113
5.8.	Profilele de sol și pozițiile de prelevare pe câmpul nr. 3, r. Drochia.....	p. 113
5.9.	Ortofoto câmpul nr. 4 (Fl-F4) și punctele de prelevare, r. Florești.....	p. 115
5.10.	Profilele de sol prelevate pe câmpul nr. 4, r. Florești.....	p. 115
5.11.	Ortofoto câmpul nr. 2 (So-F2) și punctele de prelevare a profilelor de sol, r. Soroca.....	p. 117
5.12.	Profilele de sol prelevate pe câmpul nr. 2 (So-F2), r. Soroca.....	p. 117

## LISTA ABREVIERILOR

<b>C</b>	– carbon
<b>N, P, K</b>	– azot, fosfor, potasiu
<b>COS</b>	– carbon organic al solului
<b>MOS</b>	– materie organică a solului
<b>CO<sub>2</sub></b>	– bioxid de carbon
<b>NIRS</b>	– spectroscopia de absorbție în regiunea infraroșu apropiat (în engleză <i>Near Infrared Reflectance Spectroscopy</i> )
<b>NIR</b>	– domeniul infraroșu apropiat (în engleză <i>Near Infrared</i> )
<b>VIS</b>	– domeniul luminii vizibile
<b>MIR</b>	– domeniul infraroșu intermediar (în engleză <i>Mid Infrared</i> )
<b>nm</b>	– nanometri
<b>IP ICCC</b>	– Instituția Publică Institutul de Cercetări pentru Culturile de Câmp
<b>IPAPS</b>	– Institutul de Pedologie, Agrochimie și Protecția solurilor
<b>GES</b>	– gaze cu efect de seră
<b>PCA</b>	– analiza componentelor principale (în engleză <i>principal component analysis</i> )
<b>PLSR</b>	– regresia celor mai mici pătrate parțiale ( <i>partial least squares regression</i> )
<b>R<sup>2</sup></b>	– coeficient de determinare
<b>RMSE</b>	– eroarea medie pătrată
<b>RMSEP</b>	– eroarea medie pătrată de predicție
<b>RPD</b>	– raportul dintre performanță și deviere ( <i>ratio of performance to deviation</i> )
<b>SEP</b>	– eroarea standard de predicție (în engleză <i>standard error of prediction</i> )
<b>SEC</b>	– eroarea standard a calibrării (în engleză <i>standard error of calibration</i> )
<b>SD</b>	– devierea standard
<b>ANCA-MS</b>	– spectrometria în masă - Analiza automatizată a azotului și carbonului
<b>IRMS</b>	– spectrometria în masă cu raportul izotopilor ( <i>Isotope Ratio Mass Spectrometry</i> )
<b>VDLUFA</b>	– Association of German Agricultural Analytic and Research Institutes
<b>com.</b>	– comună
<b>s.</b>	– sat
<b>r.</b>	– raion
<b>Sg</b>	– Sîngerei
<b>Gl</b>	– Glodeni
<b>Rs</b>	– Rîșcani
<b>Ed</b>	– Edineț
<b>Dr</b>	– Drochia
<b>Br</b>	– Briceni
<b>Oc</b>	– Ocnîța
<b>Dn</b>	– Dondușeni
<b>Fl</b>	– Florești
<b>So</b>	– Soroca
<b>CDS</b>	– cartografierea digitală a solului

## INTRODUCERE

**Actualitatea și importanța temei de cercetare.** Factorii de formare a solului, cum ar fi: roca parentală, clima, topografia, vegetația și impactul uman au contribuit în timp la formarea unei varietăți de soluri în întreaga țară [188]. De asemenea, procesele de formare a solului au loc și la scară regională sau locală, uneori divizând unitatea agricolă sau câmpul în părți cu tipuri de sol diferite. Împreună cu procesele care acționează la scara locală a terenului, acest lucru duce uneori la variații foarte mari a fertilității solului, într-un câmp aparent omogen. Acest lucru are consecințe asupra producției vegetale, deoarece condițiile de creștere pot fi diferite pe terenuri întregi, în ceea ce privește disponibilitatea apei și a substanțelor nutritive pentru plante [200].

Majorarea nivelului de producție agricolă și a profiturilor obținute de către agricultori, a fost asigurată prin intensificarea agriculturii în baza unor modele industriale, fapt ce a rezultat în neglijarea rolului primordial al fertilității solului, atât în formarea producției, cât și în furnizarea serviciilor ecosistemice [22; 26; 28; 30; 84].

Materia organică a solului ca un indice integral al fertilității solului a scăzut cu cel puțin 50% pe parcursul ultimilor 100 de ani în Republica Moldova [6; 92]. Aceasta, împreună cu secetele mai frecvente din Republica Moldova, au contribuit la reducerea producției pentru majoritatea culturilor. Globalizarea economiei face fermierii mai puțin competitivi în condițiile creșterii prețurilor pentru inputurile industriale, dintr-o parte, și a prețurilor relativ scăzute pentru produsele agricole (materia primă), pe de altă parte [21]. Este evident că într-o astfel de situație resursele naturale, în special solurile, tind să devină supraexploatate din cauza aporturilor (inputurilor) scăzute bazate în principal pe mineralizarea materiei organice din sol, care devine sursa majoră de azot pentru plante, exploatând astfel fertilitatea naturală a solului. Situația s-a agravat și mai mult după dezintegrarea Uniunii Sovietice, cu o scădere drastică a producției animaliere, în special în Moldova. Acest lucru a cauzat dispariția amestecurilor de ierburi leguminoase și graminee perene din asolamente, abandonarea pășunilor, iar restaurarea rezervei de materie organică a solului a scăzut și mai mult [88].

În ultima perioadă de timp a început a fi conștientizat rolul multifuncțional al solurilor în biosferă și serviciile ecosistemice și sociale oferite de ele. Ca urmare, necesitatea conservării resurselor naturale, inclusiv a solurilor, este precăutată la nivel global, regional și local. Dezvoltarea durabilă a agriculturii nu poate fi realizată în condițiile de degradare permanentă a fertilității solului.

Viitoarea Politică Agricolă Comună (CAP) în Europa propune un sprijin numai pentru agricultorii care respectă un bun sistem de management agricol [25; 178]. Aceasta înseamnă că ar trebui să fie implementat un sistem de monitorizare a calității solului, care să permită

evaluarea tendințelor de schimbare a diferitor indicatori de fertilitate a solului, dar, în primul rând, a materiei organice din sol (MOS).

Practicarea agriculturii de precizie, numită și managementul specific locației, se bazează pe cunoașterea variațiilor solului în câmp și gestionarea acestuia în mod adecvat utilizând doze diferențiate de îngrășăminte, pesticide, normelor de semănat etc. [156; 168; 200]. Ajustarea intrărilor în funcție de heterogenitatea câmpului, va asigura o folosire rațională a substanțelor nutritive și a apei de către plante [72; 155], obținându-se atât beneficii economice, cât și ecologice. Datorită progresului tehnologic din ultimii 20 de ani a sistemelor de navigație globală prin satelit (GNSS), sistemelor informatice geografice (GIS) și a tehnicilor de aplicare diferențiată a inputurilor, ajustarea lor este automatizată în câmp, însă colectarea datelor necesare la un cost rezonabil a rămas o provocare [200].

Totodată, pentru determinarea eficienței diferitor practici de management a solului, precum și studierea variațiilor în proprietățile solului în cadrul câmpului, și în special pentru conținutul de C și N, este necesar să se mărească numărul de probe de sol prelevate pe un câmp. Practicile obișnuite de a combina câteva subprobe pentru formarea unei probe medii nu dau un rezultat de încredere, iar efectuarea analizelor de laborator clasice pe toate probele necesită timp și nu este viabilă din punct de vedere economic, ceea ce face dificil pur și simplu de a intensifica practicile existente de cartografiere a solului. Astfel, o tehnică eficientă care să permită prelevarea rapidă și densă spațial la costuri mai mici este necesară pentru obținerea de informații detaliate despre proprietățile solului la nivel de câmp, local, dar și pentru monitorizarea la nivel de landșaft a zonelor geografice largi [94; 125; 200; 203].

În acest scop, analiza solului prin utilizarea *spectroscopiei de absorbție în regiunea infraroșu apropiat (NIRS)*, în continuare denumită metoda NIRS, este considerată o alternativă de a îmbunătăți sau de a înlocui parțial metodele convenționale de analiză în laborator a solului. Metoda este rapidă, rentabilă, nedistructivă, nu are nevoie de substanțe chimice periculoase și mai mulți constituenți pot fi estimați simultan [35; 89; 168; 190; 194]. Această tehnică analitică implică măsurarea reflectanței difuze în regiunea infraroșu apropiat (NIR) a spectrului electromagnetic, definită ca lungimi de undă între 780 și 2500 nm, și corelarea acesteia cu proprietățile chimice și fizice ale solului [78; 200]. Spectrele reflectanței difuze a solului rezultă de la îndoirea, răsucirea, întinderea sau forfecarea diferitor legături chimice (de exemplu CH, OH, NH) sub radiația din domeniul infraroșu apropiat, care conține informații utile despre compoziția chimică a solului, în special despre materia organică a solului [202]. Cu toate acestea, este important de menționat că metoda NIRS nu poate înlocui complet metodele clasice/convenționale de analiză a solului, acționând mai mult ca factor de completare, deoarece estimarea proprietăților solului se bazează pe calibrări empirice ale spectrelor cu proprietățile

măsurate prin metode clasice [197]. Extragerea informațiilor utile conținute în spectrele optice se efectuează prin utilizarea tehnicilor sofisticate de chemometrie, cum ar fi: regresia liniară multiplă (*multiple linear regression*), regresia componentelor principale (*principal component regression*) și regresia celor mai mici pătrate parțiale (*partial least squares regression*).

**Gradul de studiere a temei abordate.** Cercetările propuse care au la bază utilizarea metodei NIRS pentru analiza solului sunt noi pentru Republica Moldova, dar această practică este utilizată pe larg în Germania de către Universitatea Tehnică din München (Prof. Urs Schmidhalter), precum și de alte universități și instituții de cercetare din lume.

Spectroscopia de absorbție în regiunea infraroșu apropiat (NIRS) a trezit un interes în rândul oamenilor de știința solului ca fiind o posibilă metodă pentru analizele solului datorită măsurărilor rapide, nedistructive și cost-efective, precum și a posibilității de a determina mai multe proprietăți ale solului simultan [194].

O serie de studii au demonstrat potențialul NIRS de a estima proprietățile solului, precum textura solului [16; 18; 48; 53; 55; 89; 162; 168; 184; 203], conținutul carbonului total, carbonului organic din sol, materiei organice din sol, azotului total și organic, sau pH-ul solului [3; 12; 13; 48; 50; 53; 56; 68; 69; 79; 80; 83; 93; 94; 112; 113; 120; 128; 132; 133; 159; 160; 172; 173; 177; 179; 180; 181; 185; 194; 198; 207; 208].

Alte proprietăți a solului, cum ar fi capacitatea de schimb cationic (CSC), Ca, K, Mg, la fel au fost estimate cu metoda NIRS într-o serie de studii [16; 53; 89; 162; 194]. Totodată, metoda NIRS a fost folosită pentru determinarea azotului potențial mineralizabil derivat din incubațiile aerobe și anaerobe [48; 162], precum și pentru estimarea absorbției azotului în culturi [66; 115; 158; 171], cu obținerea unor rezultate promițătoare.

Cercetările efectuate de M.S. Askari și coautorii [13], au demonstrat că metoda NIRS poate fi folosită cu succes ca un instrument pentru monitorizarea managementului agricol și evaluarea fertilității solului. J.A. Demattê și coautorii [58] au sugerat ca noua metodă să fie numită *pedologie spectrală* sau studierea solului prin reflectanța spectrală.

Luând în considerație că în Republica Moldova lipsesc informații spațiale despre sol, fie din cauza infrastructurii oficiale limitate sau lipsa acesteia, fie și a resurselor extrem de limitate pentru efectuarea cercetărilor pedologice extinse, este necesară abordarea acestui subiect și documentarea stării fertilității solului. Avantajele metodei NIRS, oferă o posibilă soluție viabilă cu cheltuieli rezonabile pentru a îmbunătăți situația. Totodată, cunoașterea detaliată a conținutului de MOS este imperativă pentru a face față provocărilor de atenuare și adaptare la schimbările climatice, având în vedere importanța stocării MOS în sol [88].

Datele spectrale ale solurilor cenușii și cernoziomurilor din zona de Nord a Moldovei acumulate prin acest studiu este un prim pas în crearea unei biblioteci spectrale a proprietăților

solurilor la nivel național, cu folosirea unui protocol uniformizat pentru analizele chimice și spectrale, pe modelul bazei de date LUCAS a solurilor Uniunii Europene [119; 130; 173; 182; 183], precum și a altor modele de baze de date și biblioteci spectrale a solurilor din lume [15; 32; 35; 50; 59; 91; 114; 162; 163; 164; 173; 174; 196]. Cercetările efectuate de L. Zhang și coautorii [207], au demonstrat fezabilitatea creării unei biblioteci spectrale mari pentru determinarea și monitorizarea schimbării MOS în zonele agricole cheie din Canada, într-un timp util, rapid și cost-efectiv. Totodată, această inițiativă va permite extinderea domeniului de aplicare a metodei NIRS și dezvoltarea practicilor agriculturii de precizie în Republica Moldova. Potrivit lui R. Rizzo și coautorii [151], bazele de date de acest tip au un potențial mare în îmbunătățirea preciziei hărților digitale ale solului, oferind informații despre proprietățile-cheie ale solului și posibilitatea monitorizării spațio-temporale a solurilor în multe regiuni din întreaga lume.

Ulterior informațiile obținute prin sateliți pot fi simulate cu datele obținute în rezultatul analizelor de laborator a probelor de sol ca un pas înainte pentru viitoarele campanii de satelit, inclusiv misiunea Sentinel [114; 115]. Datele vor permite, de asemenea, o abordare diferențiată a managementului solului, luând în considerare particularitățile fertilității solului specifice locației. Ca urmare, va fi posibilă realizarea unei hărți digitale a solului pentru diferite regiuni ale Moldovei prin utilizarea unei noi metode de analiză a solului, care este semnificativ mai ieftină și nedistructivă față de metodele clasice în condiții de laborator. Aceasta va servi drept bază inițială pentru un viitor sistem de monitorizare a calității solului în Republica Moldova, fapt ce va permite o mai bună armonizare a agriculturii Moldovei cu cerințele practicilor agricole de producere a alimentelor în Europa.

**Scopul cercetării** constă în studierea potențialului spectroscopiei de absorbție în regiunea infraroșu apropiat (NIRS) în estimarea indicatorilor agrofizici și agrochimici ai fertilității solului pe cernoziomurile și solurile cenușii din zona de Nord a Moldovei, pentru evaluarea și monitorizarea stării de calitate a acestora în timp.

Pentru atingerea scopului propus au fost trasate câteva **obiective**:

- studierea evoluției în timp a fertilității solului și a factorilor cu impact asupra situației actuale în sectorul agricol;
- stabilirea rolului indicatorilor fertilității solului, în special, a materiei organice a solului în asigurarea unei dezvoltări durabile a sectorului agricol;
- determinarea indicatorilor agrofizici și agrochimici principali ai fertilității solului (carbon organic, carbonați, azot total în sol, textura și pH-ul solului) prin metoda spectroscopiei de absorbție în regiunea infraroșu apropiat (NIRS) a spectrului electromagnetic;

- estimarea preciziei modelului de predicție în dependență de variația tipului de sol și dimensiunea arealului geografic studiat;
- analiza comparativă a indicatorilor agrofizici și agrochimici ai cernoziomurilor și solurilor cenușii din zona de Nord a Moldovei;
- evaluarea ponderii rotației culturilor, sistemelor de lucrare și fertilizare a solului în asolament asupra circuitului de MOS în sol, precum și în formarea nivelului de producție a diferitor culturi;
- studierea posibilității de utilizare a metodei NIRS în cartografierea variabilității spațiale a solului, la nivel de câmp sau gospodărie agricolă, în scopul sporirii preciziei în producerea agricolă și reducerii impactului negativ asupra mediului ambiant;
- evaluarea aptitudinii utilizării datelor spectrale în evaluarea și monitorizarea impactului managementului agricol în timp asupra calității solurilor în Republica Moldova.

**Ipoteza științifică.** Analizele obișnuite prin metode clasice pentru determinarea proprietăților solului sunt de lungă durată și costisitoare. Analiza NIRS poate fi utilizată cu succes ca un instrument analitic rapid și cost-efectiv pentru monitorizarea managementului terenurilor agricole și evaluarea stării de calitate a solurilor cenușii și cernoziomurilor Republicii Moldova, sub influența agrotehnicii zonale aplicate de fermieri.

**Metodologia cercetărilor științifice.** Cercetările au fost efectuate conform metodelor de cercetare aprobate și recomandate în domeniul științei solului, care au fost utilizate în aprecierea indicatorilor agrofizici și agrochimici ai fertilității solului. S-au efectuat cercetări în teren și laborator, bazate pe descrieri morfologice, estimări spectroscopice, analize chimice de laborator, prelucrarea statistică a rezultatelor. Prin studierea hărților de sol existente au fost selectate locații pentru prelevarea profilelor de sol volumetrice în tuburi de plastic; prin aplicația Google Earth au fost obținute coordonatele locațiilor și imaginile ortofoto a terenurilor, care redau starea acestora în diferiți ani.

Cercetările tezei se concentrează pe 4 proprietăți principale ale solului, care joacă un rol decisiv în practicile agricole, în special, în agricultura de precizie: conținutul de carbon organic, azot total, carbonați, pH-ul și textura solului (fracțiile de argilă, praf și nisip). Analizele indicatorilor agrochimici în probele de sol au fost efectuate în laboratorul Catedrei de Nutriție a Plantelor din cadrul Universității Tehnice din München, Germania (*Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Department für Pflanzenwissenschaften, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Technische Universität München*), prin metode standard adoptate la nivel internațional. Analiza texturii solului a fost efectuată în laboratorul Departamentului Fizica solului (*Bodenphysik*) al Centrului Bavarez de Stat de Cercetare în Agricultură (LfL –

*Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft*, Freising, Germania), în baza analizei standardizate KÖHN în conformitate cu standardul german DIN ISO 11277. Analiza spectrală a fost efectuată în laboratorul Centrului de Științe Agricole Hans Eisenmann (*HEZ – Hans Eisenmann-Zentrum für Agrarwissenschaften Weihenstephan*), din cadrul Universității Tehnice din München (Freising, Germania).

Datele spectrale și rezultatele obținute au fost analizate și procesate cu utilizarea software-ului Unscrambler®X 10.5 (CAMO Software AS) și Microsoft Excel 2010.

**Aprobarea rezultatelor științifice.** Rezultatele cercetărilor efectuate la tema tezei de doctor au fost prezentate, discutate și aprobate la ședințele Consiliului științific al IP ICCO „Selecția”, la ședințele Catedrei de Fitotehnie a Facultății de Agronomie din cadrul Universității Agrare de Stat din Moldova; la Colocviul Științific ”*Orientări actuale în cercetarea doctorală*” din 7 decembrie 2017, mun. Bălți; la Conferința științifică cu participare internațională „*Tradiție și inovare în cercetarea științifică*”, ediția a X-a, din 8 octombrie 2021; seminarul științific internațional în cadrul proiectului „*Sprijinirea schimbului de informații și a dezvoltării capacităților în domeniul cercetării agricole*” în cadrul Programului de parteneriat FAO-Turcia pentru alimentație și agricultură (FTPP II) din 12 octombrie 2022; precum și la ședințele Catedrei de Nutriție a Plantelor din cadrul Universității Tehnice din München (Freising, Germania).

### **Sumarul capitolelor tezei**

**Capitolul 1. Fertilitatea solului și metodele de evaluare (distructive și nedistructive)** include o descriere succintă a celor mai importanți indicatori agrofizici, agrochimici și agrobiologici de evaluare a fertilității solului, precum și argumentarea necesității determinării lor. Cunoașterea și cuantificarea acestor indicatori contribuie la stabilirea sau elaborarea celor mai eficiente sisteme de management a solului, în special a sistemelor de fertilizare raționale și ajustate la condițiile concrete ale solurilor și plantelor cultivate pentru sporirea cantității și calității producției. Totodată, s-a confirmat că din toți indicatorii solului, materia organică poate fi manipulată în cea mai mare măsură, iar reducerea conținutului acesteia în sol depinde de cultura și sistemul de agricultură practicat. O atenție deosebită se acordă potențialului metodelor alternative, nedistructive de analiză a solului, în special, metodei NIRS, ca un instrument rapid și cost-efectiv pentru caracterizarea sigură și cu precizie a variabilității în câmp, în special, pentru monitorizarea pe termen lung a modificării proprietăților solului sub influența agrotehnicii zonale aplicate.

**Capitolul 2. Condițiile și metodele de cercetare** include prezentarea și descrierea condițiilor meteorologice, punctelor de prelevare a profilelor de sol, metodele de cercetare utilizate în câmp și analizele de laborator. Cercetările au fost efectuate pe terenurile agricole din



10 raioane a zonei de Nord a Moldovei, precum și în experiența polifactorială de lungă durată a Laboratorului de Tehnologii și sisteme agrotehnice din cadrul IP Institutul de Cercetări pentru Culturile de Câmp „Selecția”, mun. Bălți.

În capitolul **3. Eficacitatea metodei de analiză spectroscopică de absorbție în domeniul infraroșu apropiat** este descrisă detaliat procedura de procesare a datelor spectrale și de creare a modelelor statistice de calibrare și predicție a proprietăților fizice (textura solului) și chimice ( $N_{total}$ ,  $C_{total}$ ,  $C_{organic}$ , carbonați, pH-ul) ale solului. Totodată, a fost estimată precizia predicției în dependență de variația tipului de sol, în baza modelelor de calibrare universală la nivel zonal pe un set de date cu o gamă largă de variație a proprietăților solului (diverse tipuri și subtipuri de sol), precum și a modelelor de calibrare la nivel local pe un set de probe mai mic, care reprezintă un singur subtip de sol (cernoziomul tipic).

Capitolul **4. Analiza comparativă a fertilității solului în zona de nord a Moldovei după diferiți indicatori** include prezentarea rezultatelor estimărilor, obținute în baza modelelor de calibrare universale zonale, pentru indicii de calitate a cernoziomurilor (tipice, obișnuite, argiloiluviale, levigate și carbonatice) și solurilor cenușii (tipice și molice). Pentru aprecierea impactului antropic asupra însușirilor cernoziomurilor timp îndelungat utilizate la arabil, indicatorii acestora au fost comparați cu indicatorii cernoziomurilor înțelenite, obținuți în baza cercetărilor pedologice anterioare efectuate de pedologi renumiți din Republica Moldova.

În capitolul **5. Studiarea variabilității orizontale a proprietăților solului** este argumentată necesitatea cartografierii digitale detaliate a indicatorilor de fertilitate a solului și implementării unui management a solului specific locației, care este impus de variabilitatea orizontală în cadrul aceluiași câmp, cauzată fie de procesul de eroziune a solului, fie de diferite tipuri și subtipuri de sol în cadrul terenului individual. În acest scop, în unele raioane din zona de Nord a Moldovei au fost selectate câmpuri agricole, de pe care s-au prelevat mai multe profile de sol, din diverse puncte ce prezentau semne evidente a diferitor stări de calitate a solului în cadrul aceluiași câmp. Adoptarea unui management specific locației va asigura raționalizarea utilizării resurselor gospodăriei și atingerea obiectivelor de dezvoltare durabilă, atât economice cât și ecologice.

Capitolul **6. Evaluarea practicilor agricole de management a solului** include prezentarea rezultatelor estimărilor, obținute în baza modelelor de calibrare la nivel local, pentru indicatorii de calitate a cernoziomului tipic din stepa Bălților. Totodată, se evidențiază beneficiile adoptării rotației culturilor, care include un amestec de leguminoase și graminee perene, cu lucrări minime ale solului, aplicarea gunoiului de grajd și a dozelor mici de îngrășăminte minerale, atât în circuitul MOS, cât și în formarea nivelului de producție.

**Volumul și structura tezei.** Lucrarea este expusă pe 120 pagini text de bază și constă din: introducere, 6 capitole (în care sunt expuse analiza situației în domeniu, condițiile și metodele de cercetare, rezultatele cercetării și discuții), concluzii, recomandări și bibliografie din 220 surse. Teza conține 24 tabele, 46 figuri, 22 anexe.

**Mulțumiri.** Cercetările efectuate în această teză au fost parțial finanțate de: IP Centrul pentru Finanțarea Cercetărilor Fundamentale și Aplicative (actual Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare), Republica Moldova, în cadrul proiectului „*Monitorizarea fertilității solului în Republica Moldova*” cu cifrul 16.80012.05.09F al Universității Agrare de Stat din Moldova, care a suportat cheltuielile legate de procesul de prelevare a profilelor de sol volumetric; și de organizația DAAD (Serviciul German de Schimb Academic), care a oferit un grant de cercetare pentru realizarea programului de doctorat „*Sandwich*” coordonat bi-național (Germania – Moldova) pentru anul de studii 2016-2017, în cadrul căruia au fost efectuate analizele solului în laboratoarele instituțiilor de învățământ și științifice din or. München (Germania), sub ghidarea Prof. Urs Schmidhalter, Ph.D, în calitate de consultant științific al tezei. Cercetările în experiența polifactorială a IP ICCC „*Selecția*” au fost realizate în cadrul proiectului instituțional de cercetări științifice fundamentale 15.817.05.12F „*Managementul durabil a ecosistemelor agricole cu culturi de câmp pe cernoziomul tipic din RM*” (2015-2018) finanțat de IP CFCFA în bază de concurs. Autorul aduce sincere mulțumiri și profundă recunoștință către:

- Conducătorul tezei Dlui Boris BOINCEAN, membru corespondent al Academiei de Științe a Moldovei, doctor habilitat, profesor cercetător, pentru suport și ghidare în realizarea cercetărilor și a tezei;
- Dlui Urs SCHMIDHALTER, doctor habilitat, profesor universitar, pentru suport și ghidare în realizarea cercetărilor tezei în calitate de consultant științific;
- Colectivului Catedrei de Nutriție a Plantelor din cadrul Universității Tehnice din München, în special, Dlui Dr. Kurt Heil pentru sfaturi cu privire la problemele științei solului; Dnei Claudia Buchhart pentru asistență în crearea și optimizarea modelelor statistice NIRS, Dnei Monika Heilmeier, pentru ajutor în analiza probelor de sol, Dipl. Ing. Jürgen Plass, pentru asistență tehnică;
- Colectivului Stațiunii Experimentale a Catedrei de Nutriție a Plantelor din Dürnast (Freising, Germania) pentru ajutor în pregătirea probelor de sol și asigurarea lanțului logistic către laboratoare;
- Colectivului HEZ, pentru asistență în efectuarea analizelor spectrale;

- Colectivului LfL, în special Dl. Jurgen Kler pentru asistență în analiza texturii solului cu aparatul automatizat Sedimat 4-12;
- Colectivului laboratorului „Tehnologii agricole și sisteme agrotehnice” din cadrul IP ICC „Selecția”, care prin activitatea lor au contribuit la acumularea datelor experimentale;
- Membrilor comisiei de îndrumare D-lui Valerian CERBARI, doctor habilitat în științe agricole, profesor universitar; D-lui Stanislav STADNIC, doctor în științe agricole, conferențiar universitar și D-lui Sergiu GAVRILAȘ, doctor în științe agricole.

# 1. FERTILITATEA SOLULUI ȘI METODELE DE EVALUARE (DISTRUCTIVE ȘI NEDISTRUCTIVE)

## 1.1. Fertilitatea solului

### 1.1.1. Indicatorii de evaluare a fertilității solului

Serviciile ecosistemice și sociale acordate de sol sunt indispensabile pentru existența vieții pe Pământ. Aceste servicii nu sunt pe departe studiate și înțelese de om. Datorită rolului său esențial în bunăstarea, economia și stabilitatea mediului la nivel global, este necesară conservarea și utilizarea solului într-un mod durabil. Însușirea principală prin care solul se deosebește de roca-mamă este fertilitatea. T. Rusu și coautorii [153] definesc fertilitatea ca „însușirea solului de a asigura condiții pentru creșterea și dezvoltarea plantelor prin acumularea factorilor de vegetație (lumină, apă, aer, căldură, elemente nutritive și activitate biologică) și asigurarea condițiilor pentru ca acești factori să fie folosiți în cantități îndestulătoare”.

După S.S. Batie și C.A. Cox (1994), citați de D. Acton și L. Gregorich [1], „calitatea solului este o măsură a sănătății ecosistemului, iar conservarea acesteia înseamnă protecția întregului spectru de servicii ecologice pe care le oferă solurile de calitate înaltă”. J. Doran și T. Parkin [63] defineau calitatea solului ca „capacitatea solului de a funcționa, în limitele ecosistemului, de a susține productivitatea biologică, de a menține calitatea mediului și de a promova sănătatea plantelor și a animalelor”. A. Ursu [188] considera calitatea solului ca „o noțiune convențională, comparativă, folosită în aprecierea sumară a unor proprietăți favorabile și a potențialului productiv al solului, care este condiționat atât de conținutul de humus și elementele nutritive, cât și de procesele ce au loc în sol, de proprietățile fizice ale solului ș.a.”.

Înțelegerea sănătății solului înseamnă evaluarea și gestionarea solului astfel încât să funcționeze optim acum și să nu fie supus degradării în viitor. Prin monitorizarea schimbărilor în starea de sănătate a solului, un administrator de teren poate stabili dacă sistemul de agricultură practicat este durabil. Totodată, utilizarea durabilă a resurselor solului implică reducerea impactului negativ al proceselor de degradare, creșterea rezistenței solului și îmbunătățirea calității acestuia [98].

Calitatea solului nu poate fi măsurată direct, evaluarea acesteia se face în baza unor indicatori de sol, care, de fapt, sunt proprietăți măsurabile ale solului ce oferă indici despre cât de bine poate funcționa solul [117]. De regulă, se pune accent pe proprietățile solului care servesc ca indicatori precoci și sensibili ai stresului ecosistemic sau a schimbărilor în productivitatea solului [199]. Astfel, nivelul calității și fertilității solului poate fi apreciat prin următorii indicatori [2; 38; 63; 101; 153]:

- *indicatori agrofizici* (textura, structura solului, porozitatea, compactarea, densitatea aparentă, volumul edafic, regimul de apă, aer și căldură din sol);
- *indicatori agrochimici* (compoziția chimică a solului, reacția solului, rezerva de materie organică, humusul, conținutul de elemente nutritive mobile, capacitatea de schimb cationic, gradul de saturație cu baze etc.)
- *indicatori agrobiologici* (cantitatea și componența microflorei, activitatea microbiologică, respirația solului, starea fitosanitară).

Proprietățile agrofizice ale solului exercită un impact major asupra modului în care solul funcționează în cadrul unui ecosistem. De proprietățile agrofizice sunt strâns legate atât creșterea și dezvoltarea plantelor, cât și regimul apei, aerului și a soluției solului [2; 20; 37; 137]. Unele dintre aceste proprietăți sunt imuabile, de exemplu, textura solului [11; 40; 44; 129; 150; 153; 216; 220], și nu pot fi modificate de practicile culturale, dar densitatea aparentă, capacitatea de reținere a apei și porozitatea pot fi îmbunătățite folosind tehnici adecvate de gestionare a solului [67].

Diferiți autori au descris în baza studiilor științifice așa indicatori agrochimici ca: materia organică a solului [27; 30; 97; 123], humusul [5; 92; 153], reacția solului [153; 167; 206; 215], conținutul de elemente nutritive (NPK) din sol [6; 121] etc.

Cercetări în domeniul indicatorilor biologici ai solului au fost realizate de diferiți autori: biomasa microbiană [211; 218], fauna solului [10; 116; 161; 204; 206], activitatea enzimatică [60], respirația solului [67; 140; 153]. Microorganismele solului (ciuperci și bacterii) și alte animale (de exemplu, râme, insecte, artropode) influențează disponibilitatea elementelor nutritive pentru creșterea culturilor prin descompunerea materiei organice a solului. Totodată, activitatea biologică îmbunătățește structura solului prin secreția mucilagiilor de agregare a solului și creșterea hifelor, fiind considerată un indicator integral al unui sol sănătos [67]. După M. Altieri [7], sporirea corectă a biodiversității agroecosistemelor contribuie la activarea biotei solului, care, prin serviciile ecosistemice oferite, asigură producții durabile, conservarea energiei și o dependență mai mică de factorii externi. R. Lal [101] a reiterat că îmbunătățirea activității și diversității speciilor faunei și florei solului (micro, mezo și macro) este esențială pentru restabilirea și îmbunătățirea calității solului și reducerea riscurilor de degradare a solului.

J. Doran și T. Parkin [64] au subliniat că „în definirea indicatorilor de calitate și sănătate a solului trebuie să fie o abordare holistică, dar nu una reduționistă”. Utilizarea cu succes a indicatorilor de calitate depinde de gradul de înțelegere a acestora în raport cu ecosistemul din care fac parte. Astfel, relevanța indicatorilor biologici ai solului are valoare dacă este interpretată în comun cu cea a indicatorilor fizici și chimici, pe când evaluarea separată poate duce la o interpretare greșită a stării de calitate sau sănătate a solului [64].

### ***1.1.2. Utilizarea indicatorilor în evaluarea fertilității solului***

Pentru evaluarea stării de fertilitate a solurilor, sunt determinați indicatorii de bază așa ca: conținutul de humus, conținutul de azot, fosfor mobil și potasiu, capacitatea de nitrificare, conținutul de microelemente mobile, precum și pH-ul, structura, textura solului, formele solubile de magneziu, calciu și sulf [54; 121]. Cunoașterea și cuantificarea acestor indicatori contribuie la stabilirea sau elaborarea celor mai eficiente sisteme de management a solului, în special a sistemelor de fertilizare raționale și ajustate la condițiile concrete ale solurilor și plantelor cultivate pentru sporirea cantității și calității producției.

**Conținutul de humus**, ca indice principal al fertilității solului, influențează proprietățile agrochimice, agrofizice și biologice ale solului [6; 92; 121]. Determinarea conținutului de humus în sol asigură obținerea informației cu privire la nivelul de calitate a solului, în special a datelor privind aportul sau pierderile de materie organică din sol prin dehumificare, în funcție de plantele cultivate, în scopul adoptării unei decizii de implementare a măsurilor ce vor asigura formarea unui bilanț echilibrat de humus și stabilizarea într-o perioadă de timp a materiei organice în sol. Astfel, se poate decide asupra necesității de încorporare în sol a unor cantități mai mari de resturi vegetale ale culturilor agricole și utilizare a îngrășămintelor organice în doze optime sau sporite.

Totodată, în dependență de conținutul de humus în sol se va decide asupra selectării culturilor în cadrul asolamentului, luând în considerație că, productivitatea culturilor individuale influențează stocarea carbonului organic în sol datorită diferențelor în cantitatea de resturi vegetale lăsate în câmpul agricol și încorporate în sol [138]. Astfel, culturile prășitoare lasă mai puține resturi vegetale pentru compensarea consumului aducând cele mai mari pierderi de humus din sol prin mineralizare. Culturile semănate des lasă în sol cantități mai mari de resturi vegetale asigurând un aport mai mare de humus, iar cultivarea culturilor leguminoase anuale și perene va asigura conservarea și ameliorarea stării humice a solului [6; 145].

Gradul de asigurare a solului cu **azot (N)**, **fosfor (P)** și **potasiu (K)** determină creșterea și dezvoltarea plantelor, precum și asigurarea sporului de recoltă scontat. Evaluarea vizuală a stării semănăturilor și a gradului de aprovizionare și nutriție a plantelor cu NPK se efectuează prin recunoașterea stărilor de carență și toxicitate, ce se manifestă prin simptome exterioare specifice fiecărui element pentru diferite culturi [6; 38; 62].

Azotul total din sol este folosit ca un indice important pentru evaluarea fertilității solului și reflectă starea azotului din sol. Potrivit lui F. Crista [54], gradul de fertilitate a solului depinde de conținutul în azot total (tab. 2.7). Pentru aprecierea asigurării solului cu azot, este folosită forma de azot nitric ( $\text{NO}_3$ ), fiind considerată una foarte mobilă. **Capacitatea de nitrificare a solului (CNS)** caracterizează viteza de mineralizare a azotului organic și depinde de conținutul

de humus și de cantitatea și calitatea resturilor vegetale. S. Andrieș [6] a menționat că „între capacitatea de nitrificare și conținutul de materie organică în sol s-a stabilit o corelație strânsă, adică, cu cât solul conține mai multă materie organică, cu atât capacitatea de nitrificare este mai mare”. După V. Lungu și coautorii [121], solurile ce conțin sub 2% de humus au o capacitate de nitrificare scăzută (sub 6,5 mg NO<sub>3</sub> la 100 g de sol), pe când solurile ce conțin 4-5% de humus au o capacitate de nitrificare optimă (14-17 mg NO<sub>3</sub> în 100 g de sol). Ținând cont de faptul că capacitatea de nitrificare caracterizează nivelul fertilității efective a solului, prin determinarea acesteia se poate atât prognoza regimul azotului în perioada de vegetație a plantelor, cât și se poate determina gradul de asigurare a acestora în N mineral [6; 121].

Determinarea periodică a **conținutului de fosfor mobil și potasiului schimbabil în sol** este necesară pentru optimizarea nutriției plantelor cu aceste elemente prin aplicarea diferențiată a îngrășămintelor, și obținerea unui efect economic major de pe o unitate de teren agricol [121]. Este important de menționat că, cu cât solul este mai bogat în materie organică, cu atât plantele de cultură sunt mai bine asigurate cu fosfor mobil, iar rezervele de potasiu depind de compoziția mineralogică și granulometrică a solurilor [5].

Deși, **textura solului** este considerată o proprietate stabilă a solului, totuși are importanță, datorită faptului că condiționează și influențează într-o măsură oarecare proprietățile fizico-mecanice, chimice și biologice ale solului, în special fertilitatea acestuia [40, 85]. Solurile cu textură ușoară (grosieră), deși au o permeabilitate și aerație ridicată, au o capacitate redusă de reținere a apei și elementelor nutritive, levigarea este mai intensă, se lucrează ușor, dar nu se stimulează procesul de acumulare a humusului, și se înlesnesc eroziunea de vânt etc. Solurile cu textură grea (argiloase) au o capacitate mai mare de reținere a apei și elementelor nutritive și rezistă unui proces de levigare accentuat, capacitatea de schimb cationic și de tamponare sunt mai ridicate, cu stimularea acumulării humusului [11; 40; 129; 150].

Din aceste considerente, în dependență de textura solului se va decide ce măsuri agrotehnice și agrochimice vor fi aplicate solului, și dacă sunt necesare măsuri ameliorative sau cu rol de protecție [11, p.128; 40]. Astfel, pe solurile nisipoase se va evita mobilizarea accentuată a solului, prin folosirea frecventă a tăvălugului, iar îngrășămintele chimice se vor aplica în doze mici la intervale scurte. Îngrășămintele organice se vor aplica în doze cât mai mari. Pe solurile grele se va asigura mobilizarea cât mai frecventă și pe adâncime mare, îngrășămintele chimice și organice se vor încorpora în doze mari și la intervale mai lungi [150].

**Structura solului** se consideră un indice agronomic, caracterizat de stabilitatea agregatelor [33], care determină în mod indirect fertilitatea solului [40], prin influența sa asupra stării de așezare a solului, precum și asupra regimului de apă, aer, nutritiv, termic și biologic al solului. Astfel, cele mai favorabile condiții pentru creșterea și dezvoltarea plantelor în sol asigură

structura glomerulară sau grăunțoasă, fiind caracteristică cernoziomurilor bogate în humus și care sunt lucrate rațional [153]. Solurile cu structură glomerulară au un regim bun de apă și aer, datorită formării de spații capilare în interiorul agregatelor și spații mari, necapilare între agregate [150; 220].

Solurile nestructurate au proprietăți nefavorabile, deoarece particulele nelegate între ele formează o rețea întreagă de spații capilare, prin care apa din precipitații de la suprafața solului nu pătrunde în straturile mai adânci și bălțește la suprafață. Astfel, din cauza lipsei de aer în sol este afectată asimilarea substanțelor nutritive de către plante. După ploaie treptat se evaporă apa de la suprafața solului și apoi cea din capilare, spațiile rămase fiind înlocuite de aer. Astfel, în prezența aerului și lipsa apei, substanțele nutritive nu pot fi folosite de către plante [1, p.23; 150; 220]. Degradarea structurii solului este favorizată de aplicarea lucrărilor agrotehnice necorespunzătoare, executate în timp nepotrivit, folosirea nerațională a solului, cu reducerea concomitentă a humusului în sol [40; 129; 150].

**Reacția solului** influențează majoritatea proceselor fizice și chimice din sol, activitatea biologică din sol, precum și creșterea și dezvoltarea plantelor de cultură și a vegetației spontane. Pentru nutriția plantelor sunt considerate optime valorile pH-ului de 6,0-6,5 [153]. Potrivit lui J. Smith și J. Doran [167], „luând în considerație că pH-ul este o funcție logaritmică, un pH de 6 este de 10 ori mai acid decât un pH de 7 și de 100 de ori mult mai acid decât un pH de 8”.

pH-ul solului acționează asupra mobilității și accesibilității elementelor nutritive în sol. La o reacție acidă a solului (pH sub 5,0), se reduce capacitatea solului de a absorbi cationi. Astfel, scade accesibilitatea formelor schimbabile de calciu ( $\text{Ca}^{2+}$ ) și magneziu ( $\text{Mg}^{2+}$ ), și crește solubilitatea ionilor de fier (Fe), mangan (Mn), aluminiu (Al), zinc (Zn), cupru (Cu), cu efect toxic pentru plante [215, c.189]. De asemenea, într-un sol acid, datorită concentrațiilor ridicate de ioni de Al, ionii de fosfor (P) și molibden (Mo) sunt imobilizați sub formă de compuși insolubili cu Fe și Al din sol [153; 206]. La o reacție bazică a solului (pH > de 8,5), crește solubilitatea calciului și magneziului schimbabil, ce favorizează formarea de săruri mai puțin solubile. Concomitent, compușii de Fe, Mn și Zn trec sub forme greu solubile, mai puțin accesibile pentru plante, ceea ce duce la apariția semnelor de deficiență la unele culturi [215]. Reacția solului exercită o acțiune și asupra bacteriilor. Astfel, aciditatea mare împiedică activitatea bacteriilor simbiotice și a celor nitrificatoare [38], și sporește activitatea ciupercilor [215]. Pentru procesul de nitrificare se consideră optime valorile pH-ului cuprinse între 6,5-8,0 [167].

Determinarea reacției solului este un indicator important a modului de gestionare a terenului, în special, în alegerea sortimentului de plante cultivate, așa cum: secara, ovăzul, cartoful, soia, tutunul, lupinul galben, mărul – sunt plante tolerante la reacția puternic acidă (pH



sub 5,0); iar grâul și majoritatea plantelor legumicole, speciile pomicole și vița de vie – sunt tolerante la reacția puternic alcalină (pH peste 8,4) a solului [153].

După J. Smith și J Doran [167], „pH-ul solului este un indicator primar al schimbărilor în calitatea solului, iar măsurarea pH-lui poate fi utilă pentru identificarea efectelor practicilor de management asupra modificărilor pe termen scurt ale pH-ului solului și a potențialului de efecte cumulative asupra calității solului în raport cu productivitatea acestuia și calitatea mediului”. Spre exemplu, aplicarea unor cantități sporite de îngrășăminte cu N amoniacal pe solurile ușor acide poate duce la o scădere cu 1 unitate a pH-ului, din cauza nitrificării microbiene, într-o perioadă de 3-4 săptămâni. Ca rezultat, este afectată creșterea culturilor, scade eficiența erbicidelor sau se reduce descompunerea microbiană. Aceasta indică la utilizarea ineficientă a acestor îngrășăminte și pierderea de N prin levigare [167].

Indicatorii primari ai fertilității solului, precum pH-ul solului, conținutul de humus, conținutul de N, P și K mobile, sunt factori importanți în creșterea și dezvoltarea plantelor, producția culturilor, diversitatea și funcția biomasei microbiene. După cele menționate mai sus, este evident că acești indicatori sunt sensibili la gestionarea solului, și ar trebuie să constituie un set minim de indicatori chimici ai solului.

### ***1.1.3. Materia organică a solului ca indicator integral al fertilității solului***

Materia organică din sol (MOS) este fundamentul solurilor sănătoase și productive, care asigură creșterea plantelor, animalelor, dar și bunăstarea oamenilor. Totodată, dezvoltarea practicilor agricole prietenoase mediului se bazează pe înțelegerea rolului materiei organice în menținerea unui sol sănătos [123]. Așa deci, MOS este componenta cheie în asigurarea unei structuri satisfăcătoare a solului, în sporirea capacității de reținere a apei și elementelor nutritive, servește ca sursă de hrană pentru microorganismele solului, asigură protejarea solului la suprafață [27; 30; 97; 123].

În sol, are loc un flux continuu anual de materie organică, sub formă de rădăcini, frunze, alte resturi de plante, animale moarte etc., care sunt supuse unui proces continuu de descompunere de către microorganismele din sol (bacterii, actinomicete, ciuperci). Astfel, MOS trece prin diferite stadii de transformare, având loc atât procesul de formare și acumulare de humus, cât și cel de mineralizare a materiei organice, inclusiv a unei părți din humus [38]. După A.M. Lîkov, citat de S. Stadnic [170], „biota din sol are un rol important în accelerarea proceselor de humificare și mineralizare a resturilor vegetale, în structurarea solurilor, influențând totodată permeabilitatea și aerarea solului”.

Materia organică „moartă” (microorganismele, insectele, rămele decedate recent) și reziduurile proaspete (rădăcinile vechi de plante, reziduurile de cultură și gunoiul de grajd aplicat recent) formează *fracția activă* a materiei organice din sol. Această fracție este principala sursă

de hrană pentru diferite organisme (microorganisme, insecte și râme) care trăiesc în sol, iar în rezultatul descompunerii, asigură plantele cu substanțele nutritive necesare [123]. Totodată, materia organică moartă este supusă procesului de humificare, adică unui proces continuu de transformare biochimică, de la compuși organici săraci în azot la compuși organici cu un conținut bogat în carbon și azot, care formează *humusul* [97; 137]. La rândul său, și humusul nou format este supus procesului de mineralizare prin care elementele nutritive, dar și alte elemente chimice, sunt eliberate în forme accesibile vieții din sol. Astfel, MOS are un rol esențial în formarea fertilității solului [25; 28; 38; 57; 92; 97].

Conținutul materiei organice din sol depinde de cantitatea de materie organică adăugată în sol și cantitatea îndepărtată din sol. Factorii principali, care stabilesc creșterea, scăderea sau menținerea nivelului MOS sunt procesele biologice de creștere a plantelor și descompunere a materiei organice [74; 117].

MOS este afectată de condițiile climaterice, vegetație, roca parentală și topografie, precum și de practicile agricole aplicate în câmp. Termenii materie organică și carbon organic din sol sunt adesea folosiți în mod interschimbabil, deoarece carbonul este componenta cheie a materiei organice, ce se măsoară cu ușurință în laborator. De obicei, în discuțiile cu privire la carbonul solului în loc de materia organică, se referă la carbonul organic. Cantitatea de materie organică din soluri este de aproximativ dublul nivelului de carbon organic [74; 118; 123; 143].

Potrivit lui R. Ramnarine și coautorii [148], „una dintre caracteristicile distinctive ale C organic și anorganic este valoarea lor izotopică  $\delta^{13}\text{C}$ . Astfel, carbonații au valori izotopice  $\delta^{13}\text{C}$  care variază de la -10‰ la +2‰ (per mille), în timp ce cei ai carbonului organic din sol variază de la -27‰ la -13‰, în funcție de sursa reziduurilor vegetale” [148].

După S. Andrieș [7], „humusul se caracterizează prin doi indicatori de bază: raportul C/N și raportul acizii huminici/acizii fulvici”. Dintre aceștia, raportul acizii huminici/acizii fulvici este influențat de condițiile climatice în care evaluează solul [7]; iar predominarea acizilor huminici va asigura solului o fertilitate potențială mai ridicată față de acizii fulvici, precum și însușiri fizice și chimice mai bune [176].

Raportul C/N oferă informații cu privire la conținutul de azot în materialele organice [209; 212] și gradul de descompunere a resturilor vegetale. În procesul de humificare a materiei organice se degajă mai întâi foarte mult  $\text{CO}_2$ , iar substanțele azotate se descompun mult mai încet. Totodată, în procesul de mineralizare a materiei organice din sol, conținutul de carbon se micșorează mai repede decât cel de azot, datorită proceselor de oxidare mai rapide la carbon decât la azot. Prin urmare, cu cât materia organică conține mai mult azot și raportul C/N este mai mic, cu atât mineralizarea este mai mare [7; 57].

Conform datelor prezentate de D. și V. Davidescu [57], la un raport C/N < 20 predomină mineralizarea materiei azotate, iar la un raport C/N > 26-27 se produce o imobilizare a azotului. Cu cât raportul C/N este mai apropiat de 10-12 cu atât resturile organice (rădăcini, miriște) se descompun mai ușor. Așa deci, raportul C/N poate oferi o caracterizare a fertilității solurilor [57], și anume a capacității solului de a stoca și recicla elementele nutritive. Totodată, valorile mai mari a raportului pot indica adăugări recente de gunoi de grajd sau reziduuri de plante [166, p.158].

Resturile organice cu un raport C/N mai mic, care se descompun cel mai intensiv, sunt miriștea, rădăcinile culturilor leguminoase, resturile vegetale de la cultivarea sfeclei și a legumelor și paielor, resturile vegetale ale culturilor păioase. Tulpinile și rădăcinile de floarea-soarelui au cel mai mic coeficient de mineralizare a resturilor vegetale [6; 62], având un raport C/N ridicat, în sol se manifestă o competiție între plante și microorganismele pentru N mineral din sol [37, p.210]. Procesul de descompunere poate fi grăbit prin mărunțirea resturilor vegetale și adăugarea îngrășămintelor chimice de azot în proporție de 10-15 kg/1 tonă de reziduuri [6].

Odată cu introducerea solului în circuitul arabil conținutul de MOS începe să scadă brusc din cauza perturbării inițiale a solului prin cultivare, iar ulterior are loc o scădere graduală. În acest context, X. Liu și coautorii (2003), citați de X. Liu et al. [117], au raportat o scădere semnificativă de carbon organic în sol (COS) în primii 5 ani de cultivare, înregistrând o pierdere medie de cca 2,3 t/ha/an în stratul 0-17 cm. După 14 ani de cultivare, pierderea medie anuală de COS a fost de 950 kg/ha, iar după 50 de ani de cultivare a fost de 290 kg/ha [117]. Reducerea conținutului de MOS depinde de cultura și sistemul de agricultură practicat. Prin urmare, din toți indicatorii solului, MOS poate fi manipulată în cea mai mare măsură, fiind considerată un indicator cheie în evaluarea durabilității sistemului de management a terenului [199].

Îngrășămintele influențează asupra cantității de masă vegetală acumulată. După D. Davidescu [57], „prin îngrășarea sistemică cu azot, cantitatea de resturi vegetale crește, în medie cu 2-4 t/ha la cereale, iar cea de miriște și de rădăcini cu cca 1600 kg/ha”. În acest context, o serie de cercetări [75; 76; 126], au raportat că fertilizarea cu azot influențează aportul de C și N din sol prin creșterea producției de biomasă returnată solului.

Într-un studiu efectuat de R. Follett [70], acesta menționa că deși aplicarea îngrășămintelor de N are ca scop creșterea productivității culturilor și a efectului economic realizat de producător, cu sechestrarea C ca beneficiu secundar, pe de o parte; totuși, fertilizarea cu N amplifică fenomenul încălzirii globale prin efectele combinate ale cantității de CO<sub>2</sub> emise în timpul producerii îngrășămintelor de azot și a cantității de N<sub>2</sub>O produse în timpul nitrificării și, în special, a denitrificării, pe de altă parte.

După R. Mulvaney și coautorii [131], fertilizarea cu îngrășăminte chimice de N contribuie la epuizarea rezervelor de N organic din sol datorită intensificării descompunerii MOS de către microorganismele. Astfel, terenurile fertilizate sunt supuse unei mineralizări mai intense comparativ cu cele nefertilizate, în special în monocultura de porumb, grâu și secară. Dominarea mineralizării asupra imobilizării se menține chiar și la un aport de C sub formă de reziduuri vegetale, fapt ce contribuie la o deplasare a N organic nativ către rezerva labilă. Luând în considerație că N absorbit de către plante provine în mare parte din rezerva de N din sol, decât din îngrășământ, se constată că fertilizarea cu N sintetic are adesea un efect negativ asupra conținutului de N din sol [131].

Consecințele pe termen lung ale dependenței continue de practicile actuale de producție vor fi o scădere a productivității solului, care crește nevoia de fertilizare sintetică cu N, amenință securitatea alimentară și agravează degradarea mediului înconjurător. B. Boincean [23] atenționează că modul de gestionare a solurilor agricole determină dacă acestea vor deveni fie o „sursă de emisie a gazelor cu efect de seră, fie un mijloc de reducere a încălzirii globale prin sechestrarea CO<sub>2</sub> din atmosferă și acumularea lui în sol în formă de MOS”. La această concluzie au ajuns și alți cercetători din domeniu [27; 101; 103]. Astfel, adoptarea și implementarea unui management durabil al solului, cu potențial sporit de sechestrare a carbonului organic în sol, va contribui atât la conservarea solului cât și la atenuarea efectelor emisiilor de dioxid de carbon (CO<sub>2</sub>) asupra schimbărilor climatice [70; 90; 101; 141]. În același timp, S. Ogle și coautorii [138] au demonstrat că impactul managementului agricol asupra stocării de C organic în sol (COS) variază în funcție de condițiile climatice ce influențează procesele din plante și sol, care determină dinamica MOS.

C. Kushwaha și coautorii [96] au constatat că valorile COS și N total au fost cele mai ridicate în varianta cu lucrarea minimă a solului și păstrarea resturilor vegetale și cele mai scăzute în varianta cu sistemul convențional de lucrare a solului și eliminarea resturilor vegetale. Studiile efectuate de R. Lal [100], au demonstrat că pierderile de COS sunt mai mari în sistemele bazate pe arătura cu întoarcerea brazdei și cele fără returnarea resturilor vegetale ale culturii, comparativ cu sistemele No-till de pregătire a patului germinativ și cele cu utilizarea de mulci și îngrășăminte organice.

Promovarea culturilor leguminoase și a ierburilor perene, contribuie nu doar la creșterea productivității culturilor și a solului, dar și la adaptarea la schimbările climatice datorită potențialului de fixare a N atmosferic, prin care se pot reduce emisiile de CO<sub>2</sub> în timpul producerii îngrășămintelor chimice de N, și creșterii rezistenței agroecosistemelor. Potrivit S. Kumar și coautorii [95] culturile leguminoase, datorită capacității de fixare a N, ar avea un potențial de acumulare a COS cu 30% mai mare comparativ cu alte specii de culturi.

R. Lal [99] menționa „că durabilitatea agriculturii depinde de utilizarea terenurilor și sistemelor de management orientate spre îmbunătățirea și menținerea nivelului ridicat al rezervei de COS, cele mai esențiale fiind mulcirea, reținerea resturilor vegetale, utilizarea gunoiului de grajd și a biosolidelor” [99; 100]. Managementul resturilor vegetale, cantitatea și calitatea biomasei aplicate solului, au un impact semnificativ asupra calității și rezilienței solului, asupra productivității agronomice și asupra emisiilor de GES din sol în atmosferă [98].

Potrivit lui R. Lal [102], productivitatea durabilă într-un climat în schimbare și nesigur este un co-beneficiu economic important, deoarece solul rezistent la factorii climatici poate stabiliza productivitatea, poate reduce incertitudinea și poate asigura recolte chiar și în condiții meteorologice extreme.

## **1.2. Starea de calitate a resurselor de sol în Republica Moldova**

### ***1.2.1. Evoluția în timp a fertilității solurilor***

În Republica Moldova, condițiile de relief și de climă, precum și componența rocilor pedologice au determinat dezvoltarea și evoluția diverselor ecosisteme terestre, iar interacțiunile dintre diferite condiții naturale au contribuit la formarea unei varietăți de unități de sol [187]. La nivel zonal, solurile Republicii Moldova sunt divizate în 3 tipuri: *solurile brune*, cu răspândire în zona Codrilor pe Podișul Moldovei Centrale, *solurile cenușii* – în regiunile deluroase, și *cernoziomurile*, din stepă la altitudini mai joase, cu o suprafață de peste 70% din teritoriul republicii [44; 186]. La rândul lor, aceste tipuri de sol sunt caracterizate de 11 subtipuri ce formează variabilitatea zonală a solurilor, și asociată cu un covor pestriț, multicolor și foarte diferit [44; 186].

Partea de Nord a Republicii aparține zonei pedogeografice a Silvestepii de Nord, suprafața căreia constituie 1198,4 mii ha, cu predominarea solurilor cenușii tipice și molice, cernoziomurilor argiloiluviale, obișnuite, levigate și tipice moderat humifere [189].

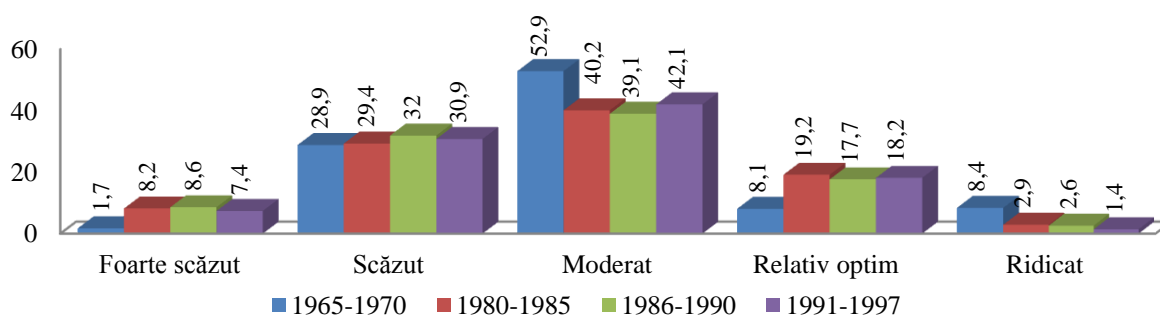
Starea actuală de calitate a resurselor de sol din republică este determinată de modul de exploatare a acestora din momentul introducerii în circuitul agricol și până în prezent [87]. Pe parcursul întregii perioade de exploatare, fertilitatea naturală a solurilor a suferit schimbări esențiale, fiind în permanentă scădere în ultimii ani. Astfel, conform cercetărilor efectuate de fondatorul pedologiei V.V. Dokuceaev, în anul 1877, cernoziomurile republicii aveau un conținut de humus de 4-7%, care a scăzut la 2-4% după o perioadă de un secol, conform cercetărilor profesorului I. Krupenikov, cota pierderilor de materie organică din sol atingând valoarea de peste 45% [6; 44; 121; 214; 219].

În perioada anilor 1965-1997, evoluția în timp a fertilității solului pe plan național a fost studiată în baza investigațiilor pedo-agrochimice ale terenurilor agricole, efectuate de către

Serviciul Agrochimic de Stat. Scopul urmărit prin aceste investigații a fost de a monitoriza modificarea fertilității solului, a identifica procesele de degradare a solului, precum și de a elabora și implementa măsurile necesare de ameliorare și sporire a fertilității solului [39].

Conform rezultatelor cercetărilor agrochimice, pe terenurile arabile ale republicii s-au produs modificări majore ale indicilor fertilității solului, precum conținutul de humus, fosfor mobil și potasiu schimbabil. Gruparea solurilor după conținutul de humus, elemente nutritive și capacitatea nutritivă folosită în interpretarea rezultatelor cercetărilor agrochimice este prezentată în tab. 2.2 din Capitolul 2.

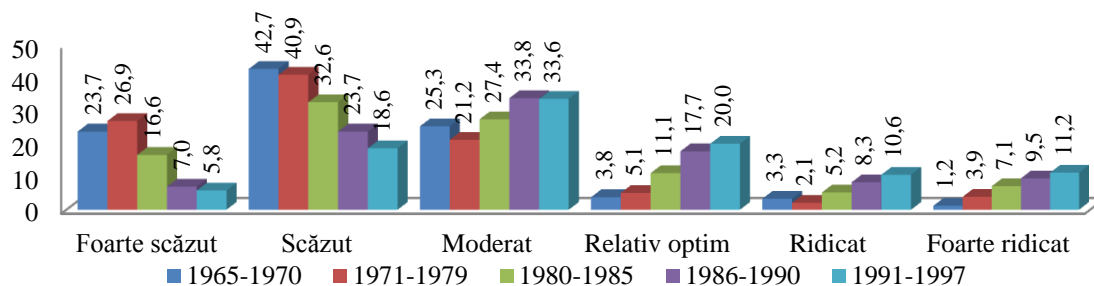
În ceea ce privește **conținutul de humus**, s-a demonstrat o reducere considerabilă a solurilor asigurate cu humus în anul 1990 (figura 1.1). Astfel, în perioada anilor 1965-1970, un nivel mediu de asigurare cu humus aveau 52,9% din solurile republicii, iar un nivel înalt aveau doar 16,5%. Suprafața terenurilor arabile cu conținut scăzut și foarte scăzut de humus s-a mărit de la 37,6% în anul 1965 până la 40,6% din suprafața cercetată în anul 1990. Cercetările efectuate de către V. Cerbari [43], au demonstrat aceeași tendință de reducere a conținutului de humus în cernoziomurile obișnuite arabile din comuna Bănești, raionul Telenești, cu cca 30% mai puțin decât varianta înțelenită, fiind obținut un conținut de humus de 4,46%.



**Fig. 1.1. Repartiția terenurilor arabile (%) după gradul de asigurare a solului cu humus [39]**

Potrivit lui S. Andrieș și coautorii [9], „majorarea conținutului de humus cu 1% asigură formarea și acumularea în sol a 24 kg/ha N mineral anual”. Luând în considerație că, solurile Moldovei conțin în medie 3,1% de humus, produc anual o cantitate de 74 kg/ha de N mineral, care asigură o recoltă de grâu de toamnă de 2,4 t/ha [9]. Astfel, azotul devine un factor limitativ în formarea recoltelor înalte, fiecare kg de N încorporat în sol se recuperează cu 8-15 kg de boabe [5, 44].

Un conținut scăzut de **fosfor (P) mobil**, accesibil plantelor de cultură, îl au atât cernoziomurile, cât și solurile cenușii. Conform rezultatelor analizelor efectuate, în anii 1965-1970, predominau solurile cu conținut foarte scăzut (23,7%) și scăzut (42,7%) de fosfor (figura 1.2). Un conținut de fosfor ridicat și foarte ridicat aveau doar 4,5% din suprafața solurilor [39].

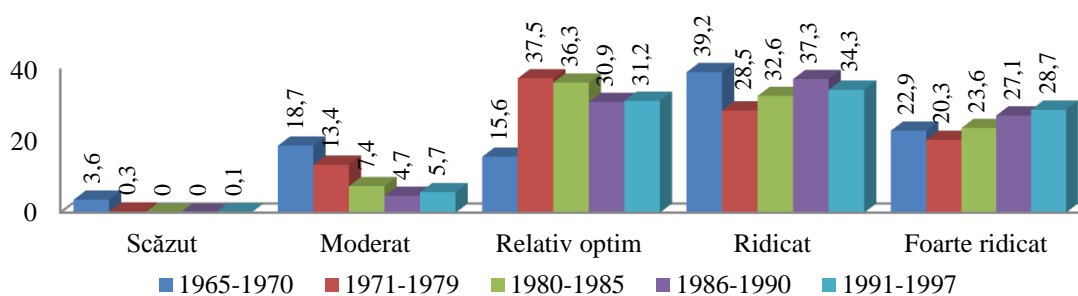


**Fig. 1.2. Repartiția terenurilor arabile (%) după gradul de asigurare a solului cu P [39]**

În perioada anilor 1980-1985, în rezultatul utilizării sistematice în agricultură a îngrășămintelor minerale și organice, conținutul de fosfor mobil în solurile Moldovei s-a majorat. Creșterea continuă a cantității de fosfor mobil în sol s-a produs până la începutul anilor '90. Astfel, s-a micșorat cu 31% cota suprafețelor aprovizionate la nivel scăzut cu acest element și s-a mărit cu 4% cota celor cu un conținut ridicat și foarte ridicat de fosfor mobil.

Cu toate acestea, problema asigurării culturilor cu fosfor este una acută. Scăderea bruscă în ultimii ani a volumului utilizării îngrășămintelor minerale și organice a condus la înrăutățirea regimului fosfatic al solurilor, recolta culturilor agricole fiind obținută din contul postacțiunii îngrășămintelor și exploatarea extensivă a fertilității naturale a solului.

În ceea ce privește **conținutul de potasiu (K) schimbabil**, în solurile republicii, în perioada anilor 1965-1990, modificările produse au avut un caracter pozitiv (figura 1.3). În anii 1965-1970, terenurile arabile cu conținut ridicat și foarte ridicat de potasiu schimbabil ocupau o suprafață de 62,1%, iar cele cu conținut scăzut – 3,5%. Spre sfârșitul anului 1990, suprafața solurilor cu un conținut ridicat de  $K_2O$  s-a mărit cu 4,2%, iar cea a solurilor cu un conținut moderat de  $K_2O$  s-a micșorat cu 14% [39].



**Fig. 1.3. Repartiția terenurilor arabile (%) după gradul de asigurare a solului cu K schimbabil [39]**

Conform V. Cerbari [44], în baza experiențelor de lungă durată efectuate pe diferite subtipuri de cernoziom și soluri cenușii, s-a demonstrat stabilitatea rezervei de potasiu schimbabil în timp în condițiile exploatarea intensivă a solurilor, însă în lipsa compensării exporturilor de K din sol are loc epuizarea treptată a acestui element.

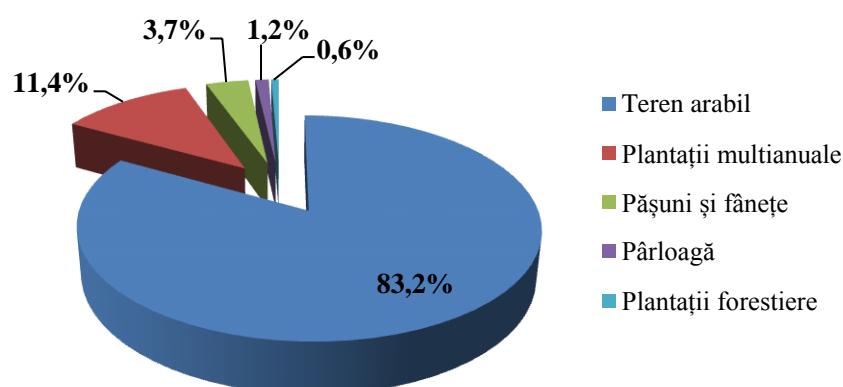
Perioada chimizării agriculturii (1965-1990), caracterizată de majorarea cantității de îngrășăminte minerale și organice încorporate în sol, a contribuit la ameliorarea stării agrochimice a solului și formarea unui bilanț pozitiv al elementelor nutritive. Adicional, implementarea măsurilor de protecție, ameliorare și sporire a fertilității solurilor, a asigurat majorarea recoltei grâului de toamnă până la 3,5-3,8 t/ha; unele gospodării obțineau și 4,0-5,5 t/ha grâu de toamnă; 5,5-7,5 t/ha porumb pentru boabe și 45,0-50,0 t/ha sfeclă de zahăr [8].

În perioada anilor 1991-1997, deși suprafața terenurilor arabile cercetate s-a redus cu 47%, s-a atestat o tendință de micșorare a fertilității solurilor după conținutul de fosfor, humus, potasiu și de microelemente, datorită reducerii administrării îngrășămintelor minerale și organice. Astfel, suprafețele cu conținut ridicat de humus alcătuiau doar 1,4% din toată suprafața de terenuri arabile ale republicii, deci cu 7% mai puțin decât în 1965. În consecința, s-a creat un bilanț negativ a elementelor nutritive [39].

Datele obținute în baza investigațiilor pedo-agrochimice ale terenurilor agricole efectuate de către Serviciul Agrochimic de Stat, sunt o sursă importantă în monitorizarea și evaluarea modificării fertilității solurilor în timp și spațiu. Spre regret, în prezent aceste servicii nu mai sunt prestate la nivel național, unicele investigații privind calitatea solului fiind efectuate la nivel de instituții de cercetări științifice, dar pe un areal geografic mai restrâns, din cauza resurselor financiare și umane limitate pentru realizarea acestora.

### ***1.2.2. Fertilitatea solului și productivitatea culturilor în condițiile încălzirii globale***

Conform situației din 01.01.2020, fondul funciar național constituie 2091,97 mii ha, inclusiv, suprafața terenurilor cu destinație agricolă – 2019,36 mii ha sau 96,5% din suprafața totală a fondului funciar (figura 1.4), din care: terenuri arabile – 1689,86 mii ha, plantații multianuale – 231,82 mii ha, fânețe și pășuni – 74,30 mii ha, pârlăoagă – 23,38 mii ha [82].



**Fig. 1.4. Distribuția fondului funciar după categorii de destinație a terenurilor (la 01.01.2020) [82]**

Astfel, cota terenurilor utilizate la arabil și pentru plantațiile pomiviticele este inadmisibil de mare – 94,6% din suprafața totală a fondului funciar, iar a fondului silvic este una mică (sub



1%). Această situație nu asigură menținerea unui echilibru ecologic dintre ecosistemele naturale și antropice, ceea ce contribuie la degradarea solului și a biodiversității. Menținerea echilibrului ecologic și combaterea secetelor în Republica Moldova este posibilă doar dacă suprafața terenurilor împădurite va constitui cel puțin 18-20%, din totalul fondului funciar.

Deși solurile țării sunt prezentate de cernoziomuri fertile și terenuri agricole productive, bonitatea solurilor a scăzut cu 7 note în timp de 30 de ani, drept urmare a schimbărilor climatice și a utilizării lor intensive în agricultură [107; 144, p.62-79; 146]. În prezent, sectorul agrar este supus unui intens proces de degradare a solurilor. Suprafața solurilor afectate de acest proces constituie 1,9 mil. ha. Micșorarea notei de bonitate a solurilor cauzează pierderi anuale de cca 330 lei/ha de teren agricol sau 7,7 mld. lei pentru întreaga suprafață cercetată.

Degradarea solurilor se produce în rezultatul eroziunii de apă, compactării solurilor, distrugerii structurii, solonețizării și salinizării solurilor, înmlăștinirii solurilor arabile, reducerii rezervelor de humus în solurile arabile ce nu sunt afectate de eroziune [104; 146].

Suprafața solurilor afectate de eroziune se mărește anual cu cca 1%. Ca rezultat, productivitatea acestor soluri este redusă cu 20-60%, fapt ce micșorează eficiența și rentabilitatea culturilor agricole pe pante. Rezervele de humus se reduc anual cu aproximativ 1 t/ha, iar conținutul de azot, fosfor și potasiu se reduc cu cca 150 kg/ha [189]. Extinderea suprafețelor afectate de compactarea secundară și deteriorarea structurii solului a contribuit la reducerea fertilității solurilor arabile cu 10% sau 200 lei/ha în medie, sau 436 mln. lei pentru întreaga suprafață a terenurilor agricole [106; 144].

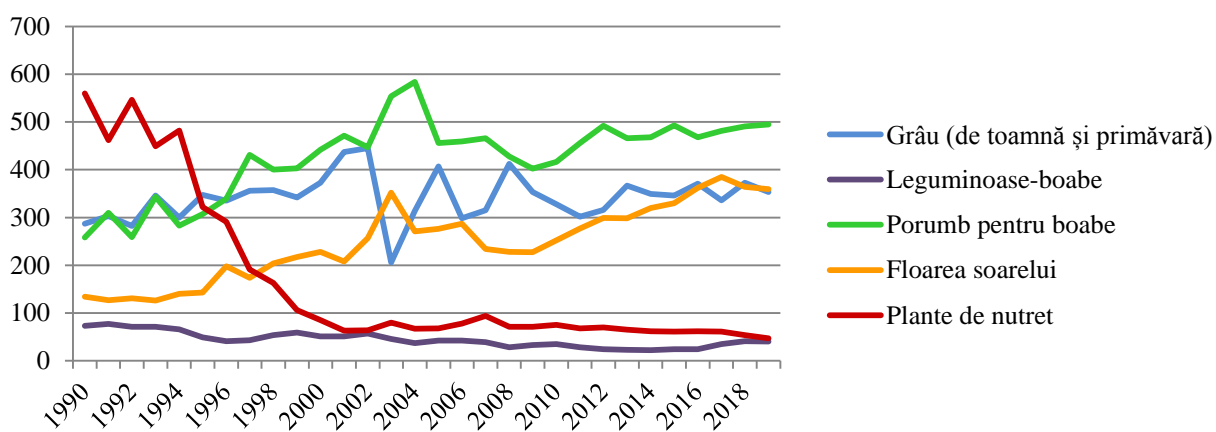
Extinderea proceselor de degradare a terenurilor agricole este amplificată și de gestionarea inadecvat a solurilor, care se bazează pe un model industrial de intensificare a producției agricole, ce nu contribuie la o dezvoltare durabilă [22; 23; 25]. Potrivit lui L. Brown [36], deși eroziunea solului și degradarea solului sunt probleme de nivel local, consecințele acestora asupra securității alimentare au impact global.

R. Lal [101] sublinia că „tendențele de degradare a solului pot fi inversate prin conversia la o utilizare regenerativă a terenului și prin adoptarea practicilor de management orientate spre minimizarea eroziunii solului, crearea bilanțului pozitiv de COS și N, sporirea activității și diversității speciilor din biota solului (micro, mezo și macro), precum și îmbunătățirea stabilității structurale”.

B. Boincean și coautorii [28] menționau că „restituirea cantității de MOS mineralizată pentru formarea producției în cadrul asolamentului este baza unei dezvoltări durabile a sectorului agrar”. În acest sens, asolamentul și rotația culturilor sunt pilonii stabilității humice a solurilor arabile, întru-cât una din funcțiile principale a asolamentului este să restituie solului cea mai mare parte din humusul mineralizat [145]. Totodată, cercetările efectuate în experiența de câmp

de lungă durată pe asolamentele și culturile permanente, din cadrul ICCC „Seleția” (mun. Bălți), au demonstrat că respectarea asolamentului contribuie la reducerea folosirii îngrășămintelor minerale (în special de azot) și pesticidelor, precum și la utilizarea mai rațională a apei din sol, iar aceasta constituie un avantaj luând în considerație scumpirea prețurilor la inputurile de sinteză chimică [21; 23; 27; 30].

**Structura suprafețelor de însămânțare.** Trecerea la independență în anul 1992, a contribuit, într-o măsură oarecare, la pierderea controlului statului asupra măsurilor de respectare a asolamentelor, iar ca consecință s-au produs schimbări în structura suprafețelor de însămânțare cu culturi agricole și furajere (figura 1.5).



**Fig. 1.5. Modificări în structura suprafețelor cultivate din 1990 până în 2019, mii ha [19]**

Astfel, în anul 2019 a crescut suprafața terenurilor cultivate cu culturi prășitoare cu 462 mii ha, comparativ cu anul 1990, iar cota ierburilor anuale și perene în asolamentele de câmp s-a redus. Concomitent, suprafața terenurilor cultivate cu culturi furajere a scăzut considerabil de la 560 mii ha până la 47 mii ha, fiind cauzată de dezintegrarea sectoarelor de fitotehnie și zootehnie. Această situație, în care are loc sporirea excesivă a suprafețelor de însămânțare cu culturi prășitoare, în special a celor tehnice, concomitent cu intensificarea arăturii cu plug cu cormană și înlocuirea vegetației perene cu vegetație anuală, a contribuit la înregistrarea unor pierderi maxime de materie organică din sol și compensarea lor minimă cu resturile vegetale și alte surse de materie organică de proveniență locală [23; 24; 30].

Conform cercetărilor efectuate de B. Boincean și coautorii [28], „chiar și în asolamentele cu 33,5% culturi prășitoare și 66,7% culturi de semănat compact, inclusiv 5,0% amestec de ierburi perene, este necesar de introdus cca 13-20 t/ha gunoi de grajd pentru compensarea pierderilor mineralizaționale de MOS pentru formarea nivelelor scontate de producție”.

**Destrămarea sectorului zootehnic** a fost condiționată în mare parte de privatizarea terenurilor, care până la 1992 erau gestionate într-un sistem închis, integrat cu ferme zootehnice.

Ca rezultat al dispariției asolamentului cu câmpuri semănate cu ierburi leguminoase, micșorării șeptelului de animale, în special de vite de 6 ori (Anexa 1). Pe solurile agricole gunoi de grajd practic nu se introduce. Acest fapt, a contribuit la crearea unui bilanț negativ al humusului. Pentru echilibrarea sau majorarea bilanțului de humus este necesară aplicarea a cel puțin 10 t/ha de gunoi de grajd anual [52; 187].

În anii 1981-1990 în sol se introduceau cca 6 t/ha gunoi de grajd [45], prin care se compensa o mare parte din pierderile de humus prin mineralizare (tab. 1.1). De asemenea, în această perioadă, datorită asolamentelor practicate în sol se introduceau și resturile vegetale, care asigurau returnarea carbonului în sol.

**Tabelul 1.1. Dinamica producerii și folosirii gunoii de grajd în Republica Moldova [73]**

Anul	Gunoi de grajd produs în total, mii tone	Gunoi de grajd încorporat în sol		Gunoi de grajd în medie per ha, kg
		mii tone	% din cantitatea acumulată	
1981	15730	7900	50,2	4400
1985	16175	9800	60,6	5500
1986	16647	10400	62,5	5700
1988	15318	10800	70,5	6000
1990	15558	9700	62,3	5600
1992	13553	5300	39,1	3400
1994	11738	1400	11,9	1100
1996	8490	767	9,0	600
1998	6493	146	2,2	100
2000	5665	22	0,4	30
2002	5100	16	0,3	20
2006	4497	6	0,1	10
2009	3389	8	0,2	10

Analizând datele prezentate în tabelul de mai sus, se observă că în perioada de după reforma agrară, cantitatea de gunoi de grajd introdusă s-a redus. În anul 1988 s-a produs 15,2 mln tone gunoi de grajd și s-a folosit 10,8 mln tone, ceea ce constituia 70,5% din cantitatea acumulată. Pe când în anul 2009 s-a produs 3,3 mln tone, dar s-a folosit numai 8 mii tone, ceea ce constituia 0,2% [73]. În prezent, gunoiul de grajd nu mai este folosit ca sursă de refacere a materiei organice din sol, iar aceasta a creat un deficit anual de humus de cca 600-700 kg/ha [44].

Potrivit studiului efectuat de B. Boincean și S. Stadnic [30] pentru perioada anilor 1986-2015, majorarea anuală a deficitului necompensat de MOS, precum și intensificarea condițiilor de secetă, au contribuit la reducerea sau chiar stabilizarea nivelului de producție a diferitor culturi în Republica Moldova (tab. 1.2).

**Tabelul 1.2. Dinamica producției la diferite culturi în Republica Moldova pentru perioada 1986-2015 (după anuarele statistice ale Republicii Moldova), [30]**

Culturi	în medie pe ani					
	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015
Grâu de toamnă	3,6	3,3	2,5	2,2	2,2	2,6
Porumb pentru boabe	3,9	3,3	3,0	2,8	2,7	2,6
Sfecla pentru zahăr	28,5	21,3	18,2	22,7	27,1	30,7
Floarea-soarelui	1,9	1,2	1,1	1,2	1,3	1,5
Soia	1,2	0,9	1,0	1,1	1,5	1,3

Încercările de majorare a producției acestor culturi prin aplicarea îngrășămintelor minerale, implementarea noilor soiuri și hibrizi cu un potențial mai înalt de producție, de rând cu alți factori de intensificare a agriculturii, doar au creat un efect de „mascare” a reducerii continue a fertilității solului [30].

V. Lungu și coautorii [121], la fel au raportat scăderea productivității culturilor agricole (cca 40-50%) odată cu reducerea humusului în ultimii 15 ani, obținându-se o recoltă medie de doar 2,23 t/ha grâu de toamnă, 2,70 t porumb pentru boabe și 1,35 t/ha semințe de floarea-soarelui.

Este cert faptul că starea actuală a solurilor și modul lor de folosire, caracterizat de exploatarea extensivă a solurilor fără reglarea bilanțului humusului și elementelor nutritive, nerespectarea sau lipsa asolamentelor, cu predominarea culturilor prășitoare, precum și lipsa totală a măsurilor de conservare și protejare, duc la degradarea continuă a solurilor valorificate. Această situație nu poate asigura nici dezvoltarea durabilă a agriculturii, nici măcar o rentabilitate acceptabilă [189].

Sporirea nivelului de producție agricolă, prin îmbunătățirea managementului MOS și astfel, păstrarea pe termen lung a fertilității solurilor, are la bază implementarea unui sistem de agricultură conservativă [25; 46; 108; 110], precum și aplicarea măsurilor specifice antierozionale [122]. Totodată, în scopul atenuării consecințelor încălzirii globale asupra sectorului agrar al țării, precum și reducerii dependenței de sursele energetice neregenerabile și derivatelor lor, devine stringentă adoptarea unei noi strategii de intensificare a agriculturii bazate pe respectarea principiilor agroecologice [21; 22; 24; 30].

În primul rând, implementarea atât a tehnologiilor conservative cât și a practicilor ecologice în agricultură necesită modernizarea structurii suprafețelor de însămânțare prin reducerea ponderii suprafețelor sub culturile prășitoare, și majorarea concomitentă a suprafețelor sub culturile semănate des, în special sub culturile leguminoase anuale și perene ca culturi de bază și culturi succesive pentru îngrășământ verde [21]. Cercetările efectuate de B. Boincean și D. Dent [27] au demonstrat că includerea culturilor leguminoase perene în asolament sporește

acumularea MOS pe tot profilul, dar, mai ales, în straturile mai adânci ale solului – ceea ce face culturile mai reziliente la secetă.

T. Leah și V. Cerbari [111] au demonstrat eficiența utilizării îngrășămintelor verzi în asolament în scopul remedierii și păstrării pe termen lung a stării de calitate a cernoziomurilor arabile. Ei au raportat o majorare a conținutului de humus cu 0,20% și îmbunătățirea proprietăților fizice ale solului la încorporarea în sol prin discuire a masei de mazăriche în calitate de îngrășământ verde, comparativ cu varianta martor. Aceasta a asigurat un spor de recoltă cu 2,4 t/ha de grâu, iar încorporarea unei recolte duble de masă verde de mazăriche a asigurat un spor de 3,2 t/ha [111]. Totodată, V. Cerbari [45] menționa că această metodă de refacere a stării de calitate a solurilor poate fi realizată pe cca 10% de terenuri arabile în condiții de restabilire în țară a sectorului zootehnic.

M. Wiesmeier și coautorii [205], în baza rezultatelor cercetărilor efectuate în Republica Moldova, considerau că acumularea de MOS, la folosirea mazărichii ca îngrășământ verde, s-a produs datorită îmbunătățirii substanțiale a structurii solului, care a dus la rezistența sporită la eroziune, creșterea masei radulare a culturilor de bază și, probabil, creșterea capacității de infiltrare și de reținere a apei. În baza rezultatelor cercetărilor, autorii au ajuns la concluzia că mazărichea poate fi utilizată cu succes în calitate de îngrășământ verde pentru remedierea solurilor degradate de stepă, controlul eroziunii solului și sechestrarea C atmosferic în solurile arabile din Moldova [205].

Cercetările efectuate de O. Cojocaru și V. Cerbari [52] pe cernoziomurile din Centrul și Sudul Moldovei, au demonstrat că încorporarea în sol a amestecului de leguminoase și ierburi perene (2 recolte de lucerna+raigras+mazăriche) a asigurat sintetizarea a cca 5,5 t/ha humus sau 1,1 t/ha/an, iar conținutul de materie organică în stratul arabil 0-35 cm de sol a crescut în mediu cu cca 0,20% sau 0,04% anual.

V. Cerbari și coautorii [47] menționa că prin majorarea până la 15-20% a cotei terenurilor pentru cultivarea ierburilor perene, concomitent cu restabilirea sectorului zootehnic, va fi posibilă și utilizarea gunoiului de grajd la remedierea stării de calitate a cernoziomurilor. T. Leah [104] a afirmat că un coraport rațional dintre sectorul culturilor de câmp și cel zootehnic, va asigura minim 10 mln. tone de gunoi de grajd necesare pentru stabilizarea bilanțului humusului în sol și conservarea fertilității lui.

B. Boincean [21] consideră că integrarea ramurilor de fitotehnie și zootehnie este o modalitate sigură de reducere a dependenței gospodăriilor agricole de folosirea inputurilor în formă de îngrășămintă sintetice. În același timp, aceasta va asigura respectarea de către fermieri a principiilor de bază ale dezvoltării durabile a agriculturii [28].

### **1.3. Monitorizarea calității solurilor**

Monitorizarea stării calității solurilor are ca scop urmărirea în dinamică a modificărilor în calitatea solurilor, evidențierea zonelor vulnerabile și prevenirea diferitor tendințe a stării solurilor, inclusiv a proceselor de degradare, precum și elaborarea planurilor științific argumentate de aplicare a îngrășămintelor și amendamentelor, optimizarea nutriției minerale cu azot în perioada de vegetație a plantelor de cultură.

#### ***1.3.1. Variabilitatea spațială a fertilității solului***

Evaluarea impactului managementului agricol asupra stării de calitate și sănătate a solului poate fi efectuată prin monitorizarea cu precizie a proprietăților fizice, chimice și biologice ale acestuia, fiind folosite tehnici cu sensibilitate și eficiență înaltă, care să identifice modificări esențiale a stării de calitate [193].

Actualmente, practicile agricole tradiționale sunt înlocuite cu tehnicile agriculturii de precizie, care gestionează variabilitatea în cadrul câmpului prin aplicarea inputurilor agronomice (îngrășăminte, pesticide, erbicide) în locul potrivit, la momentul potrivit și în cantitatea potrivită [78]. Dezvoltarea în continuare a agriculturii de precizie, în care alocarea îngrășămintelor este corelată cu nevoile reale ale plantelor și optimizată pentru a reduce costurile și impactul asupra mediului, necesită o cunoaștere detaliată a variațiilor proprietăților solului în cadrul unor câmpuri individuale, iar aceasta va asigura fermierului avantaje atât economice cât și de mediu ale tehnologiei, datorită evitării aplicărilor excesive de produse de sinteză chimică [112; 168].

De obicei, variabilitatea proprietăților solului se datorează varietății naturale (moștenite) a factorilor de solificare, roca parentală, climat, topografie, vegetație și timp. Varietatea cauzată de factorii antropici se datorează practicilor de management agricol precum: cultivația între rânduri și aplicarea îngrășămintelor, erbicidelor și altor amelioratori ai solului. Aceasta influențează heterogenitatea proprietăților solului [190].

Deseori, o variabilitate spațială mare se evidențiază și pe câmpuri agricole individuale. Gestionarea acestor câmpuri necesită estimarea și cartografierea detaliată a indicatorilor de fertilitate a solului pentru implementarea unui management durabil al solului specific locației. Aceasta, la rândul său, implică colectarea și analiza unui număr mare de probe pentru a cuprinde această variabilitate spațială și de a estima în mod adecvat proprietățile solului [18; 41; 147].

#### ***1.3.2. Avantajele și dezavantajele metodelor clasice***

În Republica Moldova, cercetările de studiere a proprietăților solurilor se efectuează în baza analizelor chimice și fizice de laborator după metode clasice, conform standardelor de profil.

Determinarea *azotului total din sol* este efectuată prin metoda Kjeldahl. Principiul metodei constă în declanșarea procesului de mineralizare a MOS prin tratarea termică cu acidul sulfuric concentrat în prezența catalizatorului și conform cantității de acid sulfuric folosit se calculează cantitatea de azot în sol, în corespundere cu SM SR ISO 11261:2012 [51; 149; 209; 212, c.58].

Determinarea *fosforului și potasiului mobil* este efectuată prin metoda Macighin și constă în extragerea compușilor de fosfor și potasiu mobil din sol cu soluția de carbonat de amoniu. Fosforul se determină la fotocolorimetru, în corespundere cu GOST 26205 – 91, iar potasiul mobil la fotometru cu flacără în corespundere cu GOST 26427-85 [149].

*Reacția solului*, exprimată prin valoarea pH, poate fi determinată prin măsurarea potențiometrică a concentrației ionilor de hidrogen în soluția suspensiei de sol, efectuată cu apă distilată (în raport 1:5) sau cu soluție de clorură de calciu 0,01 mol/L (în raport 1:2,5) [149; 212, c.214]. De obicei, valorile  $pH_{CaCl_2}$  sunt cu 0,5 unități mai mici de valorile  $pH_{H_2O}$  [212, c.214; 213]. Metoda potențiometrică de determinare a pH-ului e bazată pe măsurarea forței electromotoare, care apare la introducerea în suspensia de sol în extractul apos sau de săruri a 2 electrozi diferiți [169].

Determinarea *texturii solului* este efectuată prin metoda pipetei după pregătirea solului prin dispersare cu soluție de pirofosfat de Na. Această metodă este în general utilizată pentru a separa particulele cu diametre echivalente în fracțiuni precum praf și argilă. Corespunzător unui diametru selectat, o alicotă a suspensiei eșantionului de reglare este preluată dintr-o adâncime dată la un moment dat și utilizată pentru calcule pe baza masei [175; 210]. După calculul procentului de nisip, praf și argilă, clasa texturală este determinată folosind triunghiul textural, conform clasificărilor internaționale [220].

Determinarea texturii solului se poate face și în teren, pe cale organoleptică [170]. Printre aceste metode sunt: măcinarea uscată (metoda "oglină"), măcinarea umedă, metoda umedă pentru determinarea compoziției mecanice a solului în câmp după N.A. Kacinsky și metoda cuțitului [51; 210; 216].

Determinarea *humusului* este efectuată după metoda Tiurin, ce constă în determinarea indirectă a cantității totale de humus în sol prin evaluarea cantității de carbon, ce rezultă la oxidarea carbonului organic din componența humusului cu soluție de 0,4 N de bicromat de potasiu ( $K_2Cr_2O_7$ ) și acid sulfuric. Este o metodă simplă, care asigură rezultate destul de precise. Metoda este recomandată, în special, pentru solurile ce conțin carbonați [51; 209; 212]. Conform literaturii de specialitate [37, p.217; 118; 143; 166; 209], humusul conține 58% C, iar transformarea conținutului de carbon organic în humus se face prin înmulțirea acestuia cu factorul 1,724, care reprezintă raportul mediu dintre masa humusului și conținutul mediu de

carbon în humus (100:58% C = 1,724) [31, p.33; 212, c.56]. Cu toate că majoritatea savanților își prezintă rezultatele cercetărilor pedologice, folosind ca indicator al fertilității solului – humusul în sol, К.К. Гедройц, citat de Л. Воробьева [212, c.57], considera că ar fi mai corect să fie raportată nu o cantitate fictivă de humus, ci cantitatea de carbon organic din sol ca rezultat al analizei solului.

*Determinarea carbonaților* se efectuează prin metoda gazovolumetrică, ce constă în determinarea volumului de CO<sub>2</sub> degajat în procesul descompunerii carbonaților cu acid clorhidric de 10% cu ajutorul calcimetrului Scheibler [51].

Metodele clasice de analiză a solului sunt metode sigure, testate ani la rând, și care dau rezultate de încredere, cu erori analitice minore. Cu toate acestea, aplicabilitatea și potențialul acestora sunt limitate de majorarea resursele financiare și umane necesare în realizarea lor.

### ***1.3.3. Potențialul spectroscopiei de absorbție în regiunea infraroșu apropiat (NIRS) ca metodă alternativă nedistructivă***

Actualmente, modernizarea tehnologică în domeniul pedologice pune la dispoziția cercetătorilor, și publicului cointeresat, metode alternative și instrumente noi în analiza proprietăților fizice, hidrofizice, chimice și biologice ale solului [153].

Implementarea cu succes a unui management durabil și, în special specific locației, necesită informații detaliate despre proprietățile solului, care determină calitatea acestuia și producția culturilor la nivel de câmp și gospodărie [112; 124; 190; 203]. Analiza solului prin metode clasice sunt consumatoare de timp, spațiu și resurse de laborator [80; 168; 190]. Și nu în ultimul rând, atât prelevarea probelor de sol, cât și analizele chimice prin metode clasice a tuturor probelor implică costuri sporite, care limitează acumularea datelor detaliate a heterogenității solului la nivel de câmp și crearea hărților de sol cu rezoluție fină [147; 190; 201].

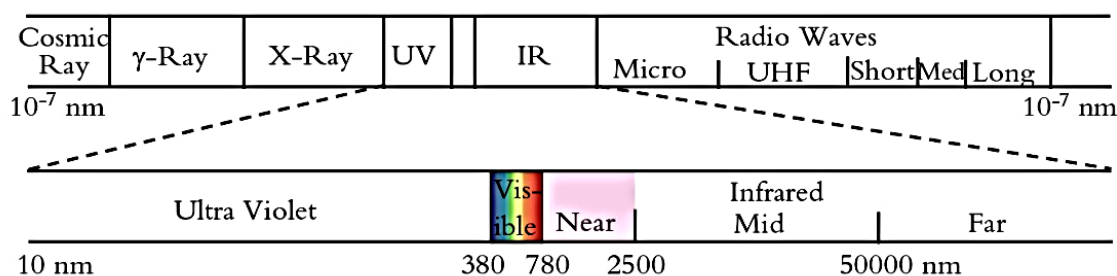
Este necesară o metodă mai rapidă și mai ieftină pentru caracterizarea sigură și cu precizie a variabilității în câmp, în special, pentru monitorizarea pe termen lung a proprietăților solului [80; 112; 120; 124; 168; 172]. Aceasta poate fi efectuată numai prin tehnici eficiente și simple care permit o prelevare densă în câmp și analiza unui număr mare a probelor de sol la costuri mai mici decât în cazul analizelor convenționale/clasice de laborator [125; 203].

Spectroscopia de absorbție în regiunea infraroșu apropiat (NIRS) este o tehnică promițătoare, care poate face față cerințelor solicitate [3; 80; 112]. Potențialul aplicării NIRS în domeniul fertilității solului câștigă un interes din ce în ce mai mare în industriile agricole la nivel mondial [42; 190]. Analiza solului prin metoda NIRS este considerată o alternativă a analizei clasice a solului, deoarece necesită o pregătire minimă a probei, este rapidă, rentabilă, non-distructivă, nu este nevoie de substanțe chimice periculoase și mai mulți constituenți/parametri pot fi preziși simultan [12; 35; 89; 128; 162; 177; 190; 194; 201].



Avantajele enumerate mai sus sunt deosebit de importante atunci când este necesar de efectuat un număr mai mare de analize [13; 16]. Practicile obișnuite de a combina câteva subprobe pentru formarea unei probe comune în câmp, nu dau un rezultat de încredere, iar efectuarea analizei tuturor probelor necesită mult timp și nu este viabilă din punct de vedere economic. Cartografierea variabilității spațiale a fertilității solului într-un câmp ar permite evaluarea și gestionarea sau tratarea ulterioară a zonelor mai mici dintr-un câmp. Acest lucru poate contribui la utilizarea rațională a resurselor gospodăriei, în special la aplicarea îngrășămintelor [124; 190].

Tehnica analitică NIRS implică măsurarea reflectanței difuze în regiunea infraroșu apropiat (NIR) a spectrului electromagnetic (figura 1.6), definită ca lungimi de undă cuprinse între 780 și 2500 nm, și corelarea acestora cu proprietățile chimice și fizice ale solului [78; 200].



**Fig. 1.6. Spectrul electromagnetic [200]**

Principiul metodei NIRS se bazează pe absorbția selectivă în regiunea NIR datorită legăturilor chimice din probă, iar intensitatea absorbției este legată de compoziția chimică a probei [191]. Spectrele reflectanței difuze ale solului rezultă din îndoirea, răsucirea, întinderea sau separarea diferitor legături chimice (de exemplu, C–H, O–H, N–H) sub radiația din infraroșu apropiat [41]. Astfel, absorbția în regiunea NIR a spectrului electromagnetic poate fi corelată cu proprietățile solului datorită absorbției de către moleculele legate de materia organică a solului, apă și minerale argiloase [172; 203]. Combinația liniară a mai multor caracteristici de absorbție reprezintă concentrația unui anumit constituent [16].

Totodată, proprietățile solului sunt precise datorită interacțiunii directe a acestora cu legăturile de absorbție specifice, sau a corelării indirecte cu proprietățile solului care sunt direct legate de spectrele solului. În acest context, carbonul organic al solului, azotul, raportul C/N și textura solului (procentul de argilă, nisip și praf) au efecte directe asupra reflectanței [13; 16; 208].

S. Bowers și R. Hanks (1965), citați de R. Dalal și R. Henry [56], au constatat că umiditatea solului poate fi determinată cu precizie din benzile de reflexie la 1400, 1900 și 2200 nm lungimi de undă. De asemenea, ei au descoperit că reflectarea energiei radiante din sol este

afectată nu doar de umiditate, dar și de conținutul materiei organice și dimensiunea particulelor de sol. Potrivit lui J. Wetterlind [202], absorbția din regiunea NIR de către mineralele argiloase este în mare parte legată de apa absorbită și structural legată de legăturile chimice Mg-, Al- și Fe-OH în rețeaua cristalină minerală. Carbonații au câteva benzi de absorbție în regiunea NIR, însă cea mai puternică este aproape de 2300 nm. Materia organică din sol are benzi de absorbție în regiunea NIR legate de întinderea și îndoirea grupărilor NH, CH și CO [202].

Analiza spectrală include câteva etape de lucru, și anume: pregătirea probelor de sol, achiziția spectrală, transformarea datelor spectrale și crearea unui model statistic de calibrare corespunzător, iar fiecare pas poate afecta precizia modelului pentru fiecare indicator individual [13].

Datele spectrale NIR nu pot fi interpretate în mod direct. Analiza spectrală cantitativă a solului folosind metoda NIRS necesită tehnici sofisticate de chemometrie, adică o analiză statistică multivariabilă, pentru a modela relația dintre proprietățile solului și datele spectrale a acestuia. Diverse metode sunt folosite pentru a lega spectrele solului cu caracteristicile solului [41; 194].

**Pre-procesarea.** Efectele dispersiei și suprapunerii vârfurilor de absorbție pot afecta corelația dintre concentrația unui constituent și energia reflectată [191]. De aceea, spectrele trebuie să fie pre-procesate, adică transformate, înainte de calibrare pentru a elimina sau reduce efectele care nu sunt legate de absorbția chimică a luminii [168].

Tehnicile de pre-procesare spectrală sunt utilizate pentru transformarea spectrelor solului, eliminarea zgomotului cauzat de dispersia luminii, amplificarea semnalelor slabe, minimizarea interferențelor cauzate de variația distribuției dimensiunii particulelor și extragerea datelor utile pentru modelele de predicție. Astfel, pre-procesarea poate fi efectuată prin diverse metode și anume: netezirea, normalizarea, corectarea dispersiei, eliminarea continuumului și algoritmi derivați [13; 134]. Cel mai frecvent sunt utilizate corecția multiplicativă a dispersiei (MSC), variația normală standard (SNV), variația normală standard și scăderea tendinței (SNVD) și derivatele de gradul I sau II [134; 168; 172]. A. Rinnan și coautorii (2009), citați de S. Nawar et al. [134], au ajuns la concluzia că, metoda optimă de pre-procesare pentru un set de date spectrale într-un model de calibrare este transformarea care oferă cea mai bună performanță de regresie după o validare riguroasă și vastă pentru toate variațiile posibile ale datelor. După pre-tratare, sunt implementate instrumentele statistice relevante pentru analiza și interpretarea datele spectrale [41].

Crearea modelului de predicție după metoda NIRS se efectuează în două etape: (1) *etapa de calibrare*, în care este elaborată ecuația de predicție și (2) *etapa de validare*, în care ecuația de predicție este validată, pentru a fi aplicată ulterior pe probele necunoscute [16].

Succesul acestor etape este determinat de selectarea corespunzătoare a seturilor de probe caracteristice fiecărei etape. M. Chodak [49], citat de M. Ilușca [86], menționa că pentru reușita calibrării este important ca setul de calibrare să includă variația spectrală a întregului set de date. Variația observată în valorile măsurate ale probele din setul de calibrare oferă informații care sunt utilizate pentru construirea modelului.

Totodată, pentru modelarea spectroscopică cu o predicție reușită trebuie să se asigure un număr suficient de probe, care să includă întreaga variație spațială a proprietăților solului la nivel de câmp sau gospodărie [165]. Potrivit cercetărilor efectuate de Kuang și Mouazen [94], folosirea a cca 50 probe de sol pentru elaborarea unor modele adecvate de calibrare pentru carbon organic și azot total, la nivel de gospodărie, va asigura erori de predicție mai mici, în comparație cu modelele cu un număr mai mic de probe.

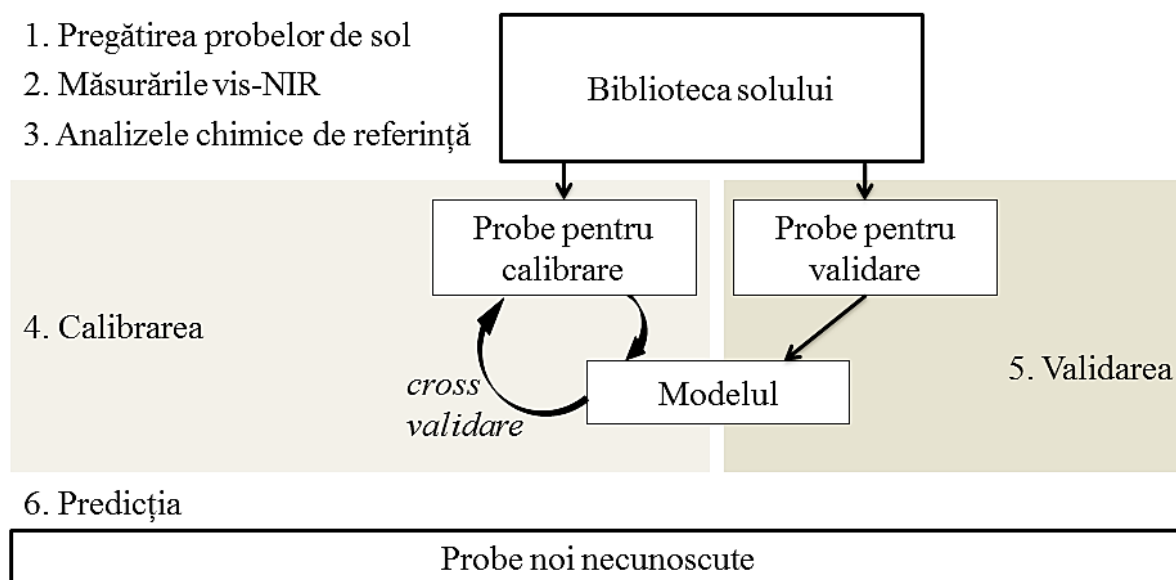
Spectrele care diferă semnificativ de spectrul mediu trebuie excluse din setul de calibrare ca valori aberante (*outliers*) [49]. L. Sorensen și S. Dalsgaard [168] considerau că prezența acestora poate fi cauzată de însăși datele spectrale NIR (*X*-valori aberante) sau erorile în datele de referință obținute prin metode clasice (*Y*-valori aberante).

**Modelul de regresie sau calibrare.** Procedura de calibrare se bazează pe elaborarea unei ecuații de regresie între spectrele de absorbție și componentele sau caracteristicile de interes. Tehnicile utilizate în acest scop sunt regresia liniară multiplă (MLR), algoritmi multivariabili, precum PCR și PLSR, sau rețelele neuronale artificiale (ANM) [18; 48; 49; 112; 128; 168; 172; 194]. Cea mai frecvent folosită tehnică de calibrare și predicție spectrală este *regresia celor mai mici pătrate parțiale* (PLSR). După R.A. Viscarra Rossel și coautorii [194], datorită corelației dintre spectre și sol, vectorii spectrali rezultați sunt direct legați de parametrii solului. În algoritmul PLSR, modelul de regresie liniară este creat în baza întregului spectru, cu concentrarea informațiilor din spectre în variabile latente, optimizate pentru a asigura o corelație reușită cu proprietatea țintă ce trebuie determinată [69].

**Validarea.** Ecuația de regresie elaborată în etapa de calibrare trebuie validată pe un set de validare, format din probe prelevate și analizate independent de setul de calibrare, pentru estimarea performanței de predicție a procedurii de calibrare [168; 202]. La etapa validării, are loc regresia valorilor prezise în baza NIRS în raport cu valorile de referință măsurate prin analize chimice standard [49], iar acest proces trebuie să fie continuu pentru a asigura o performanță optimă constantă a calibrărilor și respectarea preciziei [168].

Întreg procesul de creare a modelelor de predicție este prezentat schematic în figura 1.7. Înainte de validarea propriu-zisă a modelului de predicție folosind un set de validare independent, se aplică o validare internă în procesul calibrării, numită *validare-încrucișată* sau *cross-validare*. Prin aceasta procedură are loc identificarea numărului optim de componente (de

exemplu, PLSR), selectarea lungimii de undă potrivită sau pentru ajustarea și reglarea modelului de calibrare. Procedura de validare-încrucișată constă în ținerea în mod sistematic a uneia sau mai multor probe în afara calibrării și predicția ulterioară a acestora [202].



**Fig. 1.7. Procedura de elaborare a modelelor de predicție [202]**

Calitatea ecuației de calibrare/predicție elaborată este evaluată în etapa de validare. În scopul evaluării performanței calibrării și validării, va fi generat un grafic al unei linii drepte de regresie, care ajustează cel mai bine datele respective, precum și un tabel cu statistici, precum: corelația, bias-ul, panta (*slope*),  $R^2$ , RMSE, SEP etc.

Există câteva măsurări numerice, care descriu performanța predicțiilor. De obicei, criteriile de calitate includ *coeficientul de determinare* ( $R^2$ ) și *eroarea standard de predicție* (SEP – standard error of prediction) [49]. Alți parametri de calitate utilizați și recomandați sunt *eroarea medie pătrată de predicție* (RMSE – root mean square error of prediction), *bias-ul* (sau eroarea medie) și *raportul dintre performanță și abatere* (RPD – ratio of performance to deviation) [202]. Cea mai bună calibrare este cea cu cea mai mică eroare medie pătrată de predicție (RMSEP), cea mai mică eroare standard de predicție (SEP), cea mai mică abatere standard (SD) și cel mai mare coeficient de determinare ( $R^2$ ) [78].

Introducerea metodei NIRS are ca rezultat economii considerabile în utilizarea îngrășămintelor, precum și reducerea riscului de poluare a mediului. Dezavantajele metodei NIRS sunt necesitatea unui vast set de calibrare și repetarea calibrărilor în diverse locații. Avantajele sunt identificarea zonelor problematice în câmp și îmbunătățirea rentabilității operațiunilor prin agricultura de precizie [190].

#### **1.4. Concluzii la capitolul 1**

1. Problema extinderii proceselor de degradare a solului este acutizată de managementul inadecvat al terenurilor bazat pe un model industrial de intensificare a producției agricole, care nu asigură o dezvoltare durabilă [23; 30; 189].

2. Determinarea indicatorilor de bază a fertilității solului contribuie la stabilirea sau elaborarea celor mai eficiente sisteme de management a solului, în special a sistemelor de fertilizare rațională și ajustate la condițiile concrete ale solurilor și plantelor cultivate pentru sporirea cantității și calității producției.

4. Implementarea cu succes a agriculturii de precizie, în care alocarea inputurilor agronomice (îngrășăminte, pesticide, erbicide) este optimizată pentru a reduce costurile și impactul asupra mediului, necesită o cunoaștere și cartografiere detaliată a variațiilor proprietăților solului în cadrul unor câmpuri individuale, pentru a obține avantajele atât economice cât și de mediu ale tehnologiei [124; 168].

5. Metodele clasice de analiză a solului sunt consumatoare de timp, spațiu și resurse de laborator [80; 168; 190], iar costurile sporite la efectuarea acestor analize limitează posibilitatea de a obține o informație detaliată privind variabilitatea solului la nivel de câmp și crearea hărților de sol cu rezoluție fină [190; 201].

6. Analiza solului prin metoda spectroscopiei de reflexie în regiunea infraroșu apropiat (NIRS) a spectrului electromagnetic este considerată o alternativă a analizei clasice a solului, așa cum necesită o pregătire minimă a probelor, este rapidă, rentabilă, non-distructivă, nu este nevoie de substanțe chimice periculoase și mai mulți indicatori ai solului pot fi preziși simultan [89; 128; 162; 177; 190; 194; 201].

7. Adoptarea și implementarea unui management durabil al solului, cu potențial sporit de sechestrare a carbonului organic în sol, va contribui atât la conservarea solului cât și la atenuarea efectelor schimbărilor climatice [70; 90; 101; 141].

## 2. CONDIȚIILE ȘI METODELE DE CERCETARE

### 2.1. Condițiile meteorologice

Datele privind cantitatea de precipitații atmosferice și temperatura aerului au fost preluate de la stația meteorologică a Instituției Publice Institutul de Cercetări pentru Culturile de Câmp „Selecția” din mun. Bălți (figura 2.1 și figura 2.2).

*Anul agricol 2015-2016* poate fi considerat un an secetos, fiind înregistrată o insuficiență de umiditate, care a constituit -47,5 mm comparativ cu media multianuală (tab. 2.1). Cele mai secetoase anotimpuri au fost cele din primăvara anului 2016 (-10,3 mm) și din vară aceluiași an (-45,3 mm).

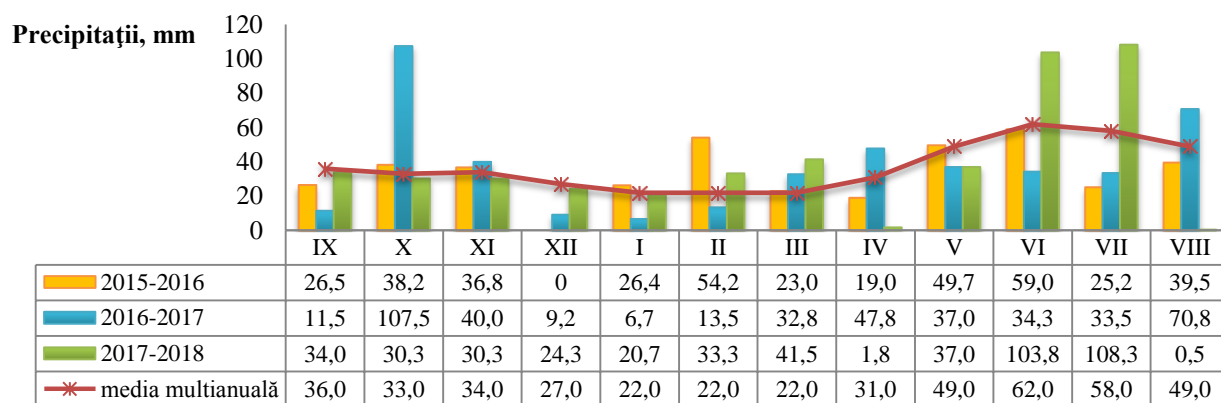
**Tabelul 2.1. Suma precipitațiilor căzute în perioada anilor agricoli 2016-2018, conform stației meteorologice a IP ICCC „Selecția”**

Suma precipitațiilor	Anii			Media multianuală
	2016	2017	2018	
	397,5	444,6	465,5	445,0

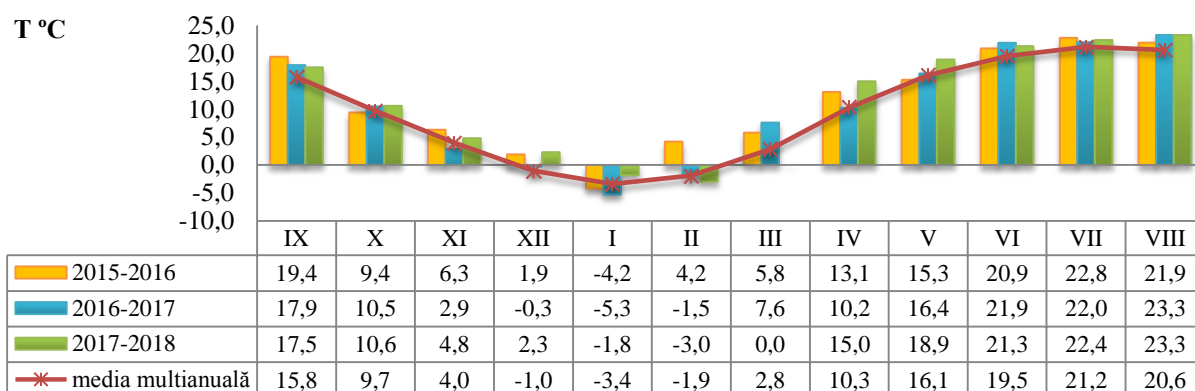
Temperatura medie a aerului a constituit +11,4°C (figura 2.2.), cu +1,9°C mai mare comparativ ca media multianuală (+9,5°C). Sezonul de iarnă 2015-2016 a fost scurt și foarte cald, cu o temperatură medie a aerului de +0,6°C (cu cca 3°C mai ridicată față de normă). Vreme anomal de caldă s-a semnalat în luna februarie a anului 2016, temperatura lunară fiind cu 6-7°C mai ridicată față de normă. Cantitatea de precipitații pe parcursul sezonului a constituit 80,6 mm, cu lipsă de precipitații în luna decembrie. Primăvara a fost caldă și cu precipitații. Cantitatea de precipitații căzute a constituit cca 92 mm, cele mai multe precipitații au căzut în luna mai, depășind media multianuală. Foarte caldă a fost luna aprilie (+3°C față de valorile normei), fiind și cea mai secetoasă lună.

Sezonul de vară în anul 2016 a fost foarte cald și cu deficit semnificativ de precipitații, în special în lunile iulie (-32,8 mm) și august (-9,5 mm). Cantitatea totală de precipitații a constituit 123,7 mm, cu o repartizare neuniformă pe parcursul sezonului (figura 2.1). Cea mai mare cantitate a acestora s-a semnalat în prima și a doua decadă a lunii iunie, urmând o perioadă cu deficit de precipitații până în a treia decadă a lunii august. Temperatura medie a aerului pentru acest sezon a fost cu 1,5-2,5°C mai ridicată față de normă. Vreme anomal de caldă s-a semnalat și în decada a treia a lunii iunie (cu cca 6°C mai ridicată față de normă), iar cantitatea de precipitații a fost foarte mică.

*Anul agricol 2016-2017* a fost destul de călduros, depășind cu 1°C media multianuală. Suma precipitațiilor în mediu a alcătuit 444,6 mm (tab. 2.1), fiind cu doar -0,4 mm mai puțin decât suma mediei multianuale, însă cu o repartizare neuniformă pe parcursul anului (figura 2.1).



**Fig. 2.1. Cantitatea de precipitații căzute în perioada anilor 2016-2018 conform stației meteorologice a IP ICC „Selecția”**



**Fig. 2.2. Temperatura aerului în perioada anilor 2016-2018 conform stației meteorologice a IP ICC „Selecția”**

Toamna anului 2016 s-a caracterizat printr-o distribuire neuniformă a regimului termic și precipitațiilor. Temperatura medie a aerului pe parcursul sezonului a constituit +10,4°C (figura 2.2), fiind în limitele normei. Cantitatea de precipitații căzute în sezon a depășit indicii mediilor multianuale cu 56,0 mm, ceea ce a permis de a obține rezerve suficiente de apă accesibilă pentru plante. Vreme foarte caldă s-a înregistrat în prima decadă a lunii septembrie, temperatura depășind norma cu peste 6°C. Vreme rece s-a înregistrat în luna octombrie, dar și cele mai multe precipitații au căzut, constituind 107,5 mm (cu 74,5 mm mai mult față de media multianuală). Vreme anomal de rece s-a înregistrat în decada a treia a lunii octombrie, temperatura medie decadică a aerului a fost cu 4°C sub valorile normei.

În perioada de primăvară a anului 2017, suma precipitațiilor a constituit 117,6 mm. O cantitate mai mare de precipitații s-a semnalat în luna aprilie (47,8 mm). În luna mai s-au înregistrat 37,0 mm precipitații, cu 12 mm mai puțin față de media multianuală.

În perioada de vară (2017) au căzut doar 138,6 mm precipitații (cu 30,4 mm mai puțin față de media multianuală), cele mai secetoase fiind lunile iunie și iulie. Deși, în medie în luna august s-a înregistrat o cantitatea mai mare de precipitații (+21,8 mm față de media multianuală),

vreme caniculară cu deficit semnificativ de precipitații s-a semnalat începând cu a 2-a decadă a lunii august și până în a 3-a decadă a lunii septembrie, ceea ce a dus la apariția secetei puternice.

În *anul agricol 2017-2018* s-a înregistrat o cantitate mai mare de precipitații căzute comparativ cu media multianuală, care a constituit 20,5 mm. Deși, acest an agricol s-a caracterizat printr-o perioadă cu deficit de precipitații în toamna anului 2017 (-8,5 mm) și o perioadă secetoasă în primăvara anului 2018 (-21,8 mm). Temperatura medie a fost cu +1,5°C mai ridicată față de media multianuală. Vreme anomal de caldă s-a semnalat în decada a 2-a a lunii septembrie 2017 (+20,2°C), depășind norma cu 4-5°C. Vreme anomal de caldă s-a semnalat și în luna decembrie 2017, când temperatura medie lunară a aerului a depășit norma cu 3,3°C.

Vreme anomal de rece s-a stabilit în luna martie a anului 2018, temperatura aerului oscilând între -4...+3°C. Deficit semnificativ de precipitații s-a semnalat în luna aprilie, au căzut doar 1,8 mm precipitații. Perioada secetoasă a durat până în a 2-a decadă a lunii iunie, deși, în a 2-a decadă a lunii mai au căzut 36,3 mm precipitații. Deficitul semnificativ de precipitații s-a menținut și în lunile august și octombrie.

Toți anii de studiu au avut o creștere a temperaturii aerului, care a constituit în mediu 1,4°C comparativ cu media multianuală.

## **2.2. Arealul studiat și prelevarea profilelor de sol**

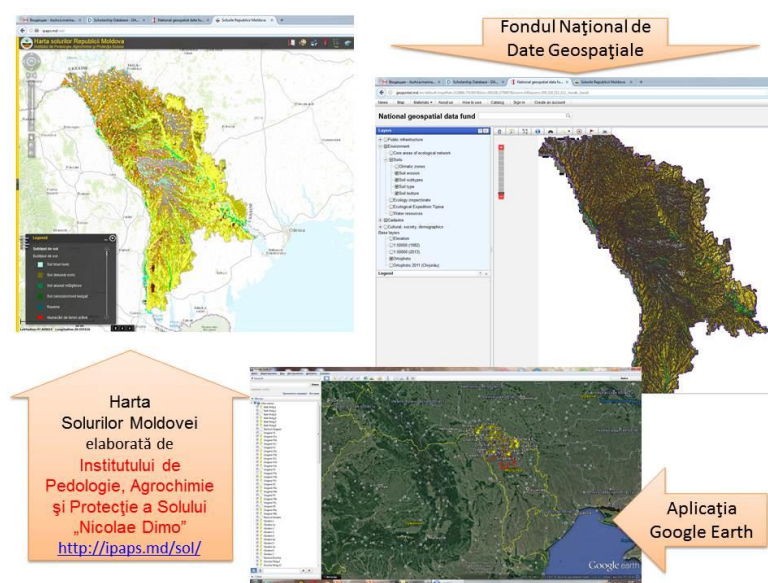
Cercetările științifice au fost efectuate pe terenurile agricole a 10 raioane din zona de Nord a Republicii Moldova, și anume: Briceni, Ocnița, Dondușeni, Edineț, Drochia, Glodeni, Rîșcani, Florești, Soroca, Sîngerei, precum și pe câmpurile experimentale ale Institutului de Cercetări pentru Culturile de Câmp „Selecția” din mun. Bălți.

În partea de nord a republicii condițiile naturale reprezintă aripa vestică a zonei de silvostepă, care cuprinde Podișul Moldovei de Nord, Dealurile Prutului Mijlociu și Prenistrene, cu altitudini de până la 350 m. Spectrul zonal al învelișului de sol include solurile: cenușii tipice, cenușii molice, cernoziomuri argiloiluviale, cernoziomuri levigate, cernoziomuri tipice moderat humifere, cernoziomuri obișnuite și cernoziomuri carbonatice. Solurile cenușii tipice și molice s-au format sub coronamentul pădurilor de gorunețe, stejărișuri, cărpineturi, pe rocile sarmațiene argiloase, lutoase și luto-nisipoase, iar cernoziomurile s-au format în condiții de stepă sub asociații vegetale ierboase cu păiuș și negară pe terenurile cu altitudini mai joase [44; 188].

În scopul identificării celor mai reprezentative locații pentru prelevarea profilelor de sol a fost efectuată analiza diversității pedologice a solurilor din aceste raioane prin utilizarea hărților de sol existente (figura 2.3):



1. Harta Solurilor Moldovei elaborată în cadrul Institutului de Pedologie, Agrochimie și Protecție a Solului „Nicolae Dimo” și disponibilă online pe pagina web: <http://ipaps.md/sol/>;
2. Harta Solurilor Moldovei disponibilă pe pagina web a Fondului Național de Date Geospațiale (subdiviziune a Agenției Relații Funciare și Cadastru), unde se acumulează materialele topografo-geodezice și cartografice de pe întreg teritoriul țării, care prezintă interes tehnic, științific, economic, istoric, social și cultural.
3. Aplicația Google Earth, pentru obținerea coordonatelor locațiilor.



**Fig. 2.3. Hărțile de sol utilizate în identificarea locațiilor pentru prelevarea profilelor de sol**

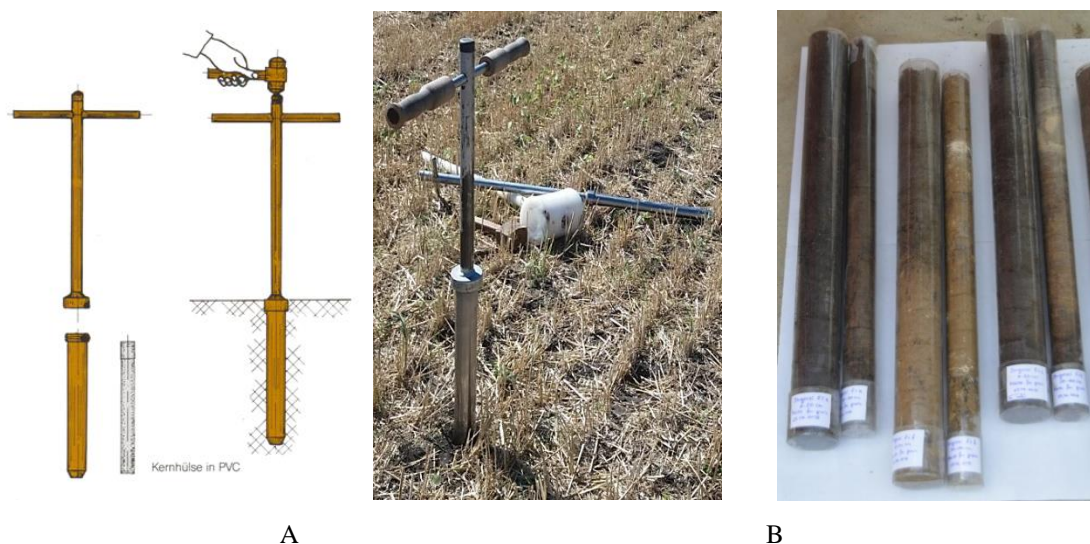
În urma studierii celor mai caracteristice subtipuri ale solurilor cenușii și cernoziomurilor din fiecare raion, au fost selectate 84 puncte pentru prelevarea profilelor de sol. Coordonatele locațiilor pentru prelevarea acestor profile au fost determinate prin GPS (Anexa 2) și pot servi în calitate de date inițiale pentru viitoarea monitorizare a stării fertilității solului în Moldova prin utilizarea tehnologiilor moderne ale agriculturii de precizie, care pot permite de a susține fermierii cu un bun sistem de management a unităților agricole.

De asemenea, 36 profile de sol au fost prelevate de pe câmpul Nr. 3 al experienței polifactoriale de lungă durată (Anexa 3) a Laboratorului de Tehnologii agricole și sisteme agrotehnice din cadrul IP ICCC „Selecția”, mun. Bălți. Cercetările efectuate în această experiență au ca scop evaluarea acțiunii și interacțiunii rotației culturilor, sistemelor de lucrare și fertilizare a solului, în scopul minimizării cheltuielilor de producere, menținerii și sporirii fertilității solului, precum și adaptării la schimbările climatice. Experiența polifactorială se deosebește prin cercetarea complexă a componentilor de bază a sistemului modern de agricultură. Schema experienței este prezentată în Anexa 3 (tabelul A 3.1). În experiență se studiază:

- I. Două scheme de alternare a culturilor: (1) *cu ierburi perene și leguminoase*: Orz de toamnă → Lucerna + raigras anul I de viață → Lucernă + raigras anul II de viață → Lucernă + raigras anul III de viață → Grâu de toamnă → Sfeclă de zahăr → Porumb la boabe; (2) *fără ierburi perene și leguminoase*: Mazăre la boabe → Grâu de toamnă → Floarea-soarelui → Porumb la masă verde → Grâu de toamnă → Sfeclă de zahăr → Porumb la boabe;
- II. Două sisteme de lucrare a solului: (1) îmbinarea arăturii și afânării solului; și (2) afânarea solului;
- III. Trei sisteme de fertilizare a solului: (a) fără îngrășămintele (martor absolut); (b) îngrășămintele organice; (c) îngrășămintele organice + minerale.

Experiența constă din 3 repetiții. Suprafața unei parcele – 264 m<sup>2</sup>. Suprafața totală a experienței – 8,7 ha. Concomitent cercetările se petrec în semănăturile permanente a grâului de toamnă, orzului de toamnă, sfecele pentru zahăr, florii soarelui și a porumbului pentru boabe pe fonduri analogice de lucrare și fertilizare a solului. În experiență se exclude folosirea substanțelor chimice în combaterea bolilor, dăunătorilor și buruienilor. Schema introducerii îngrășămintelor organice și minerale, cât și schema lucrării solului este prezentată în Anexa 3 (tabelele A3.2 și A3.3).

Profilele de sol au fost prelevate cu ajutorul unui burghiu (Humax, Martin Burch AG, Switzerland), care le extrage în tuburi de plastic [154], a câte 2 reprize la adâncimea de 0-50 cm și 50-100 cm de sol (figura 2.4).



**Fig. 2.4. Burghiu pentru prelevarea profilelor de sol**

De asemenea, în teren a fost studiată locația, topografia, cultura cultivată la momentul prelevării, cultura premergătoare, starea semănăturilor, iar imaginea terenurilor și a profilelor de sol a fost documentată cu aparatul digital.

Profilele de sol au fost transportate la Catedra de Nutriție a Plantelor din cadrul Universității Tehnice din München (Germania) pentru efectuarea analizelor de laborator în scopul determinării indicatorilor fertilității solului, folosind metoda Spectroscopiei de absorbție în regiunea infraroșu apropiat (*Near Infrared Reflectance Spectroscopy*), în continuare NIRS, precum și analizele chimice și fizice clasice standard în calitate de date de referință.

Procesul de prelucrare a profilelor de sol este prezentat în Anexa 4. Din orizonturile genetice a profilelor de sol au fost prelevate 554 probe de sol, care au fost uscate, cernute până la 2 mm și depozitate în recipiente de sticlă (Anexa 4), iar cca 40% (n=234) din numărul total de probe au fost măcinate până la obținerea unei pulbere omogene de 0,25 mm pentru analizele chimice de determinare a conținutului de carbon (C) total, C organic, carbonați și azot (N) total din sol.

### **2.3. Analiza spectroscopică de absorbție în regiunea infraroșu apropiat**

Pentru a obține o suprafață cu particule de dimensiuni diferite, probele de sol au fost bine amestecate înainte de analiza spectroscopică de absorbție în regiunea infraroșu apropiat (NIRS). Fiecare probă a fost turnată într-un vas Petri și plasată în celula cu sticlă de cuarț, iar lumina reflectată măsurată de spectrofotometrul 6500 NIR Systems (Anexa 5), echipat cu modul de transport vertical (Foss, NIRSystem, Silver Spring, MD, USA). Spectru mediu a fost format din 3 repetiții per probă. După fiecare probă de sol, vasul Petri a fost spălat cu acetonă.

Măsurările reflectanței s-au produs la intervalele 400-700 nm (lumină vizibilă) și 700-2500 nm (regiunea infraroșu apropiat) lungimi de undă, și 2 nm rezoluție spectrală de între punctele datelor colectate. Scanarea, achiziția și colectarea datelor spectrale a fost efectuată utilizând software-ul ISIScan©, spectrele Vis-NIR fiind obținute ca absorbantă ( $\log(1/\text{reflectanța})$ ) aparentă. Datele spectrale NIR au fost exportate, analizate și procesate cu software-ul Unscrambler®X 10.5 (CAMO Software AS). Unscrambler este un instrument lider în industrie pentru modelare, predicție și optimizare folosind analize statistice multivariabile și vizualizări interactive.

Spectrele rezultate din scanarea probelor de sol au fost procesate prin aplicarea unui set corespunzător de transformări, în scopul minimizării interferențelor datorate dimensiunii particulelor, reducerii efectelor dispersiei luminii, amplificării semnalelor slabe și reducerii zgomotului. Această transformare se aplică până la calibrarea modelului de predicție [85].

Estimările spectroscopice a probelor de sol au fost desfășurate în laboratorul Centrului de Științe Agricole Hans Eisenmann (*HEZ – Hans Eisenmann-Zentrum für Agrarwissenschaften Weihenstephan*), Școala de Științe ale Vieții din Universitatea Tehnică din München (Freising, Bavaria, Germania). Centrul HEZ reprezintă o cooperare de predare și cercetare între

Universitatea Tehnică din München, Universitatea de Științe Aplicate Weihenstephan-Triesdorf și Institutul de Stat Bavarez pentru Agricultură (LfL). Concentrarea spațială și tematică unică a celor trei instituții din campusul Weihenstephan oferă baza pentru gruparea competențelor în cercetarea de bază, departamentală și aplicată și, prin urmare, pentru cooperarea intensivă în educația și cercetarea științelor agricole.

**Analiza Componentei Principale.** În scopul selectării probelor pentru setul de calibrare, care trebuie să capteze cât mai mult posibil din variația setului de date, spectrele Vis-NIR au fost comprimate printr-o *analiză a componentelor principale* (PCA - principle component analysis) în cadrul comenzii „*Tasks → Analyze → PCA*” din software-ul Unscrambler®X 10.5., iar scorurile rezultate au fost cartografiate prin metode Kriging-lui punctual obișnuit. PCA este considerată o tehnică de comprimare a datelor, datorită faptului că reduce dimensionalitatea datelor la mai puține componente care descriu o mare parte a variației. Graficul scorurilor (punctelor) PCA arată amplasarea fiecărei probe de-a lungul primelor două componente principale. Prima componentă principală (PC1) reprezintă cea mai mare variație posibilă în datele analizate, iar PC-urile ulterioare reprezintă variații în proporții descrescătoare [195].

Probele pentru setul de validare au fost selectate în mod aleatoriu și diferă de cele utilizate pentru calibrare. *Ecuatia de predicție* a fost elaborată în baza setului de calibrare și a fost validată pe setul de validare. Ulterior, probele de sol din aceste seturi au fost supuse analizelor chimice de determinare a proprietăților chimice și fizice prin metode clasice standard în laborator, ca referință.

#### **2.4. Analizele chimice de referință**

Conținutul C și N total a fost determinat prin metoda spectrometriei în masă cu analiza automată a azotului și carbonului (ANCA-MS sau *Automated Nitrogen Carbon Analysis – Mass Spectrometry*), folosind spectrometrul în masă cu raportul izotopului în flux continuu Europa 20-20x după arderea la 1000°C în analizorul CN Europa ANCA-GSL (Anexa 6). Spectrometria în masă – analiza automată a carbonului și azotului (ANCA-MS) este considerată o metodă mai utilă în știința solului. O probă de sol uscat și măcinat fin este arsă, iar produsele de reacție sunt separate prin GC (cromatografie gazoasă) pentru a da impulsuri pure de N<sub>2</sub> și CO<sub>2</sub> pentru analiza <sup>15</sup>N, <sup>13</sup>C, N total și C total în materialul în vrac cu ajutorul spectrometrului de masă.

Conținutul de C organic, la fel a fost determinat prin metodă spectrometriei în masă ANCA-MS, după îndepărtarea carbonaților. Carbonații au fost îndepărtați prin metoda fumeșării acide (Anexa 7), folosind metoda lui D. Harris et al. [77]. Metoda constă în expunerea probelor de sol umezite la vapori de la acizi concentrați, cu acid clorhidric (HCl). Ulterior, conținutul

carbonaților a fost calculat prin diferența C total și C organic. Măsurările pH-ului solului s-au efectuat într-o soluție de sol și 0,01 M CaCl<sub>2</sub> la un raport de 1:2,5.

Analiza probelor de sol la conținutul de C total, N total, C organic, carbonaților și pH-lui au fost realizate în laboratorul Catedrei de Nutriție a Plantelor din cadrul Universității Tehnice din München (*Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Department für Pflanzenwissenschaften, Wissenschaftszentrum Weihenstephan*).

Analiza texturii solului (fracțiile de argilă < 0.002 mm, praf 0.002-0.06 mm și nisip 0.06-2 mm) s-a bazat pe metoda sedimentării (Anexa 8), efectuată cu un aparat automat de măsurare numit SEDIMAT 4–12 (Umwelt-Geräte-Technik GmbH), care determină distribuția dimensiunii particulelor în solurile minerale după 4 fracții. Metoda are la bază analiza standardizată KÖHN, conform standardului german DIN ISO 11277 [157]. Această analiză a fost efectuată în laboratorul Departamentului Fizica solului (*Bodenphysik*) al Centrului Bavarez de Stat de Cercetare în Agricultură – LfL (Freising, Germania), conform metodei VDLUFA [192].

## 2.5. Clase de evaluare a rezultatelor cercetărilor

Clase de valori a însușirilor chimice și fizice ale solului (tab. 2.2-2.8) aplicate în RM, au fost utilizate în evaluarea rezultatelor cercetărilor acestei teze.

**Tabelul 2.2. Clase de conținut de humus și elemente nutritive utilizate la cartarea agrochimică, [39]**

Gradul de asigurare	Humus, %	Capacitatea de nitrificare, NO <sub>3</sub> , mg/kg	Fosfor mobil	Potasiu schimbabil
			după metoda Macighin, mg/100 g	
Foarte scăzut	sub 2	sub 5	sub 1	sub 5
Scăzut	2-3	5-10	1,0-1,5	5-10
Moderat	3-4	10-15	1,5-3,0	10-20
Optim	4-5	15-20	3,1-4,5	20-30
Ridicat	5-6	peste 20	4,5-6,0	30-40
Foarte ridicat	peste 6,0		peste 6,0	peste 40

**Tabelul 2.3. Clase texturale de sol [44]**

Nr. d/o	Denumirea varietăților de sol	Conținutul de particule < 0,01 mm, %
1	Argiloase fin	>85
2	Argiloase	75-85
3	Argilo-lutoase	60-75
4	Luto-argiloase	45-60
5	Lutoase	30-45
6	Luto-nisipoase	20-30
7	Nisipo-lutoase	10-20
8	Nisipoase	0-10

**Tabelul 2.4. Clase ale conținutului de humus în stratul arabil (0-30 cm) ale solurilor Moldovei [44]**

Denumirea solurilor	Conținutul de humus, %
Humifere	> 4
Moderat humifere	3-4
Submoderat humifere	2-3
Slab humifere	1-2
Foarte slab humifere	< 1

**Tabelul 2.5. Aprecierea reacției solurilor după valorile pH în soluție apoasă [44]**

Nr. d/o	Denumire	Limite
1	Extrem de acidă	< 3,5
2	Foarte acidă	3,6-4,3
3	Puternic acidă	4,4-5,0
4	Moderat acidă	5,1-5,8
5	Slab acidă	5,9-6,8
6	Neutră	6,9-7,2
7	Slab alcalină	7,3-8,4
8	Moderat alcalină	8,5-9,0
9	Puternic alcalină	9,1-9,4
10	Foarte puternic alcalină	9,5-10,0
11	Extrem de alcalină	> 10,1

**Tabelul 2.6. Clase de conținut de azot din humus (după Florea N. și a.1987), [44]**

Nr. d/o.	Denumire	Valori C:N
1	foarte mic	> 33
2	mic	27-32
3	mijlociu	18-26
4	mare	11-17
5	foarte mare	< 10

**Tabelul 2.7. Conținutul de azot și nivelul de fertilitate a solului, [54]**

Conținutul de azot total, %	Nivelul de fertilitate
< 0,10	fertilitate scăzută
0,11-0,16	fertilitate mijlocie
0,17-0,25	fertilitate ridicată
> 0,25	fertilitate foarte ridicată

**Tabelul 2.8. Clase de adâncime de apariție a carbonaților și de conținut de carbonați în stratul 0-30 cm [44]**

Nr. d/o.	Adâncimea apariției carbonaților, cm	Conținutul carbonaților, %	Denumirea solurilor
1	0-30	<2	Necarbonatice
2		2-5	Slab carbonatice
3		6-12	Moderat carbonatice
4		13-25	Puternic carbonatice
5		26-40	Foarte puternic carbonatice
6		>40	Excesiv carbonatice
7	30-80	>2	Semicarbonatice
8	>80	>2	Decarbonatate

### Formule de calcul utilizate la prelucrarea statistică a datelor:

1. Formulă empirică pentru calcularea conținutului de argilă, fracțiunea < 0.002 mm, % în baza conținutului de argilă fizică, %: [40; 44].

$$A = \frac{a - 6}{1,2} \quad (2.1)$$

unde: A – conținutul de argilă (%), fracțiunea <0,002 mm

a – conținutul de argilă fizică (%), fracțiunea <0,01 mm

2. Pentru a exprima carbonul anorganic total (TIC) ca procent de carbonat de calciu (CaCO<sub>3</sub>), a fost utilizată următoarea ecuație [17]:

$$\text{CaCO}_3 (\%) = \text{TIC} \times 8,33 \quad (2.2)$$

### 2.6. Concluzii la capitolul 2

1. Obiectele de cercetare sunt tipice pentru caracterizarea cernoziomurilor tipice, obișnuite, argiloiluviale, levigat, carbonatice și a solurilor cenușii tipice și molice, răspândite pe teritoriile zonei de Nord a Moldovei.
2. Cercetările au fost efectuate pe câmpurile din raioanele zonei de Nord a Moldovei (Briceni, Ocnîța, Dondușeni, Edineț, Drochia, Glodeni, Rîșcani, Florești, Soroca, Sîngerei), și în experiența polifactorială de câmp de lungă durată a Institutului de Cercetări pentru Culturile de Cîmp „Selecția” din mun. Bălți, cu studierea complexă a rotației culturilor, sistemelor de lucrare și fertilizare a solului.
3. Metodele de cercetare folosite sunt adoptate la nivel internațional. Pentru probele de sol recoltate din profilele cercetate s-au efectuat analize de laborator cu utilizarea atât a metodelor standard clasice, cât și a metodelor alternative, și anume analiza NIRS.

### 3. EFICACITATEA METODEI DE ANALIZĂ SPECTROSCOPICĂ DE ABSORBȚIE ÎN REGIUNEA INFRAROȘU APROPIAT

#### 3.1. Compoziția chimică și fizică a datelor de referință

Probele de sol folosite în acest studiu au fost prelevate de pe o suprafață geografică vastă a zonei de Nord a Republicii Moldova, prezentată de diferite tipuri și subtipuri de sol. Probele de sol au avut o gamă largă de caracteristici chimice datorită diferențelor în utilizarea terenului, covorul vegetal și condițiile climatice specifice, precum și datorită diferențelor de-a lungul profilurilor de sol până la 1 m adâncime, care a oferit posibilitatea testării influenței diversității solului asupra abilității metodei NIRS de a estima aceste proprietăți a solului. Analiza statistică a rezultatelor analizelor probelor de sol prin metode clasice/standard de laborator, în continuare numite date de referință, este prezentată în tabelul 3.1.

**Tabelul 3.1. Parametrii statistici ai indicatorilor solului măsurați  
(datele de referință obținute prin metode clasice)**

Indicatorii solului	Setul de calibrare				Setul de validare			
	Min.	Max.	Media	SD	Min.	Max.	Media	SD
N total, %	0,04	0,43	0,15	0,07	0,05	0,30	0,15	0,07
C total, %	0,34	4,46	2,06	0,81	0,39	3,55	2,02	0,77
C organic, %	0,31	4,46	1,58	0,87	0,28	3,55	1,59	0,84
C carbonați, %	0,00	3,30	0,48	0,84	0,00	2,64	0,44	0,77
pH (CaCl <sub>2</sub> )	4,6	7,9	6,9	0,76	5,1	8,2	6,8	0,81
Argilă fizică (<0,01 mm), %	28,5	74,8	59,6	6,3	46,6	69,1	59,1	3,5
Argilă (<0,001 mm), %	16,3	51,7	40,1	4,9	30,1	47,3	39,7	2,7
Argilă (< 0,002 mm), %	18,7	57,3	44,7	5,3	33,8	52,6	44,2	2,9
Praf (0,002-0,06 mm), %	36,2	62,8	50,7	5,0	40,2	58,8	51,6	3,9
Nisip (0,06-2 mm), %	0,9	44,0	4,6	6,5	1,1	25,7	4,1	4,7

Conform tabelului de mai sus, probele de sol selectate pentru crearea modelelor de calibrare se caracterizează printr-o gamă variată în ceea ce privește conținutul de N total (0,04-0,43%), C total (0,34-4,46%), C organic (0,31-4,46%), C anorganic (0-3,30%) și pH-ul solului (4,6-7,9). Intervalul datelor de referință arată o variație moderată în ceea ce privește compoziția granulometrică a probelor de sol. Valorile conținutului de argilă fizică au oscilat între 28,5-74,8%, iar conținutul de praf – 36,2-62,8% și nisip – 0,9-44,0%.

Intervalul valorilor din setul de validare a fost puțin mai restrâns decât intervalul setului de calibrare pentru  $N_{total}$ ,  $C_{total}$ ,  $C_{organic}$ ,  $C_{anorganic}$ , fracțiunile de argilă și nisip. Valorile devierii standard (SD) au fost mai mici în setul de validare, cu excepția  $N_{total}$  și pH-lui. Valorile medii au fost mai mici, în comparație cu setul de calibrare, cu excepția  $C_{organic}$ , fracției de praf și pH-lui solului.



### 3.2. Procesarea datelor spectrale

Toate spectrele achiziționate au fost exportate în software-ul de analiză statistică multivariabilă The Unscrambler® 10.5 (CAMO AS, Norway). Datele spectrale sunt caracterizate calitativ prin vârfurile (maximele) de absorbție pozitive sau negative, care apar la anumite lungimi de undă [194].

Spectrele de absorbție Vis-NIR neprelucrate (brute) ale celor 554 de probe de sol sunt ilustrate în figura 3.1, unde se poate observa pe ordonată lungimea de undă, iar pe abscisă, absorbanta. După formă, curbele spectrele sunt destul de similare pentru toate probele de sol, deși, se observă o intensitate diferită de absorbție a unor spectre în regiunile Vis și NIR ale spectrului electromagnetic. Astfel, o intensitate de absorbție mai înaltă a fost observată în curbele spectrale a probelor de sol cu un conținut mai mare de MOS, cele mai mari valori fiind atribuite probelor lipsite de carbonați. Această variație ar putea fi datorată și diferenței în adâncimea stratului de sol din care au fost prelevate probele. În general, spectrele brute au arătat o absorbție maximă în regiunea vizibilă (cca.450 nm), care scade treptat spre regiunea infraroșu apropiat, cu câteva benzi de absorbție proeminente la cca. 1400, 1900, 2200 nm, și crește de la 2300 nm.

Cercetările efectuate de N. Asgari și coautorii [12] au confirmat că „conținutul de MOS și carbonați în probele de sol influențează semnificativ forma generală a curbelor spectrale, intensitatea reflectanței benzilor de absorbție și unghiurile de direcție a tendinței acestora”. Totodată, autorii au menționat că carbonații au majorat intensitatea reflectanței spectrale și au determinat o puternică caracteristică specifică de absorbție la 2338 nm lungime de undă.

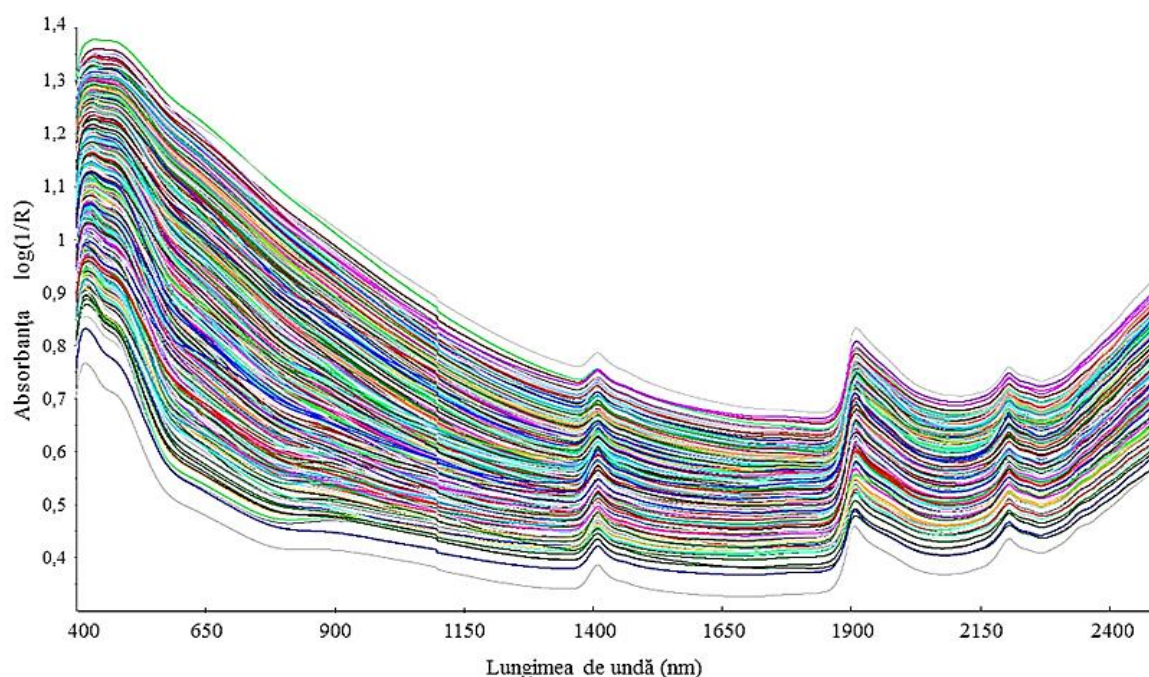
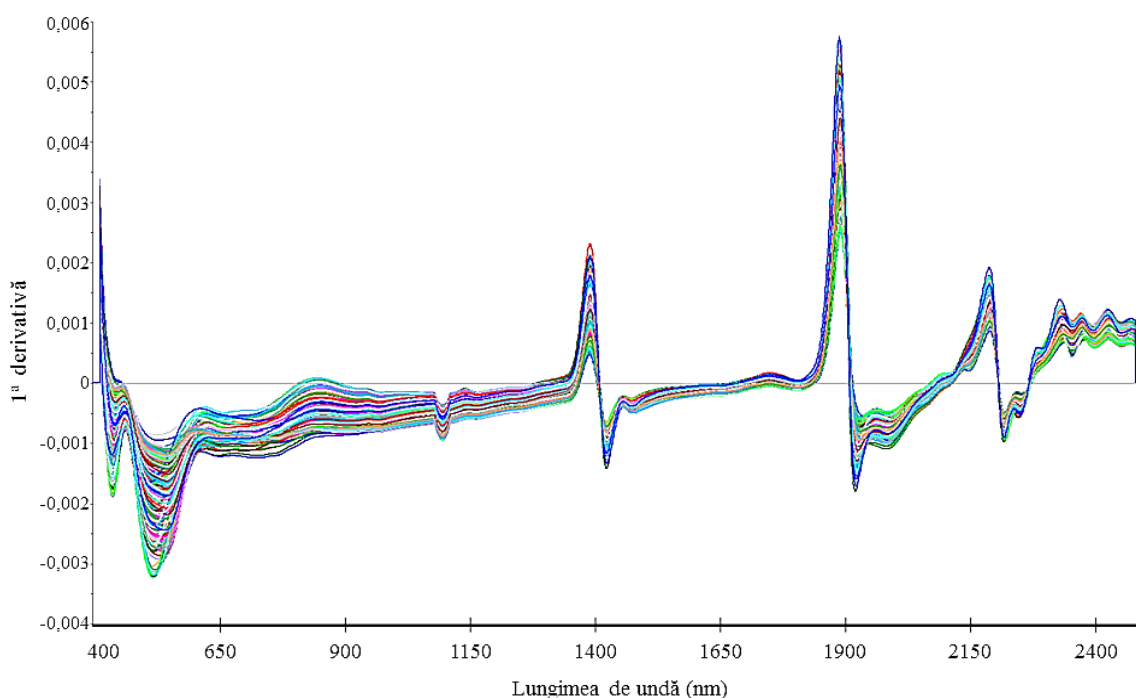


Fig. 3.1. Spectrele absorbantei brute în regiunile Vis și NIR a probelor de sol [88]

Spectrele brute rezultate la scanarea probelor de sol au fost supuse unui proces de transformare (figura 3.2) și atenuare. Transformările de preprocesare ale datelor spectrale îmbunătățesc acuratețea modelelor de regresie. Au fost testate mai multe tehnici de preprocesare pentru a selecta transformarea care oferă cea mai bună potrivire. Inițial, datele spectrale au fost normalizate printr-o tehnică de centrare medie. Ulterior, preprocesarea optimă a spectrelor s-a dovedit a fi transformare derivativă de gradul 1 cu atenuarea Savitzky-Golay de ordinul 2 polinomial (*first derivative transformation with Savitzky-Golay smoothing with 2<sup>nd</sup> polynomial order*) și fereastra de căutare din 11 puncte de netezire (5 puncte în stânga și 5 puncte în dreapta), în cadrul comenzii „*Transform > Derivative > SG*” din software-ul Unscrambler [88].



**Fig. 3.2. Spectrele probelor de sol după procesul de transformare [85; 88]**

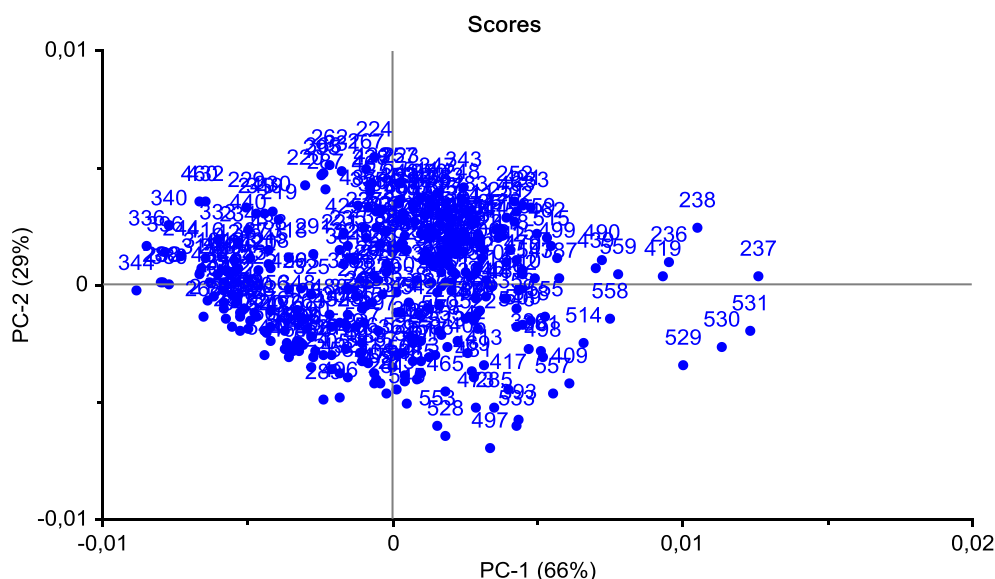
În figura 3.2 sunt prezentate spectrele procesate ale celor 554 probe de sol. O densitate optică mai mare și un număr mai mare de vârfuri de absorbție pozitive au fost evidente în regiunea NIR. Spectrele NIR derivate ale tuturor probelor de sol au avut maxime de absorbție la cca. 1400, 1900 și 2208 nm, considerate a fi lungimi de undă importante pentru predicția carbonului și azotului în sol [88]. R. Ilieva și coautorii [83], testând metoda NIRS pe cernoziomurile din Bulgaria, au obținut caracteristici de absorbție asemănătoare, trei vârfuri mari de absorbție în regiunea infraroșu apropiat în jurul 1450, 1940 și 2200 nm, considerându-le tipice pentru aceste soluri.

Potrivit literaturii de specialitate, absorbția din regiunea Vis este asociată cu mineralele de Fe [172], iar vârfurile de absorbție din regiunea 1400 nm și 1990 nm apar din asocierea cu mineralele argiloase, în special caracteristicile (*features*) OH ale apei structurale, apei legate de

minerale argiloase la 1400 nm și apa blocată în rețea la 1900 nm [80; 162]. R.A. Viscarra Rossel și coautorii [196], menționau că „benzile de absorbție la cca 1400 și 1900 nm se datorează legăturilor hidroxil și apei, absorbțiile la cca 2200 nm apar din minerale de argilă, iar materia organică se absoarbe la diferite lungimi de undă din întregul spectru vis-NIR”.

Unele studii [89; 136; 194] au raportat că utilizarea întregii regiuni vis-NIR asigură rezultate mai bune, deoarece are o legătură mai bună cu C organic decât doar regiunea NIR. Cu toate acestea, în studiul acestei teze, precizia predicției a fost îmbunătățită în cazul când a fost utilizat doar intervalul spectral NIR de la 1110 la 2490 nm lungimi de undă [88].

Efectuarea *analizei componentelor principale (PCA)* a redus sau comprimat datele spectrale și a construit combinații liniare (componente principale) ale variabilelor originale (figura 3.3), care explică o mare parte din variabilitatea totală inițială.



**Fig. 3.3. Distribuția celor 554 probe de sol pe primele 2 componente principale (PC1 și PC2)**

În graficul de dispersie bidimensional (figura 3.3), sunt reprezentate scorurile probelor de sol pe primele două componente principale (PC) care explică variația în datele spectrale. Graficul oferă informații despre tiparele (*patterns*) din rândul probelor. După P. Martin și coautorii [125], cu cât mai aproape se află probele una de alta în graficul scorurilor, cu atât sunt mai similare după compoziția reflectată în datele lor spectrale.

Astfel, pe baza Analizei Componentelor Principale (PCA) efectuată cu datele spectrale ale celor 554 de probe de sol, 137 de probe reprezentative a variațiile spectrale observate în întreaga populație s-au selectat pentru *setul de calibrare*. Setul de calibrare reprezintă întregul set de probe (n = 554) în ceea ce privește proprietățile solului. Spectrele care s-au diferențiat semnificativ de spectrul mediu au fost eliminate din setul de calibrare ca valori aberante, denumite *outliers* (n = 22). Prezența acestor valori aberante se datorează probelor atipice în

populația utilizată pentru crearea ecuațiilor de calibrare. Culoarea și textura acestor probe pot fi cauza reflectanței sale înalte și distanța față de celelalte mostre de sol. Unele din acestea au fost identificate ca fiind probe cu conținut mai ridicat de nisip, care afectau acuratețea de predicție a texturii solului.

### 3.3. Crearea modelelor de predicție

Predicția proprietăților solului folosind reflectanța spectrală este realizată în baza unor modele statistice de calibrare. În elaborarea modelelor de calibrare a fost aplicat algoritmul de *regresie a celor mai mici pătrate parțiale* (în continuare PLSR), care corelează datele spectrale ale solului cu datele de referință ale acestuia obținute prin metode clasice, și extrage informațiile despre parametrii/indicatorii solului din spectrele de absorbție din regiunea NIR [85; 88]. Calibrarea cu algoritmul PLSR pentru modelarea predictivă a fost efectuată în cadrul comenzii „Tasks > Analyze > PLSR” din software-ul Unscrambler®X 10.5.

La etapa de calibrare, a fost aplicată o procedură internă de validare încrucișată (cross-validare) completă, pentru o calibrare optimizată, urmată de testarea și validarea modelului în baza setului de validare. Ulterior, modelele de calibrare au fost utilizate în predicția/estimarea proprietăților fizice și chimice ale solului în probele vizate [85; 88].

Modelul a fost evaluat în baza *erorii medii pătrate de predicție* (RMSEP – root mean square error of prediction), care este folosit pentru măsurarea diferenței dintre valorile măsurate și prezise/estimate de model, și a *coeficientului de determinare* ( $R^2$ ), care este folosit pentru aprecierea reușitei potrivirii modelului și reprezintă relația dintre valorile proprietăților solului estimate prin metoda NIRS și valorile datelor de referință obținute prin analizele chimice clasice [79].

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y}_1)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_1)^2} \quad (3.1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (3.2)$$

unde,  $\bar{y}$  este media valorii măsurate,  $\hat{y}$  este valoarea prezisă,  $y$  este valoarea măsurată, iar  $n$  este numărul de probe cu  $i$  egal cu 1, 2, ...,  $n$  [79].

De asemenea, pentru estimarea preciziei modelului a fost calculată valoarea RPD (ratio of performance to deviation), care reprezintă raportul dintre devierea standard (SD) a datelor de referință analizate prin metode standard pentru setul de validare la RMSEP [202]:

$$RPD = \frac{SD_{ref}}{RMSE} \quad (3.3)$$

Cu cât valoarea RPD este mai mare, cu atât este mai mare probabilitatea ca modelele create să prezică cu exactitate parametri de calitate sau concentrațiile chimice ale probelor de sol. Valorile  $R^2$  și RPD mai mari indică o predicție mai bună, pe când valorile mai mici ale RMSE indică o precizie mai mare, deoarece RMSE este o măsură a erorii [3].

RMSE are aceleași unități de măsură ca și componenta solului, iar valorile  $R^2$  și RPD sunt adimensionale, astfel încât să poată fi comparate în mod similar între modele pentru diferite componente/proprietăți. În linii generale, RMSE ar trebui să fie mai mic decât SD, iar RPD ar trebui să fie  $\geq 4$ . Un RMSE mare determină valori RPD scăzute în comparație cu SD sau variabilitatea scăzută a valorilor de referință [79].

Eroarea medie pătrată a predicției (RMSEP) a fost calculată din diferențele dintre rezultatele NIR și rezultatele datelor de referință a setului de validare. Eroarea medie pătrată a validării încrucișate (RMSECV) a fost calculată prin aceeași formulă ca pentru RMSEP, dar din CV (validarea încrucișată) pe setul de calibrare.

C. Nduwamungu și coautorii [136] au interpretat modelele de calibrare create, în baza criteriilor date de B. Ludwig et al. [120], care clasifică calibrările în felul următor: excelente se consideră calibrările cu  $R^2 > 0,95$  și  $RPD > 4$ ; calibrările cu succes au  $R^2$  între 0,90-0,95 și RPD între 3-4; calibrările cu succes moderat au  $R^2$  între 0,80-0,90 și RPD între 2,25-3; iar cele moderat utile au  $R^2$  între 0,70-0,80 și RPD între 1,75-2,25. Prin urmare, modelele de calibrare cu  $R^2 < 0,7$  și  $RPD < 1,75$  au fost considerate mai puțin fiabile.

Potrivit lui B. Ludwig și coautorii (2002), citați de C. Nduwamungu et al. [136], parametrul *slope* (panta liniei de regresie), adică coeficientul de regresie ( $b$ ) între valorile măsurate și prezise, de asemenea, poate fi utilizată în clasificarea modelelor de calibrare și predicție ca fiind foarte utile ( $0,9 \leq b \leq 1,1$ ), destul de utile ( $0,8 \leq b < 0,9$  sau  $1,1 < b \leq 1,2$ ) și nesatisfăcătoare ( $b < 0,8$  sau  $b > 1,2$ ).

R. Zornoza et al. [208] și S. Heinze et al. [80], și-au interpretat rezultatele obținute în baza criteriilor date de W. Saeys et al. (2005), conform cărora modelul cu valorile  $RPD > 3,0$  și  $R^2 > 0,91$  indică o predicție excelentă, valorile RPD între 3,0-2,5 și  $R^2$  între 0,91-0,82 – predicție bună, valorile RPD între 2,5-2,0 și  $R^2$  între 0,81-0,66 – predicție cantitativă aproximativă, valorile RPD între 2,0-1,5 și  $R^2$  între 0,65-0,50 indică posibilitatea de predicție pentru a face distincția între valorile ridicate și cele scăzute, iar valorile mai mici indică o predicție nesatisfăcătoare [80; 208].

În acest studiu a fost folosită clasificarea conform B. Ludwig et al. [120], pentru evaluarea performanței predicției. Astfel, modelul cu cea mai mică valoare a RMSEP, cel mai mare RPD și cel mai mare coeficient de determinare ( $R^2$ ) fost selectat și aplicat în predicția

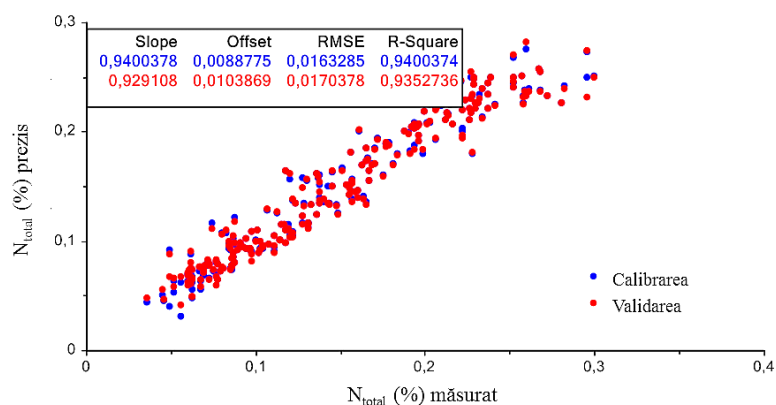
indicatorilor solului: conținutul de  $N_{total}$ ,  $C_{total}$ ,  $C_{organic}$ , carbonați, pH-ul și textura solului pe tot setul de probe de sol.

### 3.3.1. Calibrarea și modelele de predicție la nivel zonal

Pentru crearea modelelor de calibrare la nivel zonal și predicția proprietăților-țintă a solului, setul de date din 234 probe a fost împărțit în: 137 de probe pentru setul de calibrare și 97 de probe – setul de validare. Validarea indicatorilor preziși spectral a avut un mare succes pentru indicatorii chimici ai solului, obținând o precizie bună până la excelentă de predicție, pe când predicția pentru indicatorii fizici ai solului (conținutul fracțiilor de argilă, praf și nisip) și pH-ul solului a fost de la slabă și moderată.

**Predicția carbonului, azotului și pH-lui solului.** Rezultatele obținute prin aplicarea tehnicii PLSR de calibrare în modelarea predictivă sunt prezentate în figurile 3.4-3.8. Graficele de dispersie reflectă relația liniară între valorile de referință ale  $N_{total}$ ,  $C_{total}$ ,  $C_{organic}$ ,  $C_{carbonați}$ , și pH-ul solului măsurate prin metode clasice față de valorile prezise prin metoda NIRS, la etapa calibrării (albastru) și validării (roșu). Calitatea modelului de regresie este verificată prin prezentarea grafică a valorile prezise în raport cu valorile de referință. Este important de menționat că valorile de referință sau valorile măsurate reprezintă valorile indicatorilor solului determinate prin metode clasice de analiză a solului. Modelul ce oferă o potrivire bună, va genera un grafic în care punctele sunt afișate într-o linie dreaptă prin origine și cu panta (*slope*) aproape de valoarea 1 [86]. Deci, cu cât panta este mai aproape de valoarea 1, datele sunt mai bine modelate. Cu cât ecuația predictivă este mai precisă, cu atât toate punctele sunt mai aproape de corespondența teoretică 1:1 (linia continuă).

Conform graficelor prezentate, s-a constatat că majoritatea punctelor au căzut în vecinătatea liniei 1:1, cu câteva valori ce deviază, pentru proprietățile vizate, ceea ce indică o potrivire reușită a modelelor.



**Fig. 3.4. Graficul dispersiei valorilor măsurate față de valorile prezise ale conținutului de  $N_{total}$  în sol la etapele de calibrare și validare a modelului**

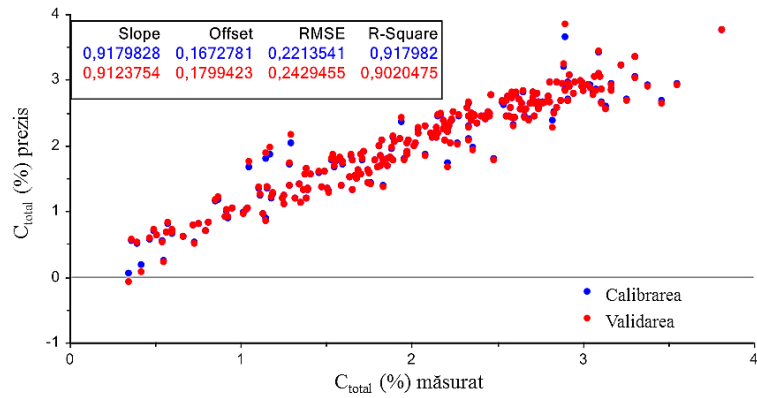


Fig. 3.5. Graficul dispersiei valorilor măsurate față de valorile prezise ale  $C_{total}$  în sol

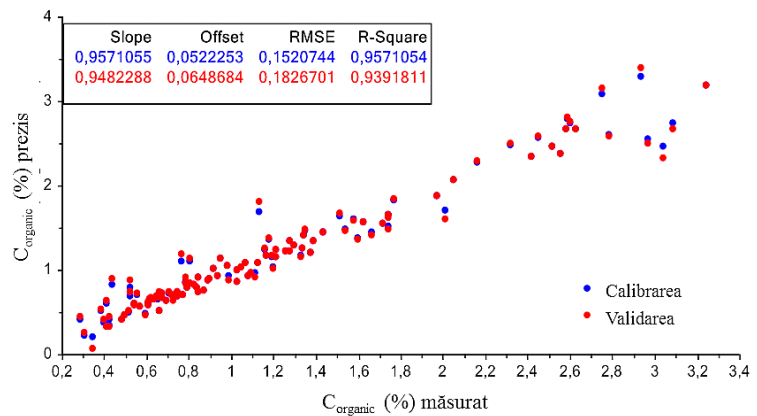


Fig. 3.6. Graficul dispersiei valorilor măsurate față de valorile prezise ale  $C_{organic}$  în sol

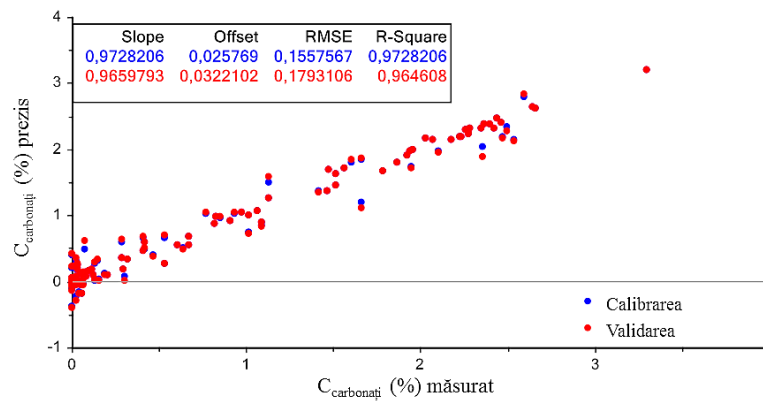


Fig. 3.7. Graficul dispersiei valorilor măsurate față de valorile prezise ale carbonaților în sol

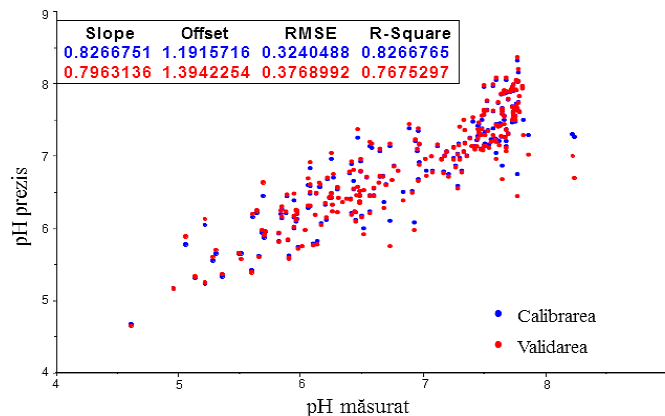


Fig. 3.8. Graficul dispersiei valorilor măsurate față de valorile prezise ale pH-ului solului

Performanța de predicție a modelelor de calibrare cu folosirea algoritmului PLSR și rezultatele validării modelelor pentru proprietățile solului investigate este prezentată în tabelul 3.2. Rezultatele obținute indică existența unei corelații puternice dintre spectrele NIR și indicatorii mășurați ai solului. La etapa calibrării, valorile coeficientului de determinare  $R^2_{cal}$  au variat între 0,83-0,97; iar predicția probelor necunoscute la etapa de validare a generat un coeficient de determinare  $R^2_{val}$  în limitele 0,77-0,96. Conform parametrilor statistici din cross-validare ( $R^2$ , RPD și RMSE), calibrarea a fost excelentă pentru  $C_{organic}$  și  $C_{carbonați}$ , a avut succes pentru  $C_{total}$  și  $N_{total}$ , și succes moderat pentru pH-ul solului.

**Tabelul 3.2. Performanța predictivă a modelelor de calibrare și rezultatele validării**

Indicatorii solului	Nr. de factori	Spectrul, nm	Calibrare			Validare		
			RMSE	$R^2$	RPD	RMSEP	$R^2$	RPD
N total, %	5	1110-2350	0,02	0,94	4,38	0,02	0,94	3,87
C total, %	7	1110-2490	0,22	0,92	3,64	0,24	0,90	3,17
C organic, %	5	1110-2490	0,15	0,96	5,75	0,18	0,94	4,60
C carbonați, %	6	1110-2350	0,16	0,97	5,41	0,18	0,96	4,32
pH (CaCl <sub>2</sub> )	9	1120-2460	0,32	0,83	2,34	0,38	0,77	2,16

Performanța calibrării la etapa de validare a urmat o tendință similară ca și în validarea încrucișată. Deși valorile  $R^2$  au fost mai mici și valorile RMSEP mai mari decât valorile corespunzătoare din setul de calibrare, performanța predictivă nu s-a diferențiat mult. Astfel, la validarea modelelor de calibrare, cu o precizie excelentă s-a prezis conținutul de carbonați ( $R^2 = 0,96$  și  $RPD = 4,3$ ) cu un număr optimal de 6 factori PLS și conținutul de  $C_{organic}$  ( $R^2 = 0,94$  și  $RPD = 4,6$ ) cu un număr optimal de 5 factori PLS. Deși, validarea modelului de calibrare a  $C_{organic}$  a generat un coeficient de determinare mai mic, totuși valoarea RPD a fost mai mare.

O precizie bună de predicție s-a obținut pentru conținutul de  $C_{total}$  și  $N_{total}$  ( $R^2 = 0,90-0,94$  și  $RPD > 3$ ), iar o precizie moderată – pentru pH-ul solului ( $R^2 = 0,77$  și  $RPD = 2,2$ ). Aceasta se datorează faptului că pH-ul solului nu are un răspuns spectral direct în regiunea NIR.

Rezultatele obținute în studiul acestei teze au fost în concordanță cu cele raportate în alte studii privind potențialul metodei NIRS în predicția N total, C total, C organic, carbonaților și pH-lui în diverse tipuri de sol [13; 48; 53; 69; 79; 80; 89; 120; 128; 132; 177; 208], precum și în cernoziomuri [83; 179; 180; 198].

M. Todorova și coautorii [180], folosind tehnica NIRS în studierea cernoziomurilor din Bulgaria, cu conținut de  $C_{organic}$  între 0,52-2,70%, au raportat o predicție bună a  $C_{organic}$  al solului ( $R^2=0,88$  și  $RPD=2,12$ ). Aceleași rezultate au fost obținute și de R. Ilieva et al. [83].

M. Vohland și coautorii [198], testând calibrarea NIRS pe 90 probe de sol cu textura fină au raportat predicție moderată pentru  $C_{organic}$  cu  $R^2=0,65$ ;  $RMSE=0,17\%$  și  $RPD=1,63$  la



validare. Potrivit autorilor, principalele motive pentru precizia de estimare moderată până la slabă obținută cu datele spectrale vis-NIR au fost intervalul limitat al  $C_{\text{organic}}$  al solului (1,39-2,76%), împreună cu specificitatea redusă a benzilor de combinații și supratonuri (*overtones*) în regiunea NIR [198].

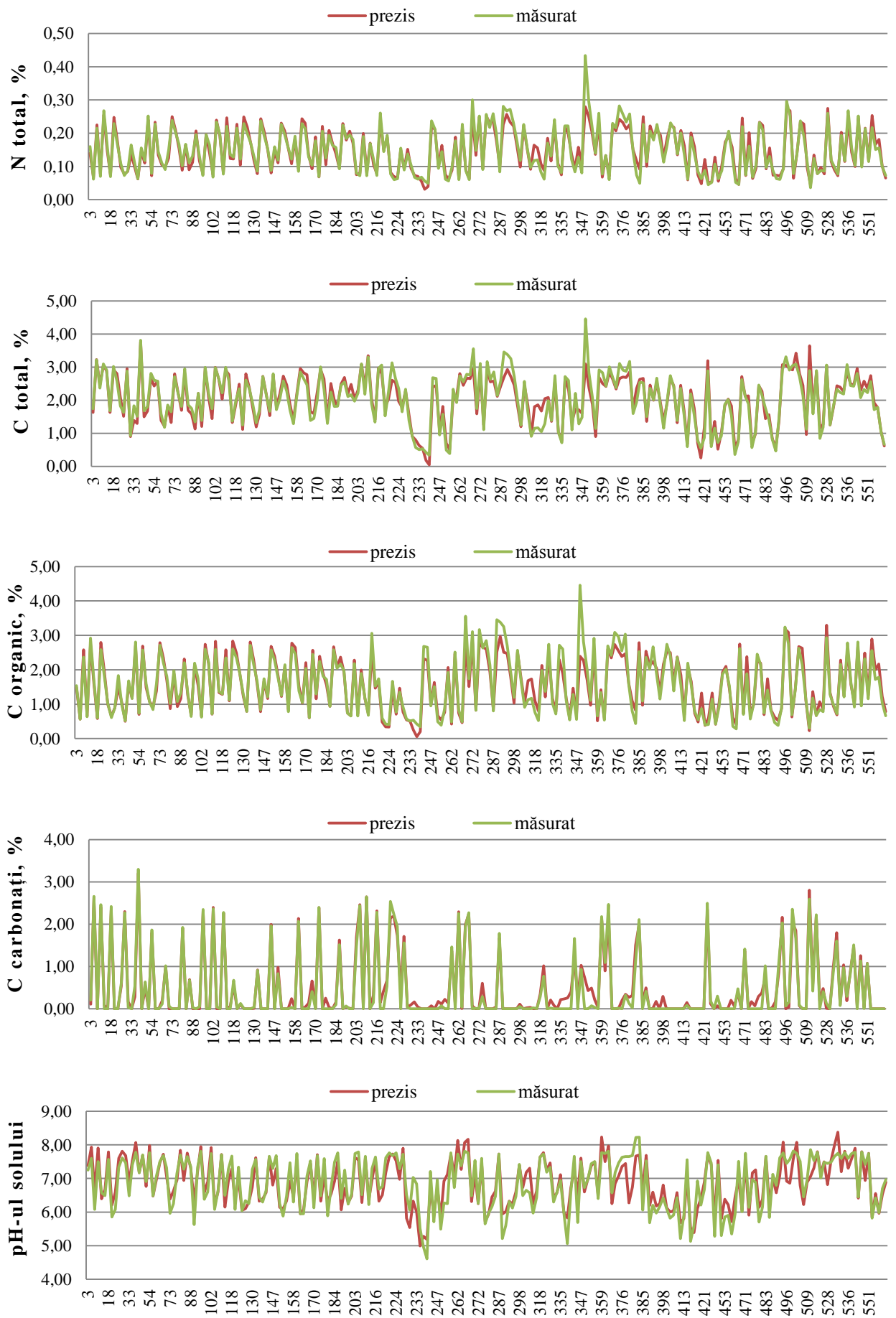
K. Heil și U. Schmidhalter [79] au obținut o potrivire bună și o precizie înaltă a modelului pentru  $C_{\text{total}}$ ,  $C_{\text{organic}}$  și carbonați la calibrare ( $R^2 \geq 0.98$ , RMSE=0.09-0.11%, RPD=7.1-11.5) și la validarea acestuia ( $R^2=0.86-0.94$ , RMSE=0.22-0.25%, RPD=7.8-22.4). Cea mai bună performanță a fost atinsă pentru conținutul de N cu  $R^2=0.99/0.98$ , RMSE=0.01%/0.02% și RPD=15.8/30.6 pentru calibrare/validare, corespunzător.

M.S. Askari și coautorii [13] au raportat o precizie excelentă a predicțiilor pentru  $C_{\text{organic}}$  ( $R^2=0.92$ , RMSE=0.03, RPD=3.04) în solurile de pășune, precum și pentru  $N_{\text{total}}$  ( $R^2=0.89$ , RMSE=0.04, RPD=2.78) în solurile arabile.

R. Zornoza și coautorii [208] au prezis conținutul de  $C_{\text{organic}}$  și N al solului cu o acuratețe excelentă pentru probele de sol uscate prelevate din câmpuri ce diferă după modul de utilizare, managementul agricol, covorul vegetal și condițiile climatice, prin urmare, cu variații mari ale conținutului de  $C_{\text{organic}}$  și N în solurile mediteraneene din Spania. Autorii au raportat cele mai bune rezultate pentru conținutul de C organic ( $R^2=0,98$ ; RPD=5,75) și N ( $R^2=0,96$ ; RPD=4,88), dar predicție slabă pentru pH-ul solului ( $R^2=0,73$ ; RPD=1,90) [208]. Același rezultat pentru pH ( $R^2=0,71$  și RPD=1,8) a fost obținut de K. Islam et al. [89] pe solurile din Australia (interval pH 3,7-9,7). Rezultate bune de predicție pentru pH ( $R^2=0,83$  și RMSE=0,34) au fost obținute de K. Shepherd și M. Walsh [162] pe solurile din estul și sudul Africii (interval pH 4,2-10).

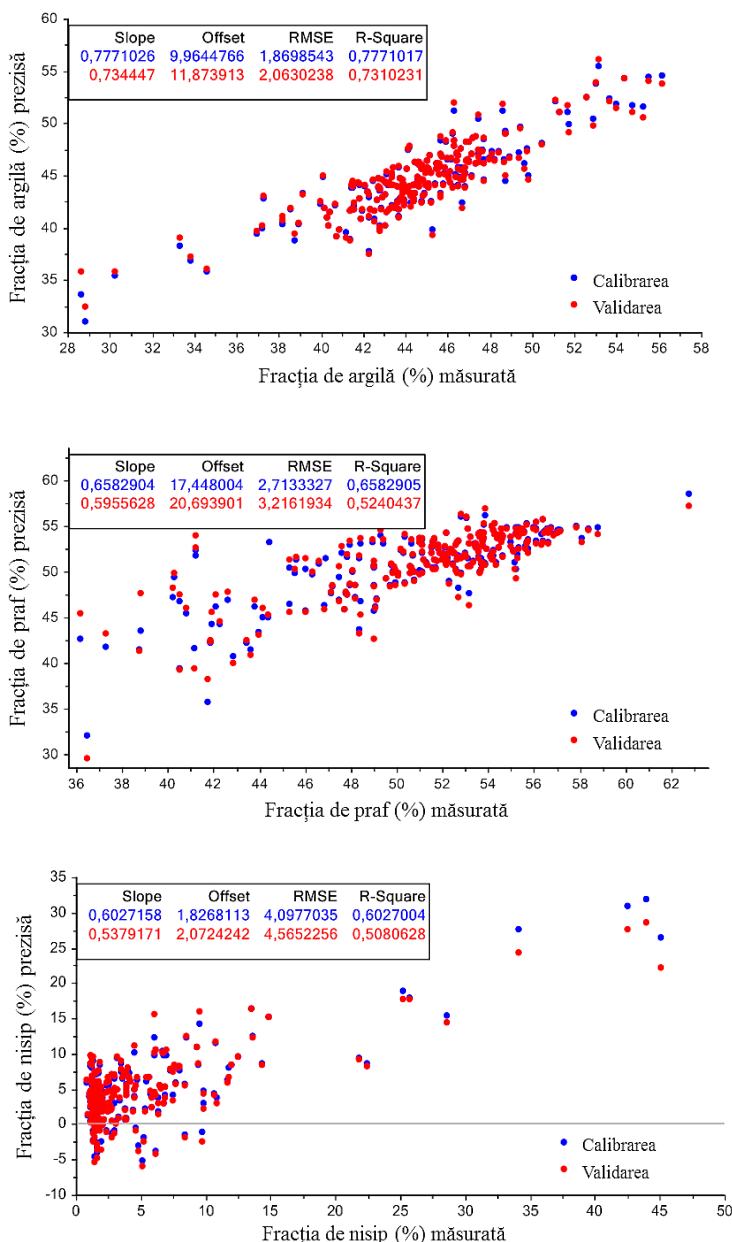
Potrivit literaturii de specialitate, estimarea cu precizie a indicatorilor chimici ai solului, precum  $C_{\text{organic}}$ ,  $C_{\text{total}}$ ,  $N_{\text{total}}$  și carbonații, este determinată de energia absorbantă și reflectanței legăturilor moleculare din regiunea NIR prin combinația grupelor C-H, N-H, C-O, C-N și O-H. Astfel, datorită influenței directe a  $C_{\text{organic}}$ ,  $N_{\text{total}}$ , carbonaților, precum și a fracției de argilă, nisip și praf, asupra spectrelor în baza legăturilor moleculare, a compoziției fizice sau a transmisiei și reflexiei luminii, rezultă o predicție reușită a acestora [16; 48; 53; 69; 120; 128; 208]. Așa cum, pH-ului solului nu are un răspuns primar în regiunea NIR, predicția lui are o precizie slabă, fiind determinată de relația acestuia cu materia organică și fracția de argilă [208].

Valorile obținute din datele spectrale au reflectat același interval de variație ca și a datelor de referință obținute prin metode clasice. În figura 3.9 sunt prezentate graficele de suprapunere a valorilor prezise și măsurate ale conținutului de N total, C total, C organic, carbonați și a pH-lui solului. Aceste grafice ne arată că majoritatea valorilor prezise din spectrale NIR au fost aproape identice cu cele măsurate, însă se atestă și o deviere considerabilă între acestea.



**Fig. 3.9. Graficele de suprapunere a valorilor prezise și măsurate ale conținutului de  $N_{total}$ ,  $C_{total}$ ,  $C_{organic}$ , carbonați și a pH-ului solului**

**Predicția texturii solului.** Rezultatele aplicării algoritmului PLSR în modelarea predictivă pentru estimarea compoziției granulometrice a solului (conținutul de argilă, praf și nisip) sunt prezentate în figura 3.10. Graficele de dispersie reflectă relația liniară între valorile de referință măsurate prin metode clasice față de valorile prezise prin metoda NIRS la etapa de calibrare (puncte albastre) și validare (puncte roșii) [85].



**Fig. 3.10. Graficele dispersiei valorilor măsurate față de valorile prezise ale texturii solului, la etapele de calibrare și validare a modelelor [85]**

Conform graficelor prezentate se observă că pentru fracția de argilă (<0.002 mm), majoritatea punctelor au căzut în vecinătatea liniei 1:1 cu câteva valori ce deviază, iar pentru fracțiile de praf (0,002-0,06 mm) și nisip (0,06-2 mm) panta liniei de regresie (*slope*) a fost semnificativ diferită de linia ideală 1:1.

Calibrarea NIRS pentru fracția de nisip a obținut o dispersie mai mare a valorilor de la linia 1:1. Conform distribuției punctelor în graficele de dispersie, precizia mai mică de predicție a fracției de nisip obținute la validarea modelului, este corelată cu variația redusă în intervalul valorilor prezise, în comparație cu cele măsurate.

O descriere statistică a performanței modelelor de calibrare cu folosirea algoritmului PLSR în predicția texturii solului și rezultatele validării modelelor este prezentată în tabelul 3.3. După cum se poate observa, algoritmul de analiză multivariabilă PLSR permite obținerea unei performanțe de nivel moderat doar pentru predicția argilei, caracterizată prin valori RMSE de 1,87% și 2,06% pentru setul de calibrare și validare, corespunzător.

**Tabelul 3.3. Performanța modelelor de predicție a texturii solului [85]**

Indicatorii solului	Nr. de factori PLS	Calibrare			Validare		
		RMSE	R <sup>2</sup>	RPD	RMSEP	R <sup>2</sup>	RPD
Argilă (<0.002 mm), %	9	1,87	0,78	2,83	2,06	0,73	1,41
Praf (0.002-0.06 mm), %	10	2,71	0,66	1,85	3,22	0,52	1,20
Nisip (0.06-2 mm), %	9	4,10	0,60	1,58	4,57	0,51	1,04

Numărul factorilor PLS de predicție utilizați în modelele de calibrare, selectați pe baza celor mai bune rezultate a validării-încrucișate (cel mai mic RMSE și cel mai mare R<sup>2</sup>), au fost 9 pentru argilă și nisip, și 10 pentru praf. Valori ale coeficientului de determinare (R<sup>2</sup><sub>cal</sub>) minime de 0.60 și 0.66 s-au obținut pentru conținutul fracției de nisip și praf, corespunzător; și o valoare maximă de 0.78 pentru conținutul fracției de argilă.

Validarea modelelor a generat o precizie de predicție bună a conținutului de argilă, după cum evidențiază parametrii statistici obținuți în baza datelor setului de validare (R<sup>2</sup>=0,73 și RPD=1,41), însă o predicție slabă pentru conținutul fracțiilor de praf (R<sup>2</sup>=0,52 și RPD=1,20) și nisip (R<sup>2</sup>=0,51 și RPD=1,04). Rezultatele obținute au dovedit că a existat o corelație slabă între datele spectrale NIR și valorile măsurate a unor fracții ale texturii solului [85].

Spectrele NIR depind de dimensiunea particulelor materialelor analizate. Aceasta permite predicția texturii probelor analizate, fapt confirmat de rezultatele reușite a mai multor oameni de știință din lume [18; 48; 55; 89; 162; 184].

C. Chang și coautorii [48] au obținut o predicție moderată pentru conținutul de argilă (R<sup>2</sup>=0,67 și RPD=1,71), și predicție excelentă pentru conținutul de nisip (R<sup>2</sup>=0,82 și RPD=2,32) și praf (R<sup>2</sup>=0,84 și RPD=2,52). K. Shepherd și M. Walsh [162] au obținut un R<sup>2</sup> de 0.76 pentru fracția nisip, 0.67 pentru fracția praf și 0.78 pentru fracția argilă. K. Islam și colab. [89] au raportat o predicție bună a conținutului de argilă (R<sup>2</sup>=0,72 și RPD=1,9), însă o predicție slabă a conținutului de nisip (R<sup>2</sup>=0,53 și RPD=1,5). Deși, A.V. Bilgili și coautorii [18] au atins o predicție excelentă pentru conținutul de argilă (R<sup>2</sup>=0.87, RPD=2.58) și nisip (R<sup>2</sup>=0.84,

RPD=2.49) în solurile Turciei, pentru conținutul de praf predicția a fost nereușită ( $R^2=0.40$ , RPD=1.36). D. Curcio și coautorii [55] au obținut nivelurile de precizie înalte pentru fracția de argilă ( $R^2=0.87$ , RMSE=5.8%), însă satisfăcătoare pentru fracțiile de nisip ( $R^2=0.80$ , RMSE=7.7%) și praf ( $R^2=0.60$  RMSE=7.2%).

Z. Tümsavaş și coautorii [184] au demonstrat că conținutul de nisip și argilă din sol pot fi măsurate și cartografiate cu succes, folosind spectroscopia Vis-NIR pe 86 de probe de sol din Turcia. Aceștia au obținut o predicție „excelentă” la validarea independentă pentru fracțiile de nisip ( $R^2=0.81$ , RMSEP=3.84% și RPD=2.33) și argilă ( $R^2=0.85$ , RMSEP=3.40% și RPD=2.66). Cu toate acestea, ei nu au reușit să obțină un model de regresie rezonabil pentru fracția de praf, și au sugerat că o soluție alternativă ar fi însumarea fracțiilor de nisip și argilă măsurate cu precizie și scăderea rezultatului din 100 pentru a obține conținutul de praf în % [184].

Valorile obținute din datele spectrale au reflectat același interval de variație ca și a datelor de referință obținute prin metode clasice. În figura 3.11 sunt prezentate graficele de suprapunere, care evidențiază că majoritatea valorilor texturale ale solului prezise din datele spectrale au fost aproape identice cu valorile măsurate, însă pentru o parte din probele analizate devierea a fost semnificativă [85].

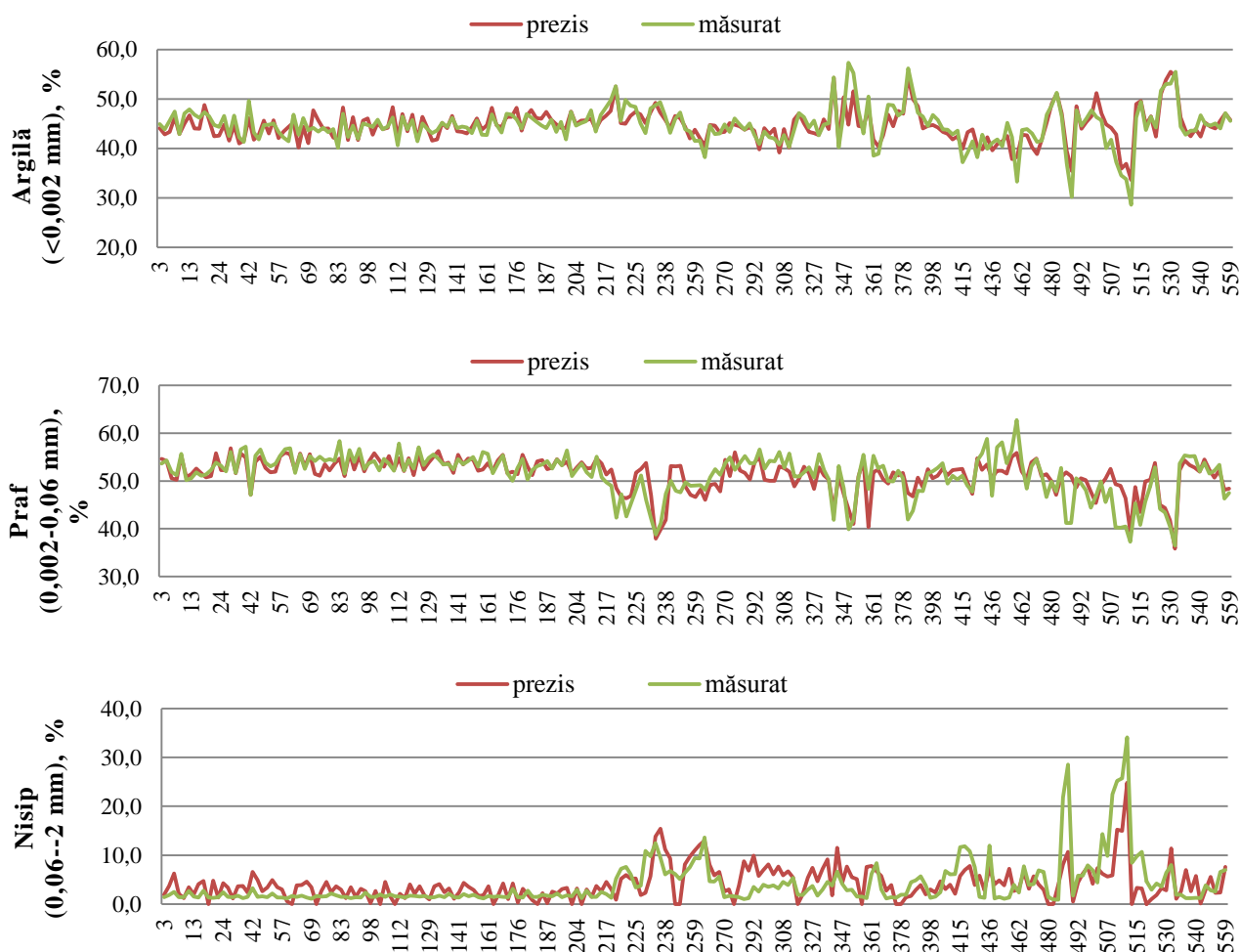


Fig. 3.11. Graficele de suprapunere a valorilor prezise și măsurate ale fracțiilor texturii solului [85]

Precizia predicției pentru conținutul fracției de nisip în sol, a fost mai mică în regiunea spectrală NIR ( $R^2 = 0,51$ ), în comparație cu conținutul fracțiilor de argilă și praf. Această precizie slabă poate fi consecința erorilor în metoda clasică de analiză a probelor de sol pentru determinarea conținutului procentual de nisip, care se face prin spălarea, uscarea și cernerea fracțiilor de nisip. A. Ahmadi și coautorii [3] au menționat că predicția proprietăților fizice, precum textura solului (procentul de argilă, praf și nisip), prin metoda NIRS, este mai dificilă decât predicția proprietăților chimice, precum conținutul de carbon și azot, datorită mai multor incertitudini. O cauză a erorilor de predicție, ar putea fi datorită naturii compoziționale a datelor privind textura solului, după cum a menționat și Pawlowsky-Glahn et al. [142]. Prin urmare, proporțiile fracțiilor de argilă, praf și nisip din sol sunt informații relative, deoarece sunt părți dintr-un întreg și trebuie întotdeauna să constituie 100% împreună. Luând în considerație că metodele PLSR estimează fracțiile de argilă, praf și nisip în mod independent, acestea fiind însumate nu ajung la 100% [3].

Cu toate că, pentru fracțiile texturii solului s-a obținut o predicție mai slabă, pentru conținutul de carbonați, C organic, C total și N total s-a evidențiat o corelație puternică dintre acești indicatori ai solului și spectrele NIR, obținându-se un coeficient de determinare  $R^2 \geq 0,90$  și o deviație foarte mică la validare [85; 86], ceea ce indică o predicție excelentă. Prin urmare, modelul cu 137 de mostre în setul de calibrare este robust, chiar și atunci când se utilizează diferite tipuri și subtipuri de sol, precum și straturi de sol prelevate la adâncimi diferite [88], și ar putea fi aplicat pe soluri cu compoziție și date spectrale similare din același areal geografic. Cu toate acestea, conform Fidêncio et al. [69], variabilitatea în conținutul de materie organică și alte componente din probe, care au caracteristici de absorbție în regiunea infraroșu apropiat oferă profile spectrale diferite și sunt parametri care influențează direct numărul de variabile latente utilizate în modelul PLS de regresie.

### ***3.3.2. Calibrarea și modelele de predicție la nivel local***

B. Stenberg și coautorii [172], au raportat că scara de calibrare afectează acuratețea modelelor dezvoltate și că modelarea la nivel de câmp oferă cea mai mare precizie. Modelele dezvoltate pentru zone geografice mari, bazate pe mostre de sol diverse, pot fi mai puțin precise, în mare parte din cauza variabilității mari a tipului de textură, a culorii, a conținutului de umiditate și a originii solurilor [172]. K.A. Sudduth și J.W. Hummel (1996), citați de K.S. Lee et al. [112], au stabilit că precizia estimării C organic din sol, a capacității de schimb cationic, dar și a umidității solului prin metoda NIRS este influențată de dimensiunea arealului geografic din care au fost prelevate probele de sol. Potrivit autorilor, calibrarea modelului de predicție în baza unui set de probe provenite dintr-un areal geografic mai larg, a redus precizia de predicție a C organic și a umidității solului [112].

M. Vohland și coautorii [198], efectuând studii atât la scară regională cât și locală, au recomandat o subgrupare a datelor heterogene complexe în grupuri mai omogene, dacă dimensiunea setului de probe este suficient de mare, deoarece aceasta permite o identificare a structurilor latente în date, specifice subsetului. C. Nduwamungu și coautorii [135] au menționat că pentru elaborarea unor modele predictive mai stabile și robuste, trebuie să se acorde o atenție mai mare calibrării acestora în baza tipului de sol, și nu a unor varietăți de tipuri de sol. În acest context, J. Wetterlind [202], citat de M. Ilușca [86], a subliniat că pentru modelarea predictivă la nivel național, setul de calibrare trebuie să includă probe a tuturor tipurile de sol existente din întreaga țară; iar în modelarea predictivă la nivel local, setul de calibrare va reflecta doar variația locală a tipului de sol.

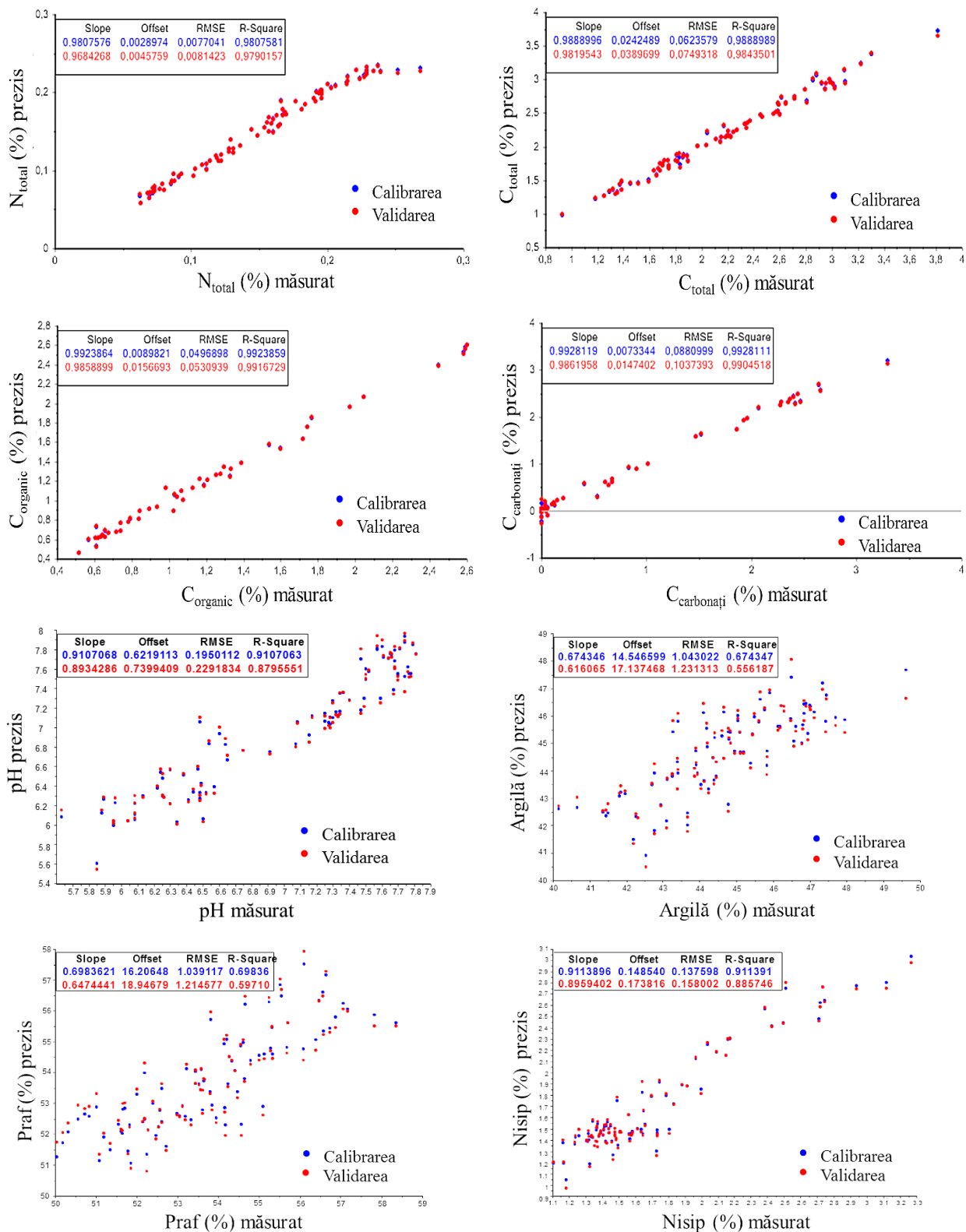
În acest context, s-a decis separarea probelor de sol prelevate pe câmpurile experimentale a ICCC „Selecția”, de cele prelevate pe terenurile din raioanele zonei de Nord, care reprezintă o varietate de subtipuri de soluri cenușii și cernoziomuri. Solul lotului experimental a arătat o variație mai mică a conținutului de N total, C total și C organic, argilă și praf (tab. 3.4) comparativ cu solurile din raioane.

**Tabelul 3.4. Parametrii statistici ai indicatorilor solului mășurați (datele de referință obținute prin metode clasice) ai experienței polifactoriale a ICCC „Selecția”**

Indicatorii solului	Setul de calibrare				Setul de validare			
	Min.	Max.	Media	SD	Min.	Max.	Media	SD
N total, %	0,06	0,27	0,15	0,06	0,07	0,24	0,15	0,06
C total, %	0,93	3,81	2,13	0,63	1,29	3,30	2,26	0,54
C organic, %	0,52	2,92	1,57	0,70	0,62	2,71	1,69	0,71
C carbonați, %	0,0	3,30	0,55	0,94	0,0	2,64	0,57	0,93
pH (CaCl <sub>2</sub> )	5,6	7,8	7,0	0,63	5,9	7,8	6,9	0,71
Argilă (<0.002 mm), %	40,1	49,6	44,5	1,94	41,8	47,4	45,0	1,59
Praf (0.002-0.06 mm), %	47,1	58,4	53,8	2,17	50,3	56,4	53,3	1,60
Nisip (0.06-2 mm), %	1,1	3,3	1,6	0,47	1,2	2,9	1,8	0,44

Pentru a investiga precizia predicției, au fost create noi modele de calibrare și predicție pe un set de probe mai mic (211 probe de sol), care reprezintă un subtip de sol – cernoziomul tipic. Pentru predicția proprietăților chimice ale solului (pH, N total, C total, C organic și carbonați), în modelarea predictivă au fost folosite 85 probe, dintre care 56 de probe au format setul de calibrare și 29 de probe – setul de validare. Pentru predicția texturii solului, în modelarea predictivă au fost folosite 90 probe, dintre care: 56 probe – setul de calibrare și 34 probe – setul de validare. Calibrarea la nivel local și validarea modelului de predicție a urmat aceleași proceduri aplicate ca și în cazul calibrării universale la nivel zonal, descrisă în subcapitolul 3.3.1.

Rezultatele obținute prin aplicarea tehnicii de calibrare PLSR în modelarea predictivă sunt prezentate în figura 3.12. Graficele de dispersie reflectă relația liniară dintre valorile obținute prin metoda NIRS și valorile de referință măsurate prin metode clasice, la etapele de calibrare (albastru) și validare (roșu) a modelării predictive, pe un set de probe local [86].



**Fig. 3.12.** Graficele dispersiei valorilor măsurate față de valorile prezise ale conținutului de  $N_{total}$ ,  $C_{total}$ ,  $C_{organic}$ , carbonați, pH-ului [86] și texturii solului în experiența polifactorială a ICC „Secția”



Conform graficelor prezentate în figura 3.12, pentru indicatorii chimici ai solului, în special  $N_{total}$ ,  $C_{total}$ ,  $C_{organic}$  și  $C_{carbonați}$ , se constată o potrivire reușită cu linia 1:1, cu excepția pH-ului solului [86]. Pentru fracția de nisip (0,06-2 mm), majoritatea punctelor au căzut în vecinătatea liniei 1:1 cu câteva valori ce deviază, iar pentru fracțiile de argilă (< 0.002 mm) și praf (0,002-0,06 mm) panta liniei de regresie (*slope*) a fost semnificativ diferită de linia ideală 1:1. Calibrările NIRS locale au generat o dispersie mai mică a valorilor fracției de nisip și o dispersie mai mare a valorilor fracțiilor de argilă și praf, de la linia 1:1, comparativ cu calibrările universale zonale.

Analiza statistică a modelelor la etapa calibrării și rezultatele validării modelelor de predicție a proprietăților solului investigate sunt prezentate în tabelul 3.5. Conform parametrilor statistici ai cross-validării ( $R^2$  și RPD), calibrarea a fost excelentă pentru  $N_{total}$ ,  $C_{total}$ ,  $C_{organic}$  și carbonați ( $R^2 \geq 0,98$ ; RPD  $\geq 7$ ), a avut succes pentru pH-ul solului și fracția de nisip ( $R^2 = 0,91$ ; RPD  $\geq 3$ ), și succes moderat pentru fracția de argilă și praf ( $R^2 \geq 0,67$ ; RPD = 2). Rezultatele obținute au demonstrat că a existat o relație puternică dintre spectrele NIR și indicatorii mășurați ai solului [86].

**Tabelul 3.5. Performanța predictivă a modelelor de calibrare și rezultatele validării [86]**

Indicatorii solului	Nr. de factori	Calibrare			Validare		
		RMSE	$R^2$	RPD	RMSEP	$R^2$	RPD
N total, %	1	0,01	0,98	7,24	0,01	0,98	6,87
C total, %	6	0,06	0,99	10,10	0,07	0,98	7,15
C organic, %	2	0,05	0,99	14,01	0,05	0,99	13,42
C carbonați, %	4	0,09	0,99	10,66	0,10	0,99	8,94
pH (CaCl <sub>2</sub> )	6	0,20	0,91	3,25	0,23	0,88	3,09
Argilă (<0.002 mm), %	7	1,04	0,67	1,9	1,23	0,56	1,3
Praf (0.002-0.06 mm), %	7	1,07	0,71	2,0	1,27	0,61	1,3
Nisip (0.06-2 mm), %	6	0,14	0,91	3,4	0,16	0,89	2,8

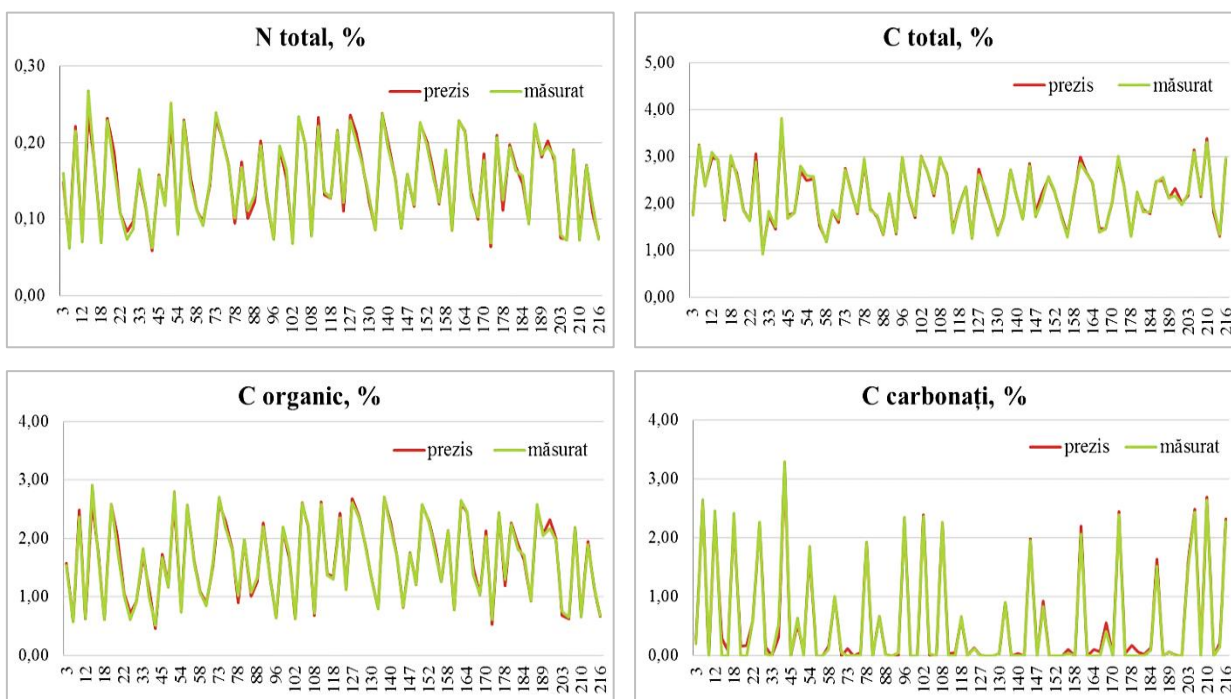
Performanța predictivă la etapa validării modelelor la nivel local a urmat o tendință similară ca și în validarea-încrucișată, cu o scădere ușoară a valorilor RPD, dar performanța statistică nu s-a diferențiat mult. Astfel, conținutul de carbonați,  $C_{organic}$ ,  $C_{total}$  și  $N_{total}$  s-a prezis cu o precizie excelentă ( $R^2 \geq 0,98$  și RPD  $> 6$ ), iar pH-ul solului s-a prezis cu o precizie bună ( $R^2 = 0,88$  și RPD = 3) în rezultatul validării [86]. Valorile RMSEP pentru  $C_{total}$ ,  $C_{organic}$ , și carbonați au fost mai mici la divizarea întregului set de date după tipul de sol.

La validarea modelelor de calibrare universale la nivel zonal s-a obținut un  $R^2 \geq 0,94$  pentru predicția conținutului de  $C_{organic}$ , carbonați și  $N_{total}$ , iar pentru  $C_{total}$  ( $R^2 = 0,90$ ) și pH-lui solului ( $R^2 = 0,77$ ) valorile  $R^2$  au fost mai mici. Astfel, calibrarea universală zonală a generat o

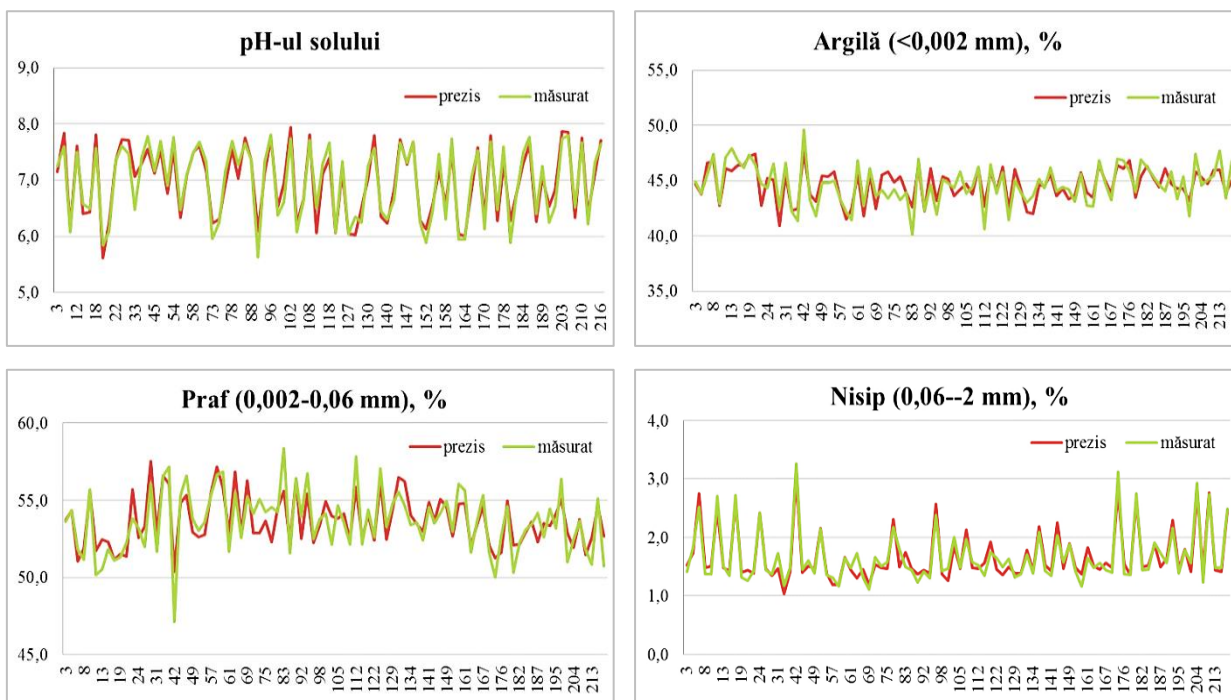
precizie mai mică, atunci când a fost testată pe întregul set de probe ( $n = 554$ ), format din probe ce reprezintă o varietate de tipuri și subtipuri de sol, spre deosebire de calibrarea locală pe un set de date ce reprezintă un singur subtip de sol [86].

Pentru textura solului, calibrarea la nivel local nu a asigurat îmbunătățirea preciziei de predicție a conținutului de argilă, ba din contra, a înrăutățit situația, cu excepția conținutului fracțiilor de nisip și praf. La validarea calibrării locale pentru conținutul de nisip s-a obținut o precizie moderată de predicție ( $R^2=0,89$  și  $RPD=2,8$ ), comparativ cu predicția slabă ( $R^2=0,51$  și  $RPD=1,04$ ) la calibrarea universală zonală. Valoarea RMSEP a fost redusă de la 4,57% la 0,16% nisip la divizarea întregului set de date după tipul de sol. Pentru fracția de praf, deși se atestă o ușoară îmbunătățire a valorii  $R^2$  de la 0,52 la 0,61; iar valoarea RMSEP s-a redus de la 3,22% la 1,27%, totuși valoarea RPD a rămas aceeași. Calibrarea PLSR la nivel local pentru fracția de argilă a redus performanța modelului predictiv în rezultatul validării, obținându-se un  $R^2=0,56$  și  $RPD = 1,3$ ; ceea ce indică o precizie slabă de predicție, comparativ cu predicția moderată la calibrarea universală zonală. Conform unor studii [48; 89; 162; 168], calibrările pentru argilă au de obicei o performanță predictivă mai bună pe regiuni geografice mari, în comparație cu calibrările pentru nisip și praf.

Graficele de suprapunere a valorilor N total, C total, C organic, carbonaților, pH-lui și texturii solului prezise din datele spectrale și a celor măsurate prezentate în figurile 3.13 3.14, ne arată că majoritatea valorilor au fost identice, cu o mică deviere [86].



**Fig. 3.13. Graficele de suprapunere a valorilor prezise și măsurate ale conținutului de  $N_{total}$ ,  $C_{total}$ ,  $C_{organics}$  și carbonați în solul experienței polifactoriale a ICCC „Selecția” [86]**



**Fig. 3.14. Graficele de suprapunere a valorilor prezise și măsurate ale pH-ului [86] și fracțiilor texturii solului în experiența polifactorială a ICC „Selectia”**

Divizarea întregului set de probe de sol în subgrupuri mai omogene, în cazul dat după tipul de sol, a asigurat îmbunătățirea preciziei predicției conținutului de C organic, carbonați, C și N total, pH-ul solului și, în special, a fracției de nisip. Astfel, calibrările locale sau specifice bazate pe tipul de sol și practicile agricole asigură o precizie mai mare comparativ cu calibrarea universală zonală, iar aceasta demonstrează că performanța modelului de predicție este influențată direct de variabilitatea solurilor și a tipurilor de sol folosite în crearea acestuia [86].

În baza cercetărilor efectuate, M. Todorova și S. Atanassova [181], citați de M. Ilușca [86], au subliniat că fiecare tip de sol conține caracteristici spectrale specifice în regiunea NIR, iar gruparea probelor pe baza claselor taxonomice ale solului și a similitudinii spectrale asigură o îmbunătățire semnificativă a preciziei de predicție a proprietăților solului prin metoda NIRS.

Cercetările efectuate de B. Kuang și A. Mouazen [93], citați de M. Ilușca [86], care au avut scop compararea preciziei modelelor de calibrare la nivel zonal și local pentru 3 gospodării din Europa, au demonstrat o predicție cu succes pentru modelele de calibrare generale cât și pentru cele individuale la nivel de câmp. Astfel, 2 modele de calibrare locale la nivel de câmp au asigurat o precizie mai mare pe predicție a C total, N total și C organic a solului, însă o predicție mai slabă pentru pH-ul solului, comparativ cu modelul general, la validarea independentă fiind obținute valori a  $R^2$  în limitele 0,74-0,96 și RPD de la 2,00-4,95. Potrivit autorilor, rezultatele mai slabe a modelelor de calibrare generale se datorează variabilității mai mari a culorii, texturii și conținutului de umiditate a solului, comparativ cu modelele locale la nivel de gospodărie [93]. Totodată, în baza celui de-al 3-lea model de calibrare local, s-a ajuns la concluzia că din cauza

devierii standard (SD) și a intervalului îngust de variație în compoziția probelor folosite în calibrările la nivel de gospodărie sau câmp se poate obține o performanță nereușită, pe când calibrarea în baza unui set de date cu o gamă mai largă a variațiilor și valori SD mai mari a generat atât valori  $R^2$  și RPD mai mari, cât și valori RMSEP mai mari [93].

Această concluzie a autorilor s-a dovedit a fi veridică și în cazul calibrărilor locale pentru predicția fracției de argilă din cercetările acestei teze. Astfel, o deviere standard mai mică (1,9) și gama mai îngustă a setului de calibrare pentru fracția de argilă (între 40-50%) au determinat scăderea valorilor  $R^2$  și RPD, iar performanța predicțiilor a devenit nesatisfăcătoare.

În crearea modelelor de calibrare universale zonale au fost folosite datele probele de sol ce provin dintr-o arie geografică vastă a zonei de Nord a Republicii Moldova, și reprezintă o gamă largă de variație a proprietăților fizice și chimice a solului, datorită modului de gestionare a terenului, covorului vegetal și condițiilor climatice specifice. Această variabilitate a determinat achiziționarea unor spectre NIR distincte, care au permis testarea eficacității modelelor spectroscopice NIR cu aplicarea algoritmului statisticii multivariabile PLSR în estimarea concentrațiilor de  $N_{total}$ ,  $C_{total}$ ,  $C_{organic}$ , carbonați, a valorilor pH-lui și a fracțiilor texturii solului atât la scară locală, cât și regională a zonelor agricole cheie din nordul țării [86].

Rezultatele obținute evidențiază că intervalul calibrării afectează semnificativ acuratețea predicției modelelor statistice, fiind necesară o selecție a setului de date utilizat în modelare conform relevanței scopului practic și sporirea eficacității metodei analitice NIRS [86]. Totodată, nu mai puțin importantă este validarea calibrării în baza unui set de date complet independent. În această lucrare, setul de validare a fost selectat din întregul set de date disponibil, însă cercetările ulterioare ar trebuie să se concentreze pe validarea modelelor de calibrare în baza unui set de testare compus din probe prelevate fie dintr-o altă arie geografică, fie din alte terenuri, chiar și prelevate mai târziu, decât cele utilizate pentru crearea și validarea modelului de regresie. Cercetările efectuate de D. Brown și coautorii [34], au demonstrat că validarea „pseudo-independentă”, adică pe un set de date selectate randomizat din aceeași populație de probe, poate supra-estima acuratețea predictivă a modelului, comparativ cu validarea independentă.

Rezultatele acestui studiu confirmă că metoda NIRS poate fi utilizată cu succes în predicția diferitor proprietăți chimice și fizice în solurile cenușii și cernoziomurile Republicii Moldova [86]. Analiza NIRS oferă o serie de avantaje importante față de alte metode: rapiditate, eficiență economică, gestionare minimă a probelor, precizie etc. Aplicarea tehnicii PLSR pe datele spectrale NIR a permis elaborarea unor modele de predicție precise și fiabile pentru C și N total, C organic, carbonați, precum și a unui model bun de predicție pentru pH-ul și textura solului. Astfel, metoda NIRS ar putea servi în calitate de instrument analitic rapid în evaluarea managementului agricol al solului aplicat de fermieri și monitorizarea fertilității solului [86]. În

acest scop, cercetările viitoare ar trebui să se concentreze și pe posibila integrare a spectrelor obținute în laborator și a spectrelor din imaginile sateliților. În combinație cu datele de referință, aceasta poate fi aplicată pentru a produce hărți digitale a solului.

### 3.4. Concluzii la capitolul 3

1. Metoda NIRS s-a dovedit a fi una rapidă, fiabilă și rentabilă în analiza solului și estimarea proprietăților solurilor cenușii și cernoziomurilor, atât la nivel local, cât și la nivel zonal, pe o suprafață geografică vastă din Nordul Republicii Moldova, caracterizată de o variație a proprietăților solului datorită diversității în managementul solurilor, culturile agricole, precum și condițiile climatice specifice [86].

2. Rezultatele obținute la nivel zonal, au arătat că a existat o corelație (relație) puternică dintre spectrele NIR și indicatorii mășurați ai solului. În baza parametrului pantei liniei de regresie (așa numita *slope*) din graficele de dispersie a valorilor estimate față de cele măsurate a indicatorilor agrochimici ai solului în modelele statistice de regresie, s-a constatat că majoritatea punctelor acestor valori, au căzut în vecinătatea liniei 1:1, ceea ce indică o modelare și o potrivire reușită a datelor. Aceeași tendință s-a observat și pentru conținutul fracției de argilă (<0,002 mm), însă pentru conținutul fracțiilor de praf (0,002-0,06 mm) și nisip (0,06-2 mm) panta liniei de regresie (*slope*) a fost semnificativ diferită de linia ideală 1:1, cu o dispersie mai mare a valorilor de la linia 1:1, ceea ce indică o modelare și o potrivire slabă a datelor.

3. Conform parametrilor statistici ai cross-validării ( $R^2$ , RPD și RMSE), calibrarea cu folosirea tehnicii PLSR a fost excelentă pentru predicția C organic și carbonați ( $R^2 \geq 0,96$ ; RPD > 5), a avut succes pentru C și N total ( $R^2 \geq 0,92$ ; RPD > 3), și succes moderat pentru pH-ul solului ( $R^2 = 0,83$ ; RPD = 2,3). Pentru textura solului, o performanță de nivel moderat a calibrării s-a obținut doar pentru fracția de argilă ( $R^2 = 0,78$ ; RPD = 2,8), iar pentru conținutul fracției de nisip și praf – predicția a fost slabă ( $R^2 \leq 0,66$ ; RPD < 2).

4. Validarea indicatorilor preziși spectral a avut succes pentru indicatorii agrochimici ai solului, cu excepția pH-lui solului, pe când predicția pentru indicatorii agrofizici ai solului (fracțiile de argilă, praf și nisip) a fost mai slabă.

5. Cu o precizie excelentă s-a prezis conținutul de carbonați ( $R^2 = 0,96$  și RPD = 4,3) și conținutul de carbon organic ( $R^2 = 0,94$  și RPD = 4,6). O precizie bună de predicție s-a obținut pentru conținutul de azot total ( $R^2 = 0,94$  și RPD = 3,9) și carbon total ( $R^2 = 0,90$  și RPD = 3,2), iar pentru pH-ul solului – o precizie moderată ( $R^2 = 0,77$  și RPD = 2,2).

6. Pentru textura solului, validarea modelelor a generat o precizie de predicție moderată pentru conținutul fracției de argilă ( $R^2 = 0,73$  și RPD = 1,41), însă o predicție slabă pentru conținutul fracției de praf și conținutul fracției de nisip ( $R^2 = 0,51$  și  $0,52$ , corespunzător, RPD <

2). Rezultatele obținute confirmă corelația slabă între datele spectrale NIR și valorile măsurate a unor fracții ale texturii solului.

7. Divizarea întregului set de probe de sol în subgrupuri mai omogene, în cazul dat după tipul de sol, a asigurat îmbunătățirea preciziei predicției conținutului de C organic, carbonați, C și N total, pH-ul solului și, în special, a fracției de nisip. Astfel, calibrările locale sau specifice bazate pe tipul de sol și practicile agricole asigură o precizie mai mare comparativ cu calibrarea universală zonală, iar aceasta demonstrează că performanța modelului de predicție este influențată direct de variabilitatea solurilor și a tipurilor de sol folosite în crearea acestuia [86].

8. Calibrarea și validarea modelului la nivel local a asigurat o performanță predictivă mai bună ( $R^2 \geq 0,98$  și  $RPD > 6$  pentru conținutul de carbonați, C organic, C și N total;  $R^2 = 0,88$  și  $RPD > 3$  pentru pH), decât calibrarea universală zonală ( $R^2 \geq 0,90$  și  $RPD > 3$  pentru conținutul de carbonați, C organic, C și N total;  $R^2 = 0,77$  și  $RPD > 2$  pentru pH) a indicatorilor agrochimici ai solului. Astfel, calibrarea universală zonală a generat o precizie mai mică, atunci când a fost creată cu folosirea întregului set de probe, care reprezintă o varietate de tipuri și subtipuri de sol, spre deosebire de calibrarea locală pe un set de date ce reprezintă un singur subtip de sol [86].

9. Pentru textura solului, calibrarea la nivel local la fel a asigurat îmbunătățirea preciziei de predicție, cu excepția fracției de argilă. Astfel, validarea modelului predictiv pentru fracția de nisip a asigurat o precizie moderată de predicție, valorile parametrilor statistici  $R^2$  și  $RPD$  fiind semnificativ mai mari, iar valoarea  $RMSEP$  mai mică ( $R^2 = 0,89$ ;  $RMSEP=0,16\%$  și  $RPD=2,8$ ), comparativ cu calibrarea universală zonală, care a înregistrat o predicție slabă ( $R^2=0,51$ ;  $RMSEP=4,57\%$  și  $RPD=1,04$ ). Deși, pentru fracția de praf s-au obținut valori  $R^2$  și  $RPD$  mai mari ( $R^2 = 0,61$  și  $RPD=1,3$ ), totuși precizia de predicție se consideră slabă; iar pentru fracția de argilă, performanța modelului predictiv s-a redus semnificativ cu un  $R^2 = 0,56$  și  $RPD < 2$ , ce indică o precizie slabă de predicție, comparativ cu calibrarea universală zonală. O posibilă cauză a acestor rezultate ar putea fi devierea standard mai mică și gama mai îngustă a setului de calibrare local.

10. Rezultatele au demonstrat că indicatorii cheie ai fertilității solului (COS, N total, carbonați) pot fi estimați cu o precizie înaltă, iar analiza solului prin metoda NIRS poate reduce considerabil costurile analizelor clasice.

11. Rezultatele acestui studiu confirmă că metoda NIRS poate fi utilizată cu succes în predicția diferitor proprietăți chimice și fizice în solurile cenușii și cernoziomurile Republicii Moldova. Astfel, metoda NIRS ar putea servi în calitate de instrument analitic rapid în evaluarea managementului agricol al solului aplicat de fermieri și monitorizarea fertilității solului [86].

#### 4. ANALIZA COMPARATIVĂ A FERTILITĂȚII SOLURILOR DIN ZONA DE NORD A MOLDOVEI DUPĂ DIFERIȚI INDICATORI

În scopul evaluării modificărilor în starea de calitate a terenurilor agricole din raioanele zonei de Nord a Republicii Moldova, utilizate în dependență de arealul geografic, tehnologia de cultivare, cultura agricolă, au fost prelevate în total 84 profile de sol, dintre care 71 profile ale cernoziomurilor (tipice, obișnuite, argiloiluviale, levigate și carbonatice) și 13 profile de soluri cenușii (tipice și molice).

##### 4.1. Indicatorii de calitate a cernoziomurilor tipice cercetate

A. Canarache [40], menționa că între conținutul de argilă (diametrul  $< 0,002$  mm) și cel de argilă fizică (diametrul  $< 0,01$  mm, după clasificarea Kacinski) există o corelație foarte bună, care permite determinarea unei fracțiuni în baza cunoașterii celeilalte, după formula din cap. 2.

Caracteristica comparativă a valorilor *texturii solului* (fracțiunile granulometrice de argilă, praf și nisip) a cernoziomurilor tipice cercetate este prezentată în Anexa 9 (tab. A9.1). Datele prezentate nu evidențiază divergențe mari între regiunile de prelevare și pe întreg profilul de sol. Conținutul de argilă fizică ( $< 0,01$  mm) constituie 53,4-64,4% și de argilă fină ( $< 0,001$  mm) – 35,3-43,7% în stratul arabil 0-25 cm; iar 51,1-67,9% argilă fizică și 33,6-46,4% argilă fină în stratul subarabil 25-50 cm [87].

Un conținut mai înalt de argilă fizică 67-69% și argilă – 46-47% se distinge în cernoziomul tipic înțelenit (Polig. 32), pe întreg profilul solului începând cu stratul subarabil 25-100 cm. V. Cerbari și T. Balan [44, p.153], citați de M. Ilușca [87], au obținut valori similare, menționând că acest % mare de argilă este determinat de depozitele loessoide luto-argiloase, pe care s-a format cernoziomul înțelenit al poligonului nr. 32.

Conform datelor obținute textura cernoziomurilor tipice cercetate este preponderent luto-argiloasă pe întreg profilul solului, deși câmpurile din r. Drochia (câmpul nr. 4 cultivat cu orz de toamnă și câmpul nr. 5 cultivat cu floarea-soarelui) au o textură argilo-lutoasă pe întreg profilul solului. Pe câmpurile cu textură lutoasă a stratului arabil lucrarea mai ușoară a solului este favorizată, fiind obținută o arătură mai puțin bulgăroasă; iar pe câmpurile cu textură argiloasă lucrarea solului devine anevoioasă, și pot fi predispuse spre compactare și formare de crustă [87].

V. Cerbari și T. Balan [44, p.123], citați de M. Ilușca [87], au demonstrat că modul de gestionare a terenurilor nu influențează textura cernoziomurilor, însă valorile fracțiilor texturii determină în mare parte sistemele agrotehnice aplicate pe aceste terenuri. Totodată, predominarea depozitelor loessoide pe care s-au format cernoziomurilor tipice a condiționat omogenitatea spațială a texturii pe întreg arealul de răspândire a acestora [44, p.124].

Valorile indicatorilor chimici ai profilelor cernoziomurilor tipice cercetate sunt prezentate în figura 4.1 și Anexa 9 (tab. A9.1). Profilele de sol și pozițiile de prelevare a cernoziomurilor tipice cercetate din zona de Nord sunt prezentate în Anexa 10.

Conținutul mediu de *carbon organic al solului* (în continuare COS) în profilele cernoziomului tipic investigat constituie între 2,8-2,0% în stratul arabil 0-25 cm, și ajunge la 1,1-0,5% în stratul 75-100 cm de sol (figura 4.1). În r. Drochia, profilul de sol (Dr-F5) a cernoziomului tipic prelevat pe câmpul nr. 5 (cultivat cu floarea-soarelui) se distinge prin valori mai înalte a COS pe întreg profilul solului: de la 2,8% în stratul 0-50 cm și până la 1-2% în stratul 50-100 cm; iar profilul câmpului nr. 4 cu orz de toamnă (Dr-F4a), are un conținut de COS mai mic, variind de la 2,7-2,4% în stratul 0-50 cm și 1,6-1,1% în stratul 50-100 cm [87].

Cernoziomul tipic arabil pe câmpul nr. 1 cultivat cu mazăre pentru boabe din r. Florești (profilul FI-F1) conține 2,8-2,6% COS în stratul 0-50 cm și 1,5-0,9% în stratul 50-100 cm [87].

În profilul de sol (Sg-F4a) prelevat pe câmpul nr. 4 din r. Sîngerei, cultivat cu grâu de toamnă, conținutul de COS variază de la 2,8-2,6% în stratul 0-50 cm până la 1,5-1,0% în stratul 50-100 cm; iar în profilul (Sg-F6a) de sol al câmpului nr. 6 cultivat cu floarea-soarelui, conținutul de COS este de 2,6-1,9% în stratul 0-50 cm și 1,0-0,8% în stratul 50-100 cm [87].

Profilul de sol (So-F2b) a câmpului nr. 2 cultivat cu floarea-soarelui din r. Soroca, are un conținut de COS ce variază între 2,7-2,6% în stratul 0-50 cm și 1,7-1,1% în stratul 50-100 cm; iar cel a câmpului nr. 1 cultivat cu sfeclă de zahăr (profilul So-F1), conține între 2,7-2,3% COS în stratul 0-50 cm și 1,2-0,8% în stratul 50-100 cm [87].

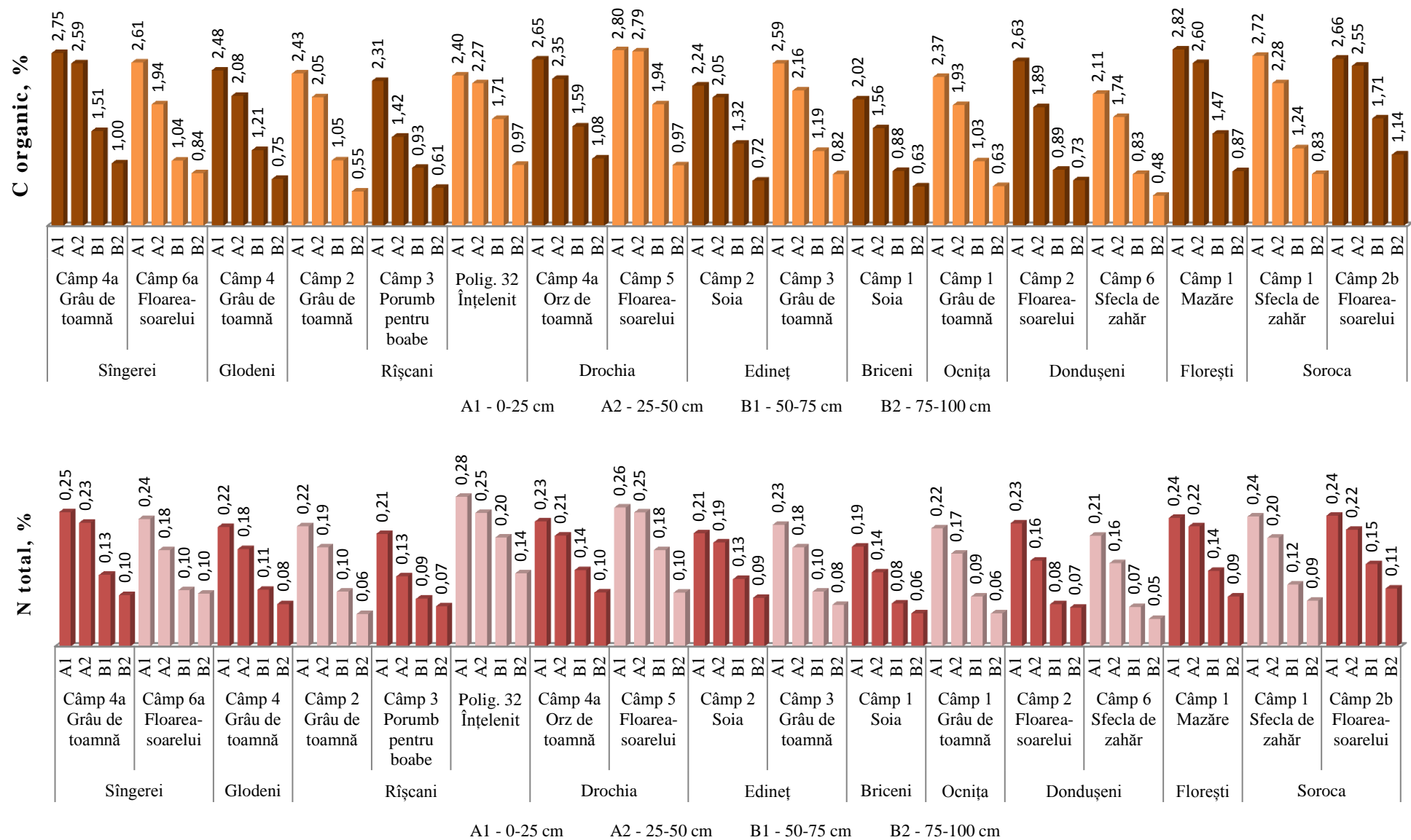
Profilele de sol a cernoziomurilor tipice prelevate în r. Edineț, Briceni, Dondușeni, Ocnița, Rîșcani și Glodeni au valori mai mici a indicatorilor [87].

În r. Edineț, conținutul de COS în stratul arabil 0-25 cm constituie 2,2% pe câmpul nr. 2 cu soie și 2,6% pe câmpul nr. 3 cu grâu de toamnă, și scade treptat până sub 1% spre adâncimea de 1 m. Aceeași tendință se atestă și pe cernoziomul tipic din r. Glodeni, câmpul nr. 4 cultivat cu grâu de toamnă, unde stratul arabil conține 2,5% COS, cu scădere treptată până sub 1% la adâncimea de 1 m [87].

În profilul de sol (Dn-F2) prelevat pe câmpul nr. 2 (cu floarea-soarelui) din r. Dondușeni, conținutul de COS constituie 2,6-1,9% în stratul 0-50 cm și sub 1% la adâncimea de 1 m; iar pe câmpul nr. 6 (sfeclă de zahăr) conținutul de COS este mai mic constituind 2,1-1,7% în stratul 0-50 cm și sub 1% la adâncimea de până la 1 m [87].

În r. Ocnița, profilul (Oc-F1) cernoziomului tipic din câmpul nr. 1 cultivat cu grâu de toamnă, are un conținut de COS de 2,4-1,9% în stratul 0-50 cm și 1,0-0,6% în stratul 50-100 cm [87].





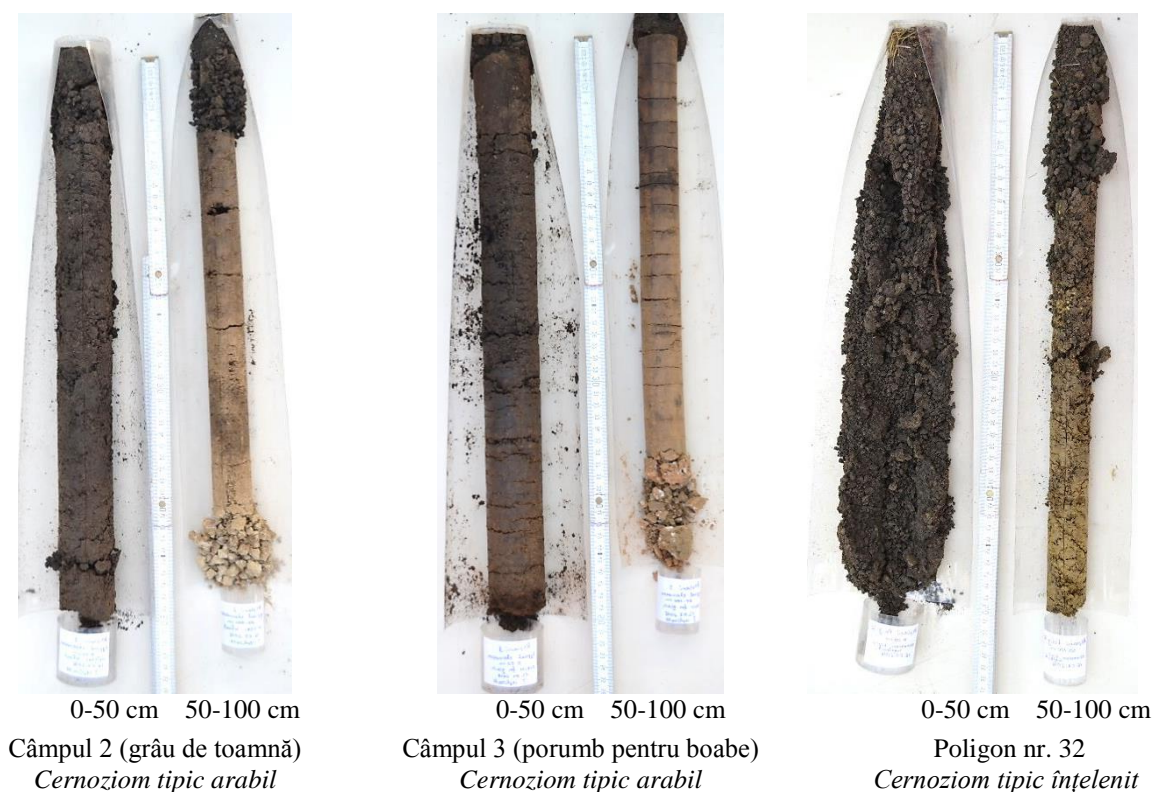
**Fig. 4.1. Conținutul de C organic și N total al cernoziomurilor tipice din zona de Nord [87]**

Profilul de sol (Br-F1) prelevat pe câmpul nr. 1 (soia) din r. Briceni, are un conținut mai mic de COS ce cenostituie 2,0-1,6% în stratul 0-50 cm și sub 1% în straturile inferioare [87].

În r. Rîșcani, profilul de sol (Rs-F2) al câmpului nr. 2 cultivat cu grâu de toamnă, are un strat humifer (2,4-2,1% COS) cu grosimea de 50 cm, ce scade brusc sub 1% COS la 1 m, iar profilul câmpului nr. 3 cultivat cu porumb pentru boabe are un strat humifer (2,3% COS) de cca 28 cm grosime, ce scade brusc sub 1% COS în straturile inferioare [87].

Un profil de sol (Rs-Polig.32) a cernoziomului tipic înțelenit fost prelevat pe terenul poligonului de monitoring nr. 32 din moșia satului Grinăuți (r. Rîșcani). V. Cerbari și T. Balan [44, p.142], citați de M. Ilușca [87], au folosit acest poligon ca etalon absolut în studiul comparativ a stării de calitate a cernoziomurilor tipice înțelenite și arabile, prin aprecierea modificărilor însușirilor sub influența factorului antropic.

În figura 4.2 sunt ilustrate câteva profilele a cernoziomurilor tipice arabile și înțelenite. Profilul cernoziomului înțelenit are un orizont superior înțelenit de acumulare a humusului cu rădăcini vii și putrede, nuanță brun-închis datorită resturilor organice semidescompuse, structura grăunțoasă, poros, care trecere treptată în orizontul inferior. Orizontul inferior prezintă o continuare a orizontului humifer, cu structura grăunțoasă – nuciformă, compact, poros [87].



**Fig. 4.2. Profilele de sol a cernoziomurilor tipice cercetate din r. Rîșcani [87]**

Cernoziomurile arabile studiate au profile de sol ce diferă vizual de cel înțelenit. Profilul de sol prelevat din câmpul nr. 2 cultivat cu grâu de toamnă are orizont arabil afânat, care devine

slab compact până la compact în stratul subarabil, structura este glomerulară, spre deosebire de profilul de sol al câmpului nr. 3 sub porumb pentru boabe, cu un orizont superior slab compact și devine compact în cel inferior [87].

Cernoziomul tipic înțelenit (Polig.32) conține COS de la 2,4% în stratul 0-25 cm până la 1% în stratul 75-100 cm, și valori înalte a conținutului de N total pe întreg profilul de sol (0,28% – 0,14%) [87].

În ceea ce privește conținutul *N total* solurile cercetate, acesta este direct proporțional cu conținutul de COS (figura 4.1), și variază de la 0,28% în stratul de sol 0-50 cm până la 0,05% în stratul 50-100 cm. Valorile *raportului C:N* pentru stratul de sol 0-50 cm constituie 10-11, iar pentru stratul 50-100 cm de sol – 8-11 (tab. A9.1 din anexa 9). Kononova și colab. (1975), citați de L. Sikora și D. Stott [166], au observat că pe terenuri cu același tip de sol, dar utilizate diferit, raporturile C/N variau foarte mult și depindeau de grija acordată în îndepărtarea reziduurilor de plante semi-descompuse în timpul pregătirii probelor de sol pentru analiză [87].

Cernoziomurile tipice studiate au reacție slab acidă-neutră (5,9-7,2 valori pH) în stratul 0-50 cm și slab alcalină-neutră (6,8-8,1 valori pH) în stratul 0-50 cm de sol. Un nivel înalt al pH-ului s-a obținut în stratul arabil al câmpului nr. 1 (So-F1) din r. Soroca [87].

*Carbonații* sunt prezenți pe întreg profilul solului (tab. A9.1) și variază de la 0,1-1,5% în stratul de sol 0-50 cm și 0,1-18,0% în stratul 50-100 cm de sol [87].

Aprecierea modificării indicatorilor cernoziomurilor tipice utilizate la arabil se realizează în baza analizei comparative în raport cu indicatorii cernoziomurilor tipice înțelenite. Pentru această analiză comparativă au fost folosite datele studiilor efectuate de pedologii din Republica Moldova, așa cum în prezent nu s-au păstrat cernoziomuri virgine [87].

Cercetările pedologice realizate de A. Ursu [188], citat de M. Ilușca [87], au evidențiat consecințele valorificării și folosirii cernoziomurilor în circuitul agricol, în special, prin lucrarea sistematică a solurilor, fapt ce a dus la inițierea proceselor de degradare, cele mai însemnate fiind distrugerea structurii solului, reducerea rezervelor de humus, și eroziune solului. În studiul comparativ a modificării calității cernoziomului tipic, autorul a utilizat datele obținute din analiza unui profil de sol (profilul 69) amplasat în fâșie forestieră cu înveliș ierbos din Stepa Bălților, și a unui profil de sol amplasat pe un teren agricol arat (profilul 70) la o distanță de 50 m de profilul 69. Rezultatele obținute de A. Ursu [188], citat de M. Ilușca [87], au constatat că cernoziomul tipic din fâșia forestieră are un conținutul de humus de 5,90% în stratul 0-20 cm și până la 1,10% în stratul 90-100 cm de sol; pe când cernoziomul tipic arabil are un conținut de humus mai redus ce variază de la 3,90% în stratul 0-20 cm și până la 1% în stratul 90-100 cm de sol.

V. Cerbari și T. Balan [44], citați de M. Ilușca [87], au folosit ca etalon absolut indicatorii cernoziomurilor tipice înțelenite în cercetările sale pedologice privind aprecierea stării cernoziomurilor tipice arabile ca rezultat al degradării, și a remedierii indicatorilor degradați pe terenul desfundat și înțelenit timp de 30 ani și 60 ani cu vegetație naturală ierboasă. Autorii au constatat o restabilire completă a structurii grăunțoasă și conținutului de humus caracteristice solurilor înțelenite virgin, în baza analizei comparative a indicatorilor cernoziomurilor tipice înțelenite virgine din s. Grinăuți, r. Rîșcani, față de cele a cernoziomurilor înțelenite timp de 60 ani din r. Drochia [44]. Astfel, conținutul de humus în stratul 0-25 cm al solurilor cercetate a constituit pentru cernoziomurile arabile – 4,03%; înțelenite (virgine) – 6,06%; postdesfundate, înțelenite în decurs de 30 ani – 4,66%; iar pentru cele postarabile, înțelenite în decurs de 60 ani – 6,15%. Potrivit calculelor, se constată o reducere a conținutului de humus cu cca 33% în stratul arabile (0-30 cm) față de cel inițial. Totodată, înțelenirea cernoziomurilor tipice postdesfundate timp de 30 ani a asigurat o majorare cu 0,63% humus în stratul 0-30cm și cu 0,55% în stratul 0-50 cm de sol, și constituie 10-11% humus de la valoarea inițială.

Compararea indicatorilor cernoziomurilor înțelenite, în baza datelor raportate de cercetătorii din țară în studiile anterioare, cu indicatorii cernoziomurilor tipice arabile din raioanele zonei de Nord a Moldovei obținuți în acest studiu, a evidențiat tendința reducerii rezervelor de MOS cu cca 2% în stratul 0-50 cm de sol, sub influența unui management agricol, bazat pe lucrări agricole intensive și lipsa unui aport suficient de resturi vegetale și de gunoi de grajd [87].

A. Ursu [188], citat de M. Ilușca [87], menționa că „pentru utilizarea în mod durabil a cernoziomului tipic moderat humifer trebuie să fie implementate sisteme de fitotehnologii de protecție, care vor asigura menținerea bilanțului MOS și a proprietăților pozitive ale solului”.

Potrivit rezultatelor experiențelor în câmp de lungă durată cu asolamente și culturi permanente pe cernoziom tipic din stepa Bălților, efectuate de cercetătorii ICCC „Selectia”, citați de M. Ilușca [87], refacerea deplină a rezervelor de MOS poate fi realizată prin înlocuirea culturilor agricole anuale cu formațiuni ierboase perene. Datele obținute pe parcelele cu pârlăoagă, au demonstrat că rezervele inițiale de COS în stratul de sol 0-40 cm, au fost restabilite în decurs de 31 de ani de înțelenire la varianta nefertilizată și 25-30 de ani la varianta fertilizată. Datorită unui spor al rezervei de COS în mărime de 12% și 7% pe varianta nefertilizată și fertilizată, corespunzător, s-a asigurat această recuperare a pierderilor inițiale în stratul de sol 0-20 cm sub vegetația de pârlăoagă. În același timp, datele experienței de câmp, constată că o calitate mai bună a MOS poate fi asigurată printr-o diversitate mai mare de culturi din asolament, iar includerea de leguminoase perene în rotație îmbogățește solul cu COS și cu azot [29].

Datele prezentate privind modificarea indicatorului integral al fertilității solului, adică a conținutului de MOS, ca rezultat al practicilor agricole aplicate, sunt o demonstrație clară că fertilitatea, productivitatea și multe alte funcții ale solului este determinată de un management agricol durabil.

#### **4.2. Indicatorii de calitate a cernoziomurilor obișnuite cercetate**

După A. Ursu [188], cernoziomurile obișnuite nu se deosebesc morfologic evident de cernoziomurile tipice, dar diferă după conținutul de humus, conform căruia în clasificarea actuală sunt definite ca cernoziomuri tipice slab humifere.

Caracteristica comparativă a valorilor *texturii* (fracțiunile granulometrice de argilă, praf și nisip) a cernoziomurilor obișnuite cercetate este prezentată în Anexa 9 (tab. A9.2). Datele privind textura solului nu prezintă diferențe mari între regiunile de prelevare și adâncimea stratului de sol. În stratul arabil 0-25 cm conținutul de argilă fizică variază în limitele 53,8-62,3% și de argilă fină – 35,6-42,1% în medie, iar în stratul subarabil 25-50 cm conținutul de argilă fizică constituie 55,6-67,5% și de argilă fină – 36,9-46,1%.

Datele prezentate confirmă că textura cernoziomurilor obișnuite este luto-argiloasă pe întreg profilul solului, cu excepția profilurilor Sg-F4b (câmpul nr. 4 din r. Sîngerei), Rs-F1 (câmpul nr. 1 din r. Rîșcani) și F1-F2 (câmpul nr. 2 din r. Florești) cultivate cu grâu de toamnă, care se deosebesc printr-o textură argilo-lutoasă pe întreg profilul solului. Pe câmpurile cu textură lutoasă a stratului arabil lucrarea mai ușoară a solului este favorizată, fiind obținută o arătură mai puțin bulgăroasă; iar pe câmpurile cu textură argiloasă lucrarea solului devine anevoioasă, și pot fi predispuse spre compactare și formare de crustă.

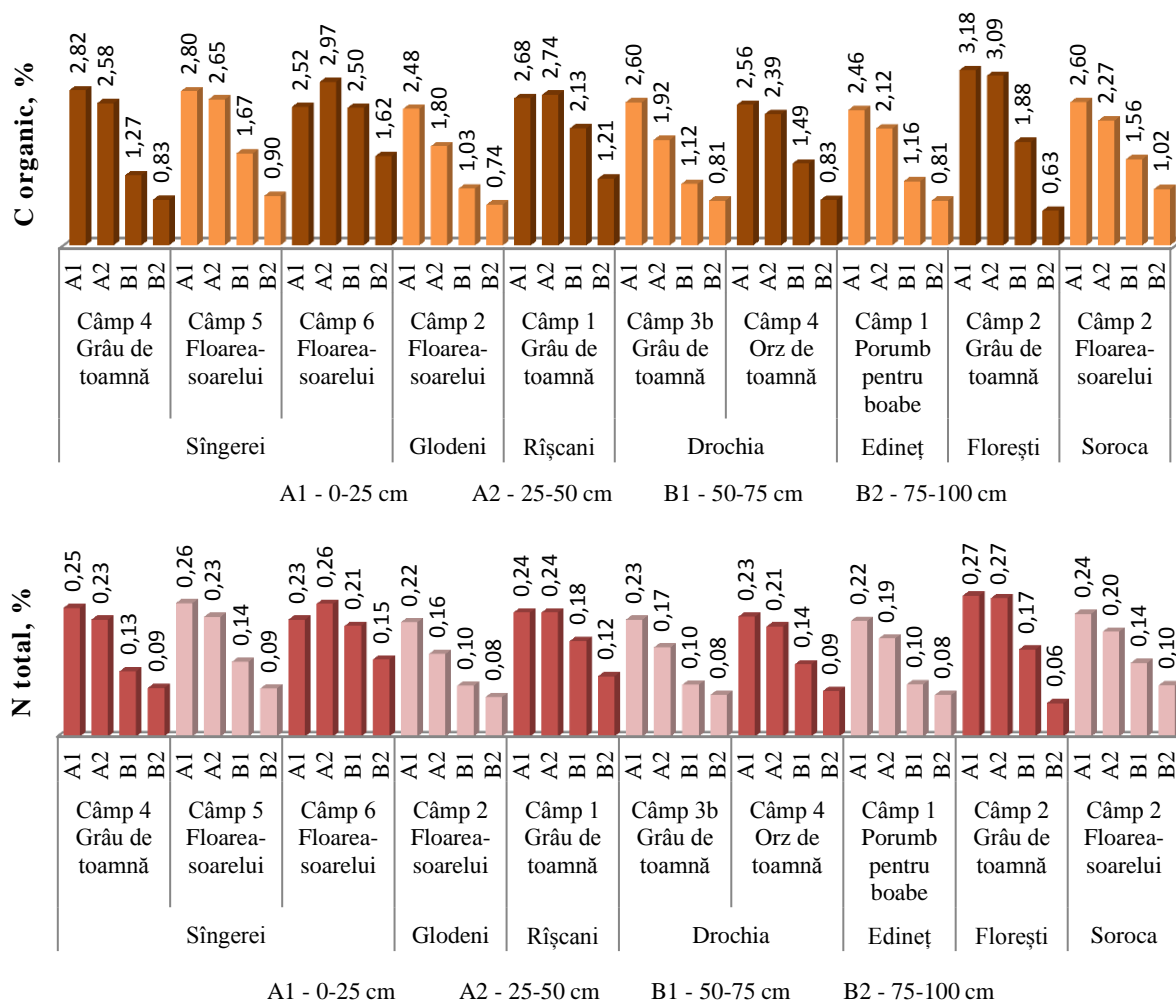
Rezultatele privind însușirile chimice pentru profilele cernoziomurilor obișnuite cercetate sunt prezentate în figura 4.3 și Anexa 9 (tab. A9.2). Imaginea profilelor de sol și a pozițiilor de prelevare a acestora sunt prezentate în Anexa 11. Conținutul mediu de COS în profilele subtipului cercetat variază de la 3,2% în stratul arabil 0-25 cm până la 0,6% în stratul de sol 75-100 cm (figura 4.3).

Cernoziomul obișnuit, din r. Florești, câmpul nr. 2 (profilul F1-F2) cultivat cu grâu de toamnă, are cel mai înalt conținut de COS în stratul de sol 0-50 cm și constituie cca 3,2% cu o scădere bruscă în stratul de sol 50-100 cm (1,9-0,6%).

Un conținut de COS înalt pe întreg profilul solului se evidențiază și în câmpul nr. 1 (profilul Rs-F1) din r. Rîșcani, cultivat cu grâu de toamnă, ce variază între 2,7% în stratul 0-50 cm și 2-1% în stratul 50-100 cm.

Cernoziomul obișnuit din r. Sîngerei, câmpul nr. 6 (profilul Sg-F6b) cultivat cu floarea-soarelui prezintă un conținut de COS mai înalt pe întreg profilul solului (3,0-1,6%), comparativ

cu câmpul nr. 4 (profilul Sg-F4b) cultivat cu grâu de toamnă și câmpul nr. 5 (profilul Sg-F5b) cultivat cu floarea-soarelui, care se evidențiază cu un conținut înalt de COS de la 2,8% în stratul 0-50 cm, și cu un conținut redus de 1,3-0,8% COS în stratul 50-100 cm de sol.



**Fig. 4.3. Conținutul de C organic și N total al cernoziomurilor obișnuite din zona de Nord**

Câmpul nr. 2 (Gl-F2) din r. Glodeni cultivat cu floarea-soarelui, câmpul nr. 1 (Ed-F1) din raionul Edineț cultivat cu porumb pentru boabe și câmpul nr. 2 (So-F2a) din r. Soroca cultivat cu floarea-soarelui, au un strat arabil humifer de cca 2,6% COS fiecare, însă înregistrează o scădere treptată a conținutului de COS în adâncime, ajungând sub 1% în stratul de sol 75-100 cm de sol.

Aceeași tendință se observă și pe câmpul nr. 3 (profilul Dr-F3b) din r. Drochia cultivat cu grâu de toamnă, care conține 2,6% de COS în stratul arabil 0-25 cm și scade treptat în adâncime până sub 1% de COS în stratul 75-100 cm sol. Deși, câmpul nr. 4 (Dr-F4c) din același raion cultivat cu orz de toamnă, are un strat humifer de cca 2,6% COS până la adâncimea de 50 cm de sol. Conform figurii 4.3 se observă că câmpurile semănate cu culturi păioase au un strat humifer mai profund până la adâncimea de 50 cm, iar câmpurile semănate cu culturi prășitoare au un strat humifer de până la 25-30 cm.

Conținutul *azotului total* în solurile cercetate corelează cu conținutul de humus. Cu cât conținutul de humus este mai mare cu atât și conținutul de azot total se mărește (figura 4.3). Conținutul de N total variază pe profilul solurilor cercetate de la 0,16-0,27% în stratul de sol 0-50 cm până la 0,05-0,21% în stratul 50-100 cm. Valorile medii ale *raportului C:N* sunt egale cu 10-11 pentru stratul de sol 0-50 cm, și 8-11 pentru stratul 50-100 cm de sol (tab. A9.2).

Cernoziomurile obișnuite de pe câmpurile studiate se caracterizează cu reacție slab acidă-neutră în orizonturile superioare și slab alcalină-neutră în orizonturile inferioare. Valorile *pH*-lui pe profilul cernoziomurilor obișnuite cercetate variază în limitele 5,9-7,5 în stratul de sol 0-50 cm (tab. A9.2). Stratul 50-100 cm de sol se caracterizează prin valori ale *pH*-lui mai mari decât în stratul 0-50 cm (*pH*=6,4-8,0). Cel mai înalt nivel al *pH*-ui atât în stratul arabil 0-25 cm cât și pe întreg profilul de sol s-a înregistrat pe câmpul nr. 4 (Dr-F4c) cultivat cu orz de toamnă din r. Drochia și câmpul nr. 2 (So-F2a) cultivat cu floarea-soarelui din raionul Soroca, atingând valori ale *pH*-lui între 7,3-7,9.

Pentru majoritatea profilurilor solurilor cercetate *carbonații* sunt levigați din stratul 0-50 cm și acumulați în stratul 50-100 cm (tab. A9.2), unde formează un strat carbonatic iluvial pronunțat, extrem de compact în stare uscată. Conținutul carbonaților în 50-100 cm variază în limitele 0,2-16,9%.

Pentru prima dată acest subtip de cernoziom a fost studiat în anul 1877 de V. Dokuceaev, care numea cernoziomul – „regele solurilor”; iar în lucrarea sa *Русский чернозём* [214] a prezentat o descriere a profilului solului săpat într-o stepă virgină, absolut plană din Nepada, care s-a caracterizat prin orizont A (0-61 cm) de sol negru, afânat și amestecat cu rădăcini vii și moarte; orizont B de tranziție cu urme de crotovine și orizont C – loess tipic cu multe concrețiuni. Conform analizei solului s-a constatat că acesta avea doar 5,718% de humus [214].

Ulterior, acest teren din moșia comunei Năpadova (r. Florești), care în 1877 reprezenta cernoziomul înțelenit virgin, a devenit obiect de studiu în diverse cercetări pedologice. V. Kovda a prezentat, în lucrarea sa *Cernoziomul la 100 de ani după Dokuceaev* [217] publicată în anul 1983, date privind pierderile de humus din stratul arabil 0-30 cm a cernoziomului obișnuit din Moldova. Potrivit acestor date, după un secol (1881-1981) de folosință agricolă s-au pierdut 51-71 t/ha (în medie 0,5-0,7 t/ha/an), ceea ce a constituit 32-40% din rezerva inițială determinată de V. Dokuceaev [217].

Adițional, cernoziomul înțelenit de pe acest teren, care a fost introdus în circuitul agricol, a fost studiat în 1960 și în 2003, de către academicianul A. Ursu [188], care a constatat o scădere a conținutului de MOS de la 5,72 la 3,75% în 1960 și la 3,3% în 2003. Deci, într-o perioadă de 83 de ani (1877-1960) conținutul de humus s-a micșorat cu 2,04% sau cu 35,7 la sută; iar în următorii 43 de ani (1960-2003), conținutul de humus s-a micșorat numai cu 0,32% sau cu 8,7 la

sută, fapt ce confirmă că cele mai mari pierderi de humus prin mineralizare se produc în prima perioadă după desțelenire și exploatare agricolă [188].

Potrivit rezultatelor cercetărilor efectuate de către colaboratorii IPAPS „Nicolae Dimo” în anul 2007 [44], conținutul de humus (3,25%) din stratul arabil a cernoziomului tipic de pe poligonul de monitoring din c. Năpadova, confirmă procesul de dehumificare în perioada de 130 ani exploatare îndelungată în agricultură după V. Dokuceaev.

Potrivit lui A. Ursu [188], datele obținute sunt o confirmare a tendinței de reducere a conținutului de humus în cernoziomurile ce sunt lucrate fără asigurarea unui flux continuu de materie organică. În acest context, prin studierea unui profil de sol sub fâșie forestieră înțelenită de 35-40 ani s-a constatat că stratul de sol 0-20 cm avea un conținut de 4,2% humus, fapt ce a demonstrat că înțelenirea cernoziomurilor arabile asigură majorarea conținutului de humus și contribuie la restabilirea structurii grăunțoase a orizontului superior [188].

În baza analizei comparative a rezultatelor obținute de către cercetătorii menționați mai sus, pe cernoziomurile obișnuite virgine, cu rezultatele obținute pe cernoziomurile obișnuite arabile din raioanele zonei de Nord a Moldovei cercetate în acest studiu, au arătat că totuși există o tendință de reducere a conținutului de MOS cu cca 1% în stratul arabil 0-30 cm de sol, ca rezultat al practicilor agricole aplicate, caracterizate preponderent prin lucrări agricole intensive și un aport insuficient de resturi vegetale și de gunoi de grajd. Cu toate acestea, pe câmpul nr.2 sub cultura grâului de toamnă, din r. Florești, conținutul de humus se menține la un nivel relativ înalt atât în stratul arabil de sol, cât și în stratul postarabil de până la 50 cm.

### **4.3. Indicatorii de calitate a cernoziomurilor argiloiluviale cercetate**

Caracteristica comparativă a valorilor *texturii solului* (fracțiunile granulometrice de argilă, praf și nisip) a cernoziomurilor argiloiluviale cercetate este prezentată în Anexa 9 (tab. A9.3). Datele privind textura solului nu prezintă diferențe mari între regiunile de prelevare și adâncimea stratului de sol. În stratul arabil 0-25 cm conținutul de argilă fizică variază în limitele 55,1-64,9% și de argilă fină – 36,6-44,1% în medie, iar în stratul subarabil 25-50 cm conținutul de argilă fizică constituie 56,9-67,3% și de argilă fină – 37,9-45,9%.

Datele prezentate confirmă că textura cernoziomurilor argiloiluviale cercetate este preponderent argilo-lutoasă pe întreg profilul solului, cu excepția câmpului nr. 4 din raionul Briceni cultivat cu grâu de toamnă și câmpului nr. 6 din r. Edineț cultivat cu orz de toamnă, care se deosebesc printr-o textură luto-argiloasă pe întreg profilul solului. Pe câmpurile cu textură lutoasă a stratului arabil lucrarea mai ușoară a solului este favorizată, fiind obținută o arătură mai puțin bulgăroasă; iar pe câmpurile cu textură argiloasă lucrarea solului devine anevoioasă, și pot fi predispuse spre compactare și formare de crustă.



Rezultatele privind însușirile chimice pentru profilele cernoziomurilor argiloiluviale cercetate sunt prezentate în figura 4.4 și Anexa 9 (tab. A9.3). Imaginea profilelor de sol și a pozițiilor de prelevare a acestora sunt prezentate în Anexa 12.

Conținutul mediu de *COS* în profilul subtipului cercetat variază de la 2,7% în stratul arabil 0-25 cm până la 0,2% în stratul de sol 75-100 cm (figura 4.4).

Cernoziomul argiloiluvial, din r. Florești, câmpul nr. 5 (profilul Fl-F5a) cultivat cu porumb pentru boabe, are cel mai înalt conținut de *COS* pe întreg profilul solului, care constituie 2,8-2,6% în stratul 0-50 cm de sol și 2-1% în stratul de sol 50-100 cm de sol.

Câmpul nr. 4 (profilul Dn-F4) din r. Dondușeni cultivat cu soia, are un strat humifer cu 2,8-2,6% *COS* până la adâncimea de 50 cm, cu o scădere treptată în adâncime, ajungând de la 2% la 1% de *COS* în stratul de sol 50-100 cm de sol. Deși, câmpul nr. 5 cultivat cu floarea-soarelui are un strat moderat humifer cu grosimea de 50 cm (cca 2,3% *COS*), dar ajunge sub 1% *COS* în stratul 75-100 cm de sol.

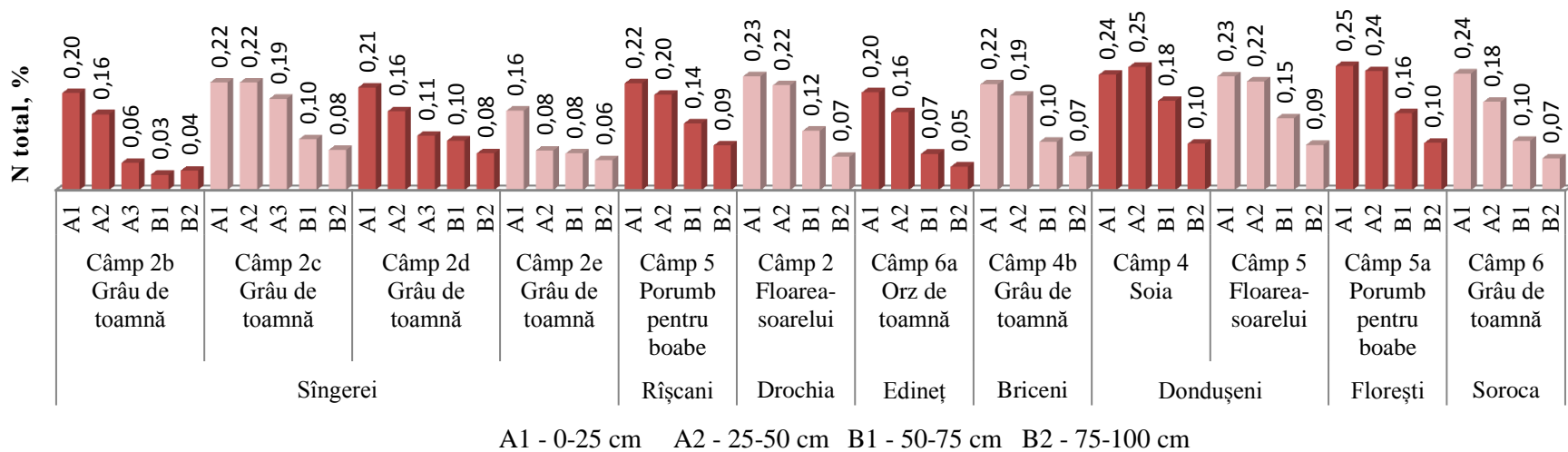
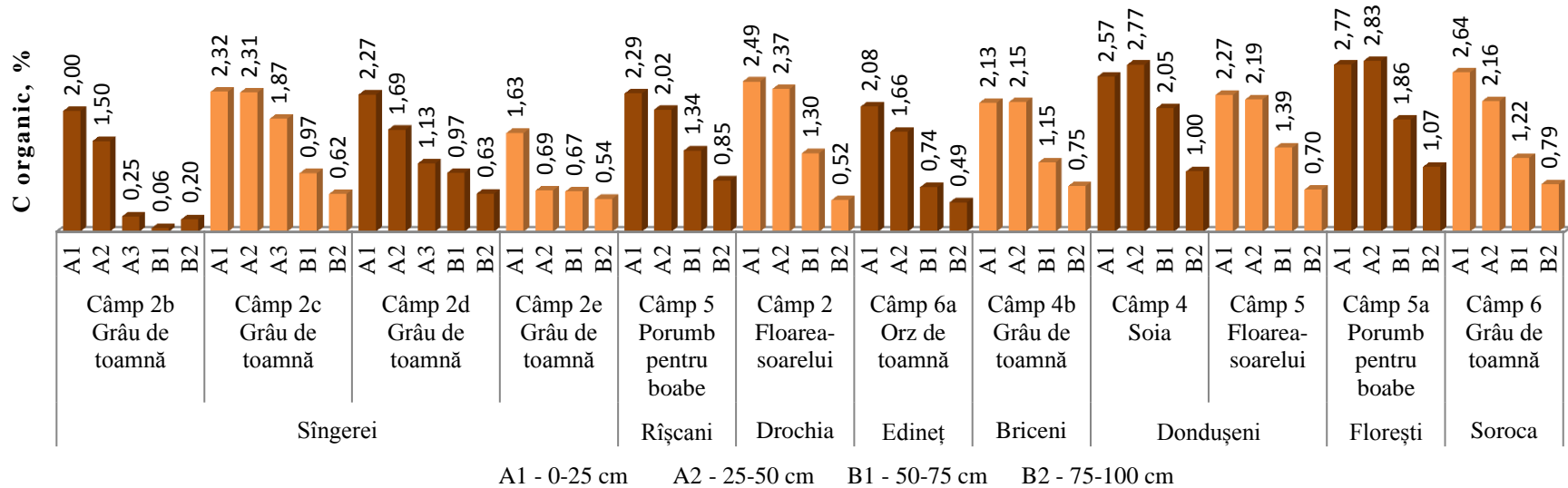
În cernoziomul argiloiluvial din ra. Soroca, conținutul de *COS* ajunge la 2,6% în stratul arabil 0-25 cm al câmpului nr. 6 cultivat cu grâu de toamnă și scade spre adâncimea de 75 cm până sub 1%, iar în r. Drochia, câmpul nr. 2 cultivat cu floarea-soarelui are un conținut de *COS* de cca 2,5% în stratul 0-50 cm, care scade sub 1% spre adâncimea de 75-100 cm.

Câmpul nr. 6 din r. Edineț cultivat cu orz de toamnă și câmpul nr. 4 din r. Briceni cultivat cu grâu de toamnă au un strat arabil de 0-25 cm moderat humifer ce conține cca 2,1% de *COS*, iar în stratul de sol 50-100 cm conținutul de *COS* scade până la 1%.

În cadrul câmpului nr. 2 (r. Sîngerei) cultivat cu grâu de toamnă, conținutul de *COS* al cernoziomului argiloiluvial variază pe întreg profilul solului în dependență de punctul de prelevare. Astfel, punctele Sg-F2b și Sg-F2e de prelevare a profilelor solului prezintă cele mai mici valori ce variază între 2,0-0,7% de *COS* în stratul 0-50 cm și sub 0,7% în stratul 50-100 cm de sol. Conținutul de *COS* în punctele de prelevare Sg-F2c și Sg-F2d variază în limitele 2,3-1,1% în stratul 0-50 cm și sub 1% în stratul 50-100 cm.

Conținutul *azotului total* în solurile cercetate corelează cu conținutul de humus. Cu cât conținutul de humus este mai mare cu atât și conținutul de azot total se mărește. Conținutul de N total variază pe profilul solurilor cercetate de la 0,08-0,25% în stratul de sol 0-50 cm până la 0,03-0,18% în stratul 50-100 cm.

Valorile *raportului C:N* variază în limitele 10-12 pentru stratul de sol 0-50 cm și 8-12 pentru stratul 50-100 cm de sol (tab. A9.3 din Anexa 9). Valorile mici ale raportului C:N în profilul Dn-F5 (r. Dondușeni) indică un conținut foarte mare de azot în humus, ceea ce înseamnă că se produce o mineralizare mai intensă a materiei organice.



**Fig. 4.4. Conținutul de C organic și N total al cernoziomurilor argiloiluviale din zona de Nord**

Cernoziomurile argiloiluviale de pe câmpurile studiate se caracterizează cu reacție slab acidă-neutră în orizonturile superioare și slab alcalină-neutră în orizonturile inferioare. Reacția solului pe tot profilul Sg-F2b, a câmpului nr. 2 cultivat cu grâu de toamnă, este moderat acidă. Valorile *pH*-lui pe profilul cernoziomurilor argiloiluviale cercetate variază în limitele 4,9-6,9 în stratul de sol 0-50 cm (tab. A9.3). Stratul 50-100 cm de sol se caracterizează prin valori ale *pH*-lui mai mari decât în stratul 0-50 cm (*pH*=5,2-8,2). Cel mai înalt nivel al *pH*-ui atât în stratul arabil 0-25 cm cât și pe întreg profilul de sol s-a înregistrat pe câmpul nr. 2 (Sg-F2c) cultivat cu grâu de toamnă din raionul Sîngerei și câmpul nr. 2 (Dr-F2) cultivat cu floarea-soarelui din raionul Drochia, atingând valori ale *pH*-lui între 6,5-8,2.

Pentru majoritatea profilurilor solurilor cercetate *carbonații* sunt levigați din stratul 0-50 cm și acumulați în stratul 50-100 cm (tab. A9.3). Conținutul carbonaților în stratul 50-100 cm variază în limitele 0,2-17,9%. Întreg profilul de sol al câmpurilor Sg-F2b, Ed-F6a, So-F6 este lipsit de carbonați.

#### **4.4. Indicatorii de calitate a cernoziomurilor levigate cercetate**

Caracteristica comparativă a valorilor *texturii solului* (fracțiunile granulometrice de argilă, praf și nisip) a cernoziomurilor levigate cercetate este prezentată în Anexa 9 (tab. A9.4). Datele privind textura solului nu prezintă diferențe mari între regiunile de prelevare și adâncimea stratului de sol. În stratul arabil 0-25 cm conținutul de argilă fizică variază în limitele 54,1-62,8% și de argilă fină – 35,6-42,5% în medie, iar în stratul subarabil 25-50 cm conținutul de argilă fizică constituie 51,3-62,9% și de argilă fină – 33,8-42,6%. Aceste date confirmă că textura cernoziomurilor levigate cercetate este luto-argiloasă pe întreg profilul solului. Textura lutoasă a stratului arabil în solurile cercetate favorizează lucrarea mai ușoară a acestora, arătura fiind mai puțin bulgăroasă.

Rezultatele privind însușirile chimice pentru profilele cernoziomurilor levigate cercetate sunt prezentate figura 4.5 și Anexa 9 (tab. A9.4). Imaginea profilelor de sol și a pozițiilor de prelevare a acestora sunt prezentate în Anexa 13.

Conținutul mediu de *COS* în profilul subtipurii cercetat variază de la cca 3% în stratul arabil 0-25 cm până la 0,6% în stratul de sol 75-100 cm (figura 4.5).

Cernoziomul levigat, din raionul Soroca, se evidențiază printr-un strat humifer (cca 3% *COS*) cu o grosime de până la 50 cm și scade spre adâncimea 75-100 cm de sol. Câmpul nr. 5 cultivat cu soia are un conținut mai mare de *COS* în straturile subarabile (2,0-1,3%) comparativ cu câmpul nr. 3 cultivat cu sfecla de zahăr, care conține 1,3-0,8% *COS* în stratul 50-100 cm de sol.

Conținutul de COS în profilul cernoziomurilor levigate din r. Drochia variază în limitele 2,6% în stratul arabil; 2,5-2,0% în stratul 25-50 cm de sol și 1,6-0,9% în stratul 50-100 cm de sol. Câmpul nr. 6 se evidențiază printr-un strat humifer cu o grosime de până la 50 cm, comparativ cu câmpul nr. 1 a cărui strat humifer se menține în limitele stratului arabil 0-28 cm.

Aceeași tendință se observă și în cernoziomul levigat din r. Florești, câmpul nr. 5 (profilul Fl-Fb5) cultivat cu porumb pentru boabe, care prezintă un conținut de COS mai înalt (cca 3-2%), comparativ cu câmpul nr. 4 (profilul Fl-F4d) cultivat cu grâu de toamnă. Se evidențiază un conținut înalt de COS de 2,7% în stratul 0-25 cm, și un conținut redus de COS de 1,5-0,8% în stratul 50-100 cm de sol.

Câmpul nr. 3 din r. Donușeni cultivat cu grâu de toamnă, are un strat humifer (cca 3% COS) mai adânc ce atinge o grosime de 50 cm, dar înregistrează o scădere bruscă a conținutului de COS de până la 1,3-0,7% în stratul de sol 50-100 cm; comparativ cu câmpul nr. 1 cultivat cu floarea-soarelui, care are un strat humifer (cca 3% COS) cu grosimea de până la 25 cm de sol, însă conținutul de COS scade cu cca 1% în stratul subarabil 25-50 cm și atinge valori sub 1% în stratul 75-100 cm de sol.

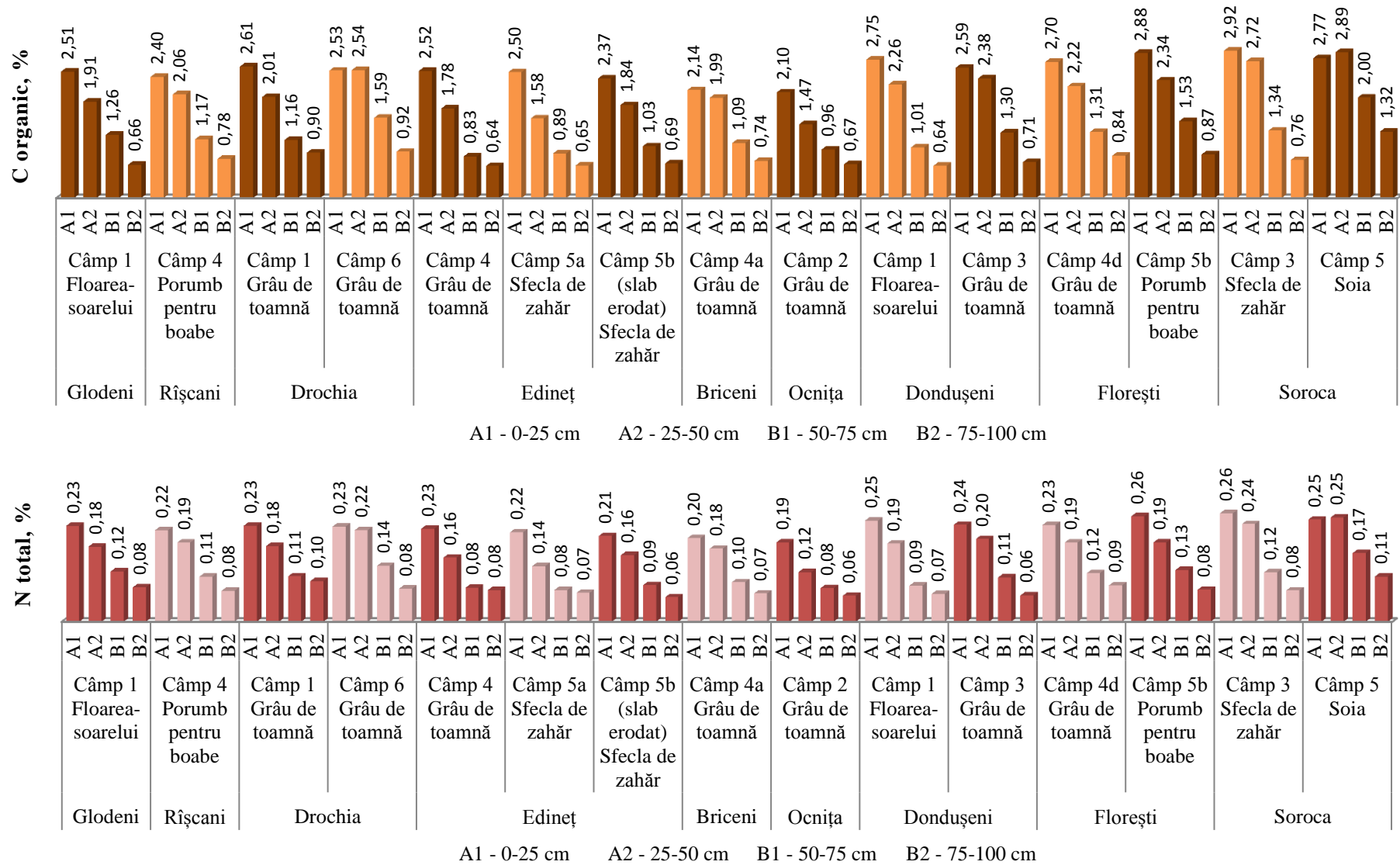
În profilul cernoziomurilor levigate din r. Glodeni (câmpul nr. 1 cultivat cu floarea-soarelui) și r. Rîșcani (câmpul nr.4 cultivat cu porumb pentru boabe), stratul arabil este humifer (cca 2,5% COS) și scade treptat cu adâncimea atingând valori de la 2,1-0,7% COS în straturile inferioare.

Aceeași tendință se observă și în profilele de sol a cernoziomurilor levigate din r. Edineț, indiferent de cultura agricolă. Acestea au un conținut de cca 2,5% COS în stratul arabil 0-28 cm, care scade până la 1,6% – în stratul 28-50 cm și 0,6% – în stratul 70-100 cm de sol.

Cernoziomurile levigate din raioanele Briceni și Ocnîța se caracterizează prin valori puțin mai mici ale unor însușiri. Astfel, câmpul nr. 4 din r. Briceni are un strat moderat humifer de 2,1% COS până la adâncimea de 50 cm și scade brusc până la 0,7% humus în stratul 50-100 cm de sol; comparativ cu câmpul nr. 2 din r. Ocnîța, a cărui strat arabil 0-28 cm este moderat humifer (2,1% COS), iar straturile postarabile au un conținut de COS ce scade treptat de la 1,5% la 0,6% cu adâncimea.

Conținutul *azotului total* în solurile cercetate corelează cu conținutul de humus. Cu cât conținutul de humus este mai mare cu atât și conținutul de azot total se mărește (figura 4.5). Conținutul de N total variază pe profilul solurilor cercetate de la 0,12-0,26% în stratul de sol 0-50 cm până la 0,06-0,17% în stratul 50-100 cm.

Valorile *raportului C:N* variază în limitele 10-12 pentru stratul de sol 0-50 cm, și 8-12 pentru stratul 50-100 cm de sol (tab. A9.4).



**Fig. 4.5. Conținutul de C organic și N total al cernoziomurilor levigate din zona de Nord**

Cernoziomurile levigate de pe câmpurile studiate se caracterizează cu reacție slab acidă-neutră în orizonturile superioare și slab alcalină-neutră în orizonturile inferioare. Valorile *pH*-lui pe profilul cernoziomurilor levigate cercetate variază în limitele 5,5-6,9 în stratul de sol 0-50 cm (tab. A9.4). Stratul 50-100 cm de sol se caracterizează prin valori ale *pH*-lui mai mari decât în stratul 0-50 cm (*pH*=6,3-8,2).

Pentru majoritatea profilurilor solurilor cercetate *carbonații* sunt levigați din stratul 0-50 cm și acumulați în stratul 50-100 cm (tab. A9.4), unde formează un strat carbonatic iluvial pronunțat, extrem de compact în stare uscată. Conținutul carbonaților în 50-100 cm variază în limitele 0,2-16,3%. Profilul humifer al cernoziomului levigat din raionul Soroca, câmpul nr. 5, este decarbonat.

#### **4.5. Indicatorii de calitate a cernoziomurilor carbonatice cercetate**

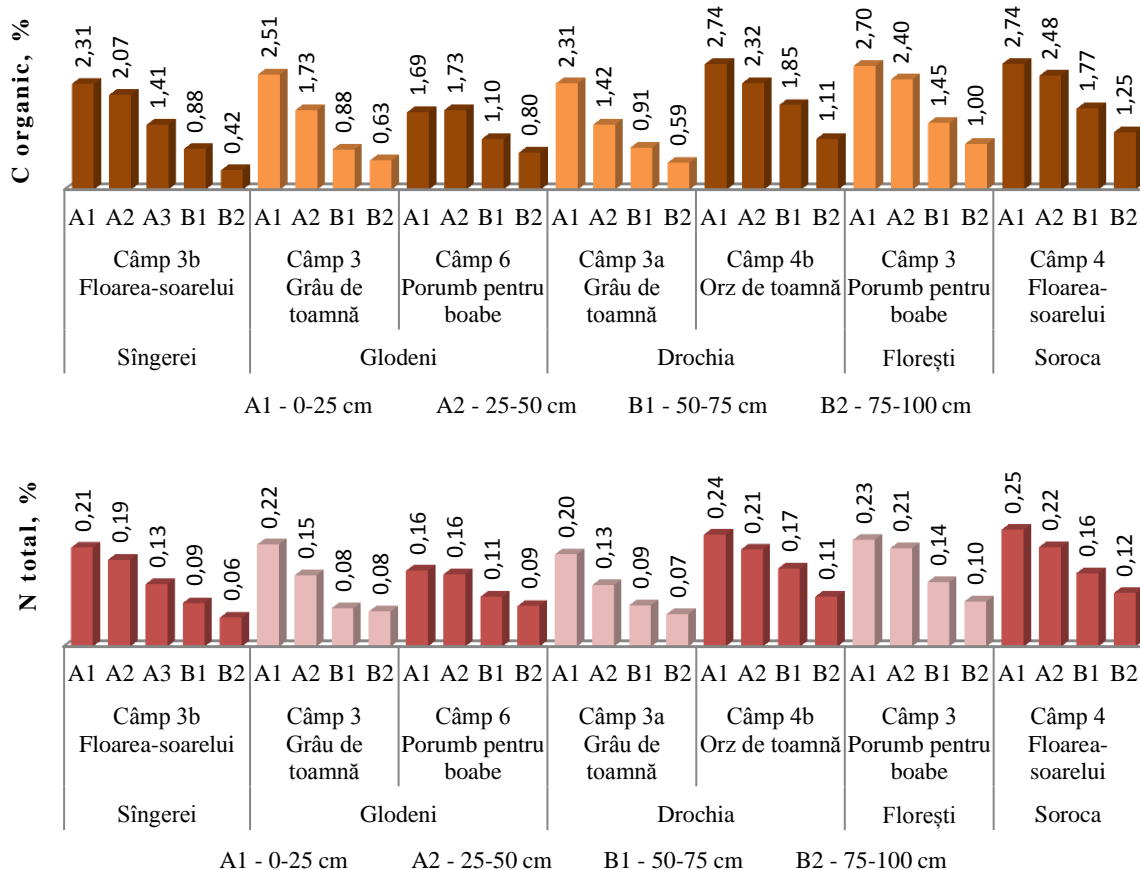
Caracteristica comparativă a valorilor *texturii* (fracțiunile granulometrice de argilă, praf și nisip) a cernoziomurilor carbonatice cercetate este prezentată în Anexa 9 (tab. A9.5). Datele privind textura solului nu prezintă diferențe mari între regiunile de prelevare și adâncimea stratului de sol. În stratul arabil 0-25 cm conținutul de argilă fizică variază în limitele 41,6-59,6% și de argilă fină – 26,3-40,1% în medie, iar în stratul subarabil 25-50 cm conținutul de argilă fizică constituie 38,5-63,2% și de argilă fină – 23,9-42,8%.

Datele prezentate confirmă că textura cernoziomurilor carbonatice cercetate este preponderent luto-argiloasă pe întreg profilul solului, cu excepția câmpului nr. 6 din raionul Glodeni, cultivat cu porumb pentru boabe, care se deosebește printr-o textură lutoasă și o pondere mai mare a fracțiunii de nisip (25-30%) pe întreg profilul solului. Pe câmpurile cu textură lutoasă a stratului arabil lucrarea mai ușoară a solului este favorizată, fiind obținută o arătură mai puțin bulgăroasă.

Rezultatele privind însușirile chimice pentru profilele cernoziomurilor carbonatice cercetate sunt prezentate în figura 4.6 și Anexa 9 (tab. A9.5). Imaginea profilelor de sol și a pozițiilor de prelevare a acestora sunt prezentate în Anexa 14.

Conținutul mediu de *COS* în profilul subtipului cercetat variază de la 2,7-2,3% în stratul arabil 0-25 cm până la 1,3-0,4% în stratul de sol 75-100 cm de sol (figura 4.6).

Cel mai înalt conținut de *COS* pe întreg profilul solului se evidențiază în cernoziomul carbonatic din r. Soroca, câmpul nr. 4 cultivat cu floarea-soarelui, de la 2,7-2,5% în stratul 0-50 cm de sol și 1,8-1,3% – în stratul 50-100 cm de sol. Aceeași situație se observă și pe câmpul nr. 3 cu porumb pentru boabe din r. Florești, a cărui conținut de *COS* în stratul 0-50 cm variază în limitele 2,7-2,4% și doar 1,5-1,0% *COS* în straturile inferioare.



**Fig. 4.6. Conținutul de C organic și N total al cernoziomurilor carbonatice din zona de Nord**

Cernoziomul carbonatic din r. Drochia, câmpul nr. 4 cultivat cu orz de toamnă, are un strat humifer ce conține 2,7-2,3% COS pe o adâncime de până la 50 cm și scade treptat de la 1,8% la 1,1% în stratul 50-100 cm de sol, comparativ cu câmpul nr. 3 cultivat cu grâu de toamnă, care are un conținut mai mic de COS – 2,3% în stratul arabil și scade la adâncimea de 1 m până sub 1%.

Câmpul nr. 3 (floarea-soarelui) din r. Sîngerei are un conținut de COS ce variază între 2,3-1,4% în stratul 0-50 cm și ajunge sub 1% în stratul 70-100 cm de sol.

În profilul cernoziomului carbonatic din r. Glodeni, câmpul nr. 3 cultivat cu grâu de toamnă are un strat arabil 0-28 cm ce conține 2,5% COS și scade de la 1,7% până la 0,5% humus la adâncimea de 1 m, comparativ cu câmpul nr. 6 cultivat cu porumb pentru boabe, care are stratul de sol 0-50 cm submoderat humifer de cca 2% de COS și între 1,1-0,8% în straturile inferioare de sol.

Conținutul *azotului total* în solurile cercetate corelează cu conținutul de humus. Cu cât conținutul de humus este mai mare cu atât și conținutul de azot total se mărește (figura 4.6). Conținutul de N total variază pe profilul solurilor cercetate de la 0,13-0,25% în stratul de sol 0-50 cm până la 0,06-0,17% în stratul 50-100 cm. Valorile *raportului C:N* variază în limitele 10-11 pe întreg profilul solului (tab. A9.5).

Cernoziomurile carbonatice de pe câmpurile studiate se caracterizează cu reacție slab acidă-neutră în orizonturile superioare și slab alcalină în orizonturile inferioare. Valorile *pH*-lui pe profilul cernoziomurilor carbonatice cercetate variază în limitele 6,2-7,5 în stratul de sol 0-50 cm și 7,5-8,3 în stratul 50-100 cm de sol (tab. A9.5).

*Carbondații* sunt prezenți pe întreg profilul solului (tab. A9.5), cu un conținut de 0,2-7,5% în stratul de sol 0-25 cm, și 2,9-19,1% în stratul 50-100 cm de sol.

#### **4.6. Indicatorii de calitate a solurilor cenușii cercetate**

Solurile cenușii sunt solurile silvostepii, mai exact ale pădurilor din Zona Silvostepii, preponderent ale stejărișurilor [188]. În rezultatul defrișării pădurilor din ultimii 250 de ani, solurile cenușii au fost introduse în circuitul agricol, fapt ce a dus la diverse consecințe [109]. Solurile cenușii arabile au devenit sărace în materie organică și substanțe nutritive. În linii generale, conținutul de humus în stratul 0-30 cm al solurilor cenușii (2,52-2,70%) este cu mult mai mic comparativ cu conținutul de humus în același strat al cernoziomurilor (2,59-4,86%).

Pentru a determina schimbările în starea de calitate a solurilor cenușii arabile din Zona de Nord a Republicii, sub influența agrotehnicii zonale, în comparație cu cele virgine, au fost prelevate 3 profile de sol cenușiu virgin format sub vegetația ierboasă și lemnoasă din pădure și 10 profile de sol cenușiu arabil

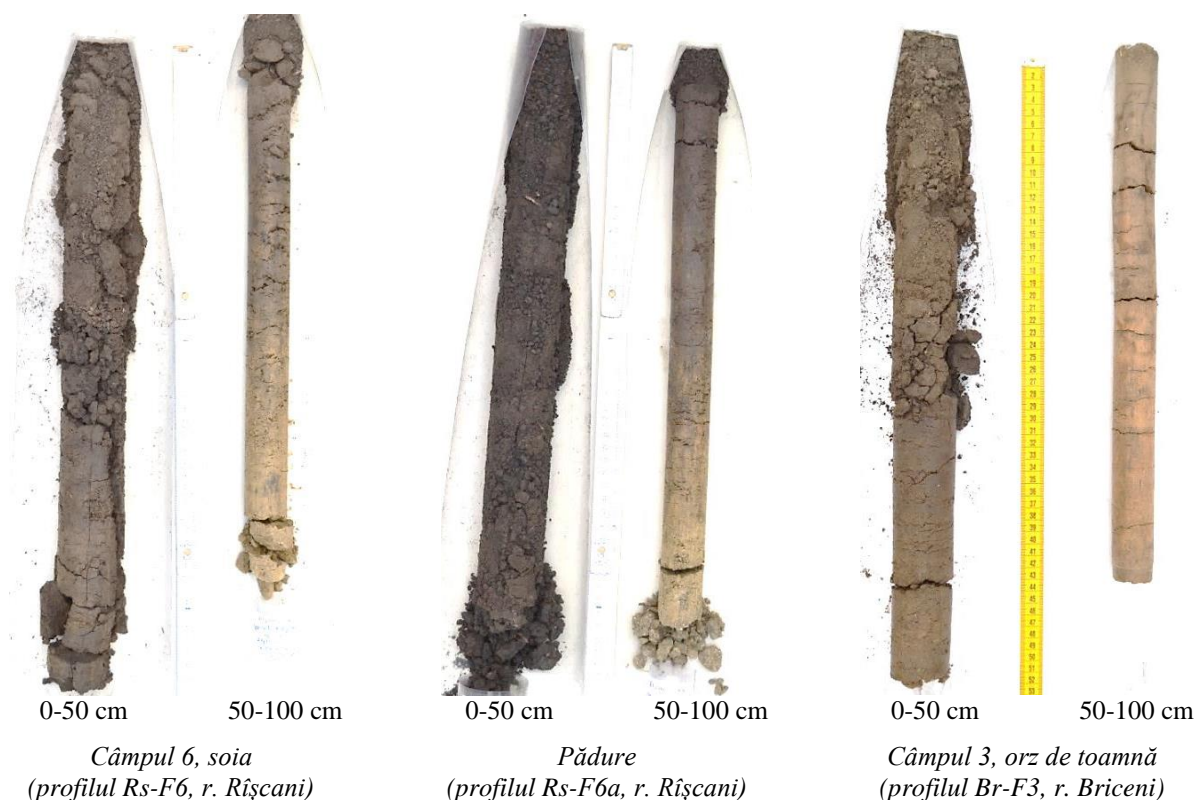
*Solurile cenușii tipice* sunt formate preponderent sub stejărișuri. Ele au un orizont superior humificat, cenușiu, structurat, afânat, iar grosimea acestuia diferă zonal. În acest context, A. Ursu [188] menționa că în Silvostepa de Nord solurile cenușii tipice sunt mai humificate, orizontul superior este mai grosier, pe când în Zona Codrilor orizontul superior este subțire și conținutul de humus scade brusc.

Profilul de sol Rs-F6 (figura 4.7) a fost prelevat de pe câmpul nr. 6, cultivat cu soia (Gospodăria SRL Hiliuțianul), pe teritoriul s. Hiliuți, r. Rîșcani. Profilul Rs-F6a (figura 4.7) a fost prelevat în pădurea situată în imediata apropiere a terenului arabil din care a fost prelevat profilul Rs-F6, în scopul analizei comparative a modificărilor însușirilor solului cenușiu tipic arabil sub influența factorului antropic. Profilul Br-F3 a fost prelevat de pe câmpul nr. 3, cultivat cu orz de toamnă, pe teritoriul s. Balasinești, r. Briceni (figura 4.7).

Deosebire între solurile cenușii tipice cercetate se observă și la examinarea vizuală a profilelor de sol ale acestora (figura 4.7). De rând cu pierderea MOS, se evidențiază și o destructurizare și compactarea secundară a solurilor cenușii arabile, în special în orizonturile inferioare. Analiza comparativă a caracterelor morfologice ale profilelor solurilor cenușii virgine și arabile scoate în evidență câteva aspecte. Orizonturile superioare a profilului solului virgin de pădure (Rs-F6a) sunt de culoare gri închisă, cu structură glomerular-grăunțoasă foarte bună, slab



afânat, foarte poros, sunt prezente multe rădăcini de ierburi și resturi vegetale, iar orizonturile inferioare treptat trec din culoare brună în brun deschis.



**Fig. 4.7. Profilele solurilor cenușii tipice cercetate**

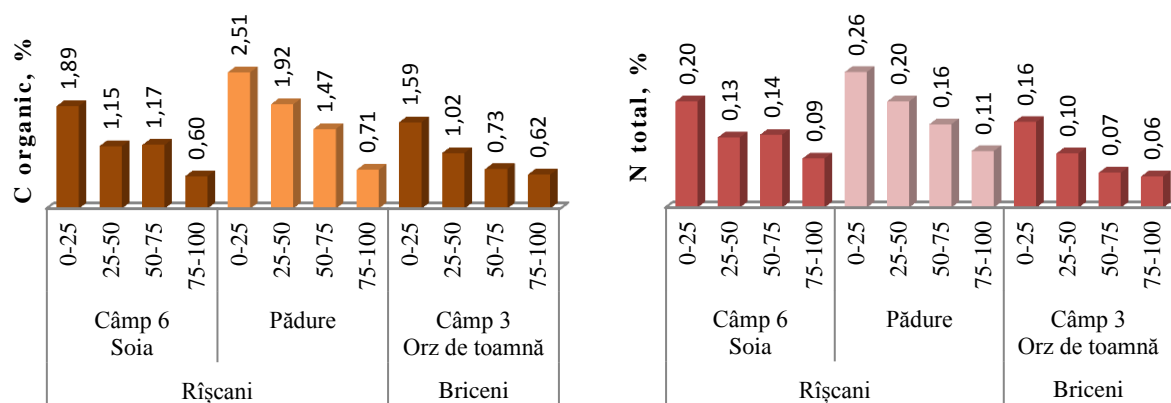
Profilul de sol Rs-F6 prelevat din terenul agricol (câmpul nr. 6) cultivat cu soia, din r. Râșcani, se caracterizează prin partea superioară a orizontului arabil afânată periodic prin cultivare, de culoare gri cu nuanță brună pronunțată, bulgăros, slab compactat, poros, iar partea inferioară a profilului este slab humiferă, compactată și pori foarte fini. Profilul solului arabil din r. Briceni, sub cultura orzului de toamnă este slab diferențiat în orizonturi genetice și se caracterizează cu culoare brun-roșcată, iar stratul 50-100 cm de sol are culoare brun-roșcat deschisă, structură monolită (nestructurat), se fărâmă greu, foarte compact.

Caracteristica comparativă a valorilor *texturii* (fracțiunile granulometrice de argilă, praf și nisip) solurilor cenușii tipice cercetate este prezentată în Anexa 9 (tab. A9.6). Conform rezultatelor determinării compoziției granulometrice, conținutul mediu de argilă (fracția <0,001 mm) în stratul 0-30 cm pentru solurile virgine constituie 36,7%, iar pentru solurile arabile – 39,4%. Conținutul mediu de argilă fizică (fracția <0,01 mm) în stratul 0-30 cm pentru solurile virgine constituie 55,2%, iar pentru solurile arabile – 58,7%. Solul cenușiu tipic arabil, cultivat cu orz de toamnă (câmp nr. 3), din raionul Briceni, se evidențiază cu un conținut mai mic de argilă pe întreg profilul de sol. Conținutul de argilă fină (fracția <0,001 mm) constituie 35,0% în stratul 0-25 cm, iar conținutul de argilă fizică (fracția <0,01 mm) în stratul 0-25 cm de sol – 53,0%.

Datele prezentate confirmă că textura solurilor arabil (Rs-F6) și virgin (Rs-F6a) este practic analogică: luto-argiloasă în stratul superior a profilului (stratul 0-25 cm) și argilo-lutoasă în stratul 25-100 cm de sol. Textura lutoasă în stratul arabil oferă posibilitatea efectuării unei lucrări ușoare a solului, arătura fiind mai puțin bulgăroasă. Cercetările efectuate de V. Cerbari [44, p.89], au demonstrat că solurile cu un procent ridicat de argilă au însușiri fizico-mecanice dificultose, iar utilizarea intensivă la arabil, prin lucrări cu mașini grele, a solurilor cenușii luto-argiloase a contribuit la destructurarea, compactarea și formarea crustei.

Rezultatele privind însușirile chimice obținute pentru profilele solurilor cenușii tipice cercetate sunt prezentate în Anexa 9 (tab. A9.6).

Conținutul mediu de COS în profilul subtipului cercetat variază de la 2,5-1,6% în stratul arabil 0-25 cm și până sub 1% în stratul de sol 75-100 cm (figura 4.8). În orizontul superior al solului cenușiu tipic virgin, conținutul de COS ajunge până la 3% și scade lent cu fiecare orizont genetic ajungând la 0,7% spre adâncimea de 75-100 cm de sol. Conținutul de COS în stratul arabil 0-25 cm al solurilor arabile, comparativ cu același strat al solului virgin, s-a micșorat cu cca 1,0-1,5%.



**Fig. 4.8. Conținutul de C organic și N total al solurilor cenușii tipice din zona de Nord**

Solul cenușiu tipic arabil din r. Rîșcani, câmpul nr. 6 cultivat cu soia, se caracterizează printr-un strat arabil moderat humifer cu un conținut de COS de cca 2%, dar scade brusc ajungând la 0,6% în stratul 75-100 cm de sol. Conținutul de COS în stratul 0-25 cm a solului cenușiu tipic arabil, câmpul nr. 3 cultivat cu orz de toamnă, din r. Briceni, constituie 1,6%, iar în stratul 25-50 cm – 1,0% (s-a micșorat cu cca 1%).

Conținutul azotului total în solurile cercetate corelează cu conținutul de humus. Cu cât conținutul de humus este mai mare cu atât și conținutul de azot total se mărește (figura 4.8). Conținutul de N total variază pe profilul solurilor tipice arabile de la 0,10-0,20% în stratul arabil până la 0,06-0,14% în stratul 50-100 cm, iar în solul virgin – 0,20-0,26% în stratul 0-50 cm și 0,11-0,16% în stratul 50-100 cm de sol. Câmpul nr. 6 cultivat cu soia din r. Rîșcani se

evidențiază printr-un conținut mai mare de azot total pe întreg profilul solului, comparativ cu câmpul nr. 6 cultivat cu orz de toamnă din r. Briceni.

Valorile *raportului C:N* variază în limitele 9-10 pentru stratul de sol 0-50 cm și 7-11 pentru stratul 50-100 cm de sol (tab. A9.6 din Anexa 9). Totodată, valorile mici ale raportului C:N în cele 2 profile de sol din r. Rîșcani, indică un conținut foarte mare de azot în humus, ceea ce înseamnă că se produce o mineralizare mai intensă a materiei organice.

Valorile medii ale *pH-lui* pe profilul solului cenușiu virgin variază de la 5,7 în stratul arabil 0-25 cm până la 7,6 în stratul 75-100 cm (tab. A9.6), fiind caracteristice pentru acest tip de soluri. În profilul solurilor cenușii arabile valorile pH-lui variază în limitele de la 5,8 până la 7,3.

În profilul solurilor cercetate *carbonații* sunt prezenți pe întreg profilul solului (tab. A9.6), deși câmpul nr. 3 din r. Briceni se caracterizează cu un conținut mai mic de carbonați variind în limitele 0,1-0,5%. Pentru celelalte profile de sol, conținutul carbonaților variază în limitele 1,4-3,4% în stratul 0-75 cm și 8,6-10,0% în stratul 75-100 cm de sol.

**Solurile cenușii molice**, fiind formate sub stejărișuri rare cu strat de ierburi, au un orizont superior humificat, dar relativ slab diferențiat morfologic și textural.

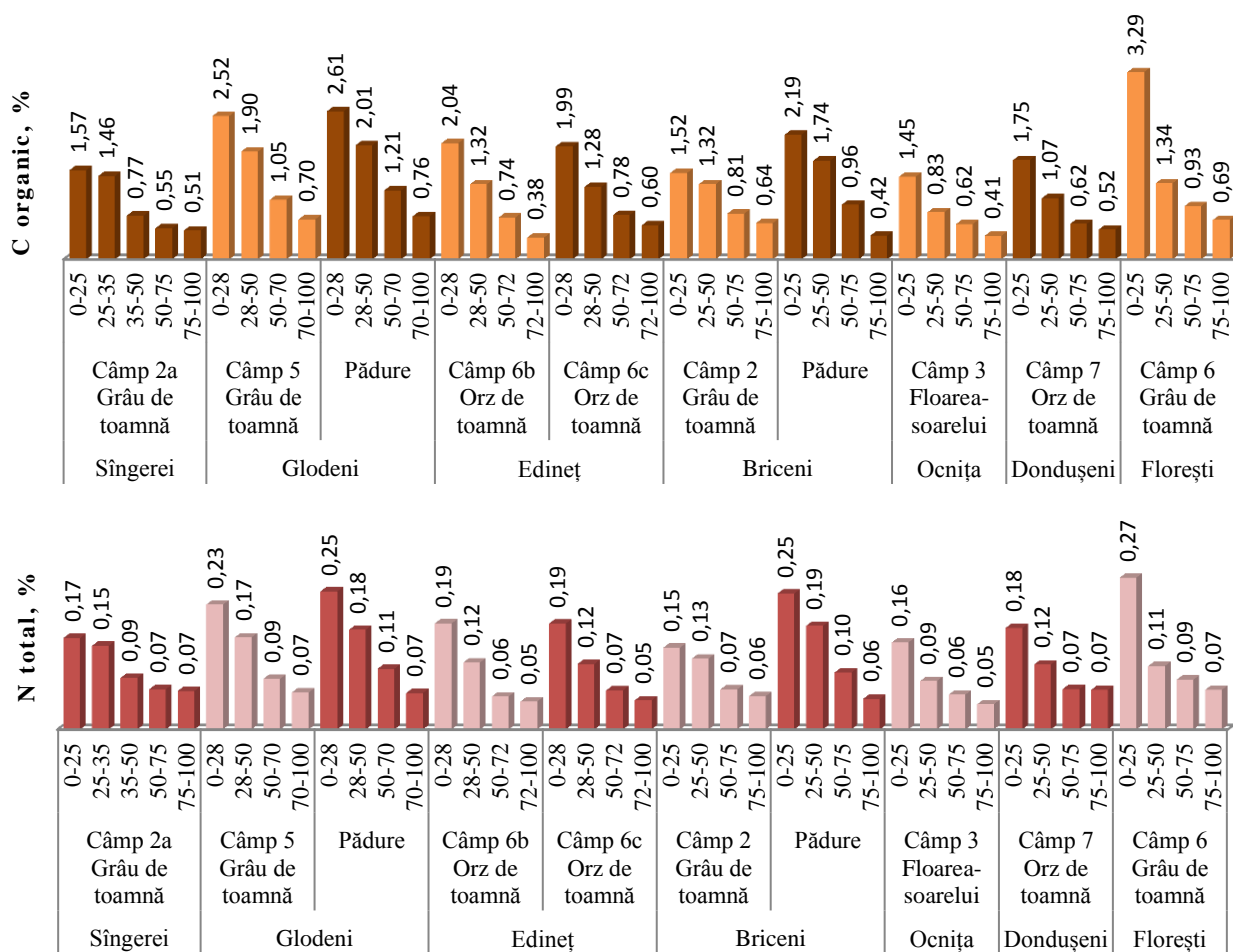
În scopul analizei comparative a modificărilor însușirilor solului cenușiu molic arabil sub influența factorului antropic, au fost prelevate 2 profile de sol cenușiu molic virgin. Profilul Gl-F5a a fost prelevat în pădurea situată în apropierea terenului arabil din care a fost prelevat profilul Gl-F5, pe teritoriul s. Hîjdieni, r. Glodeni (anexa 15). Profilul Br-F2a a fost prelevat în pădurea situată în apropierea terenului arabil din care a fost prelevat profilul Br-F2, pe teritoriul s. Pererîta, r. Briceni (anexa 15).

Caracteristica comparativă a valorilor *texturii* (fracțiunile granulometrice de argilă, praf și nisip) solurilor cenușii molice cercetate este prezentată în Anexa 9 (tab. A9.7). Conform rezultatelor determinării compoziției granulometrice, conținutul mediu de argilă (fracția <0,001 mm) în stratul 0-30 cm pentru solurile virgine constituie 35,6%, iar pentru solurile arabile – 38,4%. Conținutul mediu de argilă fizică (fracția <0,01 mm) în stratul 0-30 cm pentru solurile virgine constituie 53,8%, iar pentru solurile arabile – 57,4%. Solul cenușiu molic arabil, cultivat cu grâu de toamnă (câmp nr. 2a), din raionul Sîngerei, se evidențiază cu un conținut mai mare de argilă pe întreg profilul de sol. Conținutul de argilă fină (fracția <0,001 mm) constituie cca 40% și conținutul de argilă fizică (fracția <0,01 mm) – cca 60% în stratul 0-50 cm de sol, iar în straturile inferioare nivelul acestora crește.

Datele prezentate confirmă că textura solurilor arabile și virgine este practic analogică, fiind luto-argiloasă pe întreg profilul solului, cu excepția profilului Sg-F2a (câmpul nr. 2 cultivat cu grâu de toamnă din raionul Sîngerei), care se deosebește printr-o textură luto-argiloasă în stratul superior a profilului (stratul 0-25 cm) și argilo-lutoasă în stratul 25-100 cm de sol. Pe

câmpurile cu textură lutoasă a stratului arabil lucrarea mai ușoară a solului este favorizată, fiind obținută o arătură mai puțin bulgăroasă.

Rezultatele privind însușirile chimice obținute pentru profilele solurilor cenușii molice cercetate sunt prezentate în Anexa 9 (tab. A9.7) și figura 4.9. Imaginea profilelor de sol și a pozițiilor de prelevare a acestora sunt prezentate în Anexa 17. Conținutul mediu de COS în profilul subtipurii cercetat variază de la 3,3-1,5% în stratul arabil 0-25 cm până sub 1% în stratul de sol 75-100 cm (figura 4.9). Conținutul de COS în stratul arabil 0-25 cm al solurilor arabile, comparativ cu același strat al solurilor virgine, s-a micșorat cu cca 1%.



**Fig. 4.9. Conținutul de C organic și N total al solurilor cenușii molice din zona de Nord**

În orizontul superior al profilului solului cenușiu molic din r. Florești, câmpul nr. 6 cultivat cu grâu de toamnă, conținutul de COS depășește 3%, dar scade brusc cu cca 2% în stratul de sol 25-50 cm și ajunge la 0,7% la adâncimea de 1 m.

În raionul Glodeni, pe teritoriul s. Hîjdieni, profilele amplasate paralel în fâșia forestieră și în arătură (câmpul nr. 5 cultivat cu grâu de toamnă) au practic același conținut de COS pe întreg profilul solului, variind în limitele 2,6-1,9% în stratul 0-50 cm și 1,2-0,7% în stratul 50-100 cm de sol. Totuși, valorile conținutului de COS în fâșia forestieră sunt mai mari cu cca 0,1-

0,3% față de câmpul folosit la arabil. Menținerea unor valori aproape de nivelul solurilor virgine, ne vorbește despre aplicarea unui management rațional al terenului, care nu contribuie la scăderea bruscă a conținutului de COS în stratul arabil de sol.

Profilele prelevate pe teritoriul s. Pererîta, din r. Briceni, în fâșia forestieră și în arătură (câmpul nr. 2 cultivat cu grâu de toamnă) se deosebesc mai ales prin conținutul redus de COS în urma lucrării solului.

În r. Edineț, solul cenușiu molice al câmpului nr. 6 cultivat cu orz de toamnă, are stratul arabil 0-28 cm moderat humifer cu un conținut de COS de cca 2,0% și scade ușor spre adâncimea de 1 m sub 1%.

Profilele solurilor cenușii molice prelevate în raioanele Sîngerei, Ocnîța și Dondușeni au înregistrat cele mai mici valori a conținutului de COS. Astfel, acestea au un strat arabil submoderat humifer ce conține până la 1,8% COS și scade în straturile subarabile până sub 1% spre adâncimea de 1 m.

Conținutul *azotului total* în profilurile de sol cercetate corelează cu conținutul de humus. Cu cât conținutul de humus este mai mare cu atât și conținutul de azot total se mărește (figura 4.9). Conținutul de N total variază pe profilul solurilor molice arabile de la 0,15-0,27% în stratul arabil până la 0,05-0,09% în stratul 50-100 cm, iar în solul virgin – 0,18-0,25% în stratul 0-50 cm și 0,06-0,11% în stratul 50-100 cm de sol. Câmpul nr. 6 cultivat cu grâu de toamnă din raionul Florești se evidențiază printr-un conținut mai mare de azot total (0,27%) în stratul arabil 0-25 cm, dar scade brusc în stratul 25-100 cm de sol.

Valorile *raportului C:N* variază în limitele 9-12 pentru stratul de sol 0-50 cm și 7-11 pentru stratul 50-100 cm de sol (tab. A9.7 din Anexa 9). Valorile mici ale raportului C:N în profilele de sol din raioanele Sîngerei, Ocnîța și Dondușeni indică un conținut foarte mare de azot în humus, ceea ce înseamnă că se produce o mineralizare mai intensă a materiei organice. Concomitent, aceasta indică la un flux redus de materie organică în sol prin aplicarea insuficientă a surselor de carbon.

Valorile medii ale *pH-ului* pe profilul solurilor cenușii molice virgin variază de la 6,0 în stratul arabil 0-25 cm până la 7,5 în stratul 75-100 cm (tab. A9.7). În profilul solurilor cenușii molice arabile valorile pH-ului variază în limitele de la 5,8 până la 8,4.

În profilul solurilor cercetate din raioanele Sîngerei, Briceni, Ocnîța și Dondușeni, *carbonații* sunt prezenți pe întreg profilul solului, deși câmpul nr. 2 din r. Sîngerei se caracterizează cu un conținut mai mic de carbonați variind în limitele 0,3-1,3% (tab. A9.7). Pentru celelalte profile de sol, conținutul carbonaților variază în limitele 0,3-8,1% în stratul 50-75 cm și 1,0-19,5% în stratul 75-100 cm de sol.

Valorificarea solurilor cenușii tipice și molice a condus la reducerea considerabilă a rezervelor de humus și înrăutățirea proprietăților și potențialului productiv în unele regiuni.

Cercetările efectuate de T. Leah [105], în studierea modificării proprietăților solurilor cenușii folosite la arabil, au demonstrat o scădere de 1,6% a conținutului de humus în stratul 0-30 cm de sol arabil (2,23%) comparativ cu conținutul de humus în același strat de sol virgin (3,84%). Astfel, solurile cenușii arabile au pierdut până la 42% din conținutul inițial de humus. Dehumificarea și lucrarea solului, au contribuit la destructurarea și compactarea solurilor cenușii arabile și înrăutățirea calității fizice a acestor soluri [105].

#### **4.7. Concluzii la capitolul 4**

1. Datele privind textura solului nu evidențiază divergențe mari între regiunile de prelevare și adâncimea stratului de sol. Conținutul de argilă fizică constituie 53-64%, iar de argilă fină – 35-44%. Textura solului rămâne un indicator stabil, care nu este influențat de activitatea umană [87]. Cernoziomurile tipice, obișnuite, levigate și carbonatice cercetate se caracterizează cu textură luto-argiloasă pe întreg profilul solului, cu câteva excepții, iar cernoziomurile argiloiluviale cercetate au o textură preponderent argilo-lutoasă pe întreg profilul solului.
2. Cernoziomurile tipice arabile cercetate au un conținut de MOS de 3,48-4,85% în stratul arabil de sol; 2,69-4,80% în stratul subarabil 25-50 cm; 1,43-3,43% în stratul 50-75 cm și până la 0,84-1,96% în stratul 75-100 cm de sol. Cernoziomurile obișnuite cercetate sunt mai humifere având un conținut de MOS ce variază în limitele 4,24-5,49% în stratul arabil de sol; 3,11-5,32% în stratul subarabil 25-50 cm; 1,78-4,31% în stratul 50-75 cm și 1,09-2,80% în stratul 75-100 cm de sol. În profilul cernoziomurilor argiloiluviale cercetate, conținutul de MOS variază în limitele 2,82-4,77% în stratul arabil de sol; 1,18-4,88% în stratul subarabil 25-50 cm; 0,10-3,53% în stratul 50-75 cm și până la 0,35-1,85% în stratul 75-100 cm de sol. În cernoziomurile levigate cercetate, conținutul de MOS variază în limitele 3,62-5,04% în stratul arabil de sol; 2,53-4,99% în stratul subarabil 25-50 cm; 1,42-3,44% în stratul 50-75 cm și până la 1,10-2,27% în stratul 75-100 cm de sol. În profilul cernoziomurilor carbonatice cercetate, conținutul de MOS variază în limitele 2,91-4,73% în stratul arabil de sol; 2,43-4,28% în stratul subarabil 25-50 cm; 1,51-3,18% în stratul 50-75 cm și până la 0,72-2,15% în stratul 75-100 cm de sol.
3. Conținutul de N total corelează cu conținutul de MOS și variază pe profilul solurilor cercetate de la 0,28-0,08% în stratul 0-50 cm până la 0,21-0,03% în stratul 50-100 cm de sol. Din punct de vedere a valorilor raportului C:N și pH-ul solului nu se înregistrează diferențe mari între subtipurile de cernoziom cercetate.

4. În solurile cenușii utilizate în agricultură, comparativ cu cele de pădure, s-au produs schimbări radicale ale culorii (a devenit brun-roșcată), structura a devenit masivă, se evidențiază compactarea straturilor de sol.
5. Conținutul de MOS în stratul 0-25 cm al solurilor cenușii tipice arabile (3,26% și 2,75%) s-a micșorat cu cca 1,0-1,5%, comparativ cu conținutul de MOS în același strat al solurilor virgine de pădure (4,33%). Deci, solurile arabile au pierdut cca 25-36% din rezerva inițială de MOS. Aceeași tendință de micșorare a conținutului de MOS (cu cca 1%) s-a evidențiat și în cazul solurilor cenușii molice arabile, comparativ cu solurile virgine (4,49%).
6. Valorile raportului C:N în solurile cenușii cercetate variază în limitele 9-12 pentru stratul 0-50 cm de sol și 7-11 pentru stratul 50-100 cm de sol. Valorile mici ale raportului C:N în profilele de sol din raioanele Râșcani, Sângerei, Ocnița și Dondușeni indică un conținut foarte mare de azot în humus, ceea ce înseamnă că se produce o mineralizare mai intensă a materiei organice. Concomitent aceasta indică la un flux redus de materie organică în sol prin aplicarea insuficientă a surselor de carbon.
7. Compararea indicatorilor cernoziomurilor înțelenite, cu indicatorii cernoziomurilor tipice arabile cercetate în acest studiu, a evidențiat tendința reducerii rezervelor de MOS cu cca 2% în stratul 0-50 cm de sol, sub influența unui management agricol, bazat pe lucrări agricole intensive și lipsa unui aport suficient de resturi vegetale și de gunoi de grajd [87].
8. Analiza comparativă a rezultatelor obținute pe cernoziomurile obișnuite virgine, cu rezultatele obținute pe cernoziomurile obișnuite arabile din raioanele zonei de Nord a Moldovei cercetate, a demonstrat că totuși există o tendință de reducere a rezervei de MOS cu cca 1% în stratul arabil 0-30 cm de sol, ca rezultat al practicilor agricole aplicate, caracterizate preponderent prin lucrări agricole intensive și un aport insuficient de resturi vegetale și de gunoi de grajd. Cu toate acestea, pe câmpul nr. 2 sub cultura grâului de toamnă, din raionul Florești, conținutul de materie organică a solului se menține la un nivel relativ înalt atât în stratul arabil de sol, cât și în stratul postarabil de până la 50 cm.
9. Datele privind modificarea rezervei de MOS, care este un indicator integral al fertilității solului, sub influența factorului antropic, ne demonstrează încă o dată că fertilitatea, productivitatea și multe alte funcții ale solului depind de un management agricol durabil. În acest context, problema de bază constă în necesitatea monitorizării fertilității solului pentru evaluarea impactului managementului agricol aplicat de fermieri.

## 5. STUDIAREA VARIABILITĂȚII ORIZONTALE A PROPRIETĂȚILOR SOLULUI

Solul este caracterizat ca un set divers de proprietăți chimice, fizice și biologice care au atât dimensiuni verticale, cât și orizontale. Morfologia verticală este delimitată de orizonturile solului [61], dar variațiile orizontale se pot datora tipului de sol sau activităților agricole, care pot include fertilizarea chimică, lucrarea solului, nivelarea terenului și îndepărtarea vegetației.

N. Eash și J. Lamb [65] au demonstrat că cea mai mare divergență dintre necesarul de N al plantelor și solului și cel de facto aplicat, în baza unor recomandări standard, se datorează metodei de prelevare a probelor de sol.

În mod normal, din considerente economice, procedura de prelevare a probelor de sol constă în formarea unei probe medii din 10-15 probe parțiale prelevate din locuri diferite, amestecate și omogenizate. Se consideră minimum 5-10 probe parțiale la ha [51, p.51; 152]. Această practică este oportună în cazurile investigării unor terenuri sau câmpuri cu o caracteristică omogenă a proprietăților solului. Însă, în cazul unei variații a proprietăților fizice sau chimice ale solului în cadrul câmpului, această practică nu este viabilă și nu asigură rezultate veridice privind starea reală de calitate a câmpului.

S. Papiernik și coautorii [139] menționau că variabilitatea spațială a indicatorilor de calitate a solului generează și o variabilitate spațială a producției și a calității culturilor. Totodată, autorii au reiterat necesitatea evaluării impactului variabilității proprietăților fizice și chimice ale solului, în special în cazul terenurilor erodate, asupra recoltei culturilor, pentru a putea interveni cu măsuri de ameliorare.

Variabilitatea orizontală în cadrul aceluiași câmp poate fi cauzată fie de procesul de eroziune a solului, fie de diferite tipuri și subtipuri de sol în cadrul terenului individual. În acest scop, în unele raioane din zona de Nord a Moldovei au fost selectate câmpuri agricole, de pe care s-au prelevat mai multe profile de sol, câte un profil din diverse puncte a câmpurilor. Coordonatele GPS a fiecărui profil sunt prezentate în Anexa 2.

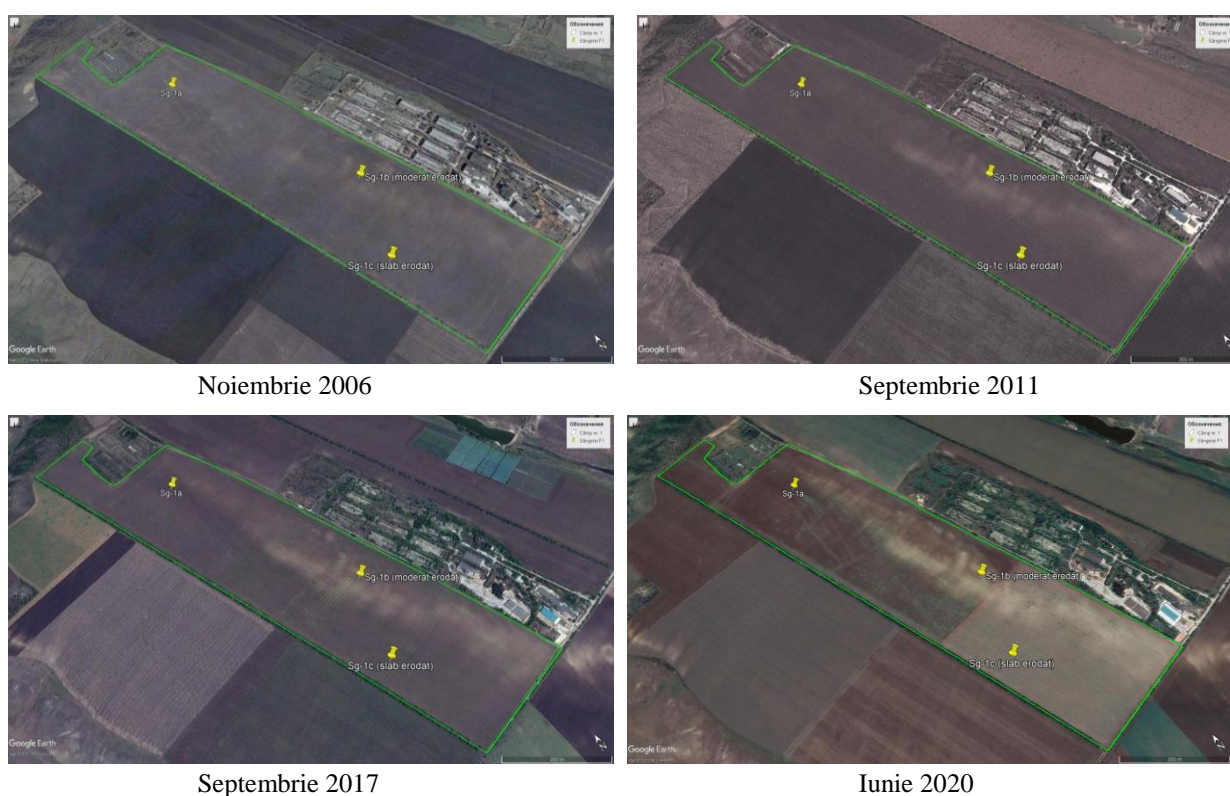
În raionul Sîngerei, au fost identificate 6 terenuri care au prezentat o variabilitate orizontală, condiționată fie de procesul de eroziune, fie de prezența diferitor subtipuri de cernoziom în cadrul câmpului.

**Câmpul nr.1 (Sg-F1)**, situat pe teritoriul com. Biliceni Vechi (r. Sîngerei), datorită amplasării terenului în pantă (Anexa 16), este supus procesului de eroziune, iar cultivarea porumbului pentru boabe a creat zone vizibile cu diferit grad de creștere și dezvoltare a plantelor, care au și devenit puncte de interes pentru prelevarea profilelor de sol (figura 5.1 și 5.2).

Evaluarea stării terenului în timp (figura 5.1) în perioada 2006-2020, a scos în evidență tendința degradării câmpului prin eroziunea solului, ca rezultat al folosinței terenului la arabil. În



anul 2016, la examinarea vizuală a câmpului deja s-au evidențiat zone unde plantele de porumb aveau o stare favorabilă de dezvoltare (culoare verde intens, plante înalte, cu aparat foliar bine dezvoltat), dar au fost și zone unde plantele aveau o dezvoltare slabă (culoare verde pal, plante scunde, răsărire neuniformă). Aceste zone prezentau clar, nu doar starea semănăturii, dar și nivelul scăzut de fertilitate a solului, care ulterior a fost confirmat prin analizele de laborator a probelor de sol. Ortofoto din iunie 2020 (figura 5.1), arată un grad mai avansat de degradare a terenului, fapt ce demonstrează exploatarea terenului fără implementarea măsurilor necesare de protecție antierozională și fitoameliorative de menținere și sporire a fertilității solului.



**Fig. 5.1. Ortofoto câmpul nr. 1, cu indicarea punctelor de prelevare a profilelor de sol**

Caracteristica comparativă a *texturii solului* (fracțiunile granulometrice de argilă, praf și nisip) în cadrul câmpului nr. 1 (Sg-F1) cercetat este prezentată în Anexa 16 (tab. A16.1). Datele privind textura solului nu prezintă diferențe mari între punctele de prelevare și adâncimea stratului de sol. În stratul arabil, conținutul de argilă fizică (<0,01 mm) constituie între 62-70% și de argilă fină (<0,001 mm) – 42-48%, iar în stratul subarabil conținutul de argilă fizică oscilează între 60-65% și de argilă fină – 41-44%. Datele prezentate confirmă că câmpul nr.1 (Sg-F1) are o textură argilo-lutoasă pe întreg profilul solului, care creează condiții mai anevoioase pentru lucrarea solului și expune acest câmp spre compactare și formare de crustă. La cultivare, fermierul ar trebui să acorde atenție agrotehnici aplicate și să asigure implementarea tehnologiilor conservative, precum și a practicilor agricole ecologice.



0-50 cm

50-100 cm



*Sg-1a – Cernoziom tipic (suprafață plană)*



0-50 cm

50-100 cm



*Sg-1b – Cernoziom tipic (moderat erodat)*



0-50 cm

50-100 cm



*Sg-1c – Cernoziom tipic (slab erodat)*

**Fig. 5.2. Profile de cernoziom tipic arabil și pozițiile de prelevare pe câmpul nr. 1, r. Sîngerei**

Deși, pentru textura solului nu s-a evidențiat vreo diferență între punctele de prelevare; totuși, pentru conținutul de N total, humus, carbonați și pH-ul solului s-a înregistrat o variabilitate esențială în cadrul câmpului, precum și pe întreg profilul solului (tab. 5.1).

**Tabelul 5.1. Indicatorii agrochimici ai solului pe câmpul nr. 1, r. Sîngerei**

Profilul de sol	Tipul solului	Strat de sol, cm	pH (CaCl <sub>2</sub> )	N total, %	Humus, %	C:N	CaCO <sub>3</sub> , %
Sg-F1a	Cernoziom tipic (suprafață plană)	0-27	6,3	0,24	4,39	10,7	1,2
		27-50	6,3	0,20	3,50	10,3	2,4
		50-70	6,5	0,15	2,52	9,7	3,5
		70-100	7,0	0,12	1,88	8,8	5,0
Sg-F1b	Cernoziom tipic (moderat erodat)	0-27	7,2	0,19	2,86	8,8	5,6
		27-50	7,7	0,08	0,83	5,9	17,9
		50-70	7,7	0,07	0,59	5,0	18,2
		70-100	7,5	0,07	0,58	5,0	14,4
Sg-F1c	Cernoziom tipic (slab erodat)	0-30	6,7	0,21	3,71	10,5	1,1
		30-50	7,0	0,15	2,49	9,6	3,3
		50-70	7,6	0,12	1,82	8,9	6,1
		70-100	7,9	0,09	1,23	7,7	14,3

Procesul de eroziune a solului, favorizat de un management inadecvat al acoperirii solului pe terenul aflat în pantă și lipsa măsurilor de conservare și protejare corespunzătoare, a creat o redistribuire a solului, astfel încât solul din pozițiile umerilor (punctul de prelevare „1a”) a fost îndepărtat și depus în zonele de depresionare (pozițiile taluzului), cauzând pierderi nete de sol în unele zone, în special în zona punctului de prelevare „1b”. În același timp, odată cu solul îndepărtat s-a pierdut și fertilitatea solului, creându-se o variație a proprietăților fizice și chimice ale solului. Astfel, pe întreg profilul de sol Sg-F1a, prelevat de pe suprafața plană a câmpului, carbonații practic lipsesc, pH-ul este practic neutru. Conținutul de humus în stratul arabil constituie peste 4% și scade treptat cu adâncimea, ajungând sub 2% în statul de până la 1 m.

În profilul de sol Sg-F1b, stratul arabil are un conținut moderat de carbonați (5,6%), care crește exponențial în stratul subarabil, datorită îndepărtării orizontului humifer și expunerii la suprafață a orizonturilor inferioare, cu un conținut mare de carbonați (>14%). pH-ul solului a crescut, iar conținutul de humus a scăzut odată cu creșterea conținutului de carbonați. În stratul arabil, conținutul de humus a fost sub 3% și a scăzut brusc sub 1% în orizonturile inferioare, inclusiv în stratul subarabil. Pierderea mare de sol prin eroziune a fost corelată cu conținutul ridicat de carbonați în sol, deoarece lucrarea intensivă a dus la expunerea stratului inferior calcaros în pozițiile taluzului.

Profilul de sol Sg-F1c este slab erodat și are un conținut de humus mai mare, constituind sub 4% în stratul arabil, cu o scădere treptată în straturile inferioare (peste 1% la adâncimea de 1 m), comparativ cu profilul Sg-F1b.

**Câmpul nr. 2 (Sg-F2)**, situat pe teritoriul s. Rădoaia (r. Sîngerei), fiind cultivat cu grâu de toamnă (Anexa 17), este intersectat de 2 tipuri de sol: cenușiu molic (punctul de prelevare 2a) și cernoziom argiloiluvial (punctele de prelevare 2b, 2c, 2d și 2e). După culoarea suprafeței câmpului (ortofoto din 16.03.2015), sunt evidente semne a diferitor stări de calitate a solului, iar în ortofoto din 02.09.2012, se observă și zone cu un grad diferit de creștere și dezvoltare a plantelor, care au și devenit puncte de interes pentru prelevarea profilelor de sol (figura 5.3).



Ortofoto din 02.09.2012

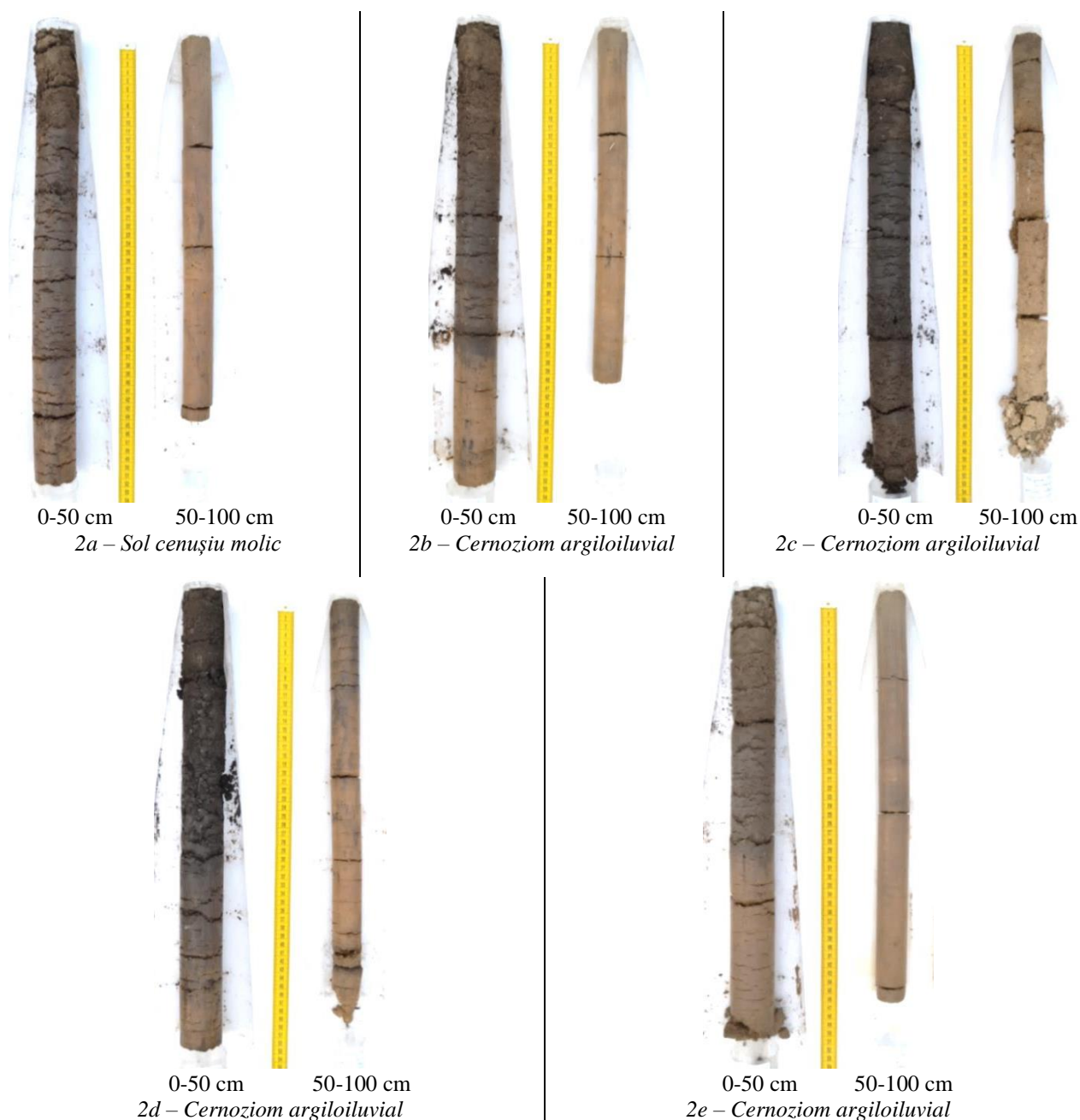
Ortofoto din 16.03.2015

**Fig. 5.3. Ortofoto câmpul nr. 2 (Sg-F2), s. Rădoaia, r. Sîngerei**

Prin examinarea vizuală a celor 5 profile de sol prelevate (figura 5.4), s-au evidențiat diferențe clar vizibile în intensitatea culorii și gradul de compactitate a orizonturilor genetice. Aceasta ne vorbește despre o variabilitate orizontală și verticală, chiar și într-un câmp pe care predomină un subtip de cernoziom (argiloiluvial) și doar o mică parte este prezentată de sol cenușiu molic. Nivelul scăzut de fertilitate a solului în punctele de prelevare menționate, ulterior, a fost confirmat prin analizele de laborator a probelor de sol.

Caracteristica comparativă a *texturii solului* (fracțiunile granulometrice de argilă, praf și nisip) în cadrul câmpului nr. 2 cercetat este prezentată în Anexa 17 (tab. A17.1). Datele privind textura solului nu prezintă diferențe mari între punctele de prelevare și adâncimea stratului de sol. În medie conținutul de argilă fizică (<0,01 mm) constituie 60% și de argilă fină (<0,001 mm) – 40% pe întreg profilul solului. Datele prezentate confirmă că câmpul nr. 2 are o textură preponderent argilo-lutoasă pe întreg profilul solului, care creează condiții mai anevoioase pentru lucrarea solului și expune acest câmp spre compactare și formare de crustă.

Deși, pentru textura solului nu s-a evidențiat vreo diferență între punctele de prelevare; totuși, pentru conținutul de N total, humus, carbonați și pH-ul solului s-a înregistrat o variabilitate esențială în cadrul câmpului, precum și pe întreg profilul solului (tab. 5.2).



**Fig. 5.4. Profilele de sol prelevate pe câmpul nr. 2 (Sg-F2), r. Sîngerei**

Astfel, conținutul de humus variază nu doar pe întreg profilul solului, dar și în cadrul câmpului, în dependență de punctul de prelevare. Cele mai mici valori a conținutului de humus și N total, s-au evidențiat în punctul de prelevare **2a**, care reprezintă un sol cenușiu molic, cu un strat arabil submoderat humifer (2,70% humus), o reacție a solului slab acidă și un conținut mic de carbonați pe întreg profilul solului. Valorile raportului C:N variază în limitele 8-10 pentru stratul de sol 0-50 cm și 7-8 pentru stratul 50-100 cm de sol. Valorile mici ale raportului C:N în profilul Sg-F2a indică la un conținut foarte mare de azot în humus, ceea ce înseamnă că se produce o mineralizare mai intensă a materiei organice. Concomitent, cantitatea de carbon introdusă în sol este relativ mică, iar condițiile de mineralizare intensă sunt favorabile (arătură,

îngrășăminte minerale de azot, asolament cu dominarea culturilor prășitoare). Problema poate fi provocată la fel de spălarea orizontului superior în rezultatul eroziunii.

**Tabelul 5.2. Indicatorii agrochimici ai solului pe câmpul nr. 2, r. Sîngerei**

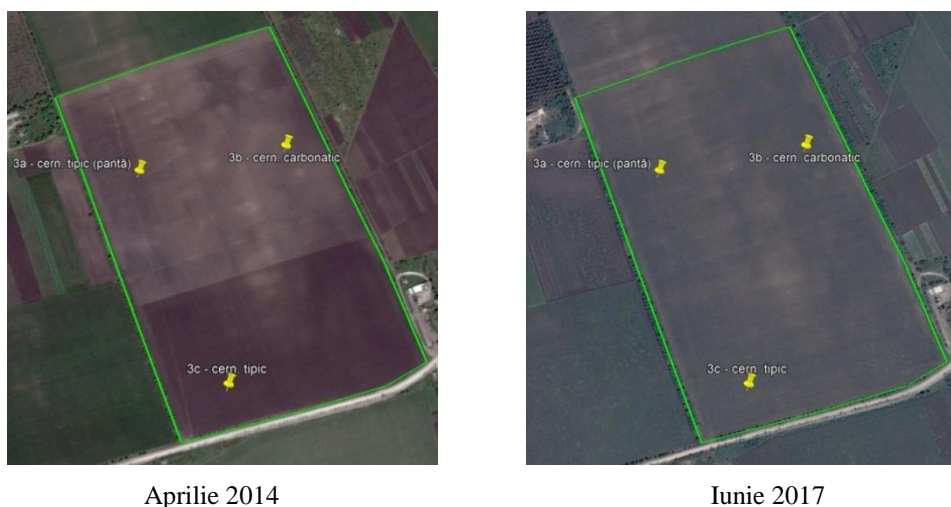
Profil de sol	Tipul solului	Strat de sol, cm	N total, %	Humus, %	C:N	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> , %
Sg-F2a	Sol cenușiu molic	0-25	0,17	2,70	9,5	6,0	0,9
		25-35	0,15	2,52	9,7	5,8	0,3
		35-50	0,09	1,32	8,2	5,5	0,8
		50-75	0,07	0,94	7,5	6,3	1,3
		75-100	0,07	0,88	7,3	6,0	0,4
Sg-F2b	Cernoziom argiloiluvial	0-25	0,20	3,44	10,0	5,1	-
		25-35	0,16	2,59	9,6	4,9	-
		35-50	0,06	0,43	4,5	5,0	-
		50-70	0,03	0,10	1,8	5,3	-
		70-100	0,04	0,35	5,1	5,2	-
Sg-F2c	Cernoziom argiloiluvial	0-25	0,22	4,00	10,5	6,7	0,6
		25-35	0,22	3,98	10,4	6,5	0,7
		35-50	0,19	3,23	10,0	6,9	1,4
		50-75	0,10	1,67	9,2	7,8	3,4
		75-100	0,08	1,07	7,6	7,7	17,4
Sg-F2d	Cernoziom argiloiluvial	0-30	0,21	3,92	10,8	6,0	-
		30-40	0,16	2,91	10,4	6,3	-
		40-50	0,11	1,94	10,1	6,7	1,0
		50-70	0,10	1,68	9,6	6,7	1,4
		70-100	0,08	1,08	8,3	7,1	2,1
Sg-F2e	Cernoziom argiloiluvial	0-30	0,16	2,82	10,0	5,8	0,9
		30-50	0,08	1,18	8,4	6,4	2,3
		50-75	0,08	1,15	8,9	6,9	1,9
		75-100	0,06	0,94	8,8	7,1	1,1

Pentru cernoziomul argiloiluvial, cele mai mici valori ai humusului s-au înregistrat în punctele **2b** și **2e** de prelevare, care variază între 1,18-3,44% în stratul 0-50 cm și 0,10-1,15% în stratul 50-100 cm. Conform figurii 5.4 (ortofoto din 16.03.2015), punctul de prelevare **2b** se deosebește după culoarea zonei, cu un nivel scăzut al fertilității solului, care a contribuit la o răsărire neuniformă și o dezvoltare slabă a plantelor în primăvara anului 2015, iar profilul de sol are un conținut de cca 3% humus în stratul arabil și scade brusc sub 1% în orizonturile inferioare. Totodată, se evidențiază printr-o reacție moderat acidă a solului și lipsa carbonaților. Deși, raportul C:N este în limite normale în stratul arabil, cu adâncimea valorile acestuia scad, indicând producerea unei mineralizări mai mari.

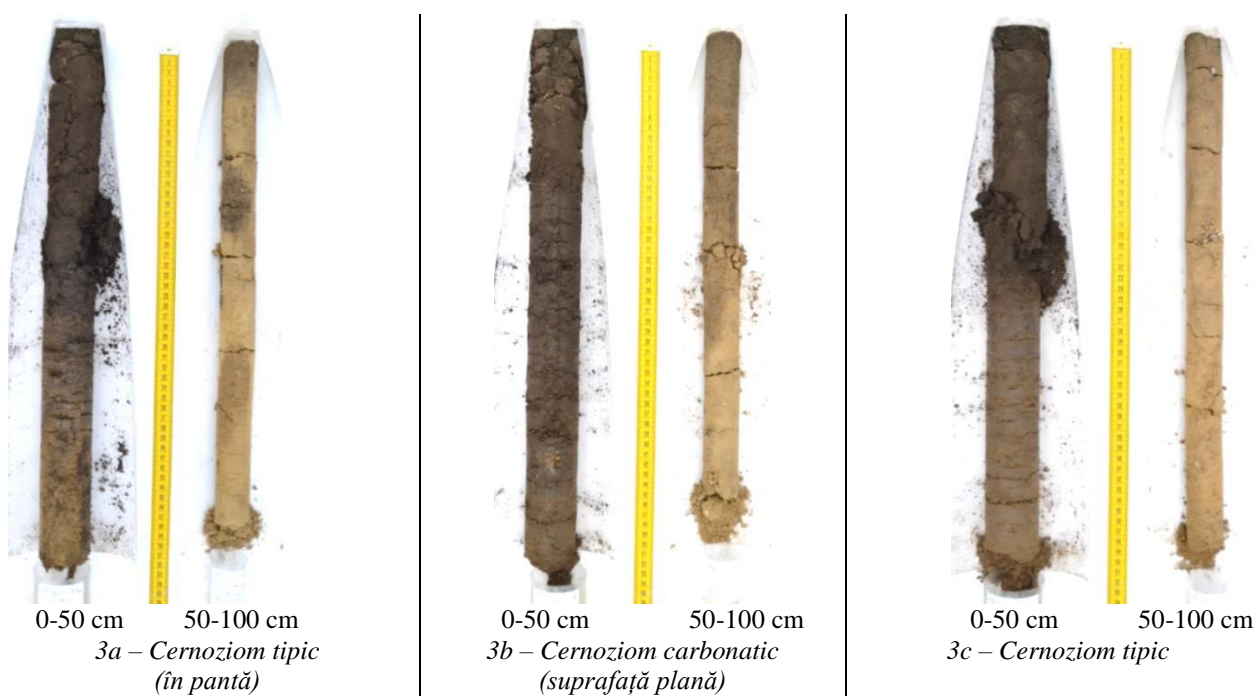
În punctele de prelevare **2c** și **2d**, nivelul de fertilitate este mai înalt, comparativ cu celelalte poziții din câmp. Deosebirea este evidentă și în cadrul profilelor de sol, acestea având o culoare mai întunecată. Conținutul de humus variază în limitele 2-4% în stratul 0-50 cm și 1-2% în stratul 50-100 cm de sol. Conținutul de N total corelează cu conținutul de humus. Reacția solului este slab acidă spre neutră. Valorile raportului C:N sunt în limite normale de 10-11.

Profilul de sol din punctul de prelevare *2e*, are un conținut mai mic de humus pe toată adâncimea și o reacție slab acidă spre neutră. Stratul arabil este submoderat humifer (sub 3% humus), iar orizonturile inferioare conțin până la 1% humus. Raportul C:N este optim în stratul arabil, dar valoarea acestuia scade cu adâncimea, indicând o mineralizare mai mare în orizonturile inferioare.

**Câmpul nr. 3 (Sg-F3)**, situat pe teritoriul com. Biliceni Noi (r. Sîngerei), fiind cultivat cu floarea-soarelui (Anexa 18), este intersectat de 2 subtipuri de cernoziom: carbonatic și tipic, ultimul fiind afectat de eroziune, care au și devenit puncte de interes pentru prelevarea profilelor de sol (figurile 5.5 și 5.6).



**Fig. 5.5. Ortofoto câmpul nr. 3 (Sg-F3), com. Biliceni Noi, r. Sîngerei**



**Fig. 5.6. Profile de sol prelevate pe câmpul nr. 3 (Sg-F3)**

Caracteristica comparativă a *texturii solului* (fracțiunile granulometrice de argilă, praf și nisip) în cadrul câmpului nr. 3 cercetat este prezentată în Anexa 18 (tab. A18.1). Datele privind textura solului nu prezintă diferențe mari între punctele de prelevare și adâncimea stratului de sol. În medie conținutul de argilă fizică (<0,01 mm) constituie 60% și de argilă fină (<0,001 mm) – 40% în stratul 0-50 cm de sol și scade cu cca 5% în stratul 50-100 cm de sol. Datele prezentate confirmă că în câmpul nr.3 predomină textura luto-argiloasă pe întreg profilul solului, deși în profilul de sol Sg-F3a, stratul arabil are o textură argilo-lutoasă, care creează condiții mai anevoioase pentru lucrarea solului.

Deși, pentru textura solului nu s-a evidențiat vreo diferență între punctele de prelevare; totuși, pentru conținutul de N total, humus, carbonați și pH-ul solului s-a înregistrat o variabilitate esențială în cadrul câmpului, precum și pe întreg profilul solului (tab. 5.3).

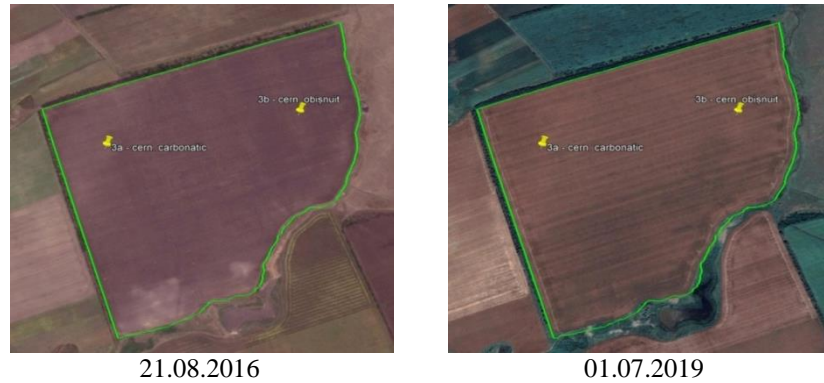
**Tab. 5.3. Indicatorii agrochimici ai solului pe câmpul nr. 3, r. Sîngerei**

Profil de sol	Tipul solului	Strat de sol, cm	N total, %	Humus, %	C:N	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> , %
Sg-F3a	Cernoziom tipic (în pantă) slab erodat	0-26	0,21	3,72	10,1	6,6	1,8
		26-38	0,15	2,52	9,8	6,9	2,0
		38-50	0,11	1,73	9,2	7,4	6,2
		50-70	0,09	1,32	8,6	7,7	11,4
		70-100	0,07	0,78	6,9	7,6	13,3
Sg-F3b	Cernoziom carbonatic (suprafață plană)	0-24	0,21	3,98	10,8	6,9	0,6
		24-38	0,19	3,56	11,0	7,1	0,9
		38-50	0,13	2,43	10,5	7,4	1,7
		50-70	0,09	1,52	9,4	8,0	5,2
		70-100	0,06	0,72	6,7	8,1	19,1
Sg-F3c	Cernoziom tipic	0-20	0,22	4,26	11,4	7,3	0,0
		20-36	0,13	2,31	10,0	7,8	8,3
		36-50	0,11	1,77	9,5	8,0	12,1
		50-70	0,09	1,28	8,4	8,1	16,5
		70-100	0,06	0,80	7,4	8,2	18,7

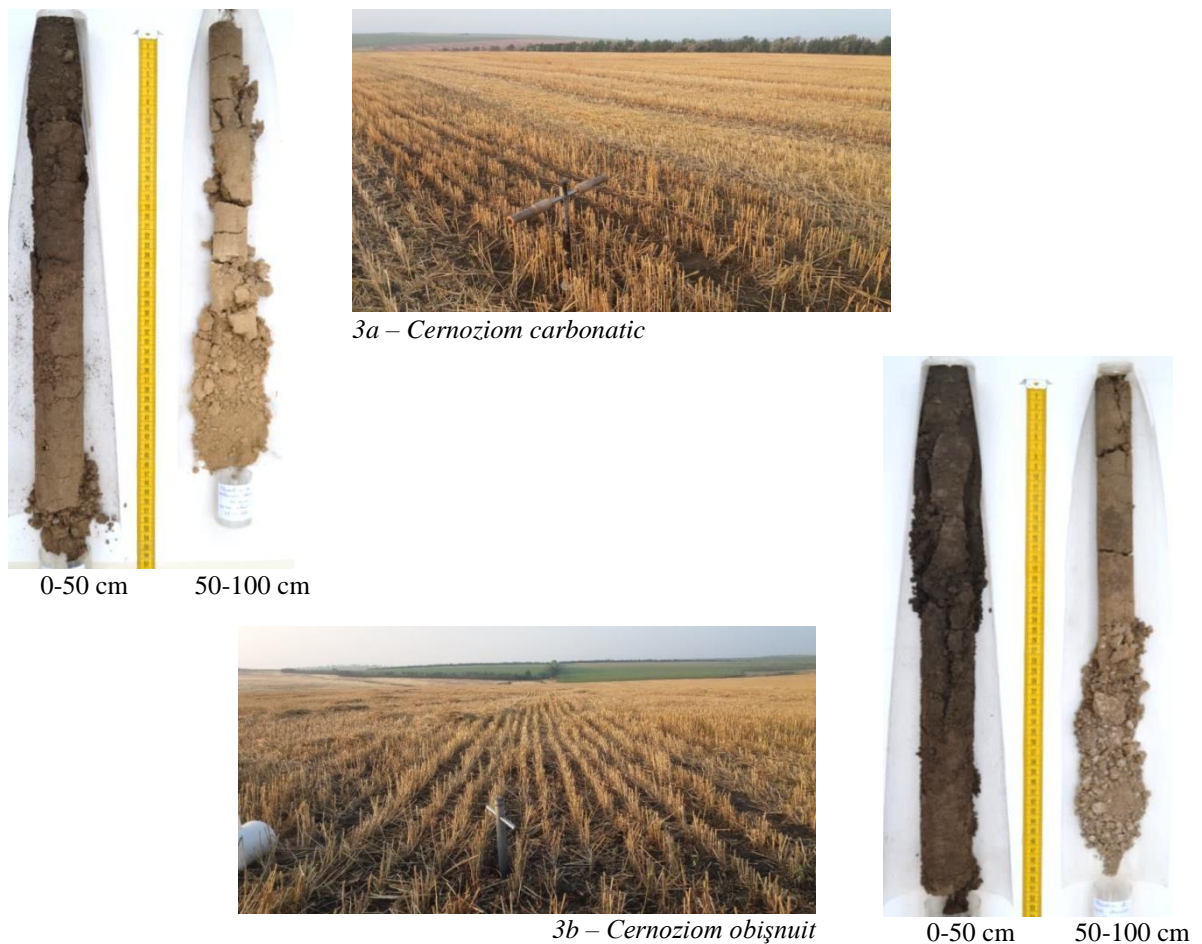
Astfel, conținutul de humus variază nu doar pe întreg profilul solului, dar și în cadrul câmpului, în dependență de punctul de prelevare. Profilul de sol Sg-F3b prelevat din cernoziomul carbonatic, suprafață plană, se deosebește printr-un conținut mai mare de humus și N total în orizonturile superioare. Stratul arabil și subarabil conțin până la 4% humus, 0,20% N total, reacția solului slab alcalină și un raport C:N optim. Profilul de sol Sg-F3c prelevat din cernoziomul tipic, are un conținut mai înalt de humus (4,26%) în stratul arabil, dar care scade practic în jumătate în straturile mai adânci, ajungând sub 1% la adâncimea de 1 m. Reacția solului este slab alcalină. În profilul Sg-F3a prelevat din cernoziomul tipic slab erodat, conținutul de humus este mai mic, sub 4% în stratul arabil 0-26 cm de sol, reacția solului este slab alcalină și carbonați prezenți pe întreg profilul solului. Valorile raportului C:N sunt în limite optime, în stratul arabil, însă scade în orizonturile inferioare.



În raionul Drochia a fost identificat **câmpul nr. 3 (Dr-F3)**, cultivat cu grâu de toamnă, situat pe teritoriul com. Pelinia, care este intersectat de 2 subtipuri de cernoziom: carbonatic (punctul de prelevare **3a**) și obișnuit (punctul de prelevare **3b**), care au și devenit puncte de interes (figura 5.7) pentru prelevarea profilelor de sol (figura 5.8).



**Fig. 5.7. Ortofoto câmpul nr. 3 (Dr-F3), com. Pelinia, r. Drochia**



**Fig. 5.8. Profilele de sol și pozițiile de prelevare pe câmpul nr. 3, r. Drochia**

Caracteristica comparativă a *texturii solului* (fracțiunile granulometrice de argilă, praf și nisip) în cadrul câmpului nr. 3 (Dr-F3) cercetat este prezentată în Anexa 9 (tab. A9.2 și A9.5). Datele privind textura solului nu prezintă diferențe mari între punctele de prelevare și adâncimea stratului de sol. În medie conținutul de argilă fizică (<0,01 mm) constituie 55% și de argilă fină

(<0,001 mm) – 36% pe întreg profilul solului. Datele prezentate confirmă că în câmpul nr.3 (F1-F3) predomină textura luto-argiloasă pe întreg profilul solului, cu un procent mai mare a fracțiunii de argilă în profilul cernoziomului obișnuit (Dr-F3b), care creează condiții mai anevoioase pentru lucrarea solului.

Deși, pentru textura solului nu s-a evidențiat vreo diferență mare între punctele de prelevare; totuși, pentru conținutul de N total, humus, carbonați și pH-ul solului s-a înregistrat o variabilitate esențială în cadrul câmpului (tab. 5.4), precum și pe întreg profilul solului. Conform tabelului 5.4, este evidentă predominarea cernoziomului obișnuit (profilul Dr-F3b) față de cel carbonatic (Dr-F3a), din punct de vedere al stării de fertilitate în cadrul câmpului.

**Tabelul 5.4. Indicatorii agrochimici ai solului pe câmpul nr. 3, r. Drochia**

Profil de sol	Tipul solului	Stratul de sol, cm	N total, %	Humus, %	C:N	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> , %
Dr-F3a	Cernoziom carbonatic	0-28	0,20	3,99	11,6	7,3	0,3
		28-50	0,13	2,44	10,7	7,5	7,5
		50-70	0,09	1,58	10,2	7,9	11,6
		70-100	0,07	1,01	8,4	8,0	18,3
Dr-F3b	Cernoziom obișnuit	0-28	0,23	4,48	11,5	6,3	0,0
		28-50	0,17	3,30	11,1	6,9	0,0
		50-70	0,10	1,92	11,1	7,7	4,1
		70-100	0,08	1,40	10,1	7,7	10,8

Profilul de sol Dr-F3b are un strat arabil humifer, cu un conținut de humus peste 4%, și un strat subarabil moderat humifer (peste 3% humus); iar orizonturile inferioare au un conținut de humus sub 2%. Reacția solului este slab acidă în stratul arabil și neutră spre slab alcalină în straturile ulterioare. Carbonații sunt prezenți de la adâncimea de 50 cm.

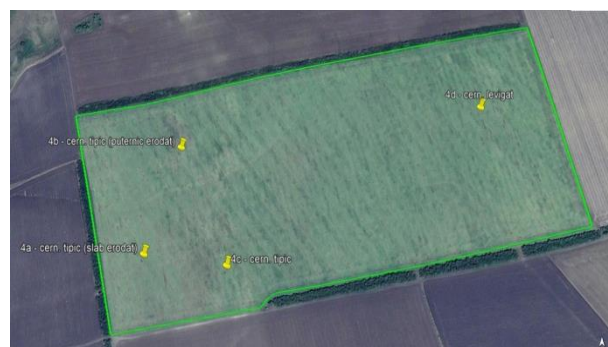
Profilul de sol Dr-F3a are un strat arabil moderat humifer (4% humus) și un strat subarabil submoderat humifer (sub 3% humus), iar orizonturile inferioare au un conținut de humus sub 2%. Reacția solului este slab alcalină în stratul 0-50 cm și moderat alcalină în stratul 50-100 cm. Carbonații sunt prezenți pe întreg profilul solului, cu un conținut mai mare (11-18%) în stratul 50-100 cm de sol.

În raionul Florești, a fost identificat **câmpul nr. 4 (F1-F4)**, situat pe teritoriul s. Coșerâna, care este intersectat de 2 subtipuri de cernoziom: levigat și tipic (Anexa 19); ultimul, datorită amplasării terenului în pantă este afectat de eroziune, care au și devenit puncte de interes pentru prelevarea profilelor de sol (figurile 5.9 și 5.10).

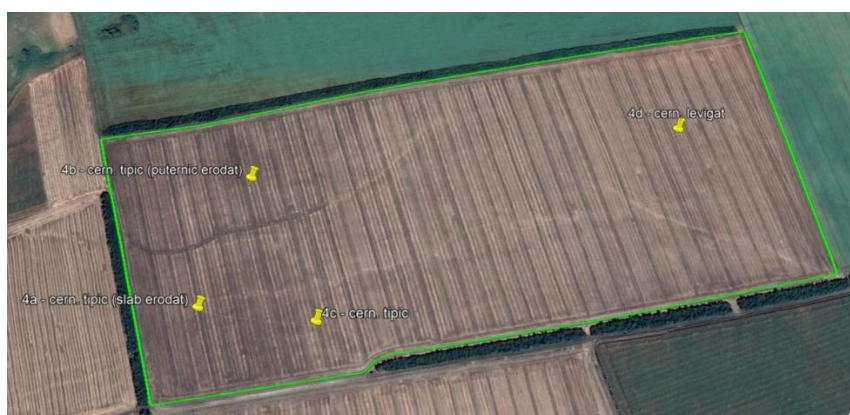
În figura 5.9 sunt prezentate ortofoto a stării câmpului în diferiți ani, începând cu anul 2012, pe câmp se încep a evidenția linii de scurgere a apei și solului în rezultatul eroziunii de apă produse, iar în anul 2020, deși solul este acoperit cu miriște în luna august, aceste linii de scurgere devin tot mai evidente, iar starea semănăturii este mai slabă în zona pierderii de sol.



Septembrie 2012

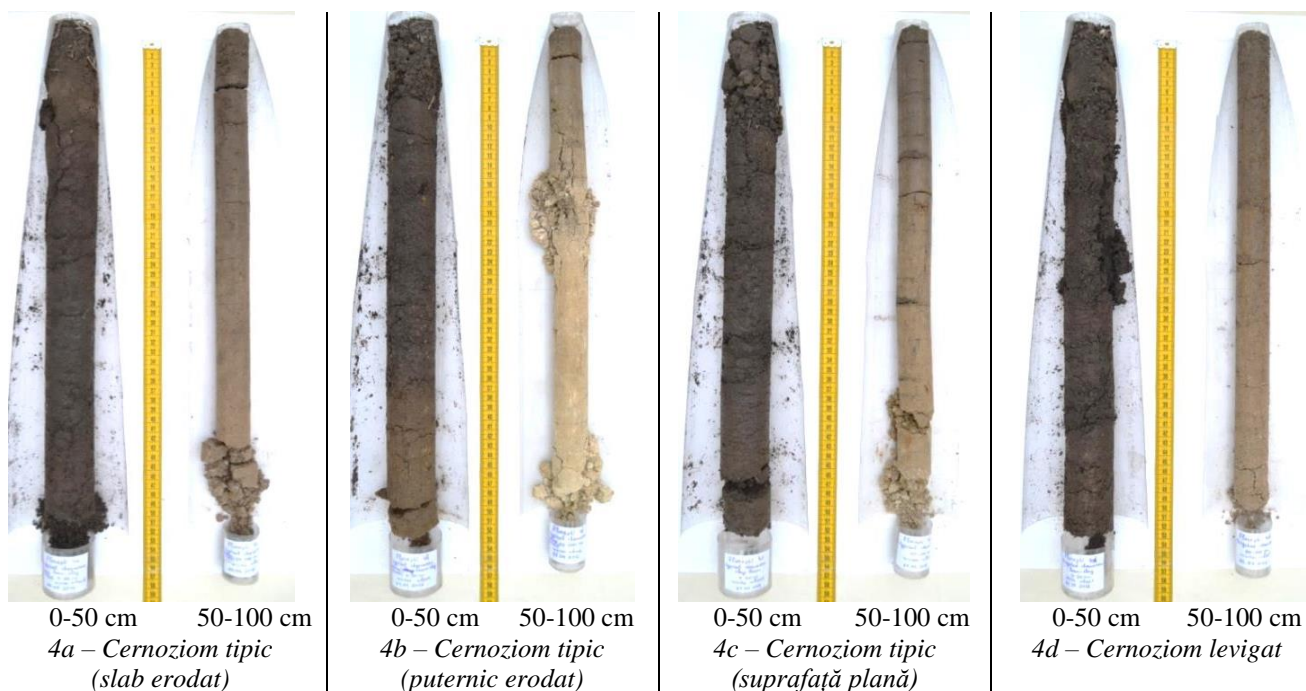


Septembrie 2017



August 2020

**Fig. 5.9. Ortofoto câmpul nr. 4 (r. Florești) și punctele de prelevare**



**Fig. 5.10. Profilele de sol prelevate pe câmpul nr. 4, r. Florești**

Caracteristica comparativă a *texturii solului* (fracțiunile granulometrice de argilă, praf și nisip) în cadrul câmpului nr. 4 (F1-F4) cercetat este prezentată în Anexa 19. Datele privind textura solului nu prezintă diferențe mari între punctele de prelevare și adâncimea stratului de sol. În stratul arabil, conținutul de argilă fizică (<0,01 mm) constituie între 56-64% și de argilă fină (<0,001 mm) – 37-43%, iar în stratul subarabil conținutul de argilă fizică oscilează între 49-

65% și de argilă fină – 32-44%. Datele prezentate confirmă că în câmpul nr.4 (F1-F4) predomină textura luto-argiloasă pe întreg profilul solului, deși profilul de sol F1-F4c are o textură argilo-lutoasă, care creează condiții mai anevoioase pentru lucrarea solului.

Pentru textura solului nu s-a evidențiat o diferență esențială între punctele de prelevare, însă pentru conținutul de N total, humus, carbonați și pH-ul solului s-a înregistrat o variabilitate esențială în cadrul câmpului, precum și pe întreg profilul solului (tab. 5.5).

**Tabelul 5.5. Indicatorii agrochimici ai solului pe câmpul nr. 4, r. Florești**

Profil de sol	Tipul solului	Strat de sol, cm	N total, %	Humus, %	C:N	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> , %
F1-F4a	Cernoziom tipic, (slab erodat)	0-25	0,23	4,61	11,8	6,8	0,0
		25-50	0,23	4,61	11,4	6,8	0,6
		50-75	0,18	3,47	11,0	7,2	4,1
		75-100	0,10	1,77	9,8	7,7	15,8
F1-F4b	Cernoziom tipic, (puternic erodat)	0-32	0,23	4,52	11,5	6,2	0,0
		32-50	0,09	1,90	11,6	6,9	0,0
		50-65	0,07	1,31	10,5	7,5	8,7
		65-100	0,04	0,39	5,2	7,1	23,3
F1-F4c	Cernoziom tipic	0-32	0,25	4,71	11,1	6,3	0,9
		32-50	0,20	3,72	11,0	6,7	1,6
		50-70	0,13	2,35	10,1	7,3	4,9
		70-100	0,08	1,15	8,6	7,8	18,3
F1-F4d	Cernoziom levigat	0-36	0,23	4,66	11,5	6,3	0,0
		36-50	0,19	3,83	11,5	6,7	0,0
		50-75	0,12	2,26	11,1	7,4	1,2
		75-100	0,09	1,45	9,5	7,7	15,2

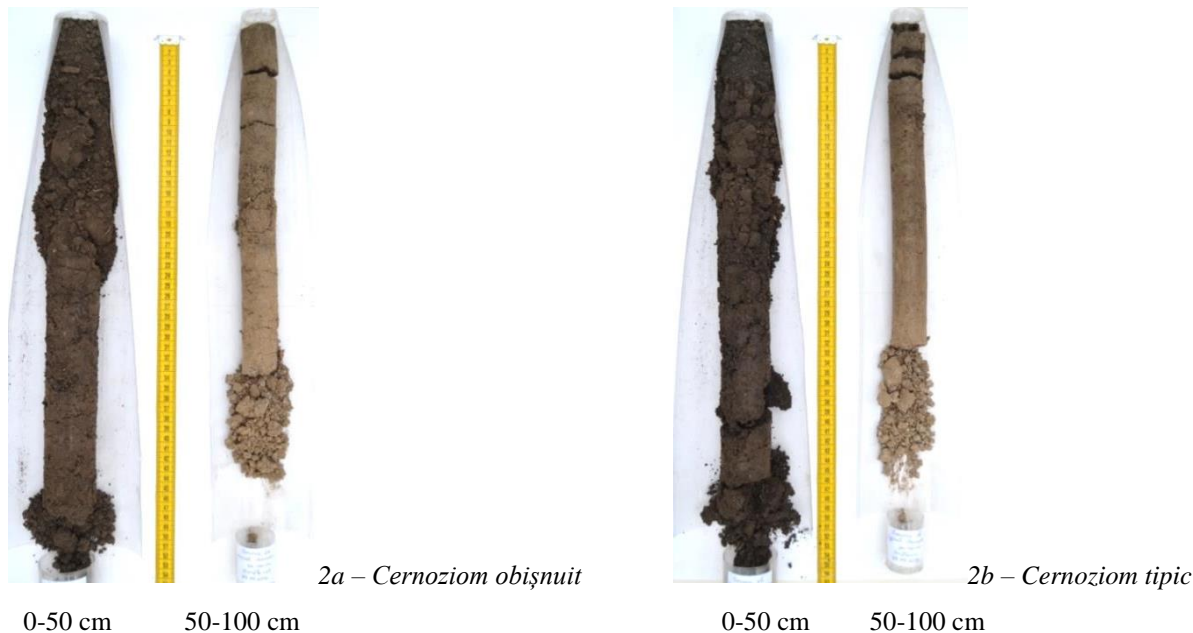
Deși, o zonă a câmpului, pe care predomină cernoziomul tipic, este supusă procesului de eroziune, conținutul de humus în stratul arabil a constituit cca 4,5-4,7% în toate punctele de prelevare. Astfel, profilul de sol F1-F4d a cernoziomului levigat, prelevat de pe suprafața plană a câmpului, are un strat arabil humifer, constituind peste 4% humus și scade treptat cu adâncimea, ajungând sub 2% în stratul de până la 1 m. În profilul F1-F4c a cernoziomului tipic, se menține practic același nivel de fertilitate ca și în profilul F1-F4, doar că carbonații sunt prezenți pe întreg profilul solului. Profilul de sol F1-F4b, prelevat din zona puternic erodată a câmpului, are stratul arabil humifer (4,52% humus), conținutul de humus al căruia scade brusc în straturile ulterioare, ajungând la 0,4% spre adâncimea de 1 m. Carbonații apar de la adâncimea de 50-100 cm de sol, constituind 9-23%, iar reacția solului este slab acidă

Profilul de sol F1-F4a, a cernoziomului tipic, este slab erodat, dar conține 4,61% humus până la adâncimea de 50 cm, care scade treptat la 3,47% în stratul 50-75 cm și ajunge sub 2% la adâncimea de 1 m. Culoarea mai închisă a întreg profilului de sol (figura 5.12) demonstrează aceasta, fiind cauzată de depunerea straturilor humifere deplasate de pe vârfurile pantei.

În raionul Soroca, a fost identificat **câmpul nr. 2 (So-F2)**, cultivat cu floarea-soarelui, care fiind situat pe teritoriul com. Vădeni, este intersectat de 2 subtipuri de cernoziom: obișnuit (**2a**) și tipic (**2b**), care au și devenit puncte de interes pentru prelevarea profilelor de sol (figurile 5.11-5.12). În figura 5.11 sunt prezentate ortofoto a stării câmpului în diferiți ani, conform cărora se observă că în vara anului 2006 câmpul nu prezintă semne evidente de eroziune a solului, iar în anul 2020, deși solul este acoperit cu vegetație în luna iulie, pe câmp se evidențiază pronunțat linii de scurgere a apei și solului în rezultatul eroziunii de apă produse.



**Fig. 5.11. Ortofoto câmpul nr. 2 (So-F2) și punctele de prelevare a profilelor de sol, r. Soroca**



**Fig. 5.12. Profilele de sol prelevate pe câmpul nr. 2 (So-F2), r. Soroca**

Datele privind textura solului nu prezintă diferențe mari între punctele de prelevare și adâncimea stratului de sol (Anexa 9, tab.A9.1 și A9.2). În medie, conținutul de argilă fizică (<0,01 mm) constituie 58% și de argilă fină (<0,001 mm) – 38% pe întreg profilul solului. Datele prezentate confirmă că câmpul nr. 2 (So-F2) are o textură luto-argiloasă pe întreg profilul

solului. Astfel, pentru textura solului nu s-a evidențiat o diferență esențială între punctele de prelevare, însă pentru conținutul de N total, humus, carbonați și pH-ul solului s-a înregistrat o variabilitate esențială în cadrul câmpului, precum și pe întreg profilul solului (tab. 5.6).

**Tabelul 5.6. Indicatorii agrochimici ai solului pe câmpul nr. 2, r. Soroca**

Profil de sol	Tipul solului	Stratul de sol, cm	N total, %	Humus, %	C:N	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> , %
So-F2a	Cernoziom obișnuit	0-25	0,24	4,49	11,0	7,3	1,6
		25-50	0,20	3,91	11,2	7,3	3,9
		50-75	0,14	2,70	11,0	7,6	7,3
		75-100	0,10	1,76	10,3	7,9	12,2
So-F2b	Cernoziom tipic	0-25	0,24	4,59	10,9	6,4	0,5
		25-50	0,22	4,40	11,7	6,7	0,0
		50-75	0,15	2,95	11,1	7,5	4,0
		75-100	0,11	1,96	10,5	7,8	10,4

Conform tabelului 5.6, este evidentă predominarea cernoziomului tipic (profilul So-F2b) față de cel obișnuit (So-F2a), din punct de vedere al stării de fertilitate în cadrul câmpului. Stratul humifer al profilului de sol So-F2b are o grosime de până la 50 cm, cu un conținut mediu de humus de 4,5%; iar orizonturile inferioare au un conținut de humus sub 2-3%. Reacția solului este neutră în stratul 0-50 cm și slab alcalină în straturile ulterioare. Carbonații sunt prezenți de la adâncimea de 50 cm. Profilul de sol So-F2a are un strat arabil humifer (4,5% humus), cu o grosime de doar 25 cm și un strat subarabil moderat humifer (sub 4% humus), iar orizonturile inferioare au un conținut de humus sub 2-3%. Reacția solului este slab alcalină pe întreg profilul solului. Carbonații sunt prezenți pe întreg profilul solului, cu un conținut mai mare de 7-12% în stratul 50-100 cm de sol.

Rezultatele prezentate mai sus, sunt o demonstrație clară a constatărilor menționate în capitolul 1. Variabilitatea spațială mare a nivelului de fertilitate a solului în cadrul câmpurilor agricole individuale, creează condiții în care practicile obișnuite de a combina câteva subprobe, pentru formarea unei probe comune, nu dau un rezultat de încredere și nu reflectă situația reală a stării de calitate a solului în câmp. Implementarea unui management a solului specific locației necesită cartografierea digitală detaliată a indicatorilor de fertilitate a solului și cuantificarea parametrilor de sol [114; 124; 127], care este posibilă și viabilă doar prin prelevarea și analiza unui număr mare de probe pentru a cuprinde această variabilitate spațială. În acest context, schema și procedura de prelevare a probelor de sol joacă un rol crucial în furnizarea datelor de încredere pentru cartografierea digitală a solului (CDS) și creșterea eficienței acesteia. După S. Hong și coautorii [81], filozofia agriculturii de precizie, numită și managementul specific locației, constă în gestionarea zonelor individuale din cadrul câmpului, decât gestionarea câmpului în ansamblu.

Rezultatele obținute prin achiziționarea spectrelor solului pe o suprafață dată și prelucrarea statistică a acestora servesc ca bază la crearea hărților digitale detaliate, necesare în elaborarea planului de aplicare diferențiată a îngrășămintelor sau produselor de protecție a plantelor. Astfel, adoptarea unui management specific locației va asigura raționalizarea utilizării resurselor gospodăriei și atingerea obiectivelor de dezvoltare durabilă, atât economic cât și ecologic. Totodată, hărțile digitale sunt o sursă de date și informații detaliate despre sol ce pot fi utilizate în monitorizarea și modelarea managementului agricol al terenurilor. Efectele sistemului de management agricol aplicat, pot fi observate prin schimbările ce se produc atât la suprafața câmpului cât și în adâncime.

### **Concluzii la capitolul 5**

1. Pentru textura solului nu s-a evidențiat vreo diferență între punctele de prelevare a profilelor de sol din cadrul câmpurilor selectate, însă, pentru conținutul de N total, humus, carbonați și pH-ul solului s-a înregistrat o variabilitate esențială în cadrul fiecărui câmp separat, precum și pe întreg profilul solului.
2. Schimbările produse atât la suprafața câmpurilor studiate, cât și pe întreg profilul solului, au scos în evidență efectele sistemului de management agricol aplicat, care a contribuit la avansarea proceselor de degradare a terenurilor, în special prin eroziunea solului.
3. Sunt necesare a fi implementate măsuri de protecție antierozionale și fitoameliorative, care au la bază tehnologiile agriculturii conservativă, respectarea asolamentelor cu o pondere mai mare a culturilor semănate des, în special a culturilor leguminoase anuale și perene ca culturi de bază și îngrășăminte verzi, precum și utilizarea gunoiului de grajd pentru stabilizarea bilanțului humusului în sol și conservarea fertilității lui.
4. Variabilitatea spațială mare a nivelului de fertilitate a solului în cadrul câmpurilor agricole individuale, creează condiții în care practicile obișnuite de a combina câteva subprobe, pentru formarea unei probe comune, nu dau un rezultat de încredere și nu reflectă situația reală a stării de calitate a solului în câmp.
5. Hărțile digitale sunt o sursă de date și informații detaliate despre starea reală de calitate a solului în cadrul câmpurilor agricole individuale, ce pot fi utilizate în monitorizarea și modelarea managementului agricol al terenurilor.
6. Schema și procedura de prelevare a probelor de sol joacă un rol crucial în furnizarea datelor de încredere pentru cartografierea digitală a solului (CDS), care este necesară în implementarea unui management a solului specific locației.

## 6. EVALUAREA PRACTICILOR AGRICOLE DE MANAGEMENT A SOLULUI

### 6.1. Influența rotației culturilor, sistemului de lucrare și fertilizare a solului asupra indicatorilor fertilității solului

Analiza probelor de sol prin metoda NIRS a fost efectuată și pentru experiența polifactorială de lungă durată a ICCC „Selecția” cu studierea acțiunii și interacțiunii rotației culturilor, sistemelor de lucrare și fertilizare a solului în asolament, în lipsa mijloacelor chimice de combatere a bolilor, dăunătorilor și buruienilor. Metoda s-a dovedit a fi foarte efectivă în determinarea conținutului de N total, C organic, carbonați, pH-ul și textura solului în condițiile lotului experimental. Imaginea profilelor de sol este prezentată în Anexa 20 (figurile 20.1-20.2). Rezultatele obținute în experiența polifactorială de lungă durată realizată în cadrul câmpurilor experimentale ale IP ICCC „Selecția” confirmă rolul fundamental al rotației culturilor, lucrărilor agricole și fertilizării atât în circuitul MOS, cât și în formarea nivelului de producție.

Datele prezentate în Anexa 20 (tab. A20.1) denotă evident impactul pozitiv al afânării solului comparativ cu arătura în asolamentul cu ierburi perene practic pentru întreg profilul solului, la aplicarea gunoiului de grajd. Aceasta se manifestă prin majorarea conținuturilor de MOS și N total în sol. Folosirea suplimentară a îngrășămintelor minerale pe fondul aplicării gunoiului de grajd contribuie la reducerea conținutului de MOS și N total pe fondul afânării solului, dar la majorarea lor pe fondul arăturii cu plug cu cormană, în deosebi pentru stratul de sol 0-50 cm.

Aceeași tendință se observă și în asolamentul fără ierburi perene (tab. A20.2), pe fondul aplicării gunoiului de grajd afânarea solului contribuie la majorarea conținutului de MOS și N total pe întreg profilul solului, comparativ cu arătura solului cu plug cu cormană. În acest context, este important de atenționat că efectul sistemului de lucrare al solului este determinat de interacțiunea acestuia cu rotația culturilor și sistemul de fertilizare aplicat.

De menționat, că în lipsa ierburilor perene în asolament, folosirea suplimentară a îngrășămintelor minerale pe fondul îngrășămintelor organice în asolament la fel contribuie la acumularea MOS și N total pe întreg profilul solului. Diferența în acești doi indicatori este mai pronunțată la fel pe martorul absolut la folosirea afânării solului, comparativ cu arătura cu plug cu cormană.

Datele prezentate confirmă încă odată că rezultate optime se obțin la respectarea rotației culturilor, în special la includerea leguminoaselor perene și graminee în asolament, cu lucrarea minimă a solului și fertilizarea cu îngrășăminte organice și doze mici de îngrășăminte minerale în cadrul rotației culturilor.



## 6.2. Producția culturilor de câmp în experiența polifactorială

Pe parcursul anilor 2016-2018 în experiența polifactorială de lungă durată din cadrul ICCC „Selecția” s-au efectuat cercetări pentru studierea influenței sistemului de fertilizare și lucrare a solului în formarea nivelului de producție al culturilor agricole, în veriga asolamentului:

- *cu ierburi perene:*
  1. lucerna+raigras an.3 de viață, după prima coasă
  2. grâu de toamnă
  3. sfecla de zahăr
  4. porumb la boabe
- *fără ierburi perene:*
  1. porumb la siloz
  2. grâu de toamnă
  3. sfecla de zahăr
  4. porumb la boabe

Producțiile obținute la diferite culturi în ambele asolamente experimentale (cu/și fără amestec de ierburi perene) pe fond cu fertilizare organică și organo-minerală sunt prezentate în tabelele 6.1-6.3.

**Grâul de toamnă.** Producția grâului de toamnă a fost semnificativ mai mare la amplasarea culturii după amestec de lucerna cu raigras, anul 3 de viață după prima coasă, comparativ cu amplasarea grâului de toamnă după porumb la siloz (tab. 6.1), indiferent de sistemul de lucrare al solului. În medie, pentru anii de studiu 2016-2018, sporul de producție pe martorul absolut la amplasarea grâului de toamnă în asolament cu ierburi perene a constituit 2,89 t/ha pe fondul îmbinării arăturii și afânării solului în asolament și 2,40 t/ha pe fondul afânării solului.

**Tabelul 6.1. Producția grâului de toamnă în veriga asolamentelor cu și fără ierburi leguminoase și graminee pe diferite fonduri de fertilizare, anii 2016-2018, t/ha**

Anii	Asolament cu amestec de ierburi perene			Asolament fără amestec de ierburi perene			DL <sub>05</sub> , t/ha	Spor de producție de la asolament cu ierburi perene		
	martor	gunoi de grajd	gunoi de grajd + NPK	martor	gunoi de grajd	gunoi de grajd + NPK		martor	gunoi de grajd	gunoi de grajd + NPK
Îmbinarea arăturii și afânării solului în asolament										
2016	6,37	6,22	5,90	2,87	4,29	5,42	0,29	+3,50	+1,93	+0,48
2017	4,93	5,12	5,32	3,20	3,42	5,30	0,26	+1,73	+1,70	+0,02
2018	6,04	5,73	6,45	2,59	4,94	5,81	0,42	+3,45	+0,79	+0,64
<b>Media</b>	<b>5,78</b>	<b>5,69</b>	<b>5,89</b>	<b>2,89</b>	<b>4,22</b>	<b>5,51</b>		<b>+2,89</b>	<b>+1,47</b>	<b>+0,38</b>
Afânare										
2016	5,94	6,27	6,08	3,02	4,26	5,45	0,29	+2,92	+2,01	+0,63
2017	4,79	5,11	5,33	3,07	3,89	5,22	0,26	+1,72	+1,22	+0,11
2018	5,25	5,30	6,08	2,70	4,51	6,35	0,42	+2,55	+0,79	-0,27
<b>Media</b>	<b>5,33</b>	<b>5,56</b>	<b>5,83</b>	<b>2,93</b>	<b>4,22</b>	<b>5,67</b>		<b>+2,40</b>	<b>+1,34</b>	<b>+0,16</b>

În anul 2016, cel mai înalt nivel absolut de producție a fost obținut pe matorul nefertilizat (6,37 t/ha), pe fondul lucrării combinate a solului în asolamentul cu ierburi perene, fiind constatat și cel mai înalt spor de producție în boabe la grâul de toamnă (3,50 t/ha).

Nivelul de producție rămâne practic același în asolamentul cu ierburi perene pe fondul postacțiunii gunoiului de grajd (în medie 5,69 t/ha), dar la amplasarea grâului de toamnă după porumb la siloz nivelul de producție scade, asigurând un spor de producție în medie de 1,47 t/ha pe fondul lucrării combinate a solului și 1,34 t/ha pe fondul afânării.

Cel mai mic spor de producție în boabe la grâul de toamnă amplasat după amestecul de ierburi perene a fost determinat pe fondul postacțiunii gunoiului de grajd și acțiunii directe a îngrășămintelor minerale, constituind în medie 0,38 t/ha la lucrarea combinată a solului și 0,16 t/ha la afânarea solului.

Folosirea suplimentară a îngrășămintelor minerale pe fondul postacțiunii îngrășămintelor organice nu sporește semnificativ nivelul de producție la boabe comparativ cu postacțiunea gunoiului de grajd în asolamentul cu ierburi perene, dar conduce la o creștere considerabilă în asolamentul fără ierburi perene, indiferent de sistemul de lucrare a solului. Astfel, folosirea suplimentară a îngrășămintelor minerale pe fondul postacțiunii îngrășămintelor organice asigură un spor nesemnificativ de producție comparativ cu folosirea separată a gunoiului de grajd în postacțiune din cadrul asolamentului cu amestec de ierburi perene (0,30 t/ha), dar contribuie la o majorare considerabilă în asolamentul fără ierburi perene (2,70 t/ha). Aceasta mărturisește despre o posibilitate reală de reducere a dozelor de îngrășămintele minerale la includerea lucernei în asolament.

**Sfecla de zahăr.** Producția sfeclei de zahăr din vergile ambelor asolamente studiate a înregistrat o fluctuație semnificativă în anii de studiu, din cauza condițiilor climaterice (tab. 6.2).

Producția sfeclei de zahăr amplasată după amestec de ierburi perene rămâne practic aceeași, indiferent de sistemul de lucrare și fertilizare a solului; însă, în anul 2016, aceasta crește considerabil pe fondurile fertilizate în veriga asolamentului fără ierburi perene. Astfel, amplasarea sfeclei de zahăr în asolamentul cu ierburi perene a contribuit la reducerea nivelului de producție, comparativ cu asolamentul fără ierburi perene pe toate fondurile de fertilizare și, în special, pe fond fertilizat cu gunoi de grajd + NPK, indiferent de sistemul de lucrare a solului.

Această situație a fost creată de condițiile climaterice nefavorabile cu insuficiență de umiditate din primăvara (-10,3 mm) și vara (-45,3 mm) anului 2016. La cultura sfeclei de zahăr cel mai mare consum de apă are loc în fenofaza de încheiere a formării aparatului foliar, a creșterii în greutate a rădăcinii și debutul fenofazei de acumulare a zahărului, ceea ce corespunde lunilor iunie, iulie și august. Lipsa precipitațiilor din lunile verii, în special din luna iulie (-32,8 mm), a contribuit la reducerea potențialului de producție al culturii. Precipitațiile atmosferice

abundente din luna octombrie n-au contribuit la compensarea deficitului de apă accesibilă în sol la cultura sfecei de zahăr, indiferent de prezența sau lipsa ierburilor perene în asolament.

**Tabelul 6.2. Producția sfecei de zahăr în veriga asolamentelor cu și fără ierburi leguminoase și graminee pe diferite fonduri de fertilizare, anii 2016-2018, t/ha**

Anii	Asolament cu amestec de ierburi perene			Asolament fără amestec de ierburi perene			DL <sub>05</sub> , t/ha	Spor de producție de la asolament cu ierburi perene		
	martor	gunoi de grajd	gunoi de grajd + NPK	martor	gunoi de grajd	gunoi de grajd + NPK		martor	gunoi de grajd	gunoi de grajd + NPK
	Îmbinarea arăturii și afânării solului în asolament									
2016	27,4	31,8	32,5	27,4	38,4	43,0	2,45	0	-6,6	-10,5
2017	40,9	49,5	50,3	34,2	46,3	46,2	2,38	+6,7	+3,2	+4,1
2018	9,5	10,5	10,4	11,0	14,6	13,3	1,28	-1,5	-4,1	-2,9
<b>Media</b>	<b>25,9</b>	<b>30,6</b>	<b>31,1</b>	<b>24,2</b>	<b>33,1</b>	<b>34,2</b>		<b>+1,7</b>	<b>-2,5</b>	<b>-3,1</b>
	Afânare									
2016	29,9	33,0	31,2	28,0	38,2	36,4	2,45	+1,9	-5,2	-5,2
2017	42,8	44,0	45,8	38,7	49,4	48,4	2,38	+4,1	-5,4	-2,6
2018	11,5	13,9	10,2	9,8	13,6	11,4	1,28	+1,7	+0,3	-1,2
<b>Media</b>	<b>28,1</b>	<b>30,3</b>	<b>29,1</b>	<b>25,5</b>	<b>33,7</b>	<b>32,1</b>		<b>+2,6</b>	<b>-3,4</b>	<b>-3,0</b>

O situație diametral opusă s-a observat în anul 2017, nivel de producție al sfecei de zahăr pe toate sistemele de fertilizare și lucrare a solului a fost mai înalt în asolamentul cu amestec de ierburi perene comparativ cu lipsa lor în veriga asolamentului. În cazul îmbinării arăturii și afânării solului, folosirea directă a gunoiului de grajd la cultura sfecei de zahăr a asigurat un spor de producție comparativ cu martorul absolut în mărime de 8,6 și 12,1 t/ha, respectiv în prima și a doua veriga a asolamentului. Aplicarea suplimentară a îngrășămintelor minerale pe fondul acțiunii directe a îngrășămintelor organice n-a contribuit la majorarea nivelului de producție comparativ cu folosirea separată a gunoiului de grajd din ambele verigi ale asolamentului.

Pe când, pe fondul afânării solului, fertilizarea atât organică cât și organo-minerală a fost neefectivă comparativ cu martorul absolut la amplasarea culturii după amestec de ierburi perene. În veriga asolamentului fără ierburi perene influența fertilizării a rămas aceeași ca și la aplicarea lucrării combinate a solului, asigurând un spor de producție de cca 10-11 t/ha. Deci, fertilizarea organică și organo-minerală a fost mai efektivă în veriga asolamentului fără ierburi perene, în special pe fondul îmbinării arăturii și afânării solului.

Nivelul de producție de rădăcini de sfeclă de zahăr în anul 2018 a fost cel mai mic din toată perioada de studii, ceea ce a fost determinat de condițiile de secetă la începutul perioadei de vegetație (aprilie-mai) a culturii, precum și pe parcursul lunii august (-48,5 mm), care coincide

cu fenofaza cu cel mai mare consum de apă necesar, și o mare parte a lunii septembrie deficitul de precipitații și regimul termic ridicat au contribuit la uscarea solului. Condițiile cu deficit de umiditate la faza de maturizare, când se depune și o mare cantitate de zahăr – lunile august-septembrie, au contribuit la micșorarea recoltei.

Astfel, amplasarea sfeclei de zahăr în asolamentul cu ierburi perene nu a asigurat un spor de producție, indiferent de fondul de fertilizare și lucrare a solului. Deși, fertilizarea organică a influențat pozitiv nivelul recoltei (2,4 t/ha spor de producție) pe fondul afânării solului. În cazul amplasării sfeclei de zahăr în veriga asolamentului fără ierburi perene, fertilizarea solului a asigurat majorarea nivelului de producție al sfeclei de zahăr, în special pe fondul fertilizării cu gunoi de grajd, care a asigurat un spor de producție de până la 4 t/ha, indiferent de sistemul de lucrare a solului. Fertilizarea organo-minerală nu a avut avantaje față de fertilizarea organică, sporul de producție a constituit 2,3 t/ha pe fondul lucrării combinate a solului și 1,6 t/ha pe fondul afânării solului.

**Porumb pentru boabe.** Condițiile climaterice cu insuficiență de umiditate din primăvara și vara anului 2016, au afectat și nivelul producției porumbului la boabe pe toate fondurile de fertilizare și lucrare a solului, atât în asolamentul cu ierburi perene cât și în lipsa lor (tab. 6.3). Porumbul la boabe nu a reacționat la prezența ierburilor perene în asolament și nici la folosirea îngrășămintelor, pe fondul îmbinării arăturii și afânării solului. Pe când afânarea solului, a asigurat un nivel semnificativ mai înalt de producție pe fond nefertilizat, comparativ cu fondurile fertilizate, în ambele verigi ale asolamentului.

**Tabelul 6.3. Producția porumbului la boabe în veriga asolamentelor cu și fără ierburi leguminoase și graminee pe diferite fonduri de fertilizare, anii 2016-2018, t/ha**

Anii	Asolament cu amestec de ierburi perene			Asolament fără amestec de ierburi perene			DL <sub>05</sub> , t/ha	Spor de producție de la asolament cu ierburi perene		
	martor	gunoi de grajd	gunoi de grajd + NPK	martor	gunoi de grajd	gunoi de grajd + NPK		martor	gunoi de grajd	gunoi de grajd + NPK
Îmbinarea arăturii și afânării solului în asolament										
2016	3,69	3,10	3,45	3,59	3,60	3,45	0,39	+0,09	-0,50	0
2017	5,90	5,99	5,56	4,35	5,48	5,90	0,19	+1,55	+0,51	-0,34
2018	8,91	9,45	8,76	6,71	7,13	9,10	3,90	+2,20	+2,32	-0,34
<b>Media</b>	<b>6,17</b>	<b>6,18</b>	<b>5,92</b>	<b>4,88</b>	<b>5,40</b>	<b>6,15</b>		<b>+1,3</b>	<b>+0,8</b>	<b>-0,2</b>
Afânare										
2016	4,23	3,51	3,30	4,42	3,61	3,55	0,39	-0,19	-0,10	-0,25
2017	6,40	6,78	6,67	4,92	6,0	5,45	0,19	+1,48	+0,78	+1,22
2018	9,72	9,20	9,10	6,79	7,68	8,69	3,90	+2,93	+1,52	+0,41
<b>Media</b>	<b>6,78</b>	<b>6,50</b>	<b>6,36</b>	<b>5,38</b>	<b>5,76</b>	<b>5,90</b>		<b>+1,4</b>	<b>+0,7</b>	<b>+0,5</b>

În condițiile anului 2017, cultura asigură același nivel de producție pe diferite fonduri de fertilizare în asolamentul cu amestec de ierburi perene, dar sporește semnificativ nivelul de producție față de martor la aplicarea îngrășămintelor organice și organo-minerale în asolamentul fără ierburi perene. Totodată, afânarea solului a asigurat un spor semnificativ de producție pe fondurile fertilizate comparativ cu martorul absolut în ambele verigi ale asolamentului, comparativ cu lucrarea combinată a solului.

La aplicarea îngrășămintelor minerale pe fondul postacțiunii îngrășămintelor organice, nivelul de producție a fost similar (5,8 t/ha) celui obținut pe martorul absolut în asolamentul cu ierburi perene. Astfel, fertilizarea, în special aplicarea în comun a îngrășămintelor minerale pe fondul postacțiunii îngrășămintelor organice reduc totalmente efectul pozitiv al asolamentului.

Aceeași tendință se observă și în condițiile anului 2018, însă s-a înregistrat un nivel mai mare al producției porumbului la boabe pe toate fondurile de fertilizare și lucrarea a solului, atât în asolamentul cu ierburi perene cât și în lipsa lor, comparativ cu anii de studiu precedenți.

În baza datelor prezentate în acest capitol, putem afirma că prioritatea asolamentului cu amestec de ierburi perene privind producția obținută la toate culturile din veriga asolamentului, se manifestă pe fondul fertilizării organice (sau postacțiunii îngrășămintelor organice), dar în deosebi pe martorul absolut și dispare la aplicarea suplimentară a îngrășămintelor minerale pe fondul postacțiunii îngrășămintelor organice.

Totodată, într-un asolament în care este exclusă prezența ierburilor perene, este necesar de introdus o cantitate mai mare de îngrășămintele minerale, în special de azot, pentru a satisface necesarul plantelor în elemente nutritive esențiale pentru creștere și dezvoltare. Aceasta implică după sine și cheltuieli mai mari de surse nerenovabile de energie și materii prime, precum și cheltuieli economice mai mari pentru gospodărie. B. Boincean și D. Dent [29] menționau că cu cât este mai mare diversitatea culturilor în asolament și cu cât se aplică mai mult gunoi de grajd, cu atât este mai redusă contribuția îngrășămintelor minerale la producția culturilor și invers.

La final, aș vrea să menționez că rezultatele cercetărilor prezentate în această teză evidențiază potențialul unui set de practici agricole prietenoase mediului, însă dezvoltarea și implementarea tehnologiilor noi și alternative este un proces continuu. După A. Franzluebbbers [71], agricultura este o vocație care aduce satisfacție fermierilor, însă nu este lipsită și de provocări, iar natura în acest sens poate fi un prieten sau inamic. O agricultură modernă durabilă necesită o abordare holistică, fiind un sistem complex ce implică resurse naturale, tehnologii, finanțe, resurse umane și sociale și, nu în ultimul rând iscusință, așa cum pentru diverse sisteme de producere agricolă sunt necesare și soluții diverse a problemelor ce apar [71].

### 6.3. Concluzii la capitolul 6

1. Aplicarea gunoiului de grajd a contribuit la majorarea conținutului de materie organică a solului și azot total în sol, în ambele verigi ale asolamentului, pe fondul afânării solului comparativ cu arătura cu plug cu cormană.
2. Folosirea suplimentară a îngrășămintelor minerale pe fondul aplicării gunoiului de grajd în asolamentul cu ierburi perene contribuie la reducerea conținutului de materie organică a solului și azot total pe fondul afânării solului, dar la majorarea lor pe fondul arăturii cu plug cu cormană, în deosebi pentru stratul de sol 0-50 cm.
3. În lipsa ierburilor perene în asolament, folosirea suplimentară a îngrășămintelor minerale pe fondul îngrășămintelor organice în asolament la fel contribuie la acumularea materiei organice și azotului total pe întreg profilul solului.
4. Nivelul de producție obținut la amplasarea grâului de toamnă după amestec de lucernă cu raigras, anul 3 de viață după prima coasă, pe fond nefertilizat depășește semnificativ nivelul de producție obținut la amplasarea grâului de toamnă după porumb la siloz pe fond fertilizat, ceea ce indică la rezerve enorme de reducere a cheltuielilor de producere în cazul respectării amplasării grâului de toamnă după premergători cu termen de recoltare timpurie.
5. Folosirea suplimentară a îngrășămintelor minerale pe fondul postacțiunii îngrășămintelor organice nu este efectivă la amplasarea grâului de toamnă în asolament cu ierburi perene, dar contribuie la o majorare considerabilă a nivelului de producție în lipsa lor. Astfel, includerea ierburilor perene în asolament permite de a reduce folosirea suplimentară a îngrășămintelor minerale în asolament.
6. Fertilizarea organică și organo-minerală sub cultura sfeclei de zahăr a asigurat un spor considerabil de producție în ambele verigi ale asolamentului la aplicarea lucrării combinate a solului în asolament, însă a fost neefectivă la amplasarea culturii după amestec de ierburi perene pe fondul afânării solului. Folosirea suplimentară a îngrășămintelor minerale pe fondul acțiunii directe a îngrășămintelor organice nu este efectivă.
7. Porumbul la boabe slab reacționează la sistemele de lucrare și fertilizare a solului în cadrul asolamentului cu ierburi perene, dar asigură o creștere semnificativă a producției pe fondul fertilizării organo-minerale în asolamentul fără ierburi perene. Folosirea suplimentară a îngrășămintelor minerale pe fondul postacțiunii îngrășămintelor organice nu este efectivă în special în veriga asolamentului cu ierburi perene.

## CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

1. Analiza solului prin metoda spectroscopiei de absorbție în domeniul infraroșu apropiat (NIRS) reduce considerabil costurile analizelor de laborator clasice. Astfel, din totalul de 554 probe de sol, pentru modelarea predictivă au fost suficiente datele de referință a doar 234 probe de sol, obținute prin metode clasice de analiză a solului, fapt ce a asigurat o economie de cca 60% a costurilor pentru analiza solului.

2. Metoda NIRS s-a dovedit a fi una rapidă, fiabilă și rentabilă în analiza solului și estimarea proprietăților solurilor cenușii și cernoziomurilor, atât la nivel local, cât și la nivel zonal, pe o suprafață geografică vastă din Nordul Republicii Moldova, caracterizată de o variație a proprietăților solului datorită diferenței în managementul solurilor, culturile agricole, precum și condițiile climatice specifice [86].

3. Validarea modelelor de calibrare zonale, pe un set de date cu o gamă largă de variație (diverse tipuri și subtipuri de sol), a avut succes în predicția indicatorilor agrochimici ai solului, cu excepția pH-ului solului, pe când predicția texturii solului (fracțiile de argilă, praf și nisip) a avut o performanță slabă. Cu o precizie excelentă s-a prezis conținutul de carbonați ( $R^2 = 0,96$  și  $RPD = 4,3$ ) și conținutul de carbon organic ( $R^2 = 0,94$  și  $RPD = 4,6$ ). O precizie bună de predicție s-a obținut pentru conținutul de azot total ( $R^2 = 0,94$  și  $RPD = 3,9$ ) și carbon total ( $R^2 = 0,90$  și  $RPD = 3,2$ ). O precizie moderată s-a obținut pentru pH-ul solului ( $R^2 = 0,77$  și  $RPD = 2,2$ ) și pentru fracția de argilă ( $R^2 = 0,73$  și  $RPD = 1,4$ ); iar pentru fracția de praf și nisip predicția a avut o performanță slabă ( $R^2$  egal cu 0,52 și 0,51, corespunzător,  $RPD < 2$ ). Rezultatele obținute mărturisesc despre o corelație slabă între datele spectrale NIR și valorile măsurate a unor fracții ale texturii solului.

4. Validarea modelelor de calibrare locale, pe un set de date cu gamă mai îngustă de variație (un singur subtip de sol), a asigurat o performanță predictivă mai bună a indicatorilor solului, decât calibrarea universală zonală, obținându-se o precizie excelentă a conținutul de carbonați, C organic, C și N total ( $R^2 \geq 0,98$  și  $RPD > 6$ ); și o predicție moderată pentru pH-ul solului ( $R^2 = 0,88$  și  $RPD > 3$ ). Pentru textura solului, calibrarea și validarea la nivel local a asigurat o îmbunătățire a preciziei de predicție pentru fracția de nisip, pentru care valorile parametrilor statistici au fost semnificativ mai mari ( $R^2 = 0,89$  și  $RPD=2,8$ ), ce indică o precizie moderată, comparativ cu predicția slabă la calibrarea universală zonală. Pentru fracția de praf îmbunătățirea a fost nesemnificativă ( $R^2 = 0,61$  și  $RPD=1,3$ ), iar pentru fracția de argilă, performanța modelului predictiv s-a redus semnificativ cu un  $R^2 = 0,56$  și  $RPD < 2$ , ce indică o precizie slabă de predicție, comparativ cu calibrarea universală zonală. O posibilă cauză a acestor rezultate ar putea fi devierea standard mai mică și gama mai îngustă a setului de calibrare local.

5. Indicatorii cheie ai fertilității solului au fost estimați cu o precizie înaltă, fapt ce confirmă că metoda NIRS poate fi utilizată cu succes în predicția diferitor proprietăți chimice și fizice în solurile cenușii și cernoziomurile Republicii Moldova. Astfel, metoda NIRS ar putea servi în calitate de instrument analitic rapid în evaluarea managementului agricol al solului aplicat de fermieri și monitorizarea fertilității solului [86].

6. Cernoziomurile tipice arabile cercetate, au un conținut de MOS de 3,48-4,85% în stratul arabil și 2,69-4,80% în stratul subarabil 25-50 cm de sol. Cernoziomurile obișnuite cercetate au un conținut mai mare de MOS, ce variază în limitele 4,24-5,49% în stratul arabil și 3,11-5,32% în stratul subarabil 25-50 cm de sol. În cernoziomurile argiloiluviale cercetate, conținutul de MOS variază în limitele 2,82-4,77% în stratul arabil și 1,18-4,88% în stratul subarabil 25-50 cm de sol. În cernoziomurile levigate cercetate, conținutul de MOS variază în limitele 3,62-5,04% în stratul arabil și 2,53-4,99% în stratul subarabil 25-50 cm de sol, iar în cernoziomurile carbonatice cercetate, conținutul de MOS variază în limitele 2,91-4,73% în stratul arabil și 2,43-4,28% în stratul subarabil 25-50 cm de sol.

7. Compararea indicatorilor cernoziomurilor înțelenite cercetate în studii anterioare, cu indicatorii cernoziomurilor tipice arabile cercetate în acest studiu, a evidențiat tendința reducerii rezervelor de MOS cu cca 2% în stratul 0-50 cm de sol, sub influența unui management agricol, bazat pe lucrări agricole intensive și lipsa unui aport suficient de resturi vegetale și de gunoi de grajd [87].

8. Analiza comparativă a rezultatelor obținute pe cernoziomurilor obișnuite virgine, cu rezultatele obținute pe cernoziomurile obișnuite arabile cercetate, au arătat că totuși există o tendință de reducere a rezervei de MOS cu cca 1% în stratul arabil 0-30 cm de sol, ca rezultat al practicilor agricole aplicate.

9. Conținutul de MOS în stratul arabil 0-30 cm al solurilor cenușii tipice arabile (3,26% și 2,75%) s-a micșorat cu cca 1,0-1,5%, comparativ cu conținutul de MOS în același strat al solurilor virgine de pădure (4,33%). Deci, solurile arabile au pierdut cca 25-36% din conținutul inițial de MOS. Aceeași tendință de micșorare a rezervei de MOS (cu cca 1%) s-a evidențiat și în cazul solurilor cenușii molice arabile, comparativ cu solurile virgine (4,49%).

11. Respectarea rotației culturilor, în special la includerea leguminoaselor perene și graminee în asolament, cu lucrarea minimă a solului și fertilizarea cu îngrășăminte organice și doze mici de îngrășăminte minerale în cadrul rotației culturilor asigură atât formarea nivelului optim de producție al culturilor agricole, cât și majorarea conținutului de materie organică a solului, totodată, fiind îmbunătățită și sănătatea solului.

12. În asolamentul cu ierburi perene, la aplicarea gunoiului de grajd, afânarea solului a contribuit la majorarea conținutului de MOS, variind de la 3,20 la 4,81% în stratul 0-50 cm de



sol, comparativ cu arătura, unde conținutul de MOS a variat de la 2,59 la 4,70% în același strat, iar folosirea suplimentară a îngrășămintelor minerale pe fondul aplicării gunoiului de grajd contribuie la reducerea conținutului de MOS pe fondul afânării solului (variind între 2,88-4,08%), dar la majorarea de MOS pe fondul arăturii cu plug cu cormană (variind între 3,18-4,40%), în deosebi pentru stratul 30-50 cm de sol. Aceeași tendință se observă și în asolamentul fără ierburi perene, doar că folosirea suplimentară a îngrășămintelor minerale pe fondul îngrășămintelor organice în asolament la fel contribuie la acumularea MOS, constituind în stratul 0-50 cm de sol între 3,13-4,77% la afânarea solului și 2,86-4,74% la aplicarea arăturii.

13. Eficiența asolamentului cu amestec de ierburi perene asupra producției agricole obținute la toate culturile din veriga asolamentului, se manifestă și pe fondul fertilizării organice (sau postacțiunii îngrășămintelor organice), cu un spor de producție în medie de 1,4 t/ha boabe de grâu, dar în deosebi pe martorul absolut cu un spor de producție de cca 3 t/ha boabe de grâu, și dispare la aplicarea suplimentară a îngrășămintelor minerale pe fondul postacțiunii îngrășămintelor organice, sporul de producție constituind în medie doar 0,2-0,4 t/ha. Astfel, ameliorarea fertilității solului contribuie atât la reducerea cheltuielilor de producere legate de folosirea inputurilor industriale costisitoare, cât și la ameliorarea stării mediului ambiant.

14. Sfecla de zahăr asigură un spor semnificativ de producție sub influența îngrășămintelor organice (+4,7 t/ha) și organo-minerale (+5,2 t/ha) în veriga asolamentului cu ierburi perene, dar sporul de producție de la fertilizarea organică, în special organo-minerală, este considerabil mai mare în veriga asolamentului fără ierburi perene, constituind 8,9 și 10,0 t/ha, corespunzător, în cazul aplicării sistemului combinat de lucrare a solului în asolament. Aceiași tendință, însă mai puțin pronunțată se păstrează și în cazul afânării solului, însă un spor de producție mai mare este la fertilizarea organică, în special în lipsa ierburilor perene în asolament (+8,2 t/ha).

15. Porumbul la boabe, asemănător grâului de toamnă, nu reacționează la fertilizare în cadrul asolamentului cu ierburi perene (nivelul de producție s-a redus cu 0,25-0,42 t/ha), indiferent de sistemul de lucrare a solului, dar asigură o creștere semnificativă a producției la aplicarea îngrășămintelor organice și minerale în lipsa ierburilor perene în asolament (+1,27 t/ha pe fondul arăturii solului și +0,52 t/ha la afânarea solului). Folosirea suplimentară a îngrășămintelor minerale pe fondul postacțiunii îngrășămintelor organice nu este efectivă în special în veriga asolamentului cu ierburi perene.

16. Variabilitatea spațială mare a nivelului de fertilitate a solului în cadrul câmpurilor agricole individuale, creează condiții în care practicile obișnuite de a combina câteva subprobe, pentru formarea unei probe comune, nu dau un rezultat de încredere și nu reflectă situația reală a stării de calitate a solului în câmp.

17. Prin cartografierea heterogenității solului, în special la nivel de câmp individual, va fi posibilă implementarea tehnologiilor agriculturii de precizie și a sistemelor agricole cu cheltuieli mai mici ale inputurilor industriale și pericol redus de degradare și poluare a mediului.

## RECOMANDĂRI

1. Rezultatele obținute în acest studiu demonstrează eficiența utilizării metodei NIRS pentru a estima indicatorii relevanți ai fertilității solurilor din zona de nord a Moldovei, însă sunt necesare cercetări adiționale pentru calibrarea și validarea modelelor predictive pe alte tipuri sau subtipuri de sol, precum și în alte zone din țară.

2. Pentru îmbunătățirea preciziei modelelor predictive în baza spectrelor NIR și tehnicii multivariabile PLSR, se recomandă gruparea datelor heterogene complexe pe baza claselor taxonomice ale solului și a similitudinii spectrale, luând în considerație că fiecare tip de sol conține caracteristici spectrale specifice în regiunea NIR. În acest context, este necesară studierea modelelor de predicție în baza fiecărui tip sau subtip de sol pentru testarea nivelului de precizie și elaborarea modelelor de calibrare stabile și robuste.

3. Analiza NIRS poate fi un instrument util în spectroscopia imagistică (IS), care folosește senzori hiperspectrali aeropurtați sau prin satelit pentru a spațializa informațiile spectrale. Această metodă poate fi aplicată pentru a produce hărți digitale cu rezoluție fină ale proprietăților fizice și chimice ale solului. Ulterior, acestea pot fi folosite în implementarea tehnologiilor agriculturii de precizie cu eficacitate maximă în ceea ce privește utilizarea optimă a inputurilor (îngrășăminte, erbicide, pesticide etc.), prin ajustarea acestora cu nevoile reale ale plantelor în câmp, și sporirea nivelului de producție a culturilor.

4. Pentru stoparea și ameliorarea proceselor de degradare a solului prin eroziune se recomandă implementarea măsurilor de protecție antierozionale și fitoameliorative, care au la bază tehnologiile agriculturii conservativă, respectarea asolamentelor cu o pondere mai mare a culturilor semănate des, în special a culturilor leguminoase anuale și perene ca culturi de bază și îngrășăminte verzi, precum și utilizarea gunoiului de grajd pentru stabilizarea bilanțului MOS și conservarea fertilității lui.

**Aportul personal.** Designul cercetării a fost realizat de către autor sub îndrumarea conducătorului științific, consultantului științific și a comisiei de îndrumare. Rezultatele obținute, analiza lor, generalizările și concluziile aparțin integral autorului.

## BIBLIOGRAFIE

1. ACTON, D.F.; GREGORICH, L.J. Understanding soil health. In: *The health of our soils: toward sustainable agriculture in Canada*. Centre for Land and Biological Resources Research, Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada. Ottawa, Ont. Publication 1906/E, 1995, pp. 5-10. ISBN 0-660-15947-3.
2. *Agrotehnica*. Nicolaev, N.; Boincean, B.; Sidorov, M. Bălți: Presa universitară bălțeană, 2006. 298 p. (p.40-53). ISBN 978-9975-9544-9-5.
3. AHMADI, A.; EMAMI, M.; DACCACHE, A.; HE, L. Soil properties prediction for precision agriculture using visible and near-infrared spectroscopy: A systematic review and meta-analysis. *Agronomy*. 2021, vol. 11(3), 433. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030433>
4. ALTIERI, M.A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. In: *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes*, M.G. Paoletti (eds). Elsevier, 1999, pp. 19-31. ISBN 9780444500199 <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-50019-9.50005-4>
5. ANDRIEȘ, S. *Optimizarea regimurilor nutritive ale solurilor și productivitatea plantelor de cultură*. Chișinău: Pontos, 2007. 384 p. ISBN 978-9975-102-23-0.
6. ANDRIEȘ, S. *Agrochimia elementelor nutritive. Fertilitatea și ecologia solurilor*. Chișinău: Pontos, 2011. 232 p. ISBN 978-9975-51-203-9.
7. ANDRIEȘ, S. Proprietățile și funcțiile materiei organice din sol și măsuri pentru conservarea fertilității. In: *Solul și îngrășămintele în agricultura contemporană: conf. șt. intern., consacrată aniversării a 120 de ani de la nașterea academicianului Ion Dicusar*, Chișinău, 6-7 sep. 2017. Chișinău: CEP USM, 2017, pp. 23-28. ISBN 978-9975-71-927-8.
8. ANDRIEȘ, S.; CERBARI, V.; FILIPCIUC, V. Starea de calitate a învelișului de sol și măsuri de remediere. In: *Revista de Știință, Inovare, Cultură și Artă „Akademos”*. 2010, nr. 3(18), pp. 80-87. ISSN 1857-0461.
9. ANDRIEȘ, S.; LUNGU, V.; LEAH, N. Azotul mineral în solurile Moldovei și eficacitatea îngrășămintelor cu azot la grâul de toamnă. In: *Agronomie și ecologie*. Vol. 39, 9-11 oct. 2013, Chișinău. Chișinău: Centrul editorial UASM, 2013, pp. 17-20. ISBN 978-9975-64-250-7.
10. ANDRIUCĂ, V.; IORDACHE, M.; DUBIȚ, D.; TIMUȘ, A. Cercetarea lumbricidelor în cadrul monitoringului agroecologic. In: *Agronomie și ecologie*. Vol. 39, 9-11 oct. 2013, Chișinău. Chișinău: Centrul editorial UASM, 2013, pp. 29-33. ISBN 978-9975-64-250-7.
11. ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: *Methods for assessing soil quality*, J.W. Doran and A.J. Jones (eds.). Soil Sci. Soc. Am. Special Publication No. 49, 1996, pp. 123-141. ISBN 08-911-88266.
12. ASGARI, N.; AYOUBI, S.; DEMATTÊ, J.A.M.; DOTTO, A.C. Carbonates and organic matter in soils characterized by reflected energy from 350-25000 nm wavelength. In: *Journal of Mountain Science*. 2020, vol. 17(7), pp. 1636-1651.
13. ASKARI, M.S.; O'ROURKE, S.M.; HOLDEN, N.M. Evaluation of soil quality for agricultural production using visible-near-infrared spectroscopy. In: *Geoderma*. 2015, vol. 243-244, pp. 80-91. ISSN 0016-7061. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.12.012>
14. BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated Analysis of Light-Element Stable Isotopes by Isotope Ratio Mass Spectrometry. In: *Mass spectrometry of soils / edited by Thomas W. Boutton, Shin-ichi Yamasaki*. New York: CRC Press, 1996. pp. 25-46. ISBN 0-8247-9699-3.
15. BELLINASSO, H.; DEMATTÊ, J.A.M.; ROMEIRO, S.A. Soil spectral library and its use in soil classification. In: *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2010, vol. 34, pp. 861-870.

16. BEN-DOR, E.; BANIN, A. Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. In: *Soil Science Society of American Journal*. 1995, vol. 59(2), pp. 364-372.
17. BERNARD, B.B.; BERNARD, H.; BROOKS, J.M. Determination of total carbon, total organic carbon and inorganic carbon in sediments. In: *TDI-Brooks International/B&B Laboratories Inc.* College Station, Texas, 1995. 5 p.
18. BILGILI, A.V.; VAN ES, H.M.; AKBAS, F.; DURAK, A.; HIVELY, W.D. Visible-near infrared reflectance spectroscopy for assessment of soil properties in a semi-arid area of Turkey. In: *Journal of Arid Environments*. 2010, vol. 74(2), pp. 229-238. ISSN 0140-1963. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.08.011>
19. Biroul Național de Statistică al Republicii Moldova. *Banca de date "StatBank"*. Domeniul Statistica economică: Agricultură. [citată 10.03.2021]. Disponibil: [\[https://statbank.statistica.md/PxWeb/pxweb/ro/40%20Statistica%20economica/40%20Statistica%20economica\\_16%20AGR\\_AGR020/AGR020100.px/table/tableViewLayout1/?rxid=2345d98a-890b-4459-bb1f-9b565f99b3b9\]](https://statbank.statistica.md/PxWeb/pxweb/ro/40%20Statistica%20economica/40%20Statistica%20economica_16%20AGR_AGR020/AGR020100.px/table/tableViewLayout1/?rxid=2345d98a-890b-4459-bb1f-9b565f99b3b9)
20. BLAGA, GH., RUSU, I., UDRESCU, S., VASILE, D. *Pedologie*. București: Didactică și Pedagogică R.A., 1996. 296 p. ISBN 973-30-5816-5.
21. BOINCEAN, B. Asigurarea dezvoltării durabile a sectorului agrar din Republica Moldova prin modernizare ecologică. In: *Noosfera. Revista științifică de educație, spiritualitate și cultură ecologică*. 2014, nr. 10, pp. 91-103. ISSN 1857-3517.
22. BOINCEAN, B. Provocări și perspective în dezvoltarea durabilă a sectorului agrar. In: *Revista de Știință, Inovare, Cultură și Artă „Akademos”*. 2018, nr. 2(49), pp. 55-63. ISSN 1857-0461.
23. BOINCEAN, B. Asolamentul și fertilitatea solului – factori limitativi în asigurarea dezvoltării durabile a agriculturii în Republica Moldova. In: *Revista de Știință, Inovare, Cultură și Artă „Akademos”*. 2021, nr. 4(63), pp. 101-110. ISSN 1857-0461.
24. BOINCEAN, B.; KASSAM, A.H.; BASCH, G.; REICOSKY, D.C.; GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, E.J.; REYNOLDS, T.; ILUȘCA, M.; CEBOTARI, M.; RUSNAC, G.; CUZEAC, V.; BULAT, L.; PASAT, D.; STADNIC, S.; GAVRILAȘ, S.; BOAGHII, I. Towards Conservation Agriculture Systems in Moldova. In: *AIMS Agriculture and Food*. 2016, nr. 1(4), pp. 369-386. ISSN 2471-2086. DOI: 10.3934/agrfood.2016.4.369.
25. BOINCEAN, B.; RURAC, M.; IGNAT, A.; GRAMA, M. Promovarea sistemului conservativ de agricultură în Republica Moldova. In: *Agronomie și agroecologie*. Vol. 52(1), 1 ianuarie 2018, Chișinău. Chișinău: Centrul editorial UASM, 2018, pp. 13-17. ISBN 978-.
26. BOINCEAN, B.; DENT, D. *Farming the Black Earth*. Sustainable and Climate-Smart Management of Chernozem Soil. Springer Nature Switzerland AG, 2019. 226 p.
27. BOINCEAN, B.; DENT, D. Soil fertility and sustainable, resilient agriculture in the Republic of Moldova. In: *Eastern European Chernozems – 140 years after V. Dokuchaev, International Scientific Conference*. 2-3 October 2019, Chișinău. Chișinău: CEP USM, 2019. pp. 44-49. ISBN 978-9975-149-37-2.
28. BOINCEAN, B.; COȘMAN, S.; CHILAT, S. Integrarea fitotehniei și zootehniei pentru asigurarea dezvoltării durabile a agriculturii. In: *Revista de Știință, Inovare, Cultură și Artă „Akademos”*. 2020, nr. 3(58), pp. 70-79. ISSN 1857-0461.
29. BOINCEAN, B.; DENT, D. *Managementul durabil și rezilient al solurilor de cernoziom*. Chișinău: Prut, 2020. 244 p. ISBN 978-9975-54-519-8.

30. BOINCEAN, B.; STADNIC, S. Necesitatea adaptării sistemului de agricultură la condițiile de secetă. In: *Relevanța și calitatea formării universitare: competențe pentru prezent și viitor*. Vol. I, 9 oct. 2020, Bălți. Bălți: USARB, 2020, pp. 245-252. ISBN 978-9975-50-255-9.
31. BORLAN, Z.; HERA, Ch.; DORNESCU, D.; KURTINECZ, P.; RUSU, M.; BUZDUGAN, I.; TĂNASE, Gh. *Fertilitatea și fertilizarea solurilor: compendiu de agrochimie*. București: Ceres, 1994. 332 p. ISBN 973-40-0314-3.
32. BRODSKÝ, L.; KLEMENT, A.; PENÍŽEK, V.; KODEŠOVÁ, R.; BORŮVKA, L. Building soil spectral library of the Czech soils for quantitative digital soil mapping. In: *Soil and water research*. 2011, vol. 6(4), pp. 165-172.
33. BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. In: *Geoderma*. 2005, vol. 124(1-2), pp. 3-22. ISSN 0016-7061.
34. BROWN, D.J.; BRICKLEMYER, R.S.; MILLER, P.R. Validation requirements for diffuse reflectance soil characterization models with a case study of VNIR soil C prediction in Montana. In: *Geoderma*. 2005, vol. 129(3-4), pp. 251-267. ISSN 0016-7061, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.01.001>.
35. BROWN, D.J.; SHEPHERD, K.D.; WALSH, M.G.; MAYS, M.D.; REINSCH, T.G. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. In: *Geoderma*. 2006, vol. 132(3-4), pp. 273-290. ISSN 0016-7061.
36. BROWN, L. *Full planet, empty plates: The new geopolitics of food scarcity*, New York: WW Norton and Company, 2012. 144 p. ISBN: 978-0-393-08891-5
37. BUCUR, N.; LIXANDRU, G. *Principii fundamentale de știința solului*. Vol. I: Formarea, evoluția, fizica și chimia solului. Iași: Dosoftei, 1997. p.154-217. ISBN 973-9135-37-4
38. BUDOI, GH.; PENESCU, A. *Agrotehnica*. București: Ceres, 1996. 440 p. ISBN 973-40-0358-5
39. BURLACU, I. *Deservirea agrochimică a agriculturii în Republica Moldova*. Chișinău: Pontos, 2000. 228 p.
40. CANARACHE, A. *Fizica solurilor agricole*. București: Ceres, 1990. p.15-30.
41. CÉCILLON, L.; BRUN, J. Near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS): a practical tool for the assessment of soil carbon and nitrogen budget. In: Jandl R. & Olsson M. (eds.). *COST Action 639: Greenhouse-gas Budget of Soils Under Changing Climate and Land Use (BurnOut)*., Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape (BFW), Vienna, Diverse Veröffentlichungen Nr. 40, 2007, pp.103-110.
42. CÉCILLON, L.; BARTHÈS, B.G.; GOMEZ, C.; ERTLEN, D.; GÉNOT, V.; HEDDE, M.; STEVENS, A.; BRUN, J.J. Assessment and monitoring of soil quality using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS). In: *European Journal of Soil Science*. 2009, vol. 60(5), pp. 770-784.
43. CERBARI, V. *Sistemul informațional privind calitatea învelișului de sol al Republicii Moldova: banca de date*. Chișinău: Pontos, 2000. 83 p.
44. CERBARI, V. *Monitoringul calității solurilor Republicii Moldova: Baza de date, concluzii, prognozare, recomandări*. Chișinău: Pontos, 2010. 476 p. ISBN 978-9975-51-138-4.
45. CERBARI, V. Problema remedierii stării de calitate și sporirea capacității de producție a cernoziomurilor. In: *Rolul agriculturii în acordarea serviciilor ecosistemice și sociale*. 25 noiembrie 2014, Bălți. Chișinău: Tipografia Centrală, 2014, pp. 334-340. ISBN 978-9975-50-139-2.

46. CERBARI, V. Refacerea preventivă a însușirilor stratului arabil degradat al cernoziomurilor pentru implementarea cu succes a procedeelelor No-till și Mini-till de lucrare a solului în cadrul sistemului de agricultură conservativă. In: *Современные достижения науки и пути инновационного восхождения экономики региона, страны*. 18 mai 2017, Комрат. Комрат: Типogr. "Centrografic", 2017, pp. 246-252. ISBN 978-9975-83-055-3.
47. CERBARI, V.; SCORPAN, V.; ȚĂRANU, M.; BACEAN, I. Remedierea stării de calitate și capacității de producție a cernoziomurilor obișnuite din sudul Moldovei sub influența unor măsuri fitotehnice. In: *Mediul Ambient*. 2012, nr. 1(61), pp. 38-43. ISSN 1810-9551.
48. CHANG, C.; LAIRD, D.; MAUSBACH, M.; HURBURGH, JR.C. Near-infrared reflectance spectroscopy – principal components regression analysis of soil properties. In: *Soil Science Society of America Journal*. 2001, vol. 65, pp. 480-490.
49. CHODAK, M. Application of near infrared spectroscopy for analysis of soils, litter and plant materials. In: *Polish Journal of Environmental Studies*. 2008, vol. 17(5), pp. 631-642.
50. CLAIROTTE, M.; GRINAND, C.; KOUAKOUA, E.; THÉBAULT, A.; SABY, N.P.; BERNOUX, M.; BARTHÈS, B.G. National calibration of soil organic carbon concentration using diffuse infrared reflectance spectroscopy. In: *Geoderma*. 2016, Vol. 276, pp. 41-52.
51. COJOCARU, O. *Pedologia ecologică în teren și laborator: ghid practic*. Partea 1-a: Analiza fizico-chimică a solului: Lucrări de laborator. Chișinău: S.n., 2020. 190 p. ISBN 978-9975-56-774-9.
52. COJOCARU, O.; CERBARI, V. Agriculture in the Republic of Moldova in terms of soil remediation and protection. In: *AgroLife Scientific Journal*. 2018, nr. 1(7), pp. 42-47. ISSN 2285-5718.
53. COZZOLINO, D.; MORON, A. The potential of near-infrared reflectance spectroscopy to analyse soil chemical and physical characteristics. In: *The Journal of Agricultural Science*. 2003, vol. 140(1), pp. 65-71. DOI:10.1017/S0021859602002836.
54. CRISTA, F.L. *Conservarea fertilității solului și managementul nutrienților*. Timișoara: Agroprint, 2014. 184 p. ISBN 978-606-8037-72-1.
55. CURCIO, D.; CIRAOLOB, G.; D'ASAROA, F.; MINACAPILLIA, M. Prediction of soil texture distributions using VNIR-SWIR reflectance spectroscopy. In: *Procedia Environmental Sciences*. 2013, vol. 19, pp. 494-503.
56. DALAL, R.; HENRY, R. Simultaneous determination of moisture, organic carbon and total nitrogen by near infrared reflectance spectrophotometry. In: *Soil Science Society of America Journal*. 1986, vol. 50, pp. 120-123.
57. DAVIDESCU, D.; DAVIDESCU, V. *Agrochimia modernă*. București: Academia Republicii Socialiste România, 1981. 560 p.
58. DEMATTÊ, J.A.; CAMPOS, R.C.; ALVES, M.C.; FIORIO, P.R.; NANNI, M.R. Visible–NIR reflectance: a new approach on soil evaluation. In: *Geoderma*. 2004, vol. 121(1-2), pp. 95-112.
59. DEMATTÊ, J.A. et al. The Brazilian soil spectral library (BSSL): A general view, application and challenges. In: *Geoderma*. 2019, vol. 354, 113793.
60. DICK, R.; BREAKWELL, D.; TURCO, R. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: *Methods for assessing soil quality*, J.W. Doran and A.J. Jones (eds.). Soil Sci. Soc. Am. Special Publication No. 49, 1996, pp. 247-271. ISBN 08-911-88266.

61. DICK, R.; THOMAS, D.; HALVORSON, J. Standardized methods, sampling, and sample pretreatment. In: *Methods for assessing soil quality*, J.W. Doran and A.J. Jones (eds.). Soil Sci. Soc. Am. Special Publication No. 49, 1996, pp. 107-121. ISBN 08-911-88266.
62. DONOS, A. *Acumularea și transformarea azotului în sol*. Chișinău: Pontos, 2008. 208 p. ISBN 978-9975-72-036-6.
63. DORAN, J.; PARKIN, T. Defining and assessing soil quality. In: *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart (eds.). Soil Sci. Soc. Am. Special Publication No. 35, 1994, pp. 3-21.
64. DORAN, J.; PARKIN, T. Quantitative indicators of soil quality: A minimum data set. In: *Methods for assessing soil quality*, J.W. Doran and A.J. Jones (eds.). Soil Sci. Soc. Am. Special Publication No. 49, 1996, pp. 25-37. ISBN 08-911-88266.
65. EASH, N.; LAMB, J. Sampling techniques for soil fertility evaluation: An exercise in understanding variability. In: *Journal of Natural Resources and Life Sciences Education*. 2002, vol. 31(1), pp. 81-87.
66. ERDLE, K.; MISTELE, B.; SCHMIDHALTER, U. Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars. In: *Field Crops Research*. 2011, vol. 124(1), pp. 74-84.
67. EVANYLO, G.; MCGUINN, R. *Agricultural management practices and soil quality: measuring, assessing and comparing laboratory and field test kit indicators of soil quality attributes*. Virginia Cooperative Extension: Publication 452-400, 2000. 12 p.
68. FEYZIYEV, F.; BABAYEV, M.; PRIORI, S.; L'ABATE, G. Using visible-near infrared spectroscopy to predict soil properties of Mugan Plain, Azerbaijan. In: *Open Journal of Soil Science*. 2016, vol. 6(03), p. 52.
69. FIDÊNCIO, P.; POPPI, R.; DE ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. Determination of organic matter in soil using near-infrared spectroscopy and partial least squares regression. In: *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2002, vol. 33(9-10), pp. 1607-1615. DOI: 10.1081/CSS-120004302
70. FOLLETT, R.F. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. In: *Soil and tillage research*. 2001, vol. 61(1-2), pp. 77-92.
71. FRANZLUEBBERS, A.J. Tillage and residue management effects on soil organic matter. In: *Soil organic matter in sustainable agriculture*. Magdoff F., Weil R.R. (eds.). CRC press, 2004. pp. 227-268. ISBN 0-8493-1294-9
72. GEESING, D.; DIACONO, M.; SCHMIDHALTER, U. Site-specific effects of variable water supply and nitrogen fertilization on winter wheat. In: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2014, vol. 177, pp. 509-523.
73. *Ghid de utilizare a îngrășămintelor organice*. Alexandru Rusu, Vasilii Plămădeală, Andrei Siuris [et al.]; resp. ed.: Dumitru Balteanschi. Chișinău: Pontos, 2012. 116 p. ISBN 978-9975-51-300-5.
74. GREGORICH, E. et al. Changes in soil organic matter. In: *The health of our soils: toward sustainable agriculture in Canada*. Centre for Land and Biological Resources Research, Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada. Ottawa, Ont. Publication 1906/E, 1995, pp. 41-50. ISBN 0-660-15947-3.
75. GREGORICH, E.; LIANG, B.; ELLERT, B.; DRURY, C. Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage. In: *Soil Science Society of America Journal*. 1996, vol. 60(2), pp. 472-476.

76. HALVORSON, A.; REULE, C.; FOLLETT, R. Nitrogen fertilization effects on soil carbon and nitrogen in a dryland cropping system. In: *Soil science society of America journal*. 1999, vol. 63(4), pp. 912-917.
77. HARRIS, D.; HORWÁTH, W.R.; van KESSEL, C. Acid fumigation of soils to remove carbonates prior to total organic carbon or carbon-13 isotopic analysis. In: *Soil Science Society of American Journal*. 2001, vol. 65, pp. 1853-1856.
78. HE, Y.; SONG, H. Prediction of soil content using near-infrared spectroscopy. In: *SPIE Newsroom*. 2006, 10.1117/2.1200604.0164, 3 p.
79. HEIL, K.; SCHMIDHALTER, U. An Evaluation of Different NIR-Spectral Pre-Treatments to Derive the Soil Parameters C and N of a Humus-Clay-Rich Soil. In: *Sensors*. 2021, vol. 21(4), 1423. <https://doi.org/10.3390/s21041423>
80. HEINZE, S.; VOHLAND, M.; JOERGENSEN, R.; LUDWIG, B. Usefulness of near-infrared spectroscopy for the prediction of chemical and biological soil properties in different long-term experiments. In: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2013, vol. 176, pp. 520-528.
81. HONG, S.Y.; SUDDUTH, K.A.; KITCHEN, N.R.; DRUMMOND, S.T.; PALM, H.; WIEBOLD, W. Estimating within-field variations in soil properties from airborne hyperspectral images. In: *Pecora 15/Land Satellite Information IV/ISPRS Commission I/FIEOS 2002 Conference Proceedings*, November 2002.
82. HOTĂRÂREA DE GUVERN cu privire la aprobarea cadastrului funciar la situația 01 ianuarie 2020: Nr. 357 din 10.06.2020. In: *Monitorul Oficial al Republicii Moldova*, 2020, nr. 153-158, art. 505.
83. ILIEVA, R.; FILCHEVA, E.; ILIEV, I.; TODOROVA, M. Destructive and undestructive methods for studying organic matter of soils in Bulgaria. In: *Soil Water Journal*. 2013, vol. 2, 1183.
84. ILUȘCA, M. Evaluarea fertilității solului în Republica Moldova. In: *Orientări actuale în cercetarea doctorală*. Ediția 7, 7 decembrie 2017, Bălți. Bălți: Tipografia "Indigou Color", 2017, pp. 75-76.
85. ILUȘCA, M. Potențialul metodei NIRS în determinarea texturii solurilor din zona de Nord a Republicii Moldova. In: *Tradiție și inovare în cercetarea științifică*. Ediția 10, Vol. I, 8 octombrie 2021, Bălți. Bălți: USARB, 2021, pp. 183-189. ISBN 978-9975-50-271-9.
86. ILUȘCA, M. Estimarea preciziei modelului NIRS de predicție în funcție de tipul de sol. In: *Revista de Știință, Inovare, Cultură și Artă „Akademos”*. 2022, nr. 2(65), pp. 93-98. ISSN 1857-0461. DOI: 10.52673/18570461.22.2-65.08
87. ILUȘCA, M. Analiza comparativă a cernoziomurilor tipice din zona de Nord a Moldovei după diferiți indicatori. In: *Știința Agricolă*. 2022, nr. 2, pp. \_ (în ediție)
88. ILUȘCA, M.; BUCHHART, C.; HEIL, K.; BOINCEAN, B.; SCHMIDHALTER, U. Soil fertility assessment by Near Infrared Reflectance Spectroscopy in the North of Republic of Moldova. (în ediție pentru 2023)
89. ISLAM, K.; SINGH, B.; MCBRATNEY, A. Simultaneous estimation of several soil properties by ultra-violet, visible, and near-infrared reflectance spectroscopy. In: *Australian Journal of Soil Research*. 2003, vol. 41(6), pp. 1101-1114.
90. JARECKI, M.; LAL, R. Crop management for soil carbon sequestration. In: *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2003, vol. 22(6), pp. 471-502.
91. KNADEL, M.; DENG, F.; THOMSEN, A.; GREVE, M. Development of a Danish national Vis-NIR soil spectral library for soil organic carbon determination. In: *Digital Soil*



- Assessments and Beyond: Proceedings of the 5th Global Workshop on Digital Soil Mapping 2012, Sydney, Australia (1st ed.)*. London: CRC Press, 2012, pp. 403-408.
92. KRUPENIKOV, I.; BOINCEAN, B.; DENT, D. *The Black Earth: Ecological Principles for Sustainable Agriculture on Chernozem Soils*. Dordrecht: Springer, 2011. 145 p.
  93. KUANG, B.; MOUAZEN, A. Calibration of visible and near infrared spectroscopy for soil analysis at the field scale on three European farms. In: *European Journal of Soil Science*. 2011, vol. 62(4), pp. 629-636.
  94. KUANG, B.; MOUAZEN, A.M. Influence of the number of samples on prediction error of visible and near infrared spectroscopy of selected soil properties at the farm scale. In: *European Journal of Soil Science*. 2012, vol. 63(3), pp. 421-429.
  95. KUMAR, S. *et al.* Role of Legumes in Soil Carbon Sequestration. In: *Legumes for Soil Health and Sustainable Management*. Meena R., Das A., Yadav G., Lal R. (eds). Singapore: Springer, 2018, pp. 109-138. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0253-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0253-4_4)
  96. KUSHWAHA, C.; TRIPATHI, S.; SINGH, K. Soil organic matter and water-stable aggregates under different tillage and residue conditions in a tropical dryland agroecosystem. In: *Applied Soil Ecology*. 2001, vol. 16(3), pp. 229-241.
  97. LĂCĂTUȘU, R. *Mineralogia și chimia solului*. Iași: Universitatea „Al. I. Cuza”, 2000. 252 p.
  98. LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub>-enrichment. In: *Soil and tillage research*, 1997, vol. 43(1-2), pp. 81-107.
  99. LAL, R. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. In: *Land degradation & development*. 2006, vol. 17(2), pp. 197-209.
  100. LAL, R. Carbon management in agricultural soils. In: *Mitigation and adaptation strategies for global change*. Springer, 2007, vol. 12(2), pp. 303-322. <https://doi.org/10.1007/s11027-006-9036-7>
  101. LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. In: *Sustainability*. 2015, vol. 7(5), pp. 5875-5895. ISSN 2071-1050. DOI:10.3390/su7055875.
  102. LAL, R. Managing soils for negative feedback to climate change and positive impact on food and nutritional security. In: *Soil Science and Plant Nutrition*. 2020, vol. 66(1), pp. 1-9. DOI: 10.1080/00380768.2020.1718548
  103. LAL, R.; SMITH, P. *et al.* The carbon sequestration potential of terrestrial ecosystems. In: *Journal of Soil and Water Conservation*. 2018, vol. 73(6), pp. 145A-152A.
  104. LEAH, T. Managementul durabil al resurselor de soluri și implementarea tehnologiilor conservative în agricultură. In: *Intellectus*. 2012, nr. 1, pp. 101-104. ISSN 1810-7079.
  105. LEAH, T. Researches concerning modification of forest grey soils properties used in arable from the Northern area of Moldova. In: *ProEnvironment. Journal of documentation, research and professional training: the 8<sup>th</sup> intern. symp. “Soil minimum tillage systems” Cluj-Napoca, 25-26 June 2015*. Vol. 8(22), June 2015. Cluj-Napoca: BIOFLUX, 2015. pp. 264-269. ISSN 1844-6698.
  106. LEAH, T. Compactarea și distrugerea structurii solului – proces grav de degradare a terenurilor agricole în Republica Moldova. In: *Buletin Științific. Revista de Etnografie, Științele Naturii și Muzeologie (Serie Nouă)*. 2016, nr. 24(37), pp. 86-94. ISSN 1857-0054.

107. LEAH, T. Importanța asolamentelor și rolul leguminoaselor în cadrul rotației culturilor. In: *Cercetări la culturile plantelor de câmp în Republica Moldova*. 21-22 iunie 2018, Bălți. Bălți: USARB, 2018, pp. 66-71. ISBN 978-9975-3225-3-9.
108. LEAH, T.; CERBARI, V.. Utilizarea îngrășămintelor verzi - metodă de remediere a stratului arabil compactat al solurilor. In: *Biotehnologii avansate – realizări și perspective. Simpozionul științific național cu participare internațională*. Ediția V-a, 21-22 octombrie 2019, Chișinău. Chișinău: Tipografia "Print-Caro", 2019, p. 98. ISBN 978-9975-56-695-7.
109. LEAH, T.; CERBARI, V. Changes in the quality status of arable gray soils of the Northern area of the Republic of Moldova used in agriculture. In: *Research Journal of Agricultural Science*. 2020, vol. 52(1), pp. 140-147.
110. LEAH, T.; CERBARI, V. Evaluarea agriculturii conservative asupra proprietăților solului în rotația culturilor cu leguminoase în agricultura Republicii Moldova. In: *Agriculture and Food engineering*. 22-23 octombrie 2020, Iași. Iași, România: University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Iași, 2020, pp. 33-34.
111. LEAH, T.; CERBARI, V. Modificarea stării de calitate și a capacității de producție a cernoziomului cambic sub influența îngrășămintelor verzi. In: *Buletin Științific. Revista de Etnografie, Științele Naturii și Muzeologie (Serie Nouă)*. 2020, nr. 32(45), pp. 86-96. ISSN 1857-0054.
112. LEE, K.S.; SUDDUTH, K.A.; DRUMMOND, S.T.; LEE, D.H.; KITCHEN, N.R.; CHUNG, S.O. Calibration Methods for Soil Property Estimation Using Reflectance Spectroscopy. In: *Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers)*. 2010, vol. 53(3), pp. 675-684. DOI: 10.13031/2013.30059.
113. LEONE, A.P.; VISCARRA-ROSSEL, R.A.; AMENTA, P.; BUONDONNO, A. Prediction of soil properties with PLSR and vis-NIR spectroscopy: Application to Mediterranean soils from Southern Italy. In: *Current Analytical Chemistry*. 2012, vol. 8(2), pp. 283-299.
114. LEVI, N.; KARNIELI, A.; PAZ-KAGAN, T. Airborne imaging spectroscopy for assessing land-use effect on soil quality in drylands. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2022, vol. 186, pp. 34-54.
115. LI, F.; MISTELE, B.; HU, Y.; YUE, S.; MIAO, Y.; CHEN, X.; CUI, Z.; MENG, Q.; SCHMIDHALTER, U. Remotely estimating aerial N status of phenologically differing winter wheat cultivars grown in contrasting climatic and geographic zones in China and Germany. In: *Field Crops Research*. 2012, vol. 138, pp. 21-32.
116. LINDEN, D.; HENDRIX, P.; COLEMAN, D.; VAN VLIET, P. Faunal indicators of soil quality. In: *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Science Society of America, Special Publication No. 35, 1994, pp. 91-106. ISBN 0-89118-807-X.
117. LIU, X.; HERBERT, S.J.; HASHEMI, A.M.; ZHANG, X.F.; DING, G. Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation-a review. In: *Plant Soil and Environment*. 2006, vol. 52(12), p. 531-543.
118. LORENZ, K.; LAL, R. Soil Carbon Stock. In: *Carbon sequestration in agricultural ecosystems*. Dordrecht: Springer, 2018, pp. 39-109.
119. LUCAS: *Land Use and Coverage Area frame Survey Project*. European Soil Data Centre (ESDAC), Joint Research Centre. European Commission web page. Last updated 25/09/2022 [citat 24.09.2022]. Disponibil: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/lucas>
120. LUDWIG, B.; KHANNA, P.; BAUHUS, J.; HOPMANS, P. Near infrared spectroscopy of forest soils to determine chemical and biological properties related to soil sustainability.

- In: *Forest Ecology and Management*. 2002, vol. 171(1-2), pp. 121-132. ISSN 0378-1127. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00467-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00467-X)
121. LUNGU, V.; ANDRIEȘ, S.; LEAH, N. Modificarea însușirilor agrochimice ale solului în experiențele de lungă durată la aplicarea sistematică a îngrășămintelor minerale. In: *Solul și îngrășămintele în agricultura contemporană*. 6-7 sept. 2017, Chișinău. Chișinău: Centrul Editorial-Poligrafic al USM, 2017, pp. 132-140. ISBN 978-9975-71-927-8.
  122. MAGDOFF, F.; WEIL, R.R. Soil organic matter management strategies. In: *Soil organic matter in sustainable agriculture*. Magdoff F., Weil R.R. (eds.). CRC press, 2004. pp. 45-65. ISBN 0-8493-1294-9.
  123. MAGDOFF, F.; VAN ES, H. *Building soils for better crops: sustainable soil management*. Third edition, Handbook Series Book 10. The Sustainable Agriculture Research and Education (SARE) program. US Department of Agriculture, Waldorf, MD, 2009. 294 p. ISBN 978-1-888626-13-1.
  124. MALONE, B.; STOCKMANN, U.; GLOVER, M.; McLACHLAN, G.; ENGELHARDT, S.; TUOMI, S. Digital soil survey and mapping underpinning inherent and dynamic soil attribute condition assessments. In: *Soil Security*. 2022, vol. 6, 100048.
  125. MARTIN, P; MALLEY, D; MANNING, G.; FULLER, L. Determination of soil organic carbon and nitrogen at the field level using near-infrared spectroscopy. In: *Canadian Journal of Soil Science*. 2002, vol. 82, pp. 413-422.
  126. MAZZONCINI, M.; SAPKOTA, T.; BARBERI, P.; ANTICHI, D.; RISALITI, R. Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content. In: *Soil and tillage research*. 2011, vol. 114(2), pp. 165-174.
  127. McBRATNEY, A.; SANTOS, M.; MINASNY, B. On digital soil mapping. In: *Geoderma*. 2003, vol. 117(1-2), pp. 3-52.
  128. McCARTY, G.; REEVES, J.; REEVES, V., FOLLETT, R.; KIMBLE, J. Mid-Infrared and Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectroscopy for Soil Carbon Measurement. In: *Soil Science Society of America Journal*. 2002, vol. 66(2), pp. 640-646.
  129. MIHUȚ, C.D. *Fizica solurilor agricole*. Timișoara: Agroprint, 2014. p. 36-79. ISBN 978-606-8037-73-8.
  130. MONTANARELLA, L.; TÓTH, G.; JONES, A. Soil component in the 2009 LUCAS Survey. In: *Land quality and land use information in the European Union*. Luxembourg: Publication Office of the European Union. 2011, pp. 209-219. <https://doi.org/10.2788/40725>
  131. MULVANEY, R.; KHAN, S.; ELLSWORTH, T. Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: a global dilemma for sustainable cereal production. In: *Journal of environmental quality*. 2009, vol. 38(6), pp. 2295-2314.
  132. MUNAWAR, A.; YUNUS, Y.; SATRIYO, P. Calibration models database of near infrared spectroscopy to predict agricultural soil fertility properties. In: *Data in brief*. 2020, vol. 30, 105469, 12 p.
  133. MUNAWAR, A. A.; YUNUS, Y.; DEVIANTI, D.; SATRIYO, P. Agriculture environment monitoring: rapid soil fertility evaluation by means of near infrared spectroscopy. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021, vol. 644, No.1, p. 012036. IOP Publishing.
  134. NAWAR, S.; BUDDENBAUM, H.; HILL, J.; KOZAK, J.; MOUAZEN, A. Estimating the soil clay content and organic matter by means of different calibration methods of vis-NIR diffuse reflectance spectroscopy. In: *Soil and Tillage Research*. 2016, vol. 155, pp. 510-522. ISSN 0167-1987. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.07.021>.

135. NDUWAMUNGU, C.; ZIADI, N.; PARENT, L-É.; TREMBLAY, G.; THURIÈS, L. Opportunities for, and limitations of, near infrared reflectance spectroscopy applications in soil analysis: A review. In: *Canadian Journal of Soil Science*. 2009, vol. 89(5), pp. 531-541. <https://doi.org/10.4141/CJSS08076>
136. NDUWAMUNGU, C.; ZIADI, N.; TREMBLAY, G.; PARENT, L-É. Near-Infrared Reflectance Spectroscopy Prediction of Soil Properties: Effects of Sample Cups and Preparation. In: *Soil Science Society of America Journal (Nutrient Management & Soil & Plant Analysis)*. 2009, vol. 73(6), pp. 1896-1903. <https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0213>
137. OANEA, N. *Pedologie generală*. Miercurea Ciuc: Alutus, 2005. 418 p. ISBN 973-7875-02-8.
138. OGLE, S.; BREIDT, F.; PAUSTIAN, K. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. In: *Biogeochemistry*. 2005, vol. 72(1), pp. 87-121.
139. PAPIERNIK, S.; LINDSTROM, M.; SCHUMACHER, J.; FARENHORST, A.; STEPHENS, K.; SCHUMACHER, T.; LOBB, D. Variation in soil properties and crop yield across an eroded prairie landscape. In: *Journal of Soil and Water Conservation*. 2005, vol. 60(6), pp. 388-395.
140. PARKIN, T.; DORAN, J.; FRANCO-VIZCAINO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: *Methods for assessing soil quality*, J.W. Doran and A.J. Jones (eds.). Soil Sci. Soc. Am. Special Publication No. 49, 1996, pp. 231-245. ISBN 08-911-88266.
141. PAUSTIAN, K.; ANDREN, O.; JANZEN, H.; LAL, R.; SMITH, P.; TIAN, G.; TIESSEN, H.; VAN NOORDWIJK, M.; WOOMER, P. Agricultural soils as a sink to mitigate CO<sub>2</sub> emissions. In: *Soil use and management*. 1997, vol. 13, pp. 230-244.
142. PAWLOWSKY-GLAHN, V.; EGOZCUE, J. Compositional data and their analysis: an introduction. In: *Geological Society*. London: Special Publications, 2006, vol. 264(1), pp. 1-10.
143. PRIBYL, D.W. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. In: *Geoderma*. 2010, vol. 156(3-4), pp. 75-83.
144. *Programul complex de valorificare a terenurilor degradate și sporirea fertilității solurilor. Partea I. Ameliorarea terenurilor degradate*. Red. resp. S. Andrieș/ Chișinău: Pontos, 2004. 212 p. ISBN 9975-927-96-3.
145. *Programul complex de valorificare a terenurilor degradate și sporirea fertilității solurilor. Partea a II-a. Sporirea fertilității solurilor*. Red. resp. S. Andrieș/ Chișinău: Pontos, 2004. 128 p. ISBN 9975-927-97-1.
146. *Programul național complex de sporire a fertilității solului în 2001-2020*. Alcătuitor resp. V. Cerbari, red. resp. S. Andrieș/ – Chișinău: Pontos, 2001 (Tipogr. „Reclama”). – 130 p. ISBN 9975-938-25-6.
147. RAMIREZ-LOPEZ, L.; WADOUX, A.C.; FRANCESCHINI, M.H.; TERRA, F.S.; MARQUES, K.P.P.; SAYÃO, V.M.; DEMATTÊ, J.A.M. Robust soil mapping at the farm scale with vis-NIR spectroscopy. In: *European Journal of Soil Science*. 2019, vol. 70(2), pp. 378-393.
148. RAMNARINE, R.; VORONEY, R.; WAGNER-RIDDLE, C.; DUNFIELD, K. Carbonate removal by acid fumigation for measuring the  $\delta^{13}\text{C}$  of soil organic carbon. In: *Canadian Journal of Soil Science*. 2011, vol. 91, pp. 247-250. DOI:10.4141/CJSS10066.

149. *Raport anual: Starea solurilor pe teritoriul Republicii Moldova în anul 2015*. Ministerul Mediului, Serviciul Hidrometeorologic de Stat, Direcția Monitoring al Calității Mediului. Chișinău, 2016. 117 p.
150. RAȚI, V. *Bazele științei solului: Curs pentru studenții Fac. de Inginerie*. Bacău: Alma Mater, 2007. 111 p. ISBN: 978-973-1833-37-8.
151. RIZZO, R.; DEMATTÊ, J.; LEPSCH, I.; GALLO, B.; FONGARO, C. Digital soil mapping at local scale using a multi-depth Vis-NIR spectral library and terrain attributes. In: *Geoderma*. 2016, vol. 274, pp. 18-27.
152. RUSU, T. *Îndrumător de lucrări practice la agrotehnică*. Cluj-Napoca: Grinta, 2012. 292 p. ISBN 978-973-126-409-7.
153. RUSU, T.; PAULETTE, L.; CACOVEAN, H.; TURCU, V.. *Fizica, hidrofizica, chimia și respirația solului: metode de cercetare*. Cluj-Napoca: Risoprint, 2007. 188 p. ISBN 978-973-751-512-4.
154. SCHMIDHALTER, U. Development of a quick on-farm test to determine nitrate levels in soil. In: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2005, vol. 168, pp. 432-438. <https://doi.org/10.1002/jpln.200520521>
155. SCHMIDHALTER, U.; BREDEMEIER, C.; GEESING, D.; MISTELE, B.; SELIGE, T.; JUNGERT, S. Precision agriculture: Spatial and temporal variability of soil water nitrogen and plant crop response. In: *Bibliotheca Fragmenta Agronomica*. 2006, vol. 11(3), pp. 97-106.
156. SCHMIDHALTER, U.; MAIDL, F.; HEUWINKEL, H.; DEMMEL, M.; AUERNHAMMER, H.; NOACK, P.; ROTHMUND, M. Precision Farming - Adaptation of land use management to small scale heterogeneity. In: *Perspectives for Agroecosystem Management*, P.Schröder, J. Pfadenhauer and J.C. Munch (eds.). Elsevier, 2008, pp. 121-199.
157. *Sedimat 4-12 for Particle Size Distribution*. Operating instructions. Umwelt-Geräte-Technik GmbH. [citat 20.03.2020]. Disponibil: [https://www.bd-inventions.com/wp-content/uploads/2017/10/Sedimat\\_4-12-en.pdf](https://www.bd-inventions.com/wp-content/uploads/2017/10/Sedimat_4-12-en.pdf)
158. SELIGE, T.; SCHMIDHALTER, U. Remote sensing of soil properties to support site-specific farming. 14th. Int. Plant Nutrition Colloquium, Hannover. In: *Kluwer Academic Publishers*. Dordrecht, Developments in Plant and Soil Sciences, 2001, vol. 92, pp. 878-879.
159. SELIGE, T.; SCHMIDHALTER, U. Topsoil mapping using hyperspectral airborne data and multivariate regression modeling. In: *Precision Agriculture '05*, ed. J.V. Stafford. Wageningen Academic Publishers, 2005, pp. 537-545.
160. SELIGE, T.; BÖHNER, J.; SCHMIDHALTER, U. High resolution topsoil mapping using hyper spectral image and field data in multivariate regression modeling procedures. In: *Geoderma*. 2006, vol. 136(1-2), pp. 235-244.
161. SENICOVSCAIA, I.; MARINESCU, G.; CIOLACU-BALAN, T.; CERBARI, V.; BOINCEAN, B.. Biota și interdependența ei cu proprietățile fizice a cernoziomurilor tipice în diferite condiții de folosință agricolă. In: *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele vieții*. 2008, nr. 2(305), pp. 171-180. ISSN 1857-064X.
162. SHEPHERD, K.; WALSH, M. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. In: *Soil Science Society of America Journal*. 2002, vol. 66, pp. 988-998.
163. SHEPHERD, K.; FERGUSON, R.; HOOVER, D.; VAN EGMOND, F.; SANDERMAN, J.; GE, Y. A global soil spectral calibration library and estimation service. In: *Soil Security*. 2022, vol. 7, 100061. ISSN 2667-0062. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100061>.

164. SHI, Z.; WANG, Q.; PENG, J.; JI, W.; LIU, H.; LI, X.; VISCARRA-ROSSEL, R.A. Development of a national VNIR soil-spectral library for soil classification and prediction of organic matter concentrations. In: *Science China. Earth Sciences*. 2014, vol. 57(7), pp. 1671-1680.
165. SHI, Z.; JI, W.; VISCARRA ROSSEL, R.A.; CHEN, S.; ZHOU, Y. Prediction of soil organic matter using a spatially constrained local partial least squares regression and the Chinese vis-NIR spectral library. In: *European Journal of Soil Science*. 2015, vol. 66(4), pp. 679-687.
166. SIKORA, L.; STOTT, D. Soil organic carbon and nitrogen. In: *Method for assessing soil quality*, J.W. Doran and A.J. Jones (eds.). Soil Science Society of America Special Publication No. 49, Madison, Wisconsin, USA, 1996, pp. 157-167.
167. SMITH, J.; DORAN, J. Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. In: *Methods for assessing soil quality*, J.W. Doran and A.J. Jones (eds.). Soil Science Society of America Special Publication No. 49, 1996, pp. 169-185. ISBN 08-911-88266.
168. SORENSEN, L.; DALSGAARD, S. Determination of clay and other soil properties by near infrared spectroscopy. In: *Soil Science Society of America Journal*. 2005, vol. 69, pp. 159-167.
169. STADNIC, S. *Pedologia cu bazele geologiei: Caiet de lucru cu îndrumări metodice și sarcini individuale pentru îndeplinirea lucr. de lab., practice și practica de instruire pentru specialitățile 613.1 „Agronomie”, 424.1 „Ecologie”*. Bălți: Presa univ. bălțeană, 2010. 84 p. ISBN 978-9975-931-24-3.
170. STADNIC, S. *Pedologie (Știința solului: geneza, proprietățile, clasificarea, geografia). Curs de prelegeri*. Bălți, 2010. 162 p. [citat 10.03.2021]. Disponibil: [http://tinread.usarb.md:8888/tinread/fulltext/stadnic/pedol\\_solul.pdf](http://tinread.usarb.md:8888/tinread/fulltext/stadnic/pedol_solul.pdf)
171. STENBERG, B.; JONSSON, A.; BÖRJESSON, T. Use of near infrared reflectance spectroscopy to predict nitrogen uptake by winter wheat within fields with high variability in organic matter. In: *Plant Soil*. 2005, vol. 269, pp. 251-258. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0556-1>
172. STENBERG, B.; VISCARRA-ROSSEL, R.A., MOUAZEN, A.; WETTERLIND, J. Visible and near infrared spectroscopy in soil science. In: *Advances in Agronomy*. Academic Press, Waltham, MA, 2010, vol. 107, pp. 163-215.
173. STEVENS, A.; NOCITA, M.; TOTH, G.; MONTANARELLA, L.; VAN WESEMAEL, B. Prediction of soil organic carbon at the European scales by visible and near infrared reflectance spectroscopy. In: *PLOS ONE*. 2013, vol. 8(6), 13 p.
174. SUMMERAUER, L. *et al.* The central African soil spectral library: a new soil infrared repository and a geographical prediction analysis. In: *Soil – An interactive open-access journal*. 2021, vol. 7(2), pp. 693-715. <https://doi.org/10.5194/soil-7-693-2021>
175. TAUBNER, H.; ROTH, B.; TIPPKÖTTER, R. Determination of soil texture: Comparison of the sedimentation method and the laser-diffraction analysis. In: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2009, vol. 172, pp. 161-171.
176. TEODORESCU-SOARE, E. *Pedologie*. Material de studiu – ID. Iași: Ion Ionescu de la Brad, 2014. p.18-43.
177. TERHOEVEN-URSELMANS, T.; SCHMIDT, H.; JOERGENSEN, R.G.; LUDWIG, B. Usefulness of near-infrared spectroscopy to determine biological and chemical soil

- properties: Importance of sample pre-treatment. In: *Soil Biology and Biochemistry*. 2008, vol. 40(5), pp. 1178-1188. ISSN 0038-0717. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.12.011>.
178. The new common agricultural policy: 2023-27. In: *The official website of the European Union*. [citat 01.08.2022]. Disponibil: [https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/new-cap-2023-27\\_en](https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/new-cap-2023-27_en)
179. TODOROVA, M. Influence of Soil Type on Determination of Soil Organic Carbon by Near Infrared Reflectance Spectroscopy. In: *Soil Science Agrochemistry and Ecology (Bulgaria)*. 2014.
180. TODOROVA, M.; ATANASSOVA, S.; ILIEVA, R. Determination of soil organic carbon using near-infrared spectroscopy. In: *Agricultural Science and Technology*. 2009, vol. 1(2), pp. 1-6.
181. TODOROVA, M.; ATANASSOVA, S. Near infrared spectra and soft independent modelling of class analogy for discrimination of Chernozems, Luvisols and Vertisols. In: *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 2016, vol. 24(3), pp. 271-280.
182. TÓTH, G.; JONES, A.; MONTANARELLA, L. The LUCAS topsoil database and derived information on the regional variability of cropland topsoil properties in the European Union. In: *Environmental monitoring and assessment*. 2013, vol. 185, pp. 7409-7425.
183. TÓTH, G.; ANTOFIE, T.E.; JONES, A.; APOSTOL, B. The LUCAS 2012 topsoil survey and derived cropland and grassland soil properties of Bulgaria and Romania. In: *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*. 2016, vol. 15(12), pp. 2651-2662.
184. TÜMSAVAŞ, Z.; TEKIN, Y.; ULUSOY, Y.; MOUAZEN, A. Prediction and mapping of soil clay and sand contents using visible and near-infrared spectroscopy. In: *Biosystems Engineering*. 2019, vol. 177, pp. 90-100. ISSN 1537-5110.
185. UDELHOVEN, T.; EMMERLING, C.; JARMER, T. Quantitative analysis of soil chemical properties with diffuse reflectance spectrometry and partial least-square regression: A feasibility study. In: *Plant and Soil*. 2003, vol. 251, pp. 319-329.
186. URSU, A. Solurile Moldovei: Probleme actuale de folosire și protejare. In: *Buletin Științific. Revista de Etnografie, Științele Naturii și Muzeologie (Serie Nouă)*. 2005, nr. 2(15), pp. 12-16. ISSN 1857-0054.
187. URSU, A. *Raioanele pedogeografice și particularitățile regionale de utilizare și protejare a solurilor*. Chișinău: Tipogr. Acad. de Șt., 2006. 232 p.
188. URSU, A. *Solurile Moldovei*. Chișinău: Știința, 2011. 324 p. ISBN 978-9975-67-572-7.
189. URSU, A.; VLADIMIR, P.; MARCOV, I.; CURCUBĂȚ, S. Calitatea solurilor și potențialul pedologic al unităților pedogeografice. In: *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele vieții*. 2010, nr. 3(312), pp. 148-152. ISSN 1857-064X.
190. VAN VUUREN, J.A.J.; MEYER, J.H.; CLAASSES, A.S. Potential use of near infrared reflectance monitoring in precision agriculture. In: *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2006, vol. 37(15-20), pp. 2171-2184.
191. VAN WAES, C.; MESTDAGH, I.; LOOTENS, P.; CARLIER, L. Possibilities of near infrared reflectance spectroscopy for the prediction of organic carbon concentrations in grassland soils. In: *The Journal of Agricultural Science*. 2005, vol. 143(6), pp. 487-492. DOI: 10.1017/S0021859605005630
192. VDLUFA. Methode C 2.2.1, Texturanalyse des Feinbodens Kombination von Nasssiebung und Pipett methode nach KÖHN. [citat 24.09.2022]. Disponibil:

[https://www.vdlufa.de/Methodenbuch/index.php?option=com\\_content&view=article&id=7&Itemid=108&lang=de&lang=en](https://www.vdlufa.de/Methodenbuch/index.php?option=com_content&view=article&id=7&Itemid=108&lang=de&lang=en).

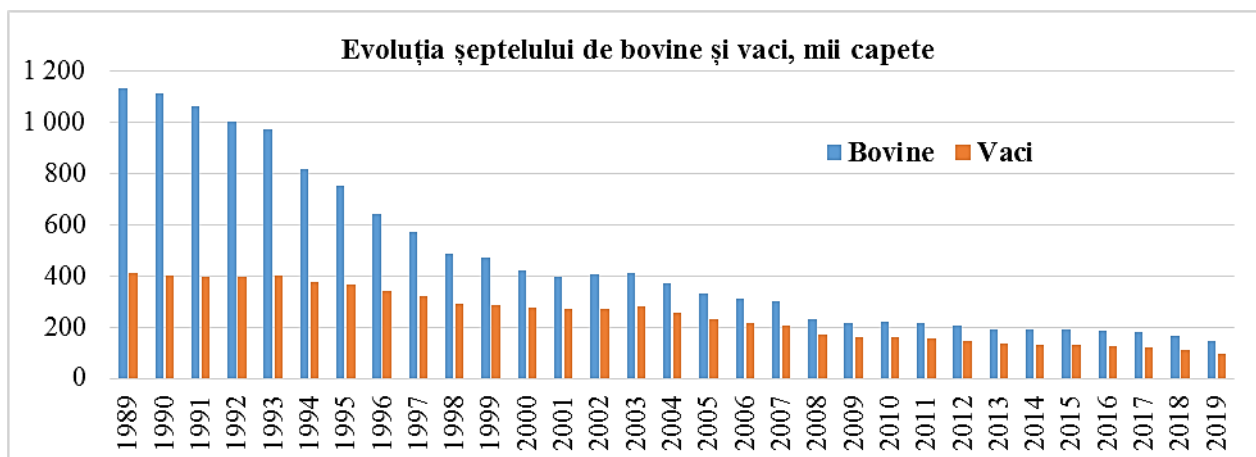
193. VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P.; BARRIOS, E.; JOFFRE, R.; REVERSAT, F. Evaluating soil quality in tropical agroecosystems of Colombia using NIRS. In: *Soil Biology and Biochemistry*. 2005, vol. 37(5), p.p. 889-898. ISSN 0038-0717. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.09.009>
194. VISCARRA ROSSEL, R.A.; WALVOORT, D.; MCBRATNEY, A.; JANIK, L.; SKJEMSTAD, J. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. In: *Geoderma*. 2006, vol. 131(1-2), pp. 59-75.
195. VISCARRA ROSSEL, R.A.; CHAPPELL, A.; DE CARITAT, P.; MCKENZIE, N.J. On the soil formation content of visible-near infrared reflectance spectra. In: *European Journal of Soil Science*. 2011, vol. 62, pp. 442-453.
196. VISCARRA ROSSEL, R.A.; BEHRENS, T.; BEN-DOR, E.; BROWN, D.J.; DEMATTÊ, J.A.; SHEPHERD, K. et al. A global spectral library to characterize the world's soil. In: *Earth-Science Reviews*. 2016, vol. 155, pp. 198-230.
197. VISCARRA ROSSEL, R.A. et al. Diffuse reflectance spectroscopy for estimating soil properties: A technology for the 21st century. In: *European Journal of Soil Science*. 2022, vol. 73(4), e13271. <https://doi.org/10.1111/ejss.13271>
198. VOHLAND, M.; LUDWIG, B.; SEIDEL, M.; HUTENGS, C. Quantification of soil organic carbon at regional scale: Benefits of fusing vis-NIR and MIR diffuse reflectance data are greater for in situ than for laboratory-based modelling approaches. In: *Geoderma*. 2022, vol. 405, 115426.
199. WEIL, R.R.; MAGDOFF, F. Significance of soil organic matter to soil quality and health. In: *Soil organic matter in sustainable agriculture*. Magdoff F., Weil R.R. (eds.). CRC press, 2004. pp. 1-43. ISBN 0-8493-1294-9
200. WETTERLIND, J. *Improved farm soil mapping using near infrared reflectance spectroscopy*: doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Skara. SLU Repo, Uppsala, 2009. 73 p.
201. WETTERLIND, J.; STENBERG, B.; SÖDERSTRÖM, M. The use of near infrared (NIR) spectroscopy to improve soil mapping at the farm scale. In: *Precision Agric*, 2008, vol. 9, pp. 57-69. <https://doi.org/10.1007/s11119-007-9051-z>
202. WETTERLIND, J.; STENBERG, B.; VISCARRA ROSSEL, R. Soil analysis using visible and near infrared spectroscopy. In: *Methods in molecular biology*. Clifton, N.J., 2013, nr. 953, pp. 95-107.
203. WETTERLIND, J.; PIIKKI, K.; STENBERG, B.; SÖDERSTRÖM, M. Exploring the predictability of soil texture and organic matter content with a commercial integrated soil profiling tool. In: *European Journal of Soil Science*. 2015, vol. 66, pp. 631-638. <https://doi.org/10.1111/ejss.12228>
204. WHALEN, J.; SAMPEDRO, L. Soil ecology and management. CABI, 2010. p. 64-95. ISBN 978-1-84593-563-4.
205. WIESMEIER, M.; LUNGU, M.; HÜBNER, R.; CERBARI, V. Remediation of degraded arable steppe soils in Moldova using vetch as green manure. In: *Solid Earth*. 2015, vol. 6(2), pp. 609-620.
206. WILD, A. (1993). *Soils and the environment: an introduction*. Cambridge University Press, 1993. 287 p.



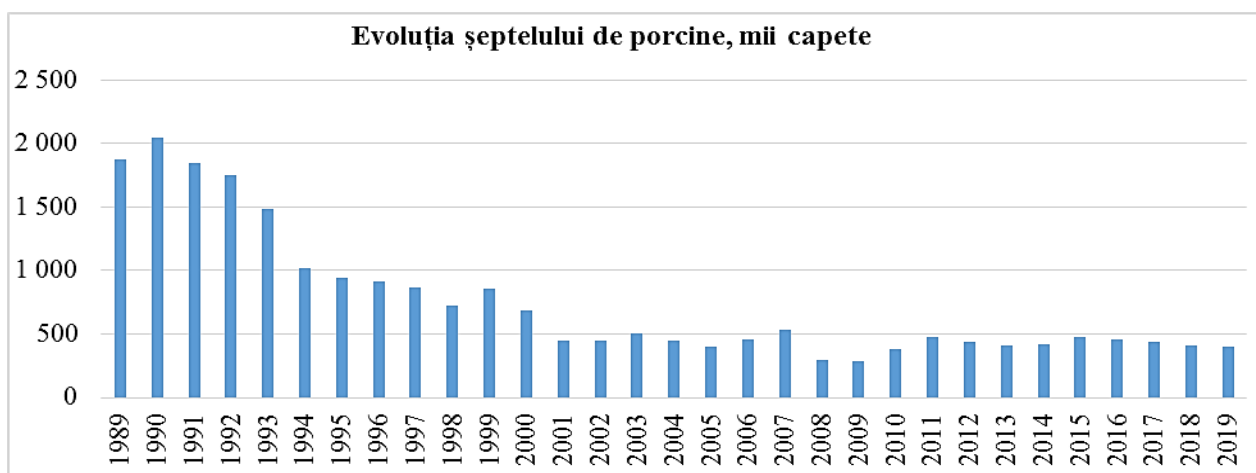
207. ZHANG, L.; YANG, X.; DRURY, C.; CHANTIGNY, M.; GREGORICH, E.; MILLER, J.; SHABTAI BITTMAN, S.; REYNOLDS, D.; YANG, J. Infrared spectroscopy prediction of organic carbon and total nitrogen in soil and particulate organic matter from diverse Canadian agricultural regions. In: *Canadian Journal of Soil Science*. 2017, vol. 98(1), pp. 77-90.
208. ZORNOZA, R.; GUERRERO, C.; MATAIX-SOLERA, J.; SCOW, K.M.; ARCENEGUI, V.; MATAIX-BENEYTO, J. Near infrared spectroscopy for determination of various physical, chemical and biochemical properties in Mediterranean soils. In: *Soil Biology and Biochemistry*. 2008, vol. 40(7), pp. 1923-1930. ISSN 0038-0717. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.04.003>
209. АРИНУШКИНА, Е.В. *Руководство по химическому анализу почв: издание 2-е, переработанное и дополненное*. Москва: Изд-во Московского Университета, 1970. с. 121-167.
210. ВАДЮНИНА, А.Ф.; КОРЧАГИНА, З.А. *Методы определения физических свойств почв и грунтов (в поле и лаборатории)*. Москва: Государственное Изд-во «Высшая Школа», 1961. 345 с.
211. ВИНОГРАДСКИЙ, С.Н. *Микробиология почвы: проблемы и методы*. Москва: Изд-во Академии Наук СССР, 1952. 792 с.
212. ВОРОБЬЕВА, Л.А. Методы валового анализа органической части почвы. В: *Химический анализ почв: Учебник*. Москва: Изд-во Московского Университета (МГУ), 1998. 272 с. ISBN 5-211-03973-4
213. ВОРОБЬЕВА, Л.А. Показатели и методы оценки кислотно-основных свойств почв. В: *Теория и практика химического анализа почв* (Под редакцией Л.А. Воробьевой). Москва: ГЕОС, 2006. с. 337-350. ISBN 5-89118-344-7
214. ДОКУЧАЕВ, В. *Русский чернозем: Отчет Императорскому вольному экономическому обществу: С почвенной картой и 12-ю рисунками в тексте* / В.В. ДОКУЧАЕВ. Санкт-Петербург: Типография Деклерона и Евдокимова, 1883. 376 с.
215. КАЗЕЕВ, К.Ш.; КОЛЕСНИКОВ, С.И.; ВАЛЬКОВ, В.Ф. *Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований*. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2003. 216 с.
216. КАЧИНСКИЙ, Н.А. *Физика почвы: часть I*. Москва: Изд-во «Высшая Школа», 1965. 324 с.
217. КОВДА, В.А.; САМОИЛОВА, Е.М. *Русский чернозем – 100 лет после Докучаева*. Москва, Наука, 1983. 304 с.
218. КРАСИЛЬНИКОВ, Н.А. *Микроорганизмы почвы и высшие растения*. Москва: Изд-во АН СССР, 1958. 460 с.
219. КРУПЕНИКОВ, И.А. *Черноземы. Возникновение, совершенство, трагедия деградации, пути охраны и возрождения*. Chişinău: Pontos, 2008. 285 с.
220. ШЕИН, Е.В. *Курс физики почв: Учебник*. Москва: Изд-во МГУ, 2005. 432 с. ISBN 5-211-05021-5

## ANEXE

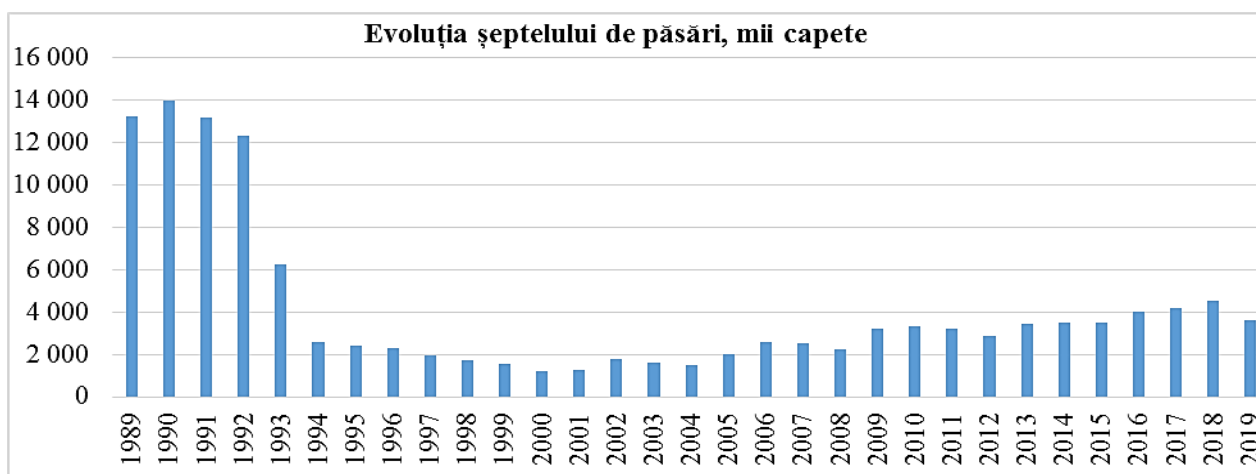
### Anexa 1. Evoluția efectivului de animale în perioada anilor 1989-2019, mii capete [19]



**Fig. A2.1. Evoluția șeptelului de bovine și vaci în perioada 1989-2019, mii capete [19]**



**Fig. A2.2. Evoluția șeptelului de porcine în perioada 1989-2019, mii capete [19]**



**Fig. A2.1. Evoluția șeptelului de păsări în perioada 1989-2019, mii capete [19]**

**Anexa 2. Coordonatele GPS a locațiilor pentru prelevarea profilelor de sol  
în raioanele din zona de Nord a Republicii Moldova**

<b>Raion</b>	<b>Nr. d/o</b>	<b>Tipul și subtipul solului</b>	<b>Coordonatele GPS</b>	
<b>Sângerei</b>	F1	a	Cernoziom tipic	N 47°40.50798' / E 28°0.38502'
		b	Cernoziom tipic, moderat erodat	N 47°40.13694' / E 28°0.65916'
		c	Cernoziom tipic, slab erodat	N 47°39.99072' / E 28°0.59388'
	F2	a.	Sol cenușiu molic	N 47°44.568' / E 28°8.006'
		b.	Cernoziom argiloiluvial	N 47°44.513' / E 28°7.830'
		c.	Cernoziom argiloiluvial	N 47°44.296' / E 28°7.875'
		d.	Cernoziom argiloiluvial	N 47°44.3556' / E 28°8.1135'
		e.	Cernoziom argiloiluvial	N 47°44.465' / E 28°8.057'
	F3	a.	Cernoziom tipic	N 47°42.120' / E 28°1.17366'
		b.	Cernoziom carbonatic	N 47°42.14718' / E 28°1.43628'
		c.	Cernoziom tipic	N 47°41.868' / E 28°1.337'
	F4	a.	Cernoziom tipic	N 47°51.11712' / E 27°56.62536'
		b.	Cernoziom obișnuit	N 47°50.94726' / E 27°56.8608'
	F5	b.	Cernoziom obișnuit	N 47°51.342' / E 27°57.00528'
c.		Sol cernoziomoid levigat	N 47°51.20604' / E 27°56.98572'	
F6	a.	Cernoziom tipic	N 47°49.98228' / E 27°57.26454'	
	b.	Cernoziom obișnuit	N 47°50.145' / E 27°57.390'	
<b>Glodeni</b>	F1	Cernoziom levigat, luto-argilos	N 47°46.62018' / E 27°36.07794'	
	F2	Cernoziom obișnuit, luto-argilos	N 47°47.97138' / E 27°32.10312'	
	F3	Cernoziom carbonatic, luto-argilos	N 47°45.235' / E 27°32.462'	
	F4	Cernoziom tipic, luto-argilos	N 47°45.85608' / E 27°28.9539'	
	F5		Sol cenușiu molic, luto-argilos	N 47°47.127' / E 27°26.403'
		a.	Sol cenușiu molic, de pădure	N 47°47.25168' / E 27°26.2632'
F6	Cernoziom carbonatic, luto-nisipos	N 47°42.9249' / E 27°19.36668'		
<b>Râșcani</b>	F1	Cernoziom obișnuit, luto-argilos	N 47°52.63854' / E 27°45.57288'	
	F2	Cernoziom tipic, luto-argilos	N 47°53.822' / E 27°36.725'	
	F3	Cernoziom tipic, argilo-lutos	N 47°52.489' / E 27°31.919'	
	F4	Cernoziom levigat, luto-argilos	N 47°57.354' / E 27°27.666'	
	F5	Cernoziom argiloiluvial, luto-argilos	N 47°58.51134' / E 27°27.47994'	
	F6		Sol cenușiu tipic, luto-argilos	N 47°56.87088' / E 27°23.98158'
		a.	Sol cenușiu tipic, de pădure	N 47°56.9808' / E 27°24.09924'
	Polig.32	Cernoziom tipic, înțelenit	N 47°51.313' / E 27°45.266'	
<b>Drochia</b>	F1	Cernoziom levigat, luto-argilos	N 48°0.228' / E 27°43.178'	
	F2	Cernoziom argiloiluvial, luto-argilos	N 48°1.20582' / E 27°41.8419'	
	F3	a.	Cernoziom carbonatic, argilo-lutos	N 47°57.923' / E 27°46.103'
		b.	Cernoziom obișnuit, argilo-lutos	N 47°58.00668' / E 27°46.566'
	F4	a.	Cernoziom tipic, argilo-lutos	N 48°1.89786' / E 27°56.71824'
		b.	Cernoziom carbonatic, luto-argilos	N 48°2.11512' / E 27°56.6271'
		c.	Cernoziom obișnuit, luto-argilos	N 48°2.3217' / E 27°56.29854'
		d.	Sol cernoziomoid	N 48°2.40354' / E 27°56.54328'
	F5	Cernoziom tipic, luto-argilos	N 48°5.9007' / E 27°55.2474'	
F6	Cernoziom levigat, argilo-lutos	N 48°7.0377' / E 27°43.72956'		
<b>Edineț</b>	F1	Cernoziom obișnuit, luto-argilos	N 48°2.70438' / E 27°21.70614'	
	F2	Cernoziom tipic, luto-argilos	N 48°4.43556' / E 27°27.83022'	
	F3	Cernoziom tipic, argilo-lutos	N 48°7.677' / E 27°25.839'	
	F4	Cernoziom levigat, luto-argilos	N 48°10.65546' / E 27°27.97548'	
	F5	a.	Cernoziom levigat, argilo-lutos	N 48°10.12404' / E 27°22.79358'
		b.	Cernoziom levigat, argilo-lutos, slab erodat	N 48°9.916' / E 27°22.529'
	F6	a.	Cernoziom argiloiluvial, luto-argilos	N 48°7.33506' / E 27°19.1925'
		b.	Sol cenușiu molic, luto-argilos	N 48°7.299' / E 27°18.540'
c.		Sol cenușiu molic, argilo-lutos	N 48°7.136' / E 27°19.045'	

**Anexa 2. Continuare**

<b>Raion</b>	<b>Nr. d/o</b>	<b>Tipul și subtipul solului</b>	<b>Coordonatele GPS</b>	
<b>Briteeni</b>	F1	Cernoziom tipic, luto-argilos	N 48°12.678' / E 26°57.70824'	
	F2	_____	Sol cenușiu molic, luto-argilos	N 48°13.72806' / E 26°56.20548'
		a.	Sol cenușiu molic, de pădure	-
	F3	Sol cenușiu tipic, luto-argilos	N 48°14.403' / E 26°55.914'	
	F4	a.	Cernoziom levigat, luto-argilos	N 48°16.189' / E 26°56.264'
b.		Cernoziom argiloiluvial, luto-argilos	N 48°16.356' / E 26°56.098'	
<b>Ocița</b>	F1	Cernoziom tipic, luto-argilos	N 48°15.736' / E 27°27.292'	
	F2	Cernoziom levigat, luto-argilos	N 48°20.2566' / E 27°25.77864'	
	F4	Sol cenușiu molic, luto-argilos	N 48°22.0194' / E 27°34.1691'	
<b>Dondușeni</b>	F1	Cernoziom levigat, argilo-lutos	N 48°7.100' / E 27°36.336'	
	F2	Cernoziom tipic, argilo-lutos	N 48°7.347' / E 27°37.207'	
	F3	Cernoziom levigat, luto-argilos	N 48°8.7681' / E 27°38.36574'	
	F4	Cernoziom argiloiluvial, luto-argilos	N 48°11.21376' / E 27°40.52844'	
	F5	Cernoziom argiloiluvial, argilo-lutos	N 48°12.58128' / E 27°32.75454'	
	F6	Cernoziom tipic, luto-argilos	N 48°12.791' / E 27°34.765'	
	F8	Sol cenușiu molic, luto-argilos	N 48°19.409' / E 27°43.657'	
	<b>Florești</b>	F1	Cernoziom tipic, luto-argilos	N 47°50.17014' / E 28°16.91844'
F2		Cernoziom obișnuit, luto-argilos	N 47°55.51344' / E 28°11.98932'	
F3		Cernoziom carbonatic, luto-argilos	N 47°53.97966' / E 28°15.05748'	
F4		a.	Cernoziom tipic, luto-argilos (slab erodat)	N 47°55.7337' / E 28°24.50124'
		b.	Cernoziom tipic, luto-argilos (puternic erodat)	N 47°55.8777' / E 28°24.57072'
		c.	Cernoziom tipic, argilo-lutos	N 47°55.71792' / E 28°24.69042'
		d.	Cernoziom levigat, luto-argilos	N 47°55.92864' / E 28°25.27578'
F5		a.	Cernoziom argiloiluvial, luto-argilos	N 47°56.86098' / E 28°24.86514'
		b.	Cernoziom levigat, luto-argilos	N 47°56.80686' / E 28°25.58484'
F6		Sol cenușiu molic, luto-argilos	N 47°58.168' / E 28°24.802'	
<b>Sorocea</b>	F1	Cernoziom tipic, luto-argilos	N 48°2.83074' / E 28°8.62776'	
	F2	a.	Cernoziom obișnuit, luto-argilos	N 48°2.57208' / E 28°10.89468'
		b.	Cernoziom tipic, argilo-lutos	N 48°2.767' / E 28°11.294'
	F3	Cernoziom levigat, luto-argilos	N 48°2.2536' / E 28°12.85434'	
	F4	Cernoziom carbonatic, luto-argilos	N 48°4.874' / E 28°10.714'	
	F5	Cernoziom levigat, argilo-lutos	N 48°2.91966' / E 28°21.0756'	
F6	Cernoziom argiloiluvial, argilo-lutos	N 48°4.31544' / E 28°21.97866'		

**Anexa 3. Schema experienței polifactoriale de lungă durată din cadrul IP ICCC „Selecția”, mun. Bălți**

**Tabelul A3.1. Schema experienței polifactoriale de lungă durată pentru evaluarea acțiunii și interacțiunii alternării culturilor, sistemului de fertilizare și lucrare a solului pentru anul 2016**

№ câmp.	Repetiția №1									Repetiția №2									Repetiția №3														
	As. №1			As. №2			As. №1			As. №2			As. №1			As. №2			As. №1														
	1	2	3	3	2	1	1	2	3	3	2	1	1	2	3	3	2	1	1	2	3	3	2	1	1	2	3	3	2	1			
VII	Lucerna+ raigras anul III			Porumb la siloz			Lucerna+ raigras anul III			Porumb la siloz			Lucerna+ raigras anul III			Porumb la siloz			Lucerna+ raigras anul III														
				Arătura 20-22 cm						Afânarea 20-22 cm						Arătura 20-22 cm						Arătura 20-22 cm			Arătura 20-22 cm			Arătura 20-22 cm					
VI	Grâu de toamnă									Grâu de toamnă									Grâu de toamnă														
	Arătura 25-27 cm			Afânarea 25-27 cm			Afânarea 25-27 cm			Arătura 25-27 cm			Arătura 25-27 cm			Arătura 25-27 cm			Arătura 25-27 cm			Arătura 25-27 cm			Arătura 25-27 cm			Arătura 25-27 cm			Arătura 25-27 cm		
V	Sfeclă de zahăr									Sfeclă de zahăr									Sfeclă de zahăr														
	Arătura 32-35 cm			Afânarea 32-35 cm			Afânarea 32-35 cm			Arătura 32-35 cm			Arătura 32-35 cm			Arătura 32-35 cm			Arătura 32-35 cm			Arătura 32-35 cm			Arătura 32-35 cm			Arătura 32-35 cm			Arătura 32-35 cm		
IV	Porumb la boabe (Afânarea cu subsolier)									Porumb la boabe (Afânarea cu subsolier)									Porumb la boabe (Afânarea cu subsolier)														
	Afânarea 25-27 cm			Afânarea 12-15 cm			Afânarea 12-15 cm			Afânarea 25-27 cm			Afânarea 25-27 cm			Afânarea 25-27 cm			Afânarea 12-15 cm			Afânarea 12-15 cm			Afânarea 12-15 cm			Afânarea 12-15 cm					
III	Lucrarea superficială a solului (discuirea la 10-12 cm)									Lucrarea superficială a solului (discuirea la 10-12 cm)									Lucrarea superficială a solului (discuirea la 10-12 cm)														
	Orz de t.			Mazăre la boabe			Orz de toamnă			Mazăre la boabe			Orz de toamnă			Mazăre la boabe			Orz de toamnă			Mazăre la boabe			Orz de t.			Orz de t.					
	Lucrarea superficială a solului (discuirea la 10-12 cm)									Lucrarea superficială a solului (discuirea la 10-12 cm)									Lucrarea superficială a solului (discuirea la 10-12 cm)														
II	Lucerna+ raigras anul I			Grâu de toamnă			Lucerna+ raigras anul I			Grâu de toamnă			Lucerna+ raigras anul I			Grâu de toamnă			Lucerna+ raigras a.I														
				Afânarea 20-22 cm			Discuirea 10-12 cm			Afânare 20-22 cm			Discuirea 10-12 cm			Afânarea 20-22 cm			Arătura 20-22 cm			Afânarea 20-22 cm			Discuirea 10-12 cm			Afânarea 20-22 cm					
I	Lucerna+ raigras anul II			Floarea soarelui			Lucerna+ raigras anul II			Floarea soarelui			Lucerna+ raigras anul II			Floarea soarelui			Lucerna+ raigras anul II														
				Afânarea 20-22 cm			Discuirea 10-12 cm			Discuirea 10-12 cm			Afânarea 20-22 cm			Discuirea 10-12 cm			Afânarea 20-22 cm			Discuirea 10-12 cm			Discuirea 10-12 cm								
Cultura permanentă									Cultura permanentă									Cultura permanentă															
Grâu de toamnă			Orz de toamnă			Grâu de toamnă			Sfeclă de zahăr			Porumb la boabe			Sfeclă de zahăr			Floarea soarelui			Pârloagă			Ogor negru									
Arătura 20-22 cm			Arătura 20-22 cm			Afânarea 20-22 cm			Afânarea 20-22 cm			Afânarea 32-35 cm			Afânarea 22-25 cm			Arătura 22-25 cm			Arătura 32-35 cm			Arătura 20-22 cm			Afânarea 20-22 cm						

1 – Martor (fără îngrășăminte)

2 – îngrășăminte organice

3 – îngrășăminte organice + minerale

**Tabelul A3.2. Schema introducerii îngrășămintelor organice și minerale în experiența polifactorială, 2016**

№ câmpului	Asolamentul №1			Asolamentul №2		
	Martor (1)	Îngrășămintele organice (2)	Îngrășămintele organice + minerale (3)	Martor (1)	Îngrășămintele organice (2)	Îngrășămintele organice + minerale (3)
VII	Lucernă + raigras anul III de viață			Porumb la siloz		
	-	-	-	-	-	N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + N <sub>45</sub> prim.
VI	Grâu de toamnă					
	-	-	P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	-	-	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> + N <sub>30</sub> prim.
V	Sfeclă de zahăr					
	-	40 t/ha gunoi de grajd	40 t/ha gunoi de grajd, N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	-	40 t/ha gunoi de grajd	40 t/ha gunoi de grajd, N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>
IV	Porumb la boabe					
	-	-	-	-	-	-
III	Orz de toamnă			Mazăre la boabe		
	-	-	-	-	-	-
II	Lucernă + raigras anul I de viață			Grâu de toamnă		
	-	30 t/ha gunoi de grajd	30 t/ha gunoi de grajd, N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	-	-	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> + N <sub>30</sub> prim.
I	Lucernă + raigras anul II de viață			Floarea soarelui		
	-	-	-	-	30 t/ha gunoi de grajd	30 t/ha gunoi de grajd, N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>20</sub> + N <sub>30</sub> prim.

**Tabelul A3.3. Schema introducerii îngrășămintelor organice și minerale în cultura permanentă, 2016**

Grâu de toamnă			Orz de toamnă			Sfeclă pentru zahăr			Porumb pentru boabe			Floarea soarelui			Pârloagă	Ogor negru
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
-	30 t/ha gunoi de grajd		-	30 t/ha gunoi de grajd		-	40 t/ha gunoi de grajd		-	30 t/ha gunoi de grajd		-	30 t/ha gunoi de grajd		-	-
-	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> + N <sub>30</sub> prim.		-	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> + N <sub>30</sub> prim.		-	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>		-	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> + N <sub>30</sub> prim.		-	N <sub>30</sub> P <sub>20</sub> K <sub>20</sub> + N <sub>30</sub> prim.		-	-

Notă: Gunoi de grajd în cultura permanentă s-a introdus în anul 2017.

#### Anexa 4. Pregătirea probelor de sol pentru analizele de laborator



Profilele de sol divizate pe orizonturi genetice



Probele de sol cernute până la 2 mm

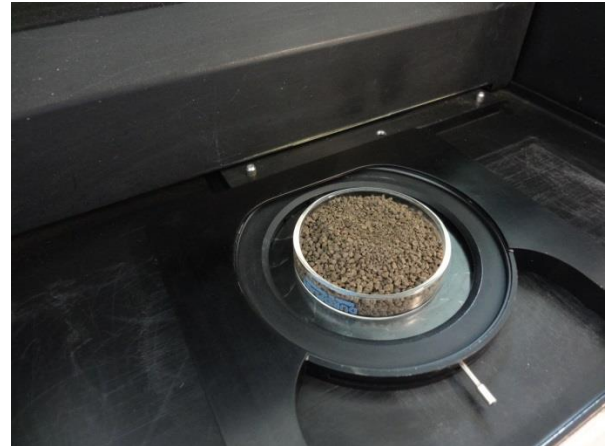


Dispozitivul de mărunțire



Depozitarea probelor de sol în recipiente de sticlă

## Anexa 5. Analiza spectroscopică de absorbție în regiunile luminii vizibile (VIS) și infraroșu apropiat (NIR)





## Anexa 6. Analiza conținutului de C și N prin metoda ANCA-MS

Probele solide au fost sigilate în capsule de staniu și încărcate într-un platou de probe automat (autosampler). Probele sunt purjate/epurate de aer printr-un flux de He în autosampler. Acestea sunt aruncate în tubul de ardere vertical, deoarece un impuls de O<sub>2</sub> înlocuiește temporar gazul purtător de He. Tubul de ardere este împachetat cu un catalizator de oxidare din granule de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, fir tocat de CuO pentru a oxida hidrocarburile și lână de Ag pentru a capta S și halogeni. Arderea rapidă a staniului crește temperatura locală de la ~1000°C la ~1700°C, asigurând oxidarea completă. Produsele de ardere (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> și H<sub>2</sub>O) sunt măturate în tubul de reducere (fire de Cu, 600°C) unde oxizii de N sunt reduși la N<sub>2</sub> și excesul de O<sub>2</sub> este îndepărtat. O capcană desicantă, cum ar fi Mg(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, elimină apa.

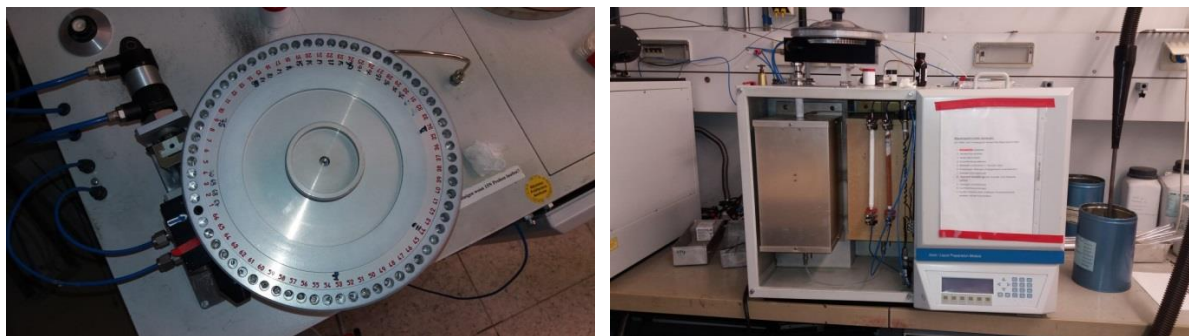


Fig. A6.1. Autosamplerul (A) și tubul de ardere vertical (A) al spectrometrului în masă

O mică fracțiune (~0,1%) din efluentul din sistemul de preparare a probei intră în spectrometrul de masă printr-o valvă/ventil cu trei căi și un tub capilar cu o sertizare/gofră pentru a regla presiunea sursei IRMS [14]. Gazul care intră în sursă este analizat pentru N total și <sup>15</sup>N și/sau C total și <sup>13</sup>C.

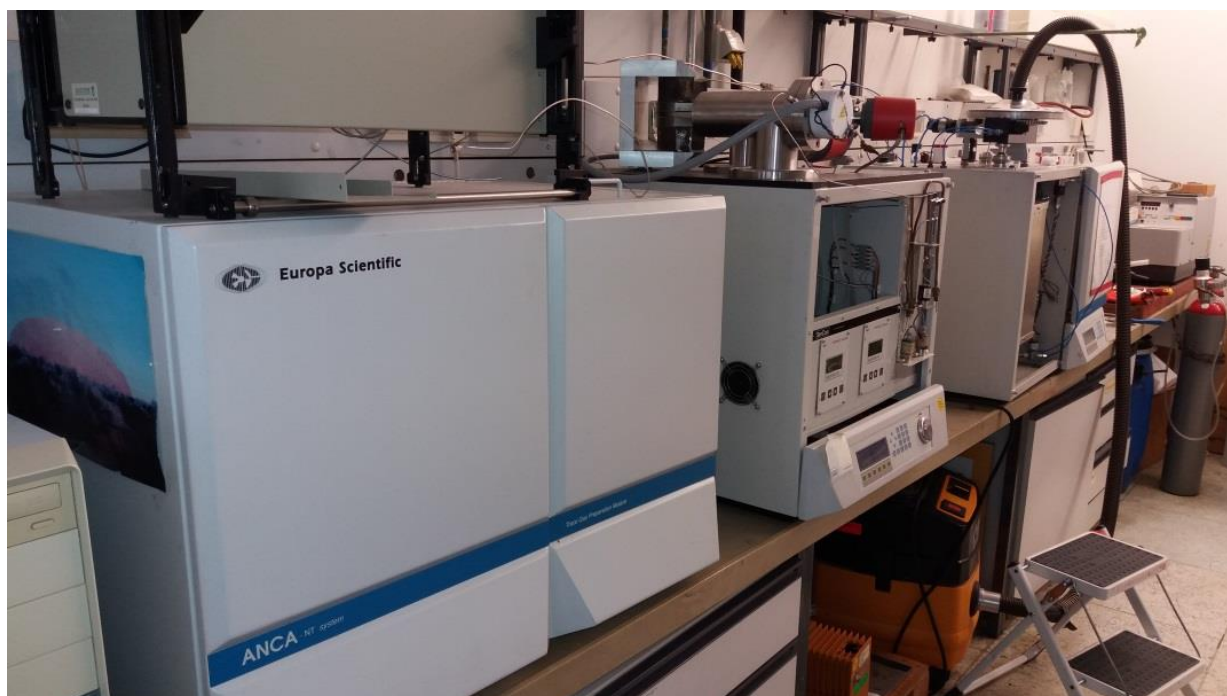


Fig. A6.2. Spectrometrul în masă

## Anexa 7. Îndepărtarea carbonaților prin metoda fumegării acide

Din probele de sol măcinate fin, s-au luat câte 30 mg de sol și au fost plasate în capsule din folie de Ag (8x5 mm) deschise. Capsulele de argint sunt necesare deoarece capsulele de Sn (staniu) se dezintegrează în mediul acid. Capsulele au fost aranjate într-o placă de microtitrare (fig. A7.1) cu 96 de godeuri și s-a adăugat suficientă apă în fiecare capsulă (50  $\mu$ L) pentru a umezi solul aproximativ la capacitatea de câmp. Placa de microtitrare a fost apoi plasată într-un exsicator cu vacuum din sticlă Pyrex (5 L) prevăzut cu o placă de porțelan, împreună cu un pahar care conține 100 ml de 12 M HCl concentrat. Desicatorul a fost sigilat în vacuum (80 kPa) folosind un sistem de vid cu jet de apă și probele au fost expuse la vapori de HCl pentru perioade de timp desemnate (fig. A7.2). Durata timpului de tratament depinde de conținutul total de carbonați al probei de sol. După perioada de tratament prescrisă, paharul care conținea acid a fost îndepărtat. Desicatorul a fost resigilat și probele au fost supuse evacuării repetate în vacuum timp de 1-1,5 ore pentru a elimina toți vaporii de HCl.

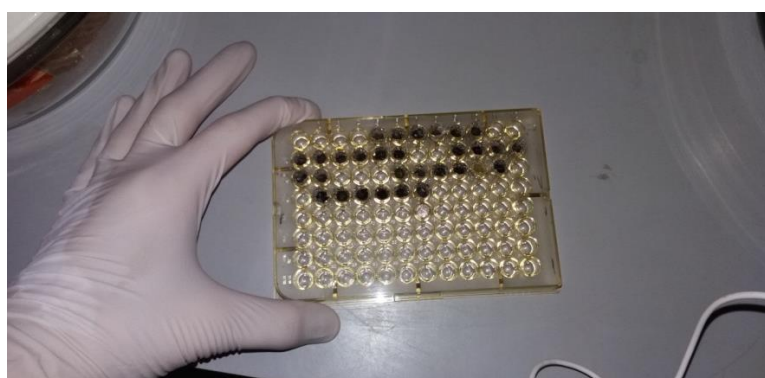


Fig. A7.1. Aranjarea capsulelor de Ag cu probe de sol



Fig. A7.2. Procesul de tratare cu vapori HCl

După fiecare timp de expunere, probele au fost luate din desicator și uscate la 60°C timp de 4 ore. Capsulele de argint au fost reîncapsulate în capsule de staniu (Sn) (5x12 mm), sigilate cu grijă (pentru a preveni scurgerile), comprimate (pentru a îndepărta CO<sub>2</sub> prins) și analizate pentru conținutul de C organic și  $\delta^{13}\text{C}$  de COS folosind spectrometrul de masă cu raportul izotopului în flux continuu Europa 20-20x, după arderea la 1000°C în analizorul CN Europa ANCA-GSL.

## Anexa 8. Determinarea texturii solului prin metoda sedimentării

Din proba de sol (2 mm) uscată, se iau câte 10 g de sol și se trec în sticle de centrifugare (500 ml), cu gât larg, bază plată, din polimer de polipropilenă și stabile termic până la 110°C. În fiecare sticlă se adaugă câte 30 ml apă distilată, se pune pe baia de apă timp de o zi și se adaugă fracționat 30 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pentru distrugerea materiei organice. După îndepărtarea materiei organice, se adaugă apă distilată până la masa totală de 150 g, se închide bine cu capac și se pune în centrifugă pe 10 min la 4000 rotații.



Fig. A8.1. Arderea materiei organice din probele de sol (stânga) și plasarea sticlurilor în centrifugă (dreapta)

După îndepărtarea lichidului, la conținutul de sol rămas se adaugă 25 ml de 0,1 M Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> și se adaugă apă distilată până la masa totală de 200 g. Se sigilează bine cu capac și se pune în dispozitivul de omogenizare timp de 19 ore. După omogenizare, se face sedimentarea umedă. În fiecare colbă (n=12) de 1000 ml se pune o sită de 63μm, în care se toarnă conținutul din sticlă și se spală toate fracțiile de argilă și praf, rămânând doar nisipul, care se pune într-o vesală mică la uscare la 105°C. Frația de nisip este determinată prin cernerea nisipului grosier, mediu și fin.

În cele 12 colbe cu suspensii, se adaugă apă distilată până la 1000 ml fiecare și se pune în baia de apă a aparatului Sedimat. Se cântăresc 4 seturi a câte 12 cești fiecare, iar masa ceștilor goale se introduce în tabela de calcul a programei Microsoft Excel.



Fig. A8.2. Omogenizarea soluției din sticle (stânga) și colbele cu suspensie (stânga)

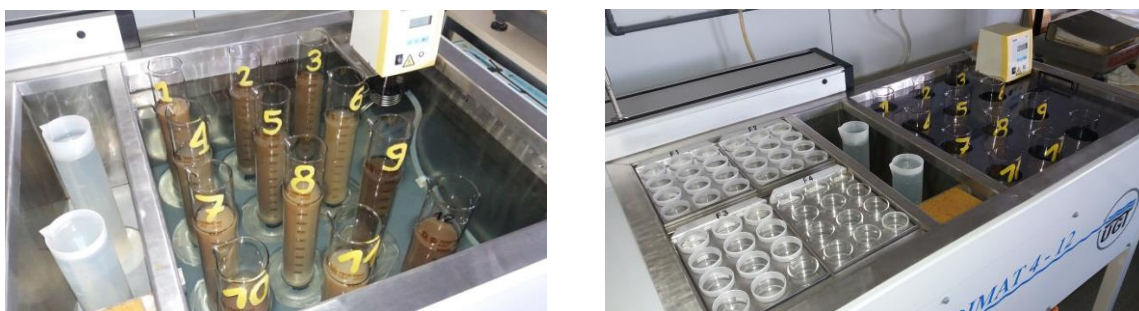


Fig. A8.3. Plasarea colbelor în baia de apă a aparatului (stânga) și ceștilor de fracționare (dreapta)



**Fig. A8.4. Setarea modului de funcționare a aparatului Sedimat 4-12**

Se pornește programul de lucru a Sedimat-4-12. Sedimat-ul determină patru fracții rămase: praf grosier, praf mediu, praf fin și argilă. Datorită dimensiunilor și formelor diferite, particulele individuale de sol au viteze diferite de sedimentare într-o coloană de apă. Prin pipetare, fracțiile sunt separate. Analiza Köhn definește timpul și adâncimea de setare pentru a preleva volumele de probă definite din suspensie.



**Fig. A8.5. Procesul de lucru al aparatului și prelevarea alicotei din suspensie**

Ulterior probele sunt uscate (la 105 °C), răcite în excicator și cântărite. Masa este introdusă în același tabel Excel, iar rezultatul se calculează automat conform formulelor setate. Folosind cele patru fracții determinate prin sedimentare împreună cu fracțiile de nisip este posibilă definirea curbei de distribuție granulometrică, precum și tipul de sol, în baza triunghiului textural.

**Anexa 9. Indicatorii agrochimici și agrofizici ai solurilor cercetate din zona de Nord**

**Tabelul A9.1. Indicatorii fertilității solului cernoziomurilor tipice din zona de Nord [87]**

Raion, profil, cultura	Strat de sol, cm	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> , %	C:N	Dimensiunile fracțiilor (mm); conținutul (%)				
					Argila fizica <0,01	Argila <0,001	Argilă	Praf 0,002- 0,06	Nisip 0.06-2
Sîngerei, Sg-F4a, Grâu de toamnă	0-25	6,3	0,55	11,0	60,93	41,08	45,77	52,08	5,94
	25-50	6,6	-	11,2	63,79	43,27	48,16	51,70	0,83
	50-75	7,1	-	11,3	58,05	38,87	43,37	54,42	2,58
	75-100	7,8	6,15	10,4	57,82	38,70	43,18	53,98	3,79
Sîngerei, Sg-F6a, Floarea- soarelui	0-28	6,4	-	11,0	59,39	39,90	44,49	52,18	3,82
	28-50	6,6	0,35	10,8	58,56	39,27	43,80	51,67	8,73
	50-75	7,8	6,60	9,9	56,57	37,75	42,14	56,10	2,89
	75-100	7,7	13,95	8,5	59,41	39,92	44,51	56,05	0,00
Glodeni, Gl-F4, Grâu de toamnă	0-30	6,2	-	11,1	55,86	37,21	41,55	52,72	8,89
	30-50	6,5	-	11,4	57,14	38,18	42,62	51,82	6,93
	50-75	7,5	0,38	11,4	52,98	35,00	39,15	53,07	7,66
	75-100	8,1	12,70	9,4	54,24	35,97	40,20	52,89	8,05
Rîșcani, Rs-F2, Grâu de toamnă	0-25	6,4	0,64	10,8	58,01	38,84	43,34	51,63	5,34
	25-50	6,7	0,63	11,1	59,38	39,89	44,48	49,88	5,12
	50-75	7,6	2,72	10,3	57,22	38,24	42,68	53,48	2,37
	75-100	8,0	14,51	9,1	57,69	38,60	43,07	48,32	7,39
Rs-F3, Porumb pentru boabe	0-28	6,1	-	11,0	58,96	39,57	44,13	52,07	5,13
	28-50	6,5	0,09	10,9	56,48	37,68	42,07	52,28	3,79
	50-70	7,3	2,30	10,4	54,15	35,90	40,13	55,15	4,09
	70-100	7,9	17,09	8,2	58,55	39,26	43,80	51,42	3,90
Rs-Polig. 32, Întelenit	0-25	6,6	6,17	8,6	59,79	40,20	44,82	43,98	7,68
	25-50	7,0	3,58	9,1	67,90	46,41	51,58	41,03	5,51
	50-75	7,4	4,04	8,4	68,85	47,14	52,38	41,66	3,92
	75-100	7,5	1,77	7,1	68,08	46,54	51,73	42,44	5,33
Drochia, Dr-F4a, Orz de toamnă	0-25	6,8	-	11,4	60,05	40,41	45,04	51,48	3,62
	25-50	6,9	-	11,4	62,19	42,04	46,82	49,42	2,73
	50-75	7,6	2,86	11,1	63,62	43,14	48,02	51,95	0,00
	75-100	7,9	8,66	10,7	62,44	42,24	47,04	52,71	1,10
Drochia, Dr-F5, Floarea- soarelui	0-25	6,3	0,51	10,8	64,39	43,72	48,66	48,97	1,49
	25-50	6,7	1,18	11,1	65,97	44,93	49,98	46,74	1,64
	50-75	7,2	1,15	10,8	66,69	45,48	50,58	47,88	0,00
	75-100	7,7	4,11	9,6	64,27	43,63	48,56	50,69	2,84
Edineț, Ed-F2, Soia	0-28	6,2	1,45	10,6	59,46	39,96	44,55	51,65	6,05
	28-50	6,2	-	10,6	61,30	41,36	46,08	50,92	1,27
	50-72	6,8	2,45	10,5	59,71	40,14	44,75	50,54	3,03
	72-100	7,4	5,49	8,0	60,65	40,87	45,55	52,51	1,12
Edineț, Ed-F3, Grâu de toamnă	0-28	5,9	-	11,4	59,06	39,65	44,22	51,09	2,38
	28-55	6,1	-	11,7	58,15	38,95	43,46	53,39	0,00
	55-72	6,8	-	11,7	56,42	37,63	42,01	53,59	2,30
	72-100	7,3	2,57	10,6	56,97	38,05	42,48	55,10	0,37

Tabelul A9.1. Continuare [87]

Raion, profil, cultura	Strat de sol, cm	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> , %	C:N	Dimensiunile fracțiilor (mm); conținutul (%)				
					Argila fizica <0,01	Argila <0,001	Argilă <0,002	Praf 0,002- 0,06	Nisip 0.06-2
Briceni, Br-F1, Soia	0-25	5,9	-	10,8	55,84	37,18	41,53	53,57	5,96
	25-50	6,2	-	11,3	53,80	35,63	39,83	52,33	5,82
	50-75	7,2	1,31	11,0	52,19	34,39	38,49	54,56	5,70
	75-100	7,8	5,67	10,2	50,77	33,31	37,31	55,57	7,74
Ocnița, Oc-F1, Grâu de toamnă	0-25	6,0	-	10,8	59,21	39,76	44,34	52,45	1,06
	25-50	6,4	-	11,1	57,01	38,08	42,51	51,53	3,81
	50-75	7,3	-	11,1	54,40	36,08	40,33	54,92	2,98
	75-100	7,9	7,37	10,3	54,91	36,48	40,76	53,79	4,77
Dondușeni Dn-F2, Floarea- soarelui	0-25	6,1	-	11,4	57,04	38,10	42,53	52,42	3,97
	25-50	6,6	-	11,8	54,33	36,03	40,27	53,89	3,13
	50-75	7,5	2,30	11,3	52,63	34,73	38,86	54,66	5,70
	75-100	7,5	11,37	10,0	56,49	37,68	42,08	51,50	5,28
Dondușeni Dn-F6, Sfecla de zahăr	0-25	6,0	-	10,2	53,40	35,32	39,50	51,82	8,11
	25-50	6,2	-	11,2	51,10	33,56	37,58	49,86	8,62
	50-75	7,0	0,14	11,2	48,51	31,58	35,42	51,05	10,69
	75-100	7,6	10,42	9,4	45,92	29,60	33,27	51,04	15,54
Florești, Fl-F1, Mazăre	0-25	6,7	-	11,7	58,82	39,46	44,01	50,59	4,40
	25-50	6,9	-	11,6	61,16	41,26	45,97	49,90	4,56
	50-75	7,6	7,82	10,4	62,90	42,59	47,42	51,65	1,40
	75-100	8,1	18,00	9,4	60,46	40,72	45,38	50,18	6,22
Soroca, So-F1, Sfecla de zahăr	0-25	7,1	-	11,2	58,77	39,42	43,97	52,55	4,51
	25-50	7,2	0,78	11,2	61,51	41,52	46,26	52,28	1,06
	50-75	7,8	8,65	10,8	58,36	39,12	43,64	54,28	2,52
	75-100	7,9	14,38	9,8	59,03	39,62	44,19	54,35	2,71
Soroca, So-F2b, Floarea- soarelui	0-25	6,4	0,52	10,9	56,91	38,00	42,42	51,96	5,78
	25-50	6,7	-	11,7	59,64	40,09	44,70	50,46	3,04
	50-75	7,5	3,97	11,1	58,81	39,46	44,01	53,17	1,55
	75-100	7,8	10,44	10,5	60,24	40,55	45,20	54,51	0,10

**Tabelul A9.2. Indicatorii fertilității solului cernoziomurilor obișnuite din zona de Nord**

Raion, profil, cultura	Stratul de sol, cm	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> , %	C:N	Dimensiunile fracțiilor (mm); conținutul (%)				
					Argila fizica <0,01	Argila <0,001	Argilă <0,002	Praf 0,002- 0,06	Nisip 0.06-2
Sîngerei, Sg-F4b, Grâu de toamnă	0-25	6,3	-	11,3	62,30	42,13	46,92	51,48	3,60
	25-50	6,2	-	11,4	62,42	42,22	47,02	50,64	2,52
	50-75	6,9	2,02	10,1	60,86	41,02	45,71	53,71	0,00
	75-100	7,5	5,02	8,8	60,64	40,86	45,54	55,46	0,00
Sîngerei Sg-F5b, Floarea- soarelui	0-25	6,0	-	10,8	59,44	39,94	44,53	51,51	5,62
	25-50	5,9	-	11,4	62,80	42,51	47,34	50,38	3,16
	50-75	6,6	-	11,5	59,94	40,32	44,95	52,36	1,15
	75-100	7,1	1,80	9,7	59,77	40,19	44,81	56,01	0,00
Sîngerei, Sg-F6b, Floarea- soarelui	0-25	5,9	-	11,1	53,76	35,60	39,80	52,62	9,77
	25-50	6,0	-	11,6	59,14	39,71	44,28	50,29	6,83
	50-75	6,4	-	11,7	58,39	39,14	43,66	51,95	2,16
	75-100	6,5	0,23	10,9	58,80	39,45	44,00	54,68	0,85
Glodeni, GI-F2, Floarea- soarelui	0-25	6,2	-	11,2	57,94	38,79	43,28	52,50	7,43
	25-50	6,6	-	11,3	55,55	36,97	41,29	51,61	9,38
	50-75	7,4	0,91	10,5	53,79	35,62	39,82	55,05	5,74
	75-100	7,8	9,63	9,8	54,19	35,92	40,16	52,85	6,84
Rîșcani Rs-F1, Grâu de toamnă	0-25	6,5	0,21	11,1	60,48	40,73	45,40	51,31	4,10
	25-50	6,8	0,84	11,4	63,31	42,89	47,76	49,65	3,14
	50-75	7,2	0,00	11,5	62,52	42,30	47,10	50,60	0,00
	75-100	7,5	1,73	10,4	60,09	40,44	45,07	53,00	2,05
Drochia Dr-F3b, Grâu de toamnă	0-28	6,3	-	11,5	57,22	38,24	42,68	50,34	5,77
	28-50	6,9	-	11,1	59,56	40,03	44,63	52,27	3,40
	50-70	7,7	4,06	11,1	57,12	38,16	42,60	54,03	3,25
	70-100	7,7	10,76	10,1	57,99	38,83	43,32	53,41	2,92
Drochia Dr-F4c, Orz de toamnă	0-25	7,4	1,65	11,0	58,42	39,16	43,69	51,30	7,15
	25-50	7,4	2,83	11,2	62,16	42,02	46,80	50,36	3,24
	50-75	7,8	7,56	10,6	62,42	42,22	47,01	51,68	0,01
	75-100	8,0	12,40	9,4	62,15	42,01	46,79	52,82	1,79
Edineț, Ed-F1, Porumb pentru boabe	0-28	6,3	-	11,0	59,35	39,87	44,46	51,40	5,71
	28-50	6,6	-	11,2	59,47	39,96	44,56	52,43	1,97
	50-72	7,6	0,96	11,5	56,22	37,48	41,85	53,69	5,18
	72-100	8,0	11,03	10,1	58,29	39,06	43,57	52,69	4,97
Florești, FI-F2, Grâu de toamnă	0-25	6,9	-	11,7	61,82	41,76	46,52	47,74	7,60
	25-50	6,9	0,33	11,5	67,47	46,08	51,23	45,41	4,14
	50-75	7,3	7,28	11,2	64,68	43,95	48,90	45,50	5,63
	75-100	7,6	16,94	9,8	55,08	36,60	40,90	44,58	17,17
Soroca, So-F2a, Floarea- soarelui	0-25	7,3	1,60	11,0	57,00	38,07	42,50	53,31	6,97
	25-50	7,3	3,93	11,2	59,32	39,85	44,43	50,99	4,70
	50-75	7,6	7,26	11,0	58,69	39,36	43,91	52,77	2,59
	75-100	7,9	12,19	10,3	57,67	38,59	43,06	55,32	2,09

**Tabelul A9.3. Indicatorii fertilității solului cernoziomurilor argiloiluviale din zona de Nord**

Raion, profil, cultura	Strat de sol, cm	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> , %	C:N	Dimensiunile fracțiilor (mm); conținutul (%)				
					Argila fizica <0,01	Argila <0,001	Argilă <0,002	Praf 0,002-0,06	Nisip 0.06-2
Rișcani Rs-F5, Porumb pentru boabe	0-28	5,98	1,92	10,4	61,1	41,2	45,9	51,2	7,2
	28-50	5,93	1,06	10,3	63,4	43,0	47,8	49,6	4,0
	50-65	6,30	1,67	9,8	63,2	42,8	47,6	49,2	0,8
	65-100	6,66	2,04	9,2	62,3	42,1	46,9	49,8	2,8
Drochia Dr-F2, Floarea- soarelui	0-25	6,51	1,51	10,6	61,7	41,7	46,4	49,5	2,5
	25-50	6,94	1,61	11,0	63,5	43,0	47,9	45,8	2,2
	50-75	7,88	3,34	10,7	60,9	41,1	45,7	48,1	2,8
	75-100	8,24	17,85	7,6	63,7	43,2	48,1	40,3	7,6
Edineț Ed-F6a, Orz de toamnă	0-28	5,53	-	10,3	56,1	37,4	41,8	51,2	6,5
	28-50	5,39	-	10,3	57,9	38,8	43,3	49,8	6,9
	50-72	6,11	-	9,9	58,6	39,3	43,8	47,3	7,8
	72-100	6,41	-	10,1	61,4	41,4	46,2	42,5	18,9
Briceni Br-F4b, Grâu de toamnă	0-25	5,62	-	9,8	55,1	36,6	40,9	53,5	5,4
	25-50	5,91	-	11,1	56,8	38,0	42,4	50,1	4,1
	50-75	6,50	0,21	11,5	54,0	35,8	40,0	51,6	4,7
	75-100	7,05	1,86	10,8	54,4	36,1	40,4	54,3	4,3
Dondușeni Dn-F4, Soia	0-25	6,05	-	10,8	60,3	40,6	45,2	51,4	2,9
	25-50	6,02	-	10,9	66,1	45,0	50,1	48,2	0,0
	50-75	6,71	-	11,2	64,3	43,6	48,6	48,8	0,0
	75-100	7,25	0,57	10,5	61,8	41,7	46,5	50,9	4,6
Dondușeni Dn-F5, Floarea- soarelui	0-25	6,14	2,39	9,7	64,9	44,1	49,1	50,0	0,0
	25-50	6,38	3,14	9,8	67,3	46,0	51,1	47,1	0,0
	50-75	7,18	2,87	9,4	63,2	42,8	47,7	50,1	0,0
	75-100	7,65	6,19	7,5	62,5	42,3	47,1	50,8	4,0
Florești Fl-F5a, Porumb pentru boabe	0-25	5,90	-	10,9	60,5	40,7	45,4	51,9	0,6
	25-50	5,85	-	11,6	61,7	41,7	46,5	50,2	0,0
	50-75	6,56	-	11,8	60,4	40,7	45,4	52,1	0,0
	75-100	7,14	1,60	11,1	59,5	40,0	44,6	54,0	1,6
Soroca So-F6, Grâu de toamnă	0-25	5,79	-	11,0	60,8	41,0	45,7	50,2	1,0
	25-50	5,96	-	11,9	62,3	42,1	46,9	48,6	0,0
	50-75	6,53	-	12,0	62,5	42,3	47,1	48,1	2,4
	75-100	6,90	-	12,0	60,9	41,1	45,8	48,4	7,6

**Tabelul A9.4. Indicatorii fertilității cernoziomurilor levigate arabile din zona de Nord**

Raion, profil, cultura	Strat de sol, cm	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> , %	C:N	Dimensiunile fracțiilor (mm); conținutul (%)				
					Argila fizica <0,01	Argila <0,001	Argilă <0,002	Praf 0,002-0,06	Nisip 0.06-2
Glodeni Gl-F1, Floarea- soarelui	0-28	6,3	-	10,8	58,3	39,1	43,6	53,9	9,9
	28-50	6,8	-	10,5	60,2	40,5	45,2	54,9	7,0
	50-70	7,8	6,73	10,3	57,6	38,5	43,0	54,4	5,3
	70-100	7,7	16,38	7,9	57,8	38,7	43,2	53,5	5,5
Rișcani Rs-F4, Porumb pentru boabe	0-24	6,1	-	10,8	57,9	38,7	43,2	53,2	5,6
	24-38	5,9	0,83	10,7	63,0	42,6	47,5	51,5	3,1
	38-60	6,6	-	10,7	57,9	38,8	43,3	52,7	0,5
	60-100	7,1	1,80	10,4	57,2	38,3	42,7	52,8	4,7
Drochia Dr-F1, Grâu de toamnă	0-28	6,5	0,20	11,2	59,5	40,0	44,6	50,9	5,1
	28-50	6,9	0,36	10,9	60,5	40,7	45,4	52,4	2,7
	50-70	7,7	3,46	10,5	59,3	39,8	44,4	54,4	0,0
	70-100	7,6	12,58	9,2	60,8	41,0	45,7	53,2	0,5



Tabelul A9.4. Continuare

Raion, profil, cultura	Strat de sol, cm	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> , %	C:N	Dimensiunile fracțiilor (mm); conținutul (%)				
					Argila fizica <0,01	Argila <0,001	Argilă <0,002	Praf 0,002- 0,06	Nisip 0,06-2
Drochia Dr-F6, Grâu de toamnă	0-25	6,0	-	11,0	56,5	37,7	42,1	51,0	6,8
	25-50	6,2	-	11,4	58,9	39,5	44,0	48,7	3,9
	50-75	6,9	-	11,8	58,7	39,4	43,9	50,7	0,8
	75-100	7,4	0,53	11,5	56,5	37,7	42,1	52,9	4,4
Edineț Ed-F4, Grâu de toamnă	0-28	6,0	-	11,2	58,1	38,9	43,4	52,5	4,7
	28-50	6,6	-	11,4	56,8	37,9	42,3	53,0	2,3
	50-70	7,7	5,52	10,0	56,9	38,0	42,5	54,3	3,1
	70-100	7,7	14,91	8,3	60,1	40,4	45,1	51,4	3,4
Edineț Ed-F5a, Sfecla de zahăr	0-28	6,0	-	11,5	57,5	38,5	43,0	51,2	3,1
	28-50	6,6	-	11,7	56,2	37,5	41,9	52,3	4,0
	50-70	7,6	4,41	11,5	56,3	37,6	42,0	52,5	6,8
	70-100	7,4	16,32	9,2	60,8	41,0	45,7	48,3	7,7
Edineț Ed-F5b, Sfecla de zahăr	0-28	5,7	-	11,4	53,4	35,3	39,5	52,6	6,7
	28-50	5,8	-	11,4	57,0	38,0	42,5	52,4	2,1
	50-70	6,6	0,11	11,5	55,1	36,6	40,9	53,3	2,2
	70-100	7,1	1,20	11,5	53,9	35,7	39,9	52,5	5,7
Briceni Br-F4a, Grâu de toamnă	0-25	5,5	-	10,6	55,7	37,1	41,5	52,1	4,9
	25-50	5,7	-	11,2	54,9	36,4	40,7	50,3	4,4
	50-75	6,3	0,19	11,4	54,0	35,8	40,0	51,4	5,3
	75-100	6,9	1,45	10,8	52,7	34,8	39,0	54,1	5,0
Ocnița Oc-F2, Grâu de toamnă	0-28	6,2	-	10,9	54,1	35,9	40,1	54,4	5,4
	28-50	6,8	-	12,1	51,4	33,8	37,8	55,0	7,2
	50-75	7,6	0,88	11,8	52,1	34,3	38,4	56,3	4,9
	75-100	7,9	11,03	10,6	50,6	33,2	37,2	54,8	9,2
Dondușeni Dn-F1, Floarea- soarelui	0-25	6,1	-	11,2	57,2	38,2	42,6	50,4	6,7
	25-50	6,5	-	11,9	56,8	37,9	42,3	51,5	4,2
	50-75	7,5	0,17	11,5	54,6	36,3	40,5	55,8	3,9
	75-100	7,8	13,33	9,5	53,7	35,6	39,8	54,0	5,3
Dondușeni Dn-F3, Grâu de toamnă	0-25	5,9	-	11,0	57,4	38,4	42,8	50,4	5,3
	25-50	5,9	-	11,8	59,0	39,6	44,1	49,8	1,1
	50-75	6,7	-	12,1	55,0	36,6	40,9	52,1	2,9
	75-100	7,2	1,40	11,2	56,1	37,4	41,8	51,1	4,0
Florești Fl-F4d, Grâu de toamnă	0-36	6,3	-	11,5	62,8	42,5	47,4	50,3	0,0
	36-50	6,7	-	11,5	59,7	40,1	44,8	49,9	3,2
	50-75	7,4	1,23	11,1	58,1	38,9	43,4	53,9	0,0
	75-100	7,7	15,20	9,5	60,7	40,9	45,6	52,3	2,2
Florești Fl-F5b, Porumb pentru boabe	0-25	5,6	-	11,2	57,4	38,4	42,8	50,2	3,4
	25-50	6,4	-	12,1	56,4	37,6	42,0	50,9	5,5
	50-75	6,9	-	12,2	56,9	38,0	42,4	53,8	1,0
	75-100	7,5	3,96	11,1	57,3	38,3	42,8	53,5	6,5
Soroca So-F3, Sfecla de zahăr	0-25	6,2	0,23	11,1	60,1	40,4	45,1	50,8	3,8
	25-50	6,6	-	11,5	60,6	40,8	45,5	49,6	2,8
	50-75	7,8	4,69	11,2	59,3	39,8	44,4	52,3	2,9
	75-100	8,2	15,04	9,9	59,6	40,1	44,7	50,3	5,8
Soroca So-F5, Soia	0-25	5,8	-	11,2	58,1	38,9	43,5	52,0	2,3
	25-50	5,8	-	11,4	62,9	42,6	47,4	49,1	0,0
	50-75	6,6	-	12,0	60,1	40,5	45,1	51,1	0,0
	75-100	6,9	-	12,0	58,8	39,4	44,0	53,3	0,0

**Tabelul A9.5. Indicatorii fertilității cernoziomurilor carbonatice din zona de Nord**

Raion, profil, cultura	Strat de sol, cm	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> , %	C:N	Dimensiunile fracțiunilor (mm); conținutul (%)				
					Argila fizica <0,01	Argila <0,001	Argilă <0,002	Praf 0,002-0,06	Nisip 0,06-2
Sîngerei Sg-F3b, Floarea-soarelui	0-24	6,9	0,64	10,8	57,4	38,4	42,9	49,1	10,9
	24-38	7,1	0,86	11,0	58,6	39,3	43,8	46,6	11,0
	38-50	7,4	1,70	10,5	56,5	37,7	42,1	48,2	12,1
	50-70	8,0	5,22	9,4	55,4	36,8	41,1	50,0	9,0
	70-100	8,1	19,08	6,7	54,6	36,2	40,5	46,0	13,0
Glodeni, GI-F3, Grâu de toamnă	0-28	6,7	-	11,4	58,9	39,5	44,1	50,3	7,0
	28-50	7,2	0,19	11,3	57,5	38,4	42,9	50,0	8,1
	50-70	8,0	4,01	10,6	54,3	36,0	40,2	52,1	8,5
	70-100	7,9	17,84	8,4	58,8	39,4	44,0	50,1	6,1
Glodeni GI-F6, Porumb pentru boabe	0-25	6,2	-	10,3	41,6	26,3	29,7	53,0	25,2
	25-50	6,6	-	11,1	38,5	23,9	27,1	49,9	30,7
	50-75	7,6	2,91	10,2	40,3	25,3	28,6	51,6	26,2
	75-100	7,8	8,46	9,1	39,8	24,9	28,1	51,5	27,5
Drochia Dr-F3a, Grâu de toamnă	0-28	7,3	0,35	11,6	53,1	35,1	39,2	52,1	12,9
	28-50	7,5	7,48	10,7	56,1	37,4	41,8	51,9	7,8
	50-70	7,9	11,62	10,2	54,9	36,5	40,7	53,1	6,9
	70-100	8,0	18,32	8,4	54,4	36,1	40,4	52,3	6,7
Drochia Dr-F4b, Orz de toamnă	0-25	7,1	0,07	11,3	59,4	39,9	44,5	51,8	3,9
	25-50	7,3	3,41	11,1	62,9	42,6	47,4	50,3	1,8
	50-75	7,5	5,49	10,9	63,1	42,7	47,6	51,2	0,0
	75-100	7,8	9,93	10,2	62,6	42,3	47,2	52,9	0,4
Florești FI-F3, Porumb pentru boabe	0-25	7,1	-	11,7	59,5	40,0	44,6	51,2	8,8
	25-50	7,4	4,41	11,3	63,2	42,8	47,6	49,7	6,5
	50-75	8,1	15,43	10,4	62,5	42,3	47,1	49,2	7,3
	75-100	8,3	17,11	10,2	60,2	40,5	45,2	50,9	7,9
Soroca So-F4, Floarea-soarelui	0-25	6,8	1,09	10,8	58,9	39,5	44,1	50,7	5,6
	25-50	6,9	0,32	11,5	60,2	40,5	45,2	49,7	3,8
	50-75	7,5	4,90	11,1	60,8	41,0	45,7	52,2	2,3
	75-100	7,8	8,96	10,8	58,3	39,1	43,6	53,7	3,9

**Tabelul A9.6. Indicatorii fertilității solurilor cenușii tipice din zona de Nord**

Raion, profil, cultura	Strat de sol, cm	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> , %	C:N	Dimensiunile fracțiilor (mm); conținutul (%)				
					Argila fizica <0,01	Argila <0,001	Argilă <0,002	Praf 0,002-0,06	Nisip 0,06-2
Rîșcani Rs-F6 Soia	0-25	5,8	2,12	9,4	58,7	39,4	43,9	50,3	9,1
	25-50	6,2	1,42	8,7	66,1	45,0	50,1	44,7	5,4
	50-75	6,7	3,36	8,5	71,2	48,9	54,3	43,8	1,8
	75-100	7,3	10,04	6,4	66,5	45,3	50,4	47,7	4,6
Rîșcani Rs-F6a Pădure	0-25	5,7	3,25	9,8	55,2	36,7	41,0	51,1	11,5
	25-50	5,7	1,81	9,6	63,7	43,2	48,1	48,1	7,4
	50-75	6,5	2,02	9,3	67,5	46,1	51,3	43,7	6,1
	75-100	7,6	8,57	6,7	66,4	45,3	50,4	47,2	4,3
Briceni Br-F3 Orz de toamnă	0-25	5,8	0,08	9,9	53,0	35,0	39,2	55,2	3,4
	25-50	5,8	0,00	10,0	55,1	36,6	40,9	52,1	4,0
	50-75	6,5	0,43	11,0	55,1	36,6	40,9	53,2	2,2
	75-100	6,8	0,54	10,6	52,8	34,9	39,0	54,9	2,6

**Tabelul A9.7. Indicatorii fertilității solurilor cenușii molice din zona de Nord**

Raion, profil, cultura	Strat de sol, cm	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> , %	C:N	Dimensiunile fracțiilor (mm); conținutul (%)				
					Argila fizica <0,01	Argila <0,001	Argilă <0,002	Praf 0,002- 0,06	Nisip 0.06-2
Sîngerei Sg-F2a Grâu de toamnă	0-25	6,0	0,86	9,5	59,8	40,2	44,8	54,8	1,2
	25-35	5,8	0,31	9,7	60,2	40,5	45,1	53,8	2,3
	35-50	5,5	0,77	8,2	62,8	42,5	47,3	47,0	5,7
	50-75	6,3	1,34	7,5	65,9	44,9	49,9	48,6	2,1
	75-100	6,0	0,38	7,3	66,2	45,1	50,1	44,9	5,8
Glodeni Gl-F5 Grâu de toamnă	0-28	6,2	-	11,2	58,7	39,4	43,9	52,7	5,9
	28-50	6,6	-	11,4	55,7	37,1	41,4	52,0	6,5
	50-70	7,3	0,29	11,4	54,2	35,9	40,2	51,9	6,7
	70-100	8,0	5,43	10,5	53,5	35,4	39,6	54,3	7,8
Glodeni Gl-F5a Pădure	0-28	6,2	1,41	10,4	54,2	35,9	40,1	50,4	9,2
	28-50	6,5	-	11,1	61,0	41,1	45,8	48,9	5,4
	50-70	6,9	0,86	11,0	60,1	40,5	45,1	49,9	2,3
	70-100	7,5	1,52	11,5	55,4	36,9	41,2	52,0	7,1
Edineț Ed-F6b Orz de toamnă	0-28	6,3	-	10,6	53,8	35,6	39,8	53,2	6,0
	28-50	6,9	-	10,9	54,5	36,1	40,4	54,7	3,9
	50-72	7,8	2,65	12,3	48,1	31,2	35,1	55,5	7,2
	72-100	7,7	19,52	7,6	43,3	27,6	31,1	49,8	15,9
Edineț Ed-F6c Orz de toamnă	0-28	5,8	-	10,4	55,5	36,9	41,3	53,1	4,3
	28-50	6,1	-	10,8	54,2	35,9	40,2	50,9	6,5
	50-72	6,8	0,84	11,0	51,8	34,1	38,2	52,7	5,9
	72-100	7,4	1,00	11,3	47,5	30,8	34,6	52,0	13,4
Briceni Br-F2 Grâu de toamnă	0-25	5,8	0,61	10,3	53,7	35,6	39,8	53,8	5,5
	25-50	5,8	-	10,3	56,7	37,9	42,3	53,5	2,8
	50-75	6,6	0,41	11,1	55,6	37,0	41,3	53,0	1,7
	75-100	7,4	3,01	10,6	52,3	34,5	38,6	55,7	4,3
Briceni Br-F2a Pădure	0-25	6,0	4,07	8,9	53,5	35,4	39,6	50,5	7,4
	25-50	6,3	1,56	9,3	58,3	39,0	43,6	49,3	5,3
	50-75	6,9	1,32	9,3	57,0	38,0	42,5	51,3	3,7
	75-100	7,5	0,59	7,5	52,6	34,7	38,8	50,8	14,4
Ocnîța Oc-F3 Floarea- soarelui	0-25	5,7	1,68	9,2	51,9	34,2	38,3	55,8	2,7
	25-50	6,0	0,53	9,4	54,1	35,9	40,1	53,1	3,7
	50-75	6,5	0,50	9,8	57,3	38,3	42,8	52,0	3,1
	75-100	7,0	3,27	9,0	54,2	36,0	40,2	49,3	13,1
Dondușeni Dn-F7 Orz de toamnă	0-25	5,8	1,60	9,5	58,6	39,3	43,8	52,4	1,4
	25-50	5,8	0,82	9,1	61,1	41,2	45,9	49,0	4,4
	50-75	6,6	1,37	8,5	64,3	43,6	48,5	48,6	0,5
	75-100	7,1	7,17	7,3	64,0	43,4	48,3	49,7	4,7
Florești Fl-F6 Grâu de toamnă	0-25	6,8	0,07	12,0	67,2	45,9	51,0	45,0	1,8
	25-50	7,5	-	11,7	70,6	48,5	53,8	44,3	3,3
	50-75	8,0	8,05	10,4	72,6	50,0	55,5	41,8	2,8
	75-100	8,4	14,98	9,7	71,4	49,1	54,5	35,8	11,4

**Anexa 10. Profilele de sol a cernoziomurilor tipice cercetate și pozițiile de prelevare**

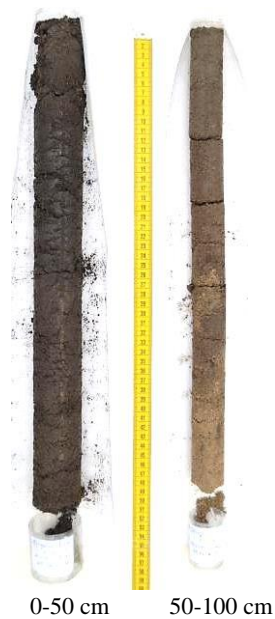


Fig. A10.1. Profil Sg-F4a, câmp nr.4, grâu de toamnă (r. Sîngerei)



Fig. A10.2. Profil G1-F4, câmpul nr.4, grâu de toamnă (r. Glodeni)



Fig. A10.3. Profil Sg-F6a, Floarea-soarelui (r. Sîngerei)



Fig. A10.4. Profil Br-F1, soia (r. Briceni)



Fig. A10. 5. Profil So-F1, sfecla de zahăr (r. Soroca)

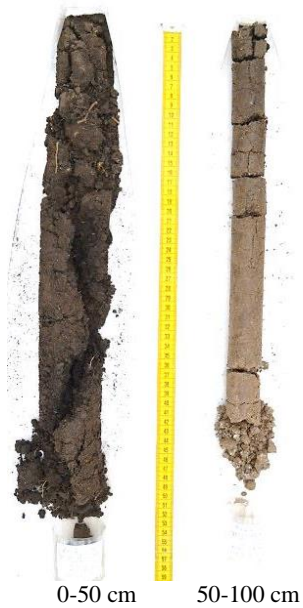


Fig. A10.6. Profil Dr-F4a, câmp nr.4, orz de toamnă (r. Drochia)

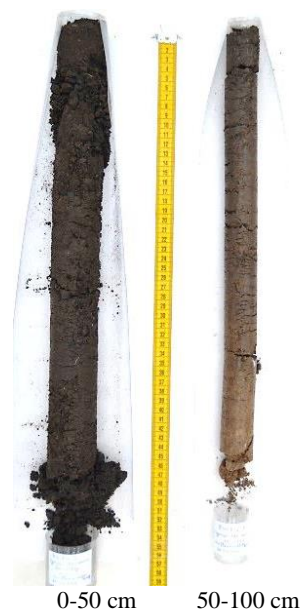


Fig. A10.7. Profil Dr-F5, câmp nr.5, floarea-soarelui (r. Drochia)

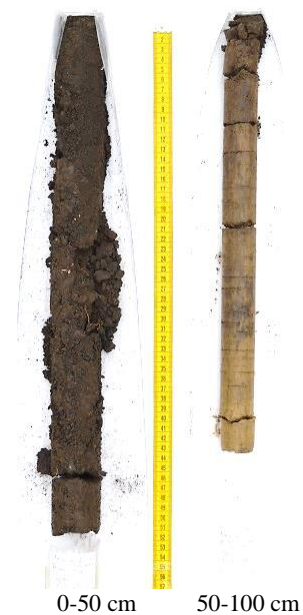


Fig. A10.8. Profil Ed-F2, câmp nr.2, soia (r. Edineț)



Fig. A10.9. Profil Ed-F3, câmp nr.3, grâu de toamnă (r. Edineț)



Fig. A10.10. Profil Oc-F1, câmp nr.1, grâu de toamnă (r. Ocnița)

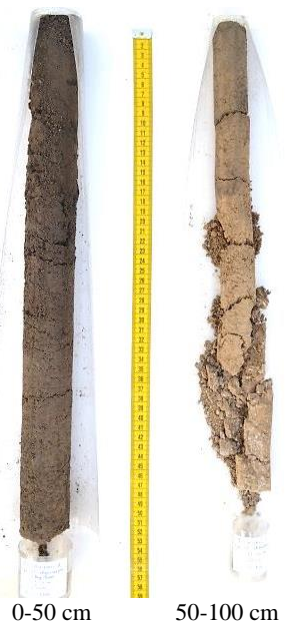


Fig. A10.11. Profil Dn-F2, câmp nr.2, floarea-soarelui (r. Dondușeni)



Fig. A10.12. Profil Dn-F6, câmp nr.6, sfecla de zahăr (r. Dondușeni)

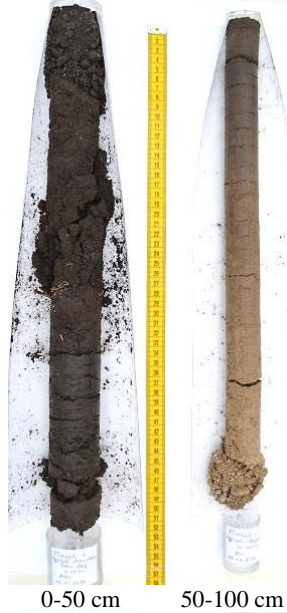


Fig. A10.13. Profil Fl-F1, câmp nr.1, mazăre (r. Florești)



Fig. A10.14. Profil So-F2b, câmp nr.2, floarea-soarelui (r. Soroca)

## Anexa 11. Profilele de sol a cernoziomurilor obișnuite cercetate și pozițiile de prelevare

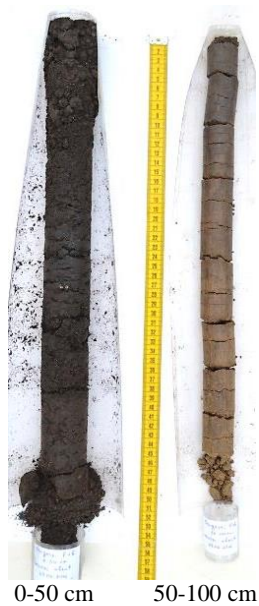


Fig. A11.1. Profil Sg-F4b, câmp nr.4, grâu de toamnă (r. Sîngerei)

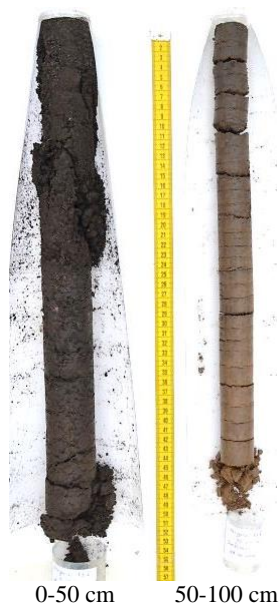


Fig. A11.2. Profil Sg-F5b, floarea-soarelui (r. Sîngerei)



Fig. A11.3. Profil Sg-F6b, floarea-soarelui (r. Sîngerei)



Fig. A11.4. Profil GI-F2, câmp nr.2, floarea-soarelui (r. Glodeni)





Fig. A11.5. Profil Rs-F1, câmp nr.1, grâu de toamnă (r. Rîșcani)



Fig. A11.6. Profil Dr-F4c, câmp nr.4, orz de toamnă (r. Drochia)



Fig. A11.7. Profil Ed-F1, câmp nr.1, porumb pentru boabe (r. Edineț)

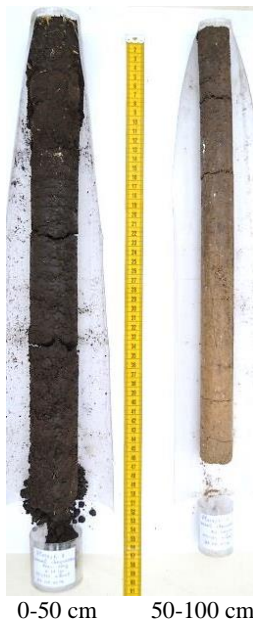


Fig. A11.8. Profil FI-F2, câmp nr. 2, grâu de toamnă (r. Florești)

## Anexa 12. Profilele de sol a cernoziomurilor argiloiluviale și pozițiile de prelevare



Fig. A12.1. Profil Rs-F5, câmp nr.5, porumb pentru boabe (r. Rîșcani)



Fig. A12.2. Profil Dr-F2, câmp nr.2, floarea-soarelui (r. Drochia)



Fig. A12.3. Profil Ed-F6a, câmp nr.6, orz de toamnă (r. Edinet)



Fig. A12.4. Profil Br-F4b, câmp nr.4, grâu de toamnă (r. Briceni)

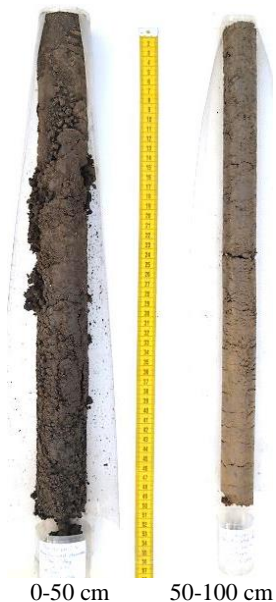


Fig. A12.5. Profil Dn-F4, câmp nr.4, soia (r. Dondușeni)

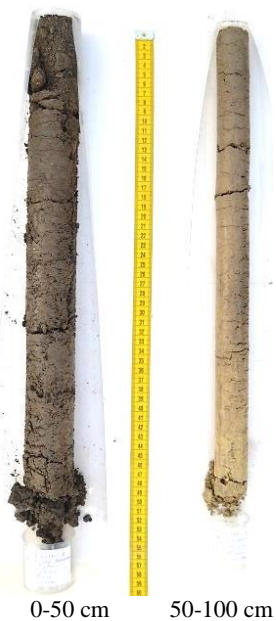


Fig. A12.6. Profil Dn-F5, câmp nr.5, floarea-soarelui (r. Dondușeni)



Fig. A12.7. Profil F1-F5a, câmp nr.5, porumb pentru boabe (r. Florești)



Fig. A12.8. Profil So-F6, câmp nr.6, grâu de toamnă (r. Soroca)

**Anexa 13. Profilele de sol a cernoziomurilor levigate cercetate și pozițiile de prelevare**



Fig. A13.1. Profil GI-F1, câmp nr.1, floarea-soarelui (r. Glodeni)



Fig. A13.2. Profil Rs-F4, câmp nr.4, porumb pentru boabe (r. Rîșcani)

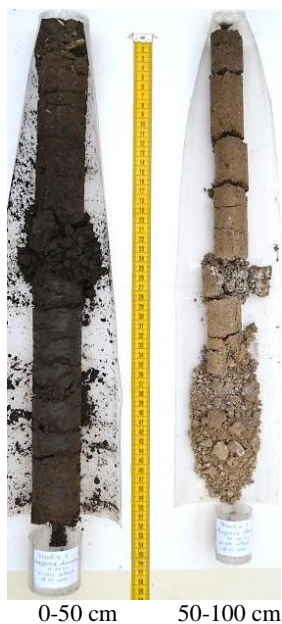


Fig. A13.3. Profil Dr-F1, câmp nr.1, grâu de toamnă (r. Drochia)



Fig. A13.4. Profil Dr-F6, câmp nr.6, grâu de toamnă (r. Drochia)

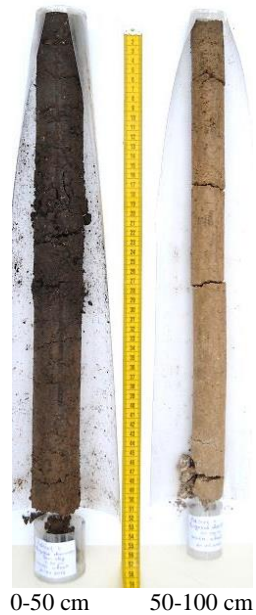


Fig. A13.5. Profil Ed-F4, câmp nr.4, grâu de toamnă (r. Edineț)



Fig. A13.6. Profil Br-F4a, câmp nr.4, grâu de toamnă (r. Briceni)



Fig. A13.7. Profil Ed-F5a, câmp nr.5, sfecla de zahăr (r. Edineț)



Fig. A13.8. Profil Ed-F5b (erodat), câmp nr.5, sfecla de zahăr (r. Edineț)

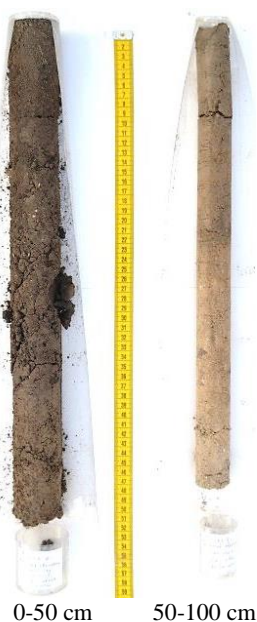


Fig. A13.9. Profil Oc-F2, câmp nr.2, grâu de toamnă (r. Ocnița)



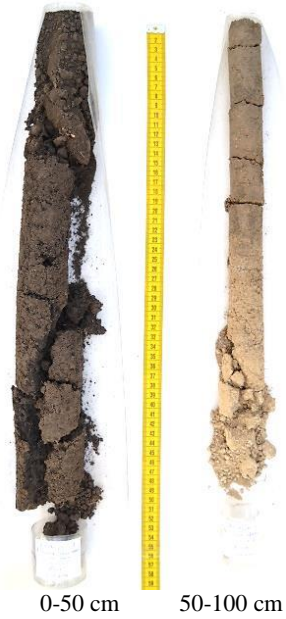


Fig. A13.10. Profil Dn-F1, câmp nr.1, floarea-soarelui (r. Dondușeni)



Fig. A13.11. Profil Dn-F3, câmp nr.3, grâu de toamnă (r. Dondușeni)

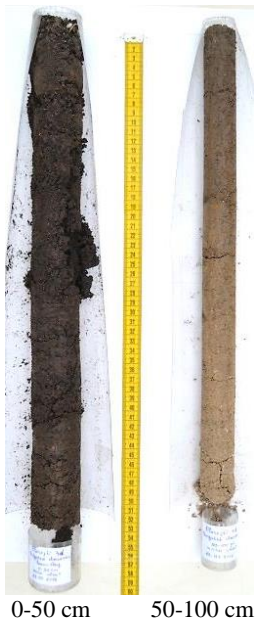


Fig. A13.12. Profil F1-F4d, câmp nr.4, grâu de toamnă (r. Florești)



Fig. A13.13. Profil Fl-F5b, câmp nr.5, porumb pentru boabe (r. Florești)



Fig. A13.14. Profil So-F3, câmp nr.3, sfecla de zahăr (r. Soroca)



Fig. A13.15. Profil So-F5, câmp nr.5, soia (r. Soroca)

## Anexa 14. Profilele de sol a cernoziomurilor carbonatice cercetate și pozițiile de prelevare

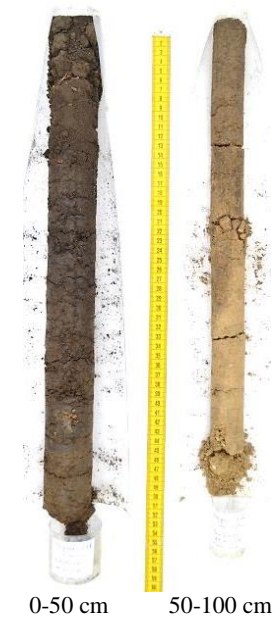


Fig. A14.1. Profil Sg-F3b, câmp nr.3, floarea-soarelui (r. Sîngerei)



Fig. A14.2. Profil Gl-F3, câmp nr.3, grâu de toamnă (r. Glodeni)

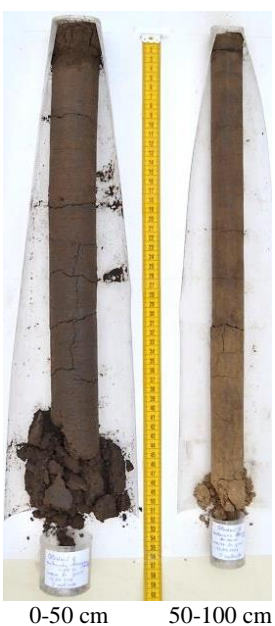


Fig. A14.3. Profil Gl-F6, câmp nr.6, porumb pentru boabe (r. Glodeni)



Fig. A14.4. Profil Dr-F3a, câmp nr.3, grâu de toamnă (r. Drochia)



Fig. A14.5. Profil Dr-F4b, câmp nr.4, orz de toamnă (r. Drochia)



Fig. A14.6. Profil Fl-F3, câmp nr.3, porumb pentru boabe (r. Florești)



Fig. A14.7. Profil So-F4, câmp nr.4, floarea-soarelui (r. Soroca)

## Anexa 15. Profilele de sol a solurilor cenușii molice cercetate și pozițiile de prelevare

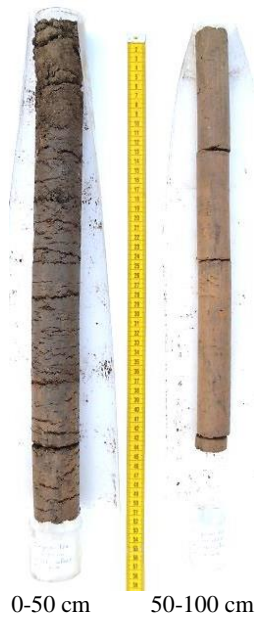


Fig. A15.1. Profil Sg-F2a, câmp nr.2, grâu de toamnă (r. Sîngerei)



Fig. A15.2. Profil Gl-F5, câmp nr.5, grâu de toamnă (r. Glodeni)



Fig. A15.3. Profil Gl-F5a, pădure (r. Glodeni)



Fig. A15.4. Profil Ed-F6b, câmp nr.6, orz de toamnă (r. Edineț)



Fig. A15.5. Profil Ed-F6c, câmp nr.6, orz de toamnă (r. Edineț)



Fig. A15.6. Profil Oc-F3, câmp nr.3, floarea-soarelui (r. Ocnița)



Fig. A15.7. Profil Dn-F7, câmp nr.7, orz de toamnă (r. Dondușeni)



Fig. A15.8. Profil Br-F2, câmp. nr.2, grâu de toamnă (r. Briceni)



Fig. A15.9. Profil Br-F2a, pădure (r. Briceni)



Fig. A15.10. Profil Fl-F6, câmp nr.6, grâu de toamnă (r. Florești)



**Anexa 16. Studiarea heterogenității solului pe câmpul nr. 1 (Sg-F1), com. Biliceni Vechi, r.Sîngerei**



**Fig. A16.1. Suprafața orizontală a câmpului nr. 1 (Sg-F1)**



**Fig. A16.2. Spălarea solului în rezultatul eroziunii pe câmpul nr. 1 (Sg-F1),**

**Tabelul A16.1. Compoziția granulometrică a câmpului nr. 1 (Sg-F1)**

Profilul de sol	Tipul solului	Strat de sol, cm	Dimensiunile fracțiilor (mm); conținutul (%)				
			Argila fizica, <0,01	Argila, <0,001	Argilă, <0,002	Praf, 0,002-0,06	Nisip, 0.06-2
Sg-F1a	Cernoziom tipic (suprafață plană)	0-27	61,9	41,8	46,6	51,4	4,5
		27-50	64,9	44,1	49,0	50,4	3,0
		50-70	63,1	42,7	47,6	52,4	3,0
		70-100	63,5	43,1	47,9	52,6	0,0
Sg-F1b	Cernoziom tipic (moderat erodat)	0-27	69,1	47,3	52,5	48,5	0,9
		27-50	60,2	40,5	45,1	46,6	5,2
		50-70	60,0	40,4	45,0	46,4	5,9
		70-100	61,9	41,8	46,6	46,9	5,2
Sg-F1c	Cernoziom tipic (slab erodat)	0-30	62,9	42,6	47,4	51,7	5,2
		30-50	63,7	43,2	48,1	50,9	2,0
		50-70	62,3	42,1	46,9	52,5	1,9
		70-100	64,0	43,4	48,3	49,1	1,6

**Anexa 17. Studiarea heterogenității solului pe câmpul nr. 2 (Sg-F2), s. Rădoia, r.Sîngerei**



**Fig. A17.1. Suprafața orizontală a câmpului nr. 2 (Sg-F2)**

**Tabelul A17.1. Compoziția granulometrică a câmpului nr. 2 (Sg-F2)**

Profil de sol	Tipul solului	Strat de sol, cm	Dimensiunile fracțiilor (mm); conținutul (%)				
			Argila fizica, <0,01	Argila, <0,001	Argilă, <0,002	Praf, 0,002-0,06	Nisip, 0.06-2
Sg-F2a	Sol cenușiu molic	0-25	59,8	40,2	44,8	54,8	1,2
		25-35	60,2	40,5	45,1	53,8	2,3
		35-50	62,8	42,5	47,3	47,0	5,7
		50-75	65,9	44,9	49,9	48,6	2,1
		75-100	66,2	45,1	50,1	44,9	5,8
Sg-F2b	Cernoziom argiloiluvial	0-25	58,8	39,5	44,0	48,3	8,6
		25-35	58,9	39,5	44,1	46,1	7,2
		35-50	65,1	44,2	49,2	37,9	13,8
		50-70	62,7	42,4	47,2	39,9	15,4
		70-100	61,0	41,1	45,8	41,8	11,2
Sg-F2c	Cernoziom argiloiluvial	0-25	60,4	40,7	45,3	51,2	9,0
		25-35	63,3	42,9	47,8	50,2	7,7
		35-50	62,2	42,1	46,9	49,3	7,2
		50-75	58,0	38,8	43,3	51,2	8,7
		75-100	56,3	37,5	41,9	47,8	13,2
Sg-F2d	Cernoziom argiloiluvial	0-30	58,9	39,6	44,1	53,1	9,4
		30-40	62,6	42,4	47,2	52,0	1,2
		40-50	62,9	42,6	47,4	53,0	0,0
		50-70	61,9	41,8	46,6	53,1	0,0
		70-100	61,6	41,6	46,3	53,2	2,0
Sg-F2e	Cernoziom argiloiluvial	0-30	59,7	40,1	44,8	53,5	0,0
		30-50	61,3	41,4	46,1	53,2	0,0
		50-75	63,2	42,8	47,7	53,7	0,0
		75-100	62,6	42,3	47,1	51,0	0,0

Anexa 18. Studiarea heterogenității solului pe câmpul nr. 3 (Sg-F3), com. Biliceni Noi, r.Sîngerei



Fig. A18.1. Suprafața orizontală a câmpului nr. 3 (Sg-F3)

Tabelul A18.1. Compoziția granulometrică a câmpului nr. 3 (Sg-F3)

Profil de sol	Tipul solului	Strat de sol, cm	Dimensiunile fracțiilor (mm); conținutul (%)				
			Argila fizică, <0,01	Argila, <0,001	Argilă, <0,002	Praf, 0,002-0,06	Nisip, 0.06-2
Sg-F3a	Cernoziom tipic (în pantă) slab erodat	0-26	61,2	41,3	46,0	51,6	7,0
		26-38	61,0	41,1	45,8	50,3	6,4
		38-50	59,2	39,8	44,4	48,8	8,1
		50-70	56,4	37,6	42,0	47,1	9,7
		70-100	56,5	37,7	42,1	46,4	10,6
Sg-F3b	Cernoziom carbonatic (suprafață plană)	0-24	57,4	38,4	42,9	49,1	10,9
		24-38	58,6	39,3	43,8	46,6	11,0
		38-50	56,5	37,7	42,1	48,2	12,1
		50-70	55,4	36,8	41,1	50,0	9,0
		70-100	54,6	36,2	40,5	46,0	13,0
Sg-F3c	Cernoziom tipic	0-20	59,8	40,2	44,8	49,3	8,1
		20-36	60,2	40,5	45,2	49,6	7,7
		36-50	59,7	40,2	44,8	49,2	8,1
		50-70	59,5	40,0	44,6	49,4	5,9
		70-100	57,9	38,7	43,2	47,8	6,6

**Anexa 19. Studiarea heterogenității solului pe câmpul nr. 4 (Fl-F4), s. Coșernița, r. Florești**



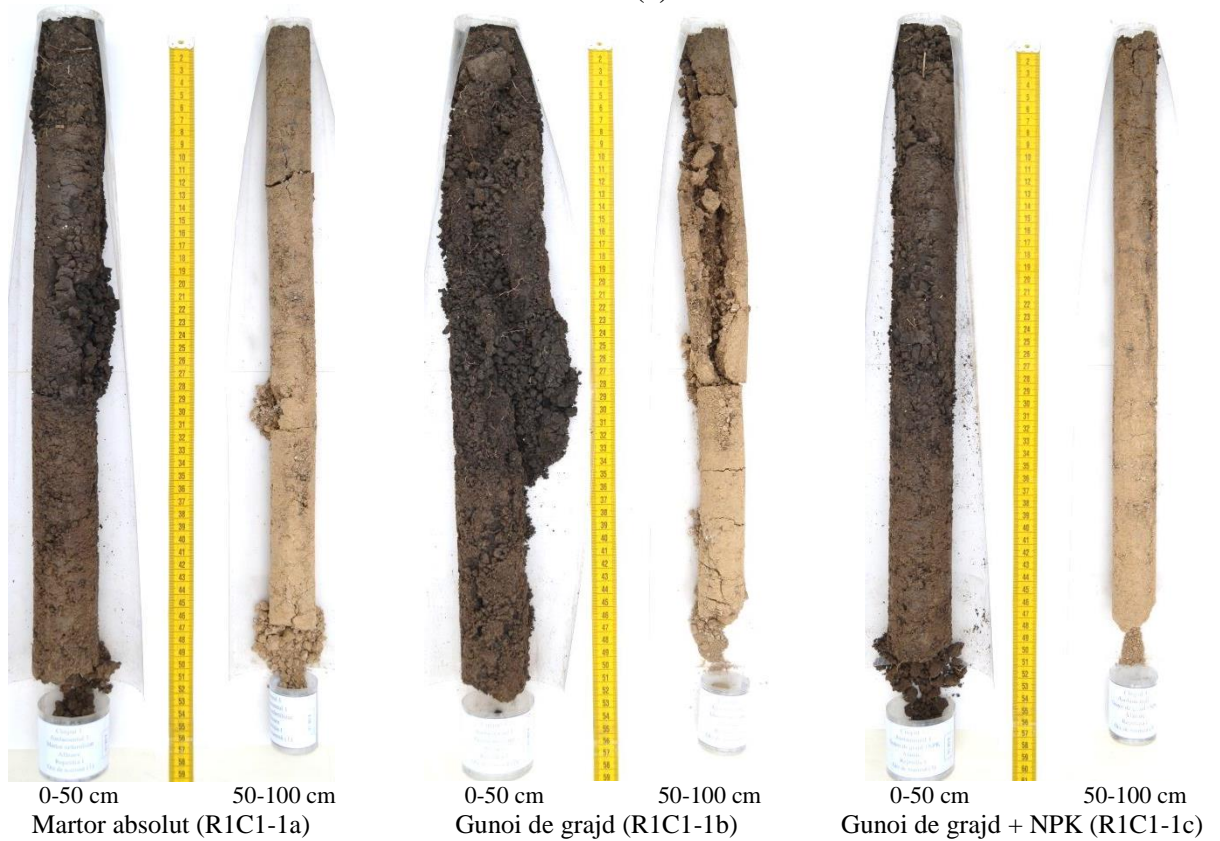
**Fig. A19.1. Suprafața orizontală a câmpului nr. 4 (Fl-F4)**

**Tabelul A19.1. Compoziția granulometrică a câmpului nr. 4 (Fl-F4)**

Profil de sol	Tipul solului	Strat de sol, cm	Dimensiunile fracțiilor (mm); conținutul (%)				
			Argila fizica, <0,01	Argila, <0,001	Argilă, <0,002	Praf, 0,002-0,06	Nisip, 0.06-2 mm
Fl-F4a	Cernoziom tipic, (slab erodat)	0-25	56,3	37,5	41,9	51,0	8,4
		25-50	59,8	40,2	44,8	50,5	6,2
		50-75	60,8	41,0	45,7	52,2	0,3
		75-100	59,0	39,6	44,2	52,6	5,6
Fl-F4b	Cernoziom tipic, (puternic erodat)	0-32	57,4	38,4	42,8	49,3	5,9
		32-50	49,0	32,0	35,9	49,0	15,3
		50-65	50,3	32,9	36,9	46,4	15,0
		65-100	46,3	29,9	33,6	39,5	24,9
Fl-F4c	Cernoziom tipic	0-32	64,0	43,4	48,3	47,9	0,4
		32-50	65,1	44,3	49,2	47,2	0,5
		50-70	64,8	44,0	49,0	48,7	0,0
		70-100	65,5	44,6	49,6	43,5	3,3
Fl-F4d	Cernoziom levigat	0-36	62,8	42,5	47,4	50,3	0,0
		36-50	59,7	40,1	44,8	49,9	3,2
		50-75	58,1	38,9	43,4	53,9	0,0
		75-100	60,7	40,9	45,6	52,3	2,2

Anexa 20. Rezultatele cercetărilor în experiența polifactorială de lungă durată a ICC „Selectia”

Arătura (1)



Afânare (2)

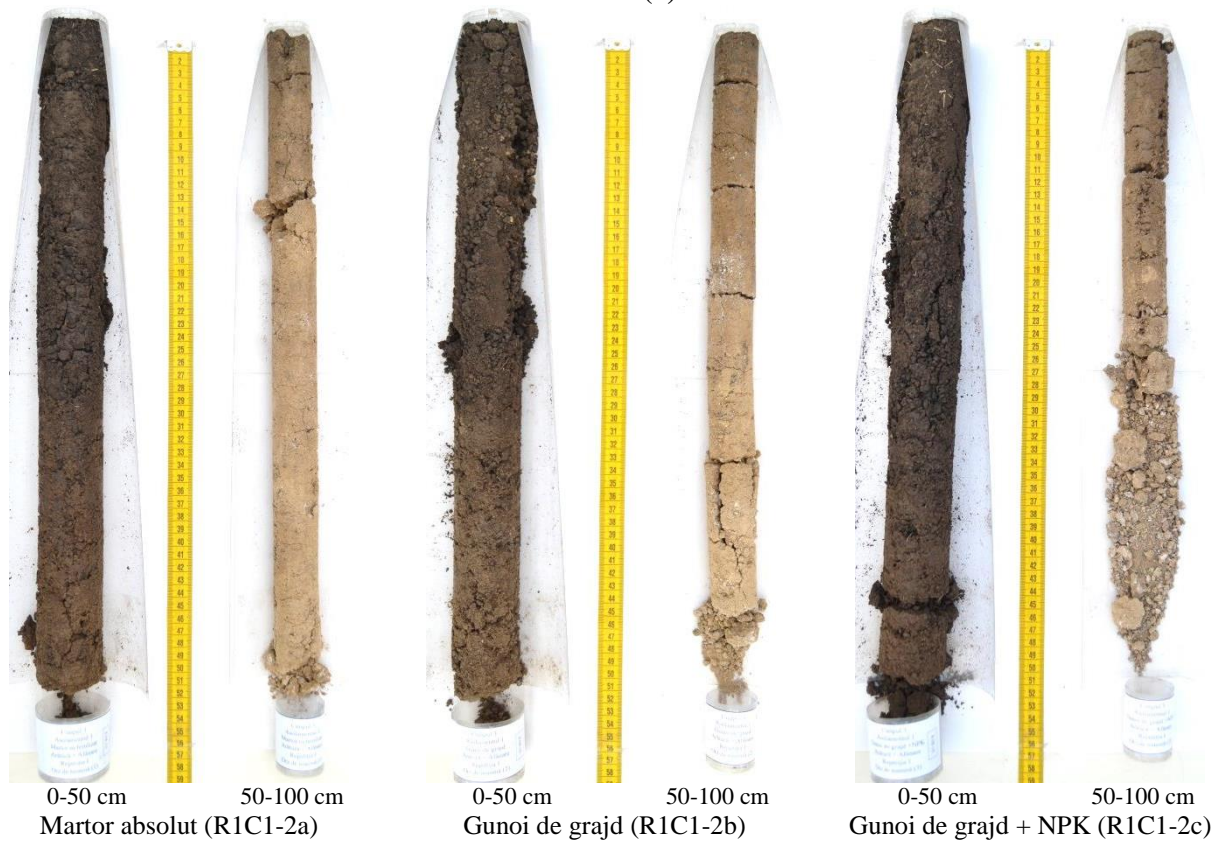
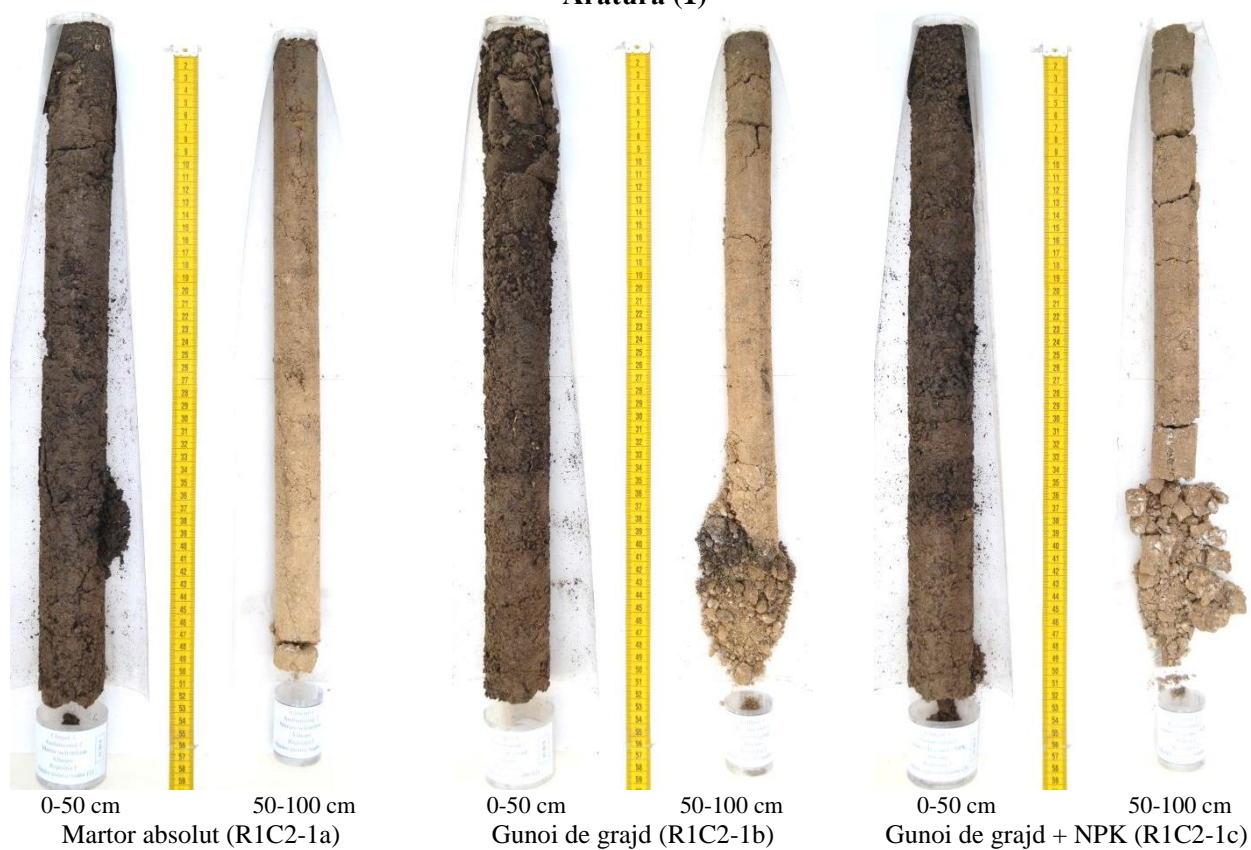
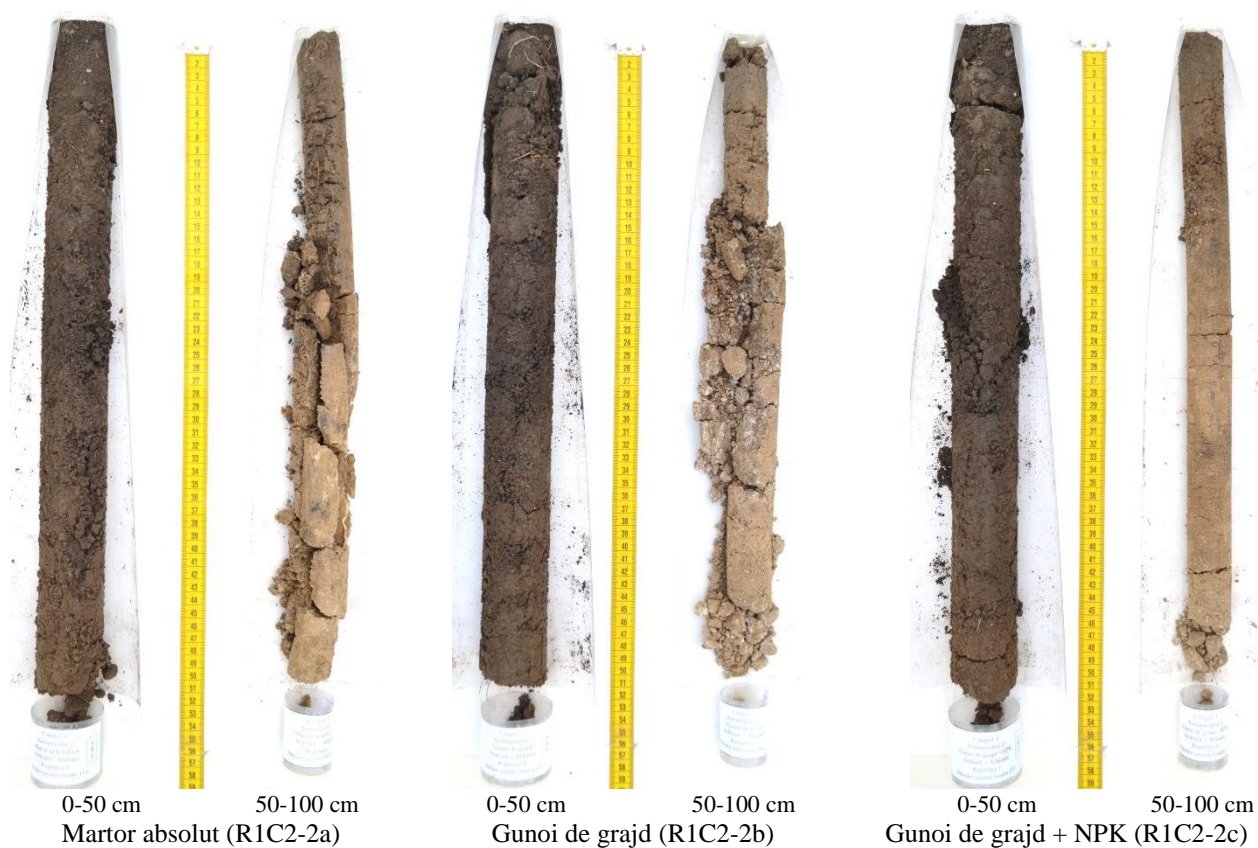


Fig. A20.1. Profilele de sol prelevate din asolamentul nr. 1 cu ierburi perene (Repetiția I)

### Arătura (1)



### Afânare (2)



**Fig. A20.2. Profilele de sol prelevate din asolamentul nr. 2 fără ierburi perene (Repetiția I)**

**Tabelul A20.1. Indicatorii agrochimici pe profilul solului 0-100 cm în experiența polifactorială cu studierea acțiunii și interacțiunii lucrării și fertilizării solului în asolamentul cu ierburi perene, anul 2016**

Asola- ment	Lucrarea solului	Sistemul de fertilizare	Stratul, cm	N total, %	Humus, %	CaCO <sub>3</sub> , %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	C/N
Asolament 1 (Orz de toamnă) – cu ierburi perene	Afânare	Martor	0-26	0,24	4,76	0,0	6,3	11,3
			26-38	0,20	3,92	0,0	6,6	11,4
			38-50	0,15	2,78	0,0	7,0	11,0
			50-65	0,11	2,01	6,6	7,5	10,4
			65-80	0,09	1,53	12,7	7,7	9,7
			80-100	0,08	1,29	17,1	7,7	9,4
		Gunoii de grajd	0-27	0,24	4,81	0,0	6,3	11,5
			27-37	0,22	4,45	0,0	6,4	11,5
			37-50	0,16	3,20	0,0	6,7	11,3
			50-68	0,12	2,16	1,7	7,3	10,7
			68-80	0,09	1,50	10,3	7,7	9,9
			80-100	0,08	1,23	18,9	7,7	8,9
		Gunoii de grajd + NPK	0-29	0,25	4,81	0,0	6,3	11,3
			29-39	0,21	4,08	0,0	6,5	11,4
			39-50	0,15	2,88	0,0	6,7	11,1
			50-65	0,11	2,00	1,4	7,3	10,5
			65-80	0,09	1,52	12,1	7,7	9,6
			80-100	0,08	1,25	18,7	7,7	8,8
	Arătură	Martor	0-28	0,25	4,81	0,0	6,2	11,4
			28-40	0,20	3,98	0,0	6,3	11,3
			40-50	0,16	2,97	0,0	6,8	11,0
			50-64	0,12	2,18	1,7	7,2	10,9
			64-80	0,09	1,54	10,1	7,6	10,1
			80-100	0,08	1,22	18,7	7,8	9,0
		Gunoii de grajd	0-28	0,24	4,70	0,0	6,4	11,4
			28-36	0,18	3,59	0,0	6,6	11,4
			36-50	0,13	2,59	0,0	6,9	11,2
			50-67	0,10	1,93	2,7	7,5	10,7
			67-83	0,09	1,41	13,3	7,7	9,3
			83-100	0,07	1,09	20,3	7,8	8,7
Gunoii de grajd + NPK		0-29	0,24	4,72	0,0	6,4	11,5	
		29-39	0,22	4,40	0,0	6,4	11,6	
		39-50	0,16	3,18	0,0	6,7	11,4	
		50-70	0,10	1,90	2,6	7,3	10,6	
		70-85	0,09	1,43	13,1	7,7	9,6	
		85-100	0,08	1,22	19,7	7,7	8,8	

**Tabelul A20.2. Indicatorii agrochimici pe profilul solului 0-100 cm în experiența polifactorială cu studierea acțiunii și interacțiunii lucrării și fertilizării solului în asolamentul fără ierburi perene, anul 2016**

Asolament	Lucrarea solului	Sistemul de fertilizare	Stratul, cm	N total, %	Humus, %	CaCO <sub>3</sub> , %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	C/N
Asolament 2 (Mazăre pentru boabe) – fără ierburi perene	Afânare	Martor	0-26	0,24	4,74	0,0	6,2	11,4
			26-39	0,22	4,33	0,0	6,4	11,3
			39-50	0,17	3,28	0,0	6,6	11,1
			50-70	0,12	2,27	1,4	7,1	10,9
			70-83	0,09	1,50	12,5	7,7	9,7
			83-100	0,08	1,27	19,5	7,8	9,2
		Gunoii de grajd	0-26	0,24	4,74	0,0	6,3	11,5
			26-36	0,22	4,24	0,0	6,4	11,3
			36-50	0,17	3,23	0,0	6,9	11,1
			50-70	0,12	2,17	5,5	7,4	10,6
			70-83	0,09	1,57	11,6	7,6	9,8
			83-100	0,08	1,24	17,5	7,8	9,3
		Gunoii de grajd + NPK	0-28	0,24	4,77	0,0	6,3	11,4
			28-37	0,21	4,18	0,0	6,5	11,4
			37-50	0,16	3,13	0,0	6,8	11,2
			50-72	0,11	1,97	4,7	7,3	10,6
			72-83	0,09	1,51	11,7	7,6	9,7
			83-100	0,08	1,25	16,9	7,7	9,4
	Arătură	Martor	0-25	0,24	4,72	0,0	6,2	11,5
			25-38	0,19	3,82	0,0	6,3	11,4
			38-50	0,15	2,82	0,0	6,5	11,1
			50-67	0,11	2,01	1,4	7,0	10,6
			67-80	0,08	1,41	10,0	7,7	9,7
			80-100	0,08	1,24	18,5	7,7	8,8
		Gunoii de grajd	0-27	0,24	4,75	0,0	6,3	11,5
			27-38	0,19	3,70	0,0	6,4	11,2
			38-50	0,14	2,70	0,0	6,7	10,9
			50-73	0,09	1,73	5,5	7,5	10,7
			73-83	0,08	1,34	15,5	7,7	9,7
			83-100	0,08	1,25	22,0	7,6	8,9
Gunoii de grajd + NPK		0-29	0,24	4,74	0,0	6,3	11,4	
		29-40	0,20	4,01	0,0	6,3	11,4	
		40-50	0,15	2,86	0,0	6,7	11,1	
		50-75	0,10	1,92	2,0	7,2	10,9	
		75-85	0,08	1,38	13,3	7,7	9,9	
		85-100	0,08	1,24	19,3	7,6	9,1	



## Anexa 21. Act de implementare

AGENȚIA  
RELAȚII FUNCiare ȘI CADASTRU  
A REPUBLICII MOLDOVA

MD-2005, or. Chișinău, str. S. Lazo, 48  
tel. 022-88-12-55, fax. 022-22-63-73  
e-mail: [info@arfc.gov.md](mailto:info@arfc.gov.md)  
[www.arfc.gov.md](http://www.arfc.gov.md)



АГЕНТСТВО  
ЗЕМЕЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ И КАДАСТРА  
РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА

MD-2005, г. Кишинёву, ул. С. Лазо, 48  
тел. 022-88-12-55, факс. 022-22-63-73  
e-mail: [info@arfc.gov.md](mailto:info@arfc.gov.md)  
[www.arfc.gov.md](http://www.arfc.gov.md)

Agenția Relații Funciare și Cadastru a examinat rezultatele cercetărilor științifice reflectate în teza de doctor „Evaluarea fertilității solului în Republica Moldova” a Dnei Ilușca Marina, și prin prezenta confirmăm că teza reprezintă o bază științifico-metodologică pentru instituirea unui sistem complex de monitorizare a calității solului în timp și spațiu, în Republica Moldova, prin utilizarea metodelor alternative de analiză a solului, care permit colectarea și analiza unui număr mare de probe de sol pentru a obține o informație detaliată privind heterogenitatea orizontală și verticală a resurselor funciare la nivel regional și local.

Rezultatele obținute demonstrează eficacitatea spectroscopiei de absorbție în domeniul infraroșu apropiat (NIRS) ca un instrument analitic rapid și cost-efectiv pentru evaluarea stării de calitate a resurselor funciare ale Republicii Moldova și monitorizarea pe termen lung a modificării proprietăților solului sub influența agrotehnicii zonale aplicate.

Luând în considerație amploarea și accelerarea proceselor de degradare a resurselor funciare, în special sub influența factorului antropic, metoda NIRS va asigura intensificarea practicilor existente de cartografiere a solului, cu elaborarea ulterioară a hărților digitale detaliate ale terenurilor agricole.

Hărțile digitale detaliate elaborate cu precizie, vor permite evaluarea reală a stării de calitate a resurselor funciare ale RM și elaborarea planurilor privind organizarea terenurilor agricole, intensificarea producției agricole, conservarea și ameliorarea solurilor neproductive, precum și a altor măsuri de îmbunătățiri funciare.

De asemenea, datele obținute privind heterogenitatea fertilității solurilor, permit o abordare diferențiată a managementului solului, prin ajustarea intrărilor (dozelor de îngrășăminte, pesticide, normelor de semănat etc.) luând în considerare particularitățile fertilității solului specifice locației, în scopul utilizării raționale a resurselor gospodăriei, cu reducerea cheltuielilor de producere și a impactului negativ asupra mediului ambiant.

Director general adjunct

Ștefan Crigan

Ex: L. Mindov  
tel.: 88-12-52

MICU&CO SRL, www.ebio.md

satul Oliscani, raionul Soldanesti  
tel.: +3732724467, GSM: +373799 88 488  
email: alexei.micu@gmail.com  
COD Fiscal 1007600039055  
COD TVA 8800293

**eBio.md**

<https://goo.gl/maps/G9Gj7fY1PqP7fbaz8>

IBAN MD30ML000000002251812205  
Codul Bancii MOLDMD2X312  
BC"Moldindconbank"S.A. fil."Renastere"

### Act de implementare a rezultatelor cercetărilor reflectate în teza de doctor a Dnei Ilușca Marina, intitulată „Evaluarea fertilității solului în Republica Moldova”

Prin prezenta, se confirmă că SRL MICU&CO a implementat în practică recomandările privind aplicarea tehnologiilor agroecologice pentru menținerea și sporirea fertilității solului, prin fondarea loturilor demonstrative amplasate în raionul Șoldănești, s. Olișcani, coordonate de Dna Ilușca Marina.

Conform recomandărilor acordate în baza rezultatelor analizelor probelor de sol prelevate pe câmpurile gospodăriei agricole MICU&CO SRL, începând cu anul 2019, pe terenurile studiate, cu o suprafață de 16 ha certificată ecologic, au fost cultivate diverse culturi în calitate de îngrășăminte verzi, și a fost încorporat gunoi de grajd de bovine compostat, în doză de 20 t/ha.

În rezultatul monitorizării și evaluării schimbărilor în fertilitatea solului și nivelul producției agricole, s-a constatat că aplicarea compostului la cultura grâului de toamnă a contribuit la creșterea conținutului de humus până la 3.96% (cu 0.39% față de varianta nefertilizată). Față de faza inițială, până la aplicarea practicilor de producție ecologică, creșterea în conținutul de humus a constituit 0.86%. Solul studiat este aprovizionat cu un conținut foarte ridicat de fosfor mobil și conținut optim de potasiu schimbabil.

Aplicarea compostului pe terenul însămânțat cu secară, a contribuit la asigurarea unui conținut optim de humus de 4.36%. Față de faza inițială, până la aplicarea practicilor de producție ecologică, creșterea în conținutul de humus a constituit 1.16%. Această creștere se datorează nu doar aplicării compostului, dar și cultivării îngrășămintelor verzi (hrișcă, mazărice muștar ș.a.) pe parcursul ultimilor ani.

Conform rezultatelor obținute, se observă o ameliorare treptată a stării de calitate a stratului arabil al solurilor cercetate datorită intensificării fluxului de substanță organică în acest strat. Totodată, a fost asigurat și un spor de recoltă de 2 t/ha la cultura grâului de toamnă în anul 2020. Efectele aplicării sunt vizibile și în anul 2022, în condițiile de secetă, la cultura de porumb unde a fost aplicat gunoi de grajd compostat sunt speranțe de a obține roadă, iar pe câmpurile adiacente cultura este compromisă.

Director MICU&CO Alexei MICU



## DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII

Subsemnata, ILUȘCA Marina, declar pe răspundere personală că materialele prezentate în teza de doctorat sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice. Conștientizez că, în caz contrar, urmează să suport consecințele în conformitate cu legislația în vigoare.


ILUȘCA Marina

Semnătura



Data 23.02.2023

## CV – UL CANDIDATULUI

	<p><b>Informații personale</b></p> <p>Nume / Prenume: <b>Ilușca Marina</b></p> <p>Data nașterii: 19.06.1989</p> <p>Cetățenia: MDA</p> <p>Date de contact: <a href="mailto:ilushca.marina@gmail.com">ilushca.marina@gmail.com</a>, tel: +37360219197</p>
<p><b>Studii</b></p>	<p>2016 – prezent: Studii de doctorat (coordonat bi-național), specialitatea 411.01 – Agrotehnica, Universitatea Agrară de Stat din Moldova, Chișinău / Universitatea Tehnică din Munchen, Catedra de Nutriție a Plantelor, Germania</p> <p>2011 – 2013: Masterat în științe ale naturii, specializarea Ecologie agricolă, Universitatea de Stat Alecu Russo din Bălți</p> <p>2008 – 2011: Licență în științe ale naturii, specialitatea Ecologie, Universitatea de Stat Alecu Russo din Bălți</p> <p>2001 – 2006: Școala nr. 1 (actual Liceul "Lucian Blaga") din or. Bălți</p> <p>1996 – 2008: Liceul Teoretic "Mihai Eminescu", or. Ghindești, r. Florești</p>
<p><b>Stagii</b></p>	<p>30 iulie - 17 septembrie 2022 – Trainings in the professional development program „Useful Tricks in Project Management: The Result-based Approach”, Chișinău, America House.</p> <p>05-07 februarie 2020 – cursul de dezvoltare profesională „Etica și integritatea profesională în sectorul public”, Academia de Administrare Publică, Chișinău</p> <p>28-29 noiembrie 2019 – a 2-a rundă de consultări tehnice privind schemele indicațiilor geografice. FAO Regional Office for Europe and Central Asia (REU), Budapesta, Ungaria</p> <p>06-10 noiembrie 2018 – vizită de studiu în Austria, Colegiul agricol și întreprinderea BAG din Güssing, MH Agrarhandel, Landgarten (Donau Soja)</p> <p>31 iulie - 8 august 2018 – 6<sup>th</sup> Eating City Summer Campus “Youths &amp; Labor – how and why Food service should be a lever to create job opportunities for the young generation”, coordonator al grupului de lucru, International Program “Eating City International Platform, La Bergerie de Villarceaux (Franța)</p> <p>6 octombrie – 1 noiembrie 2017 – Stagiere în cadrul Proiectului pentru Tinerii cercetători finanțat de la bugetul de stat "Monitorizarea fertilității solului în Republica Moldova", Universitatea Tehnică din Munchen, Catedra de Nutriție a Plantelor, Freising (Germania)</p> <p>1 august 2016 – 30 septembrie 2017 – Grant de cercetare în cadrul Programului de Doctorat coordonat bi-național (Bi-nationally Supervised Doctoral Degrees) oferit de DAAD, Universitatea Tehnică din Munchen, Catedra de Nutriție a Plantelor, Freising (Germania)</p> <p>11-22 august 2015 – 3<sup>rd</sup> Eating City Summer Campus – The impact of our daily food system into the 4 natural elements, coordonator al grupului de lucru, International Program “Eating City International Platform, La Bergerie de Villarceaux (Franța)</p> <p>27 iulie – 8 august 2015 – Stagiere în cadrul proiectului bilateral “Monitoring and adapting to variation in soil moisture changes under global warming”, Universitatea Tehnică din Munchen, Catedra de Nutriție a Plantelor, Freising (Germania)</p> <p>12-19 august 2014 – 2nd Eating City Summer Campus – A new vision of the agri-food supply chain into Euro-mediterranean cities, International Program “Eating City International Platform, La Bergerie de Villarceaux (Franța)</p> <p>13-27 iunie 2014 – Stagiere în cadrul proiectului bilateral “Monitoring and adapting to variation in soil moisture changes under global warming”, Universitatea Tehnică din Munchen, Catedra de Nutriție a Plantelor, Freising (Germania)</p> <p>13-20 februarie 2012 – Universitatea de Stat din Moscova "M. Lomonosov", Moscova</p>

	(Rusia)
<b>Domeniile de interes științific</b>	Agricultura conservativă, agricultura ecologică, agricultura de precizie
<b>Activitatea profesională</b>	<p>2019 – prezent: Consultant principal, Ministerul Agriculturii și Industriei Alimentare, Serviciul Producție ecologică și produse cu denumire de origine, str. Ștefan Cel Mare și Sfânt, 162, MD-2005 Chișinău</p> <p>2020 – servicii de instruire în domeniul Agriculturii ecologice pentru Platforma de studii E-Learning, Asociația Alianța Lanțului Valoric în Agricultura Ecologică (MOVCA)</p> <p>2019, 2020 – servicii de consultanță în domeniul Agriculturii Ecologice în cadrul proiectului „Development of Sustainable Organic Agriculture in Moldova”, PIN Moldova</p> <p>2018 – 2019: Cercetător științific, Prograin Organic SRL, str. Albișoara 42, MD-2005 Chișinău</p> <p>2015 – 2018: Secretar științific, IP Institutul de Cercetări pentru Culturile de Cîmp "Selecția", str. Calea Ieșilor 28, MD-3101 Bălți</p> <p>2012 – 2018: Asistent universitar, Universitatea de Stat Alecu Russo din Bălți, Catedra de Științe ale Naturii și Agroecologie, Bălți</p> <p>2011 – 2015: Laborant superior, IP Institutul de Cercetări pentru Culturile de Cîmp "Selecția", str. Calea Ieșilor 28, MD-3101 Bălți</p>
<b>Participări în proiecte științifice naționale și internaționale</b>	<p>2016-2017: Proiect național pentru Tineri cercetători 16.819.05.09F "<i>Monitorizarea fertilității solului în Republica Moldova</i>", UASM</p> <p>2015-2018: Proiect instituțional de cerc. șt. aplicative 15.817.05.24A „<i>Crearea soiurilor și hibridilor înalt productivi de culturi de cîmp, adaptați la condițiile stresante de mediu, producerea de semințe primare și perfecționarea tehnologiilor de soi ale plantelor de cîmp</i>”, IP ICCC "Selecția"</p> <p>2015-2018: Proiect instituțional de cerc. șt. fundamentale 15.817.05.12F „<i>Managementul durabil a ecosistemelor agricole cu culturi de cîmp pe cernoziomul tipic din RM</i>”, IP ICCC "Selecția"</p> <p>2013-2014: Proiect bilateral (Moldova – Germania) de cerc. șt. aplicative “<i>Monitoring and adapting to variation in soil moisture changes under global warming</i>”, finanțat de Ministerul Federal al Educației și Cercetării din Germania (BMBF) și Academia de Științe a Moldovei (AȘM), IP ICCC "Selecția"</p>
<b>Participări la manifestări științifice (naționale și internaționale)</b>	<p>12 octombrie 2022 – seminar științific internațional în cadrul proiectului „<i>Sprijinirea schimbului de informații și a dezvoltării capacităților în domeniul cercetării agricole</i>” în cadrul Programului de parteneriat FAO-Turcia pentru alimentație și agricultură (FTPP II).</p> <p>8 octombrie 2021 – Conferința șt. cu participare inter. "Tradiție și inovare în cercetarea științifică", ediția a X-a, USARB, Bălți.</p> <p>11-15 februarie 2020 – Expoziția inter. a produselor ecologice și Congresul BIOFACH-2020, Nurnberg, Germania</p> <p>18-21 septembrie 2019 – Conferința șt. inter. europeană pe diversificarea culturilor (European Conference on Crop Diversification), Ungaria, Budapesta</p> <p>17-18 septembrie 2019 – a 2-a întrunire a Consorțului „Legume Translated”, Ungaria, Budapesta</p> <p>20-23 mai 2019 – Trening în Controalele oficiale în agricultura ecologică în cadrul proiectului "Suport instituțional în sectorul agriculturii ecologice din Republica Moldova" finanțat de Agenția Cehă pentru Dezvoltare, Moldova</p> <p>20-21 iunie 2018 – Expoziția inter. Global forum for inovations in agriculture (GFIA), Jaarbeurs Expo Center, Utrecht, Olanda</p> <p>7 decembrie 2017 – Colocviul șt. „<i>Orientări actuale în cercetarea doctorală</i>”, ediția a VII-a. RM, Universitatea de Stat „Alecu Russo” din Bălți.</p>

	<p>27-28 noiembrie 2017 – Atelier privind Accesul la Informația Online privind Cercetările Agricole (AGORA), Chișinău, RM</p> <p>16-17 noiembrie 2017 – Workshop „Dezvoltarea capacităților Clusterului de Biomasă în Moldova”, R.Moldova, Chișinău</p> <p>17-19 octombrie 2017 – Workshop inter. “Lysimeters – separating processes in flux measurement II”, Germania, Freising, Umwelt-Geräte-Technik (UGT South)</p> <p>19-21 mai 2017 – Seminar științific “Crossing borders – life in the digital world”, Germania, Saarbrücken, Universität des Saarlandes</p> <p>25-26 iunie 2015 – al 8-lea Simpozion intern. “Soil Minimum Tillage Systems”, Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară, Cluj-Napoca, Romania</p> <p>19 iunie 2015 – Conferința șt.-practică inter. cu genericul „Rezultatele cercetărilor la cultura plantelor de câmp în Republica Moldova”, RM, IP ICCC „Selecția”</p> <p>20 iunie 2014 – Conferința șt.-pr. „Rezultatele și perspectivele cercetărilor la cultura plantelor de câmp în Republica Moldova” consacrată aniversării a 70 de ani de la fondarea ICCC „Selecția”</p> <p>10-11 octombrie 2013 – Conferința șt. inter. "Rational use of natural resources – the basis for sustainable development" consacrată aniversării a 10 ani a Facultății de Științe ale Naturii și Agroecologie a Universității de stat Alecu Russo din Bălți</p> <p>22-23 mai 2012 – International symposium "Soil as world heritage" celebrating the half century of long-term field experiments in Balti, Moldova</p> <p>29 octombrie 2012 – Colocviul șt. studentesc "Interuniversitaria", Ediția 07, - Universitatea de Stat „Alecu Russo” din Bălți, Moldova</p> <p>29 octombrie 2011 – Colocviul șt. studentesc "Interuniversitaria", Ediția 06, Universitatea de Stat „Alecu Russo” din Bălți, Moldova</p>
<b>Lucrări științifice publicate</b>	Articole în culegeri internaționale – 3; articole în reviste naționale – 2; teze ale comunicărilor științifice – 5.
<b>Premii, mențiuni, distincții etc.</b>	<p>Diplomă – Șef de promoție-2011, Facultatea de Științe ale Naturii și Agroecologie, Universitatea de Stat Alecu Russo din Bălți</p> <p>Grant de cercetare oferit de Serviciul German de Schimb Academic (DAAD) în cadrul unui Program de studii de doctorat coordonat bi-național, Universitatea Tehnică din Munchen, Freising (Germania), 1 Oct 2016 – 30 Sep 2017</p>
<b>Cunoașterea limbilor</b>	<p>Limba maternă – Româna</p> <p>Alte limbi: Rusa, Engleza – fluent, Germana – mediu (nivel A2), Franceza și Spaniola – începător.</p>