



# Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК 631.4  
© 2025

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЛАЗЕРНОЇ ДИФРАКЦІЇ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ҐРУНТІВ ЗА ГРАНУЛОМЕТРИЧНИМ СКЛАДОМ

*М.О. Солоха<sup>1</sup>, Н.В. Винокурова<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>доктор сільськогосподарських наук  
Національний науковий центр «Інститут  
грунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»  
Національної академії аграрних наук України  
вул. Михайля Семенка, 4, м. Харків, 61024, Україна  
e-mail: <sup>1</sup>solomax@ukr.net, <sup>2</sup>mega\_nadi1980@ukr.net  
ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-1860-0819, <sup>2</sup>0000-0003-3876-480X*

Надійшла 2.04.2025

**Мета.** Дослідити можливість застосування методу лазерної дифракції для класифікації ґрунтів за гранулометричним складом та переходу від використовуваної в Україні двочленної класифікації ґрунтів до міжнародної тричленної. **Методи.** Застосовували аналітичні методи досліджень (визначення гранулометричного складу ґрунту за ДСТУ 4730:2007, ДСТУ ISO 11277:2005 і методом лазерної дифракції, аналіз отриманих даних) та математико-статистичний (порівняння даних гранулометричного складу). Дослідження проводили на стандартних зразках ґрунту: ДСЗУ 163.5-2015, ГСЗУ 163.1-2015, ГСЗУ 163.2-2015, ГСЗУ 163.6-2019. **Результати.** Встановлено, що значення вмісту фракцій фізичної глини, визначені згідно з ДСТУ 4730:2007 і методом лазерної дифракції із застосуванням реагентів та етапів пробопідготовки, описаних у ДСТУ 4730:2007, відрізняються неістотно й відповідають одному класу ґрунту за сучасною українською класифікацією. Різниця у значеннях вмісту фракцій, установлених за ДСТУ ISO 11277:2005 і методом лазерної дифракції із застосуванням реагентів та етапів пробопідготовки, описаних у ДСТУ ISO 11277:2005, не перевищує 6%, клас ґрунту за тричленною міжнародною класифікацією і в цьому разі є однаковим. Пробопідготовка у процесі визначення гранулометричного складу методом лазерної дифракції неістотно впливає на встановлення класу ґрунту. **Висновки.** Доведено можливість застосування даних, отриманих методом лазерної дифракції, для визначення класу ґрунту із застосуванням

**різних класифікацій. Для встановлення класу ґрунту за сучасною українською класифікацією запропоновано використовувати індекси рефракції для певного типу ґрунту, визначені за апроксимації даних методу лазерної дифракції через дані за ДСТУ 4730:2007, а для встановлення класу ґрунту за класифікацією USDA/FAO — індекси рефракції для певного типу ґрунту, визначені в результаті апроксимації даних методу лазерної дифракції через дані, встановлені згідно з ДСТУ ISO 1 1277:2005.**

**Ключові слова:** клас ґрунту, лазерна дифракція, седиментація, підготовка проб, розмір частинок, вміст фракції.

**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202508-06>

Класифікація ґрунтів значною мірою пов'язана з розвитком ґрунтознавства [1]. Нові дані про ґрунти, нові методи досліджень, розбіжності в українській та міжнародній класифікаціях ґрунтів створюють необхідність удосконалення методів поєднання накопиченої інформації про ґрунти України з даними міжнародної бази даних. Д.Г. Тихоненко наголошував на необхідності інтегрувати класифікації ґрунтів, розроблені окремими вченими-ґрунтознавцями, в загальноприйнятну класифікацію [2]. Однією з класифікаційних одиниць є гранулометричний склад.

В основу класифікації ґрунтів України за гранулометричним складом покладено насамперед двочленну класифікацію, запропоновану М.М. Сибірцевим й удосконалену Н.А. Качинським. Ця класифікація, поширена переважно у пострадянських країнах, побудована на співвідношенні вмісту фракцій фізичної глини (часточки розміром менше 0,01 мм) та фізичного піску (часточки розміром від 1 до 0,01 мм) з урахуванням генетичної природи ґрунту та здатності його глинистої фракції до агрегування [3]. У більшості ж країн світу класифікація ґрунтів є тричленною, тобто поділ іде на пісок — найбільші часточки, пил — середні, глину — дрібні часточки. Тричленна класифікація рекомендована до застосування міжнародним товариством ґрунтознавців [4].

Граничний розмір частинок глини, пилу, піску в різних країнах значно варіюється. Так, діапазон розмірів часточок пилу може становити: 2–20 мкм (Австралія, Японія), 2–50 мкм (США, Франція), 2–60 мкм (Велика Британія, Швеція), 2–63 мкм (Німеччина, прийнятий FAO), а часточок піску — відповідно, 20–2000 мкм, 50–2000, 60–2000, 63–2000 мкм [5]. Тобто межі фракцій у багатьох країнах різняться, тому деякі науковці, зокрема з Австралії, Південної Кореї, Японії [6–8], шукають шляхи переходу від національних класифікацій до інших, насамперед до міжнародної. В Україні на законодавчому рівні йде процес євроінтеграції, а відтак постає необхідність переходу від двочленної класифікації до тричленної. Нині існує потреба у визначенні принципів переходу від національної номенклатури ґрунтів за гранулометричним складом до номенклатури світової реферативної бази ґрунтових ресурсів WRB [9, 10].

Одним зі способів забезпечення означеної потреби є застосування методу лазерної дифракції, який дає змогу одночасно встановлювати межі фракцій для різних класифікацій. Метод лазерної дифракції активно використовують у світовій практиці для встановлення розміру часточок ґрунту. Загалом цей метод розвинувся настільки, що став домінуючим у визначенні розподілу часточок за розміром [11]. Упровадження розробленої авторами методики визначення

гранулометричного складу ґрунту методом лазерної дифракції в Україні сприятиме покращенню методичної бази завдяки оперативності отримання даних про розподіл часточок за розміром, їх відтворюваності та імплементації з міжнародною базою, а отже, досягненню цілей сталого розвитку України.

**Мета досліджень** — дослідити можливість застосування методу лазерної дифракції для класифікації ґрунтів за гранулометричним складом та переходу від використовуваної в Україні двочленної класифікації ґрунтів до міжнародної тричленної.

**Матеріали та методи досліджень.** Для встановлення зв'язку між даними, отриманими різними методами, ґранулометричний склад ґрунту визначали на стандартних зразках чорнозему типового (ДСЗУ 163.5-2015), чорнозему звичайного (ГСЗУ 163.1-2015), чорнозему опідзоленого (ГСЗУ 163.6-2019) і дерново-підзолистого ґрунту (ГСЗУ 163.2-2015) за ДСТУ 4730:2007 [12], ДСТУ ISO 11277:2005 [13] та методом лазерної дифракції з пробопідготовкою із застосуванням реагентів та етапів пробопідготовки, описаних у ДСТУ 4730:2007 та ДСТУ ISO 11277:2005. Вимірювання методом лазерної дифракції проводили на аналізаторі частинок Mastersizer 3000E фірми Malvern з рідинним модулем диспергування Hydro EV. Параметри досліджень: диспергатор — дистильована вода з коефіцієнтом рефракції 1,33, швидкість мішалки — 2250 об/хв, час вимірювання фону та зразка — 15 с, кількість вимірювань — 6; математична модель розрахунку ґрунтувалася на теорії Мі з індексом рефракції 1,39–1,43 та коефіцієнтом абсорбції 0,01. Індекс рефракції для кожного типу ґрунту встановлювали за найменшою сумарною різницею між даними, отриманими різними методами [14].

**Результати досліджень.** Згідно з отриманими результатами (таблиця), пробопідготовка в разі застосування седи-

ментаційних методів (ДСТУ 4730:2007 та ДСТУ ISO 11277:2005) істотно впливає на розподіл часточок за фракціями, адже в чорноземах (типових, звичайних, опідзолених) вміст фракції < 0,002 мм був меншим за вміст фракції < 0,001 мм, хоча мало б бути навпаки. Лише у дерново-підзолистому ґрунті вміст фракції < 0,002 мм більший за вміст фракції < 0,001 мм. Це пов'язано із загальною кількістю органічної речовини, адже в дерново-підзолистому ґрунті її в середньому міститься до 1%, а в зазначених чорноземах — до 6%. У дослідженнях С. Rasmussen і К. Dalsgaard підкреслюється, що у зразках з 0,2% органічного вуглецю розподіл часточок за розміром після видалення з них органічної речовини був подібний до розподілу часточок у зразках, з яких її не видаляли, а у зразках, що містили 2% органічного вуглецю, розподіл часточок за розміром після видалення органічної речовини значно відрізнявся від їх розподілу у зразках з органічною речовиною [15]. Тобто органічна речовина, що не видаляється за пробопідготовки згідно з ДСТУ 4730:2007, сповільнює осадження часточок, а тому виникає розбіжність у даних, отриманих двома методами, що ґрунтуються на одному фізичному законі — законі Стокса. Це свідчить про те, що за використання седиментаційних методів перетворення даних двочленної класифікації на дані тричленної класифікації без урахування пробопідготовки неможливе.

Порівняння значень вмісту фракцій, визначених за ДСТУ 4730:2007, із значеннями, отриманими методом лазерної дифракції із застосуванням реагентів та етапів пробопідготовки, описаних у ДСТУ 4730:2007, дало змогу встановити, що в разі коефіцієнта рефракції на рівні 1,39 для чорнозему звичайного, 1,40 для чорноземів типового й опідзоленого та 1,43 для дерново-підзолистого ґрунту вміст фізичної глини за використання обох методів майже однаковий — не перевищує похибки методу

Вміст гранулометричних фракцій, визначений різними методами, та клас ґрунту згідно з українською і міжнародною класифікаціями

Назва ґрунту	Метод визначення	Вміст фракцій, %							Клас ґрунту за сучасною українською класифікацією			Вміст фракцій, %			Клас ґрунту за міжнародною класифікацією		
		1-0,25 мм	0,25-0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01-0,005 мм	0,005-0,001 мм	< 0,001 мм	Сума фракцій < 0,01 мм	Легкосередньоглинистий	Легкосередньоглинистий	Легкосередньоглинистий	2-0,05 мм	0,05-0,002 мм	< 0,002 мм			
Чорнозем типовий	A	0,31	5,59	30,35	10,94	14,64	38,18	63,76	Легкосередньоглинистий								
	B, n = 1,40	1,34	7,76	29,55	8,99	18,40	33,97	61,35	Легкосередньоглинистий		9,1	45,42	45,48				silty clay
	B, n = 1,41	2,76	8,70	31,66	9,98	15,69	31,14	56,80	Легкоглинистий		11,54	48,49	39,97				silty clay loam
	V, n = 1,40	0,77	6,35	29,80	9,59	21,89	31,60	63,08	Легкосередньоглинистий		7,12	46,83	46,05				silty clay
	V, n = 1,41	0,69	6,75	33,91	11,38	20,02	27,26	58,66	Легкосуглинковий		7,44	53,18	39,39				silty clay loam
Чорнозем звичайний	Г										5,07	56,82	38,12				silty clay loam
	A	0,30	9,09	29,25	9,77	11,20	40,39	61,36	Легкосередньоглинистий								
	B, n = 1,39	1,01	9,9	25,31	7,18	22,09	34,51	63,78	Легкосередньоглинистий		10,91	39,33	49,76				clay
	B, n = 1,41	0,82	12,53	33,38	10,14	17,26	25,86	53,27	Важкосуглинковий		13,35	50,5	36,15				silty clay loam
	V, n = 1,39	1,59	8,83	24,65	7,07	22,70	35,11	64,88	Легкосередньоглинистий		10,47	38,56	50,97				clay
Чорнозем опідзолений	V, n = 1,41	0,62	11,14	33,29	10,43	18,55	25,96	54,94	Важкосуглинковий		11,76	51,01	37,22				silty clay loam
	Г										14,94	49,53	35,53				silty clay loam
	A	1,53	6,84	38,66	7,21	10,89	34,87	52,97	Важкосуглинковий								
	B, n = 1,40	2,01	10,63	34,3	8,39	17,51	27,16	53,07	Важкосуглинковий		12,64	48,74	38,62				silty clay loam
	B, n = 1,42	1,04	12,33	41,37	10,74	14,35	20,15	45,25	Важкосередньосуглинковий		13,38	58,89	27,73				silty clay loam
Дерново-підзолистий	V, n = 1,40	1,95	8,98	34,61	8,35	19,18	26,93	54,46	Важкосуглинковий		10,93	49,15	39,92				silty clay loam
	V, n = 1,42	1,60	10,90	42,36	10,81	15,86	18,47	45,14	Важкосередньосуглинковий		12,5	60,11	27,39				silty clay loam
	Г										6,56	63,31	30,13				silty clay loam
	A	39,22	19,57	27,08	3,88	4,31	5,94	14,14	Легкосупіщаний								
	B, n = 1,43	34,27	30,99	20,6	4,16	4,77	5,21	14,14	Легкосупіщаний		65,27	27,07	7,67				sandy loam
Дерново-підзолистий	V, n = 1,43	38,07	31,16	18,66	3,23	4,23	4,65	12,11	Легкосупіщаний		69,82	23,83	6,35				sandy loam
	Г										75,15	17,55	7,30				sandy loam

Примітка. А — за ДСТУ 4730:2007; Б — за методом лазерної дифракції із застосуванням реагентів та етапів прободготовки, описаних у ДСТУ 4730:2007; В — за методом лазерної дифракції із застосуванням реагентів та етапів прободготовки, описаних у ДСТУ ISO 11277:2005; Г — за ДСТУ ISO 11277:2005; n — індекс рефракції, що використовувався для визначення розміру часточок методом лазерної дифракції.

(менше 2,5%). До того ж для них установлюється однаковий клас ґрунту за сучасною класифікацією [1]. Отже, дані, отримані методом лазерної дифракції, можна використовувати у класифікації ґрунту за гранулометричним складом відповідно до сучасної української класифікації (див. таблицю).

Аналіз даних, отриманих згідно з ДСТУ ISO 11277:2005 і методом лазерної дифракції із застосуванням реагентів та етапів пробопідготовки, описаних у ДСТУ ISO 11277:2005, показав, що близькі значення даних отримано за індексу рефракції 1,41 для чорноземів типових та звичайних, за індексу 1,42 для чорнозему опідзоленого й 1,43 для дерново-підзолистого ґрунту. Різниця в значеннях фракцій, отриманих різними методами, може сягати 6%, але клас ґрунту за тричленною міжнародною класифікацією буде однаковий. Отже, дані отримані методом лазерної дифракції із застосуванням реагентів та етапів пробопідготовки згідно з ДСТУ ISO 11277:2005 (із видаленням органічної речовини), можна використовувати для визначення класу гранулометричного складу ґрунту за класифікацією USDA/FAO (див. таблицю).

Слід мати на увазі, що для одного й того самого типу ґрунту індекс рефракції в разі апроксимації даних, отриманих методом лазерної дифракції, через дані, встановлені згідно з ДСТУ 4730:2007, не збігався з індексом рефракції, визначеним за апроксимації даних методу лазерної дифракції через дані, встановлені за ДСТУ ISO 11277:2005, адже пробопідготовка була різною. Аналіз даних, отриманих методом лазерної дифракції з різною пробопідготовкою, засвідчив, що в разі однакового індексу рефракції для чорноземів звичайного та

опідзоленого різниця в даних за фракціями не перевищує 2% і її можна пояснити похибкою у вимірюваннях. Різниця у даних щодо фракцій чорнозему типового та дерново-підзолистого ґрунту не перевищує 5%. Водночас клас ґрунту за гранулометричним складом установлюється однаковий як за використання сучасної української класифікації, так і за класифікацією USDA/FAO. Тобто різниця у пробопідготовці неістотно впливає на результат. А це означає, що дані двочленної класифікації можна конвертувати в дані тричленної класифікації без урахування пробопідготовки.

Для переходу від однієї класифікації до іншої необхідно провести вимірювання методом лазерної дифракції та встановити межі фракцій різних класифікацій за індексів рефракції, що були визначені в результаті апроксимації даних із методами, описаними в ДСТУ 4730:2007 та ДСТУ ISO 11277:2005, для певного типу ґрунту із застосуванням однієї з пробопідготовок в однаковому диспергувальному розчині. Цей процес триває до 5 хв. Після його завершення на підставі одного з індексів рефракції встановлюють клас ґрунту відповідно до гранулометричного складу за сучасною українською класифікацією, а на підставі іншого — за класифікацією USDA/FAO. Наприклад, для чорнозему звичайного за індексу рефракції 1,39 було визначено, що ґрунт є легкосередньоглинистим, а за індексу рефракції 1,41 — що він належить до піщано-глинистого суглинку (silty clay loam) згідно з міжнародною класифікацією. Отже, використовуючи дані, отримані за допомогою методу лазерної дифракції, можна перейти від однієї класифікації до іншої.

## Висновки

*Доведено можливість застосування даних про гранулометричний склад ґрунту, отриманих методом лазерної*

*дифракції, для визначення класу ґрунту як за сучасною українською класифікацією, так і за класифікацією USDA/FAO.*

Слід зауважити, що в разі використання вказаного методу прободігтовка неістотно впливає на значення вмісту фракцій. Метод лазерної дифракції дає змогу встановлювати межі фракцій згідно з різними класифікаціями та визначати розмір часточок ґрунту за різних індексів рефракції. Для встановлення класу ґрунту згідно із сучасною українською класифікацією запропоновано використовувати індекси рефракції для певного типу ґрунту, визначені

за апроксимації даних методу лазерної дифракції через дані, отримані згідно з ДСТУ 4730:2007, а для встановлення класу ґрунту за класифікацією USDA/FAO — індекси рефракції, визначені в разі апроксимації даних методу лазерної дифракції через дані, отримані згідно з ДСТУ ISO 11277:2005. Отже, метод лазерної дифракції забезпечує можливість переходу від використовуваної в Україні двочленної класифікації ґрунтів до міжнародної тричленної.

**Solokha M.<sup>1</sup>, Vynokurova N.<sup>2</sup>**

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovskiy", 4 Mykhailia Semenka Str., Kharkiv, 61024, Ukraine; e-mail: <sup>1</sup>solomax@ukr.net, <sup>2</sup>mega\_nadi1980@ukr.net; ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-1860-0819, <sup>2</sup>0000-0003-3876-480X

#### **Application of the laser diffraction method for classification of soils by particle size distribution**

**Goal.** To study the possibility of using the laser diffraction method to classify soils by particle size distribution, and the transition from the two-part classification of soils used in Ukraine to the international three-part classification. **Methods.** Analytical methods were used (determination of soil particle size distribution according to SSU 4730:2007, SSU ISO 11277:2005, and by laser diffraction, analysis of the data obtained). As well as mathematical and statistical (comparison of particle size distribution data). The study was conducted on standard soil samples: SSSU 163.5-2015, ISSU 163.1-2015, ISSU 163.2-2015, ISSU 163.6-2019. **Results.** It was fixed that the values of the content of fractions of physical clay, determined under SSU 4730:2007 and by laser diffraction using reagents and sample preparation stages described in SSU 4730:2007, differed insignificantly and corresponded to one class of soil according to the

modern Ukrainian classification. The difference in the content of fractions established by SSU ISO 11277:2005 and by laser diffraction using reagents and sample preparation stages described in SSU ISO 11277:2005 did not exceed 6%, and in this case, the soil class according to the three-part international classification was the same. Sample preparation in the process of determining the granulometric composition by laser diffraction did not significantly affect the determination of the soil class. **Conclusions.** The possibility of using data obtained by laser diffraction to determine the soil class using various classifications was proved. To establish the soil class according to the modern Ukrainian classification, it was proposed to use refraction indices for a certain type of soil, determined by approximation of data from the laser diffraction method through data according to SSU 4730:2007. And to establish the soil class according to the USDA/FAO classification, it was proposed to use refraction indices for a certain type of soil, determined as a result of the approximation of data from the laser diffraction method through data established according to SSU ISO 11277:2005.

**Key words:** soil class, laser diffraction, sedimentation, sample preparation, particle size, fraction content.

**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202508-06>

### **Бібліографія**

1. Полупан М.І., Соловей В.Б., Величко В.А. Класифікація ґрунтів України. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Кн. 1. Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2002. С. 129–138.

2. Тихоненко Д.Г. Пропозиції щодо майбутніх повторних широкомасштабних обстежень ґрунтів України. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2017. 86. С. 79–80.

3. *Медведев В.В., Лактіонова Т.М.* Гранулометричний склад ґрунтів України (генетичний, екологічний і агрономічний аспекти). Харків: Апостроф, 2011. 292 с.

4. *IUSS Working Group WRB.* World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria 2022. [https://wrb.isric.org/files/WRB\\_fourth\\_edition\\_2022-12-18\\_errata\\_correction\\_2024-09-24.pdf](https://wrb.isric.org/files/WRB_fourth_edition_2022-12-18_errata_correction_2024-09-24.pdf)

5. *Moeys J.* The soil texture wizard: R functions for plotting, classifying, transforming and exploring soil texture data. 2024. 104 p. [https://cran.r-project.org/web/packages/soiltexture/vignettes/soiltexture\\_vignette.pdf](https://cran.r-project.org/web/packages/soiltexture/vignettes/soiltexture_vignette.pdf)

6. *Minasny B., McBratney A.B.* The Australian soil texture boomerang: a comparison of the Australian and USDA/FAO soil particle-size classification systems. *Australian Journal of Soil Research*. 2001. 39(6). P. 1443–1451. doi: 10.1071/SR00065

7. *Lee D.-B., Kim Y.-N., Sonn Y.-K., Kim K.-H.* Comparison of soil taxonomy (2022) and WRB (2022) systems for classifying paddy soils with different drainage grades in South Korea. *Land*. 2023. 12(6). P. 1204–1216. doi: 10.3390/land12061204

8. *Takahashi T., Nakano K., Nira R. et al.* Conversion of soil particle size distribution and texture classification from ISSS system to FAO/USDA system in Japanese paddy soils. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2020. 66(3). P. 407–414. doi: 10.1080/00380768.2020.1763143

9. *Соловей В.Б., Лебедь В.В.* Методичні основи порівняння національної номенклатури

ґрунтів з міжнародною системою WRB. *Вісник аграрної науки*. 2024. 5. С. 15–23. doi: 10.31073/agrovisnyk202405-02

10. *Лактіонова Т.М.* Про можливість застосування в Україні класифікації гранулометричного складу ґрунтів USDA/FAO. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2011. 74. С. 36–46.

11. *Particle size analysis.* Laser diffraction methods: ISO 13320:2020. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization. 2020. 66 p.

12. *Якість ґрунту.* Визначення гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського: ДСТУ 4730:2007. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 16 с.

13. *Якість ґрунту.* Визначення гранулометричного складу мінерального матеріалу ґрунту. Метод просіювання і седиментації: ДСТУ ISO 11277:2005. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 59 с.

14. *Винокурова Н.В.* Аспекти вибору оптичних параметрів ґрунтової проби при вимірюванні гранулометричного складу ґрунту методом лазерної дифракції. *Сучасні проблеми ґрунтознавства в Україні і світі*: зб. матер. міжнар. наук. конф. Кам'янець-Подільський: ЗВО «Подільський державний університет», 2024. С. 148–152. <http://188.190.43.194:7980/jspui/handle/123456789/368>

15. *Rasmussen C., Dalsgaard K.* Working paper Documentation of tests on particle size methodologies for laser diffraction compared to traditional sieving and sedimentation analysis. *AU Library Scholarly Publishing Services — E-Books*. 2017. 36 p. <https://ebooks.au.dk/index.php/aul/catalog/book/205>