

УДК 631.4

## СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ҐРУНТІВ

Володимир Радзій

*Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки,  
просп. Волі, 13, 43025, м. Луцьк, Україна*

Гранулометричний склад ґрунтів визначає значну частину водно-фізичних властивостей ґрунтової маси. Водночас від нього залежать екологічні функції та морфологічна пам'ять ґрунтів у разі дослідження їхньої генези, еволюції та використання. Розглянуто основні методи гранулометричного аналізу й описано сучасні методи, які щораз більш застосовуються для дослідження в ґрунтознавстві, геології, хімічній, фармацевтичній та інших галузях промисловості.

*Ключові слова:* гранулометричний склад ґрунту, седиментограф, лазерна дифракція.

Гранулометричний склад ґрунтів переважно успадкований від ґрунтоутворних порід та мало змінюється в процесі ґрунтоутворення. Особливості складу материнських порід визначають мінеральний та значною мірою впливають на хімічний склад ґрунту; будова та структура порід зумовлюють механічні, водно-фізичні й інші властивості ґрунтів. Уламки щільних порід і мінералів, які утворюють тверду фазу ґрунтів, розрізняють не тільки за типом кристалічної ґратки і хімічним складом; вони утворюють суміш мінеральних часток різного розміру, які називають механічними елементами [10]. Переважання частинок того чи іншого розміру в ґрунтових породах і ґрунтах визначає значну частину фізичних властивостей ґрунтової маси (пористість, повітро- та водопроникність, вологоємність, гігроскопічність тощо). Гранулометричний склад відображає всі основні ґрунтові процеси, є одним із фундаментів родючості ґрунтів. За даними гранулометричного аналізу оцінюють потенційну здатність ґрунтів до аерації. Водночас гранулометричний склад визначає екологічні функції ґрунтів, такі як поширення рослин, освоєння ґрунту кореневою системою, забезпечення рослин водою та елементами живлення [9]. У цьому разі для кожної з рослин існує певний оптимум, який треба враховувати, розробляючи заходи раціонального використання земель [16]. Дані гранулометричного аналізу використовують для бонітетної оцінки ґрунтів, у розробці проектів осушувальних і зрошувальних систем. Залежно від гранулометричного складу ґрунтів змінюються умови обробітку, терміни польових робіт, норми внесення добрив та хімічних меліорантів, розміщення сільськогосподарських культур тощо.

Вивчення елементів складної ґрунтової організації, які містять важливу інформацію про процеси і чинники ґрунтоутворення, дослідження генези, еволюції та використання ґрунтів від макро-, субмікромасштабів до наномасштабів треба вважати організаційно-ієрархічним вивченням морфологічної пам'яті ґрунтів. Подальше вивчення носіїв ґрунтової пам'яті передбачає аналітичне дослідження елементного складу та властивостей твердої фази усім комплексом методів, властивих ґрунтознавству, геохімії та мінералогії, щодо з'ясування різних видів пам'яті ґрунтів, одним з яких є гранулометрична пам'ять [13].

Проте сьогодні є дві основні проблеми – застосування найоб'єктивніших методів дослідження, інтерпретації результатів та класифікації гранулометричного складу ґрунтів.

Параметри, що характеризують гранулометричний склад ґрунтів, дають змогу класифікувати ґрунти і ґрунтовірні породи. Із розвитком сучасних дистанційних методів дослідження та їхнього щораз ширшого застосування під час дослідження фізичних властивостей ґрунтів постає питання оптимального вибору методу аналізу гранулометричного складу, підходів до інтерпретації результатів аналізу та класифікації. Ці проблеми найповніше розкриває С. Шеїн, який зазначає, що суттєве різноманіття методів, класифікацій, приладів, які використовують різні фізичні принципи (седиментометрія, лазерна дифрактометрія), зумовлює врахування особливостей методів і класифікацій, закономірностей кількісного переведення даних з однієї класифікації в іншу [2, 18]. Т. Лактіонова проаналізувала історію розвитку різних класифікацій гранулометричного складу ґрунтів і способів адаптації між ними. Особливу увагу вона акцентувала на можливості переходу від результатів аналізу за методикою Н. Качинського до класифікації гранулометричного складу USDA/FAO [4]. Особливості дослідження гранулометричного складу ґрунтів методами лазерної дифрактометрії висвітлено в публікаціях А. Блохіна, Є. Шеїна, Є. Мілановського, С. Калужського [1, 2]. Широке застосування ці методи отримали у літологічних дослідженнях та інженерно-геологічних вишукуваннях, про що зазначають С. Стадніченко, В. Подоба, О. Митропольський та ін. [7, 11, 12]. Також методи та методики визначення гранулометричних фракцій використовують для дослідження і розробки технологічних схем екстрагування в хімічній, фармацевтичній та інших галузях [8, 15]. Дані гранулометричного аналізу широко використовують під час вивчення мікрморфологічних особливостей ґрунтів із застосуванням фотограмметричних методів цифрової обробки растрово-електронно-мікроскопічних зображень (знімків), а також у разі ідентифікації сиплексу факторів еродованості ґрунту, отриманих за допомогою рентгенівського дифрактометра [5, 6].

**Наші мета і завдання** – висвітлити сучасні проблеми дослідження гранулометричного складу ґрунтів та підходи до інтерпретації даних аналізу; проаналізувати методи гранулометричного аналізу, які прийняті в наукових дослідженнях у галузі ґрунтознавства та інженерно-ґрунтознавчих вишукувань; висвітлити особливості застосування лазерного седиментографа для визначення розмірів елементарних ґрунтових часток.

Гранулометричний склад ґрунтів приблизно на 90 % представлений елементарними ґрунтовими часточками (ЕГЧ) мінеральної природи. У цьому разі ЕГЧ можуть мати будь-яку геометричну форму: куля, куб, призма тощо. Умовно їхню форму приймають за кулеподібну, враховуючи так званий ефективний діаметр. Відтак гранулометричний склад – це відносний вміст у ґрунті ЕГЧ різного діаметра та хімічного складу. Його виражають, передусім, у вигляді масових відсотків фракцій гранулометричних часток різного діаметра.

Усі ґрунтові вишукування проводять для вирішення прикладних завдань, вони обов'язково супроводжуються визначенням гранулометричного складу. У польовому морфологічному описі використовують візуальні методи, а в лабораторних умовах точно визначають гранулометричний склад досліджуваних ґрунтів прийнятими методами аналізу. В польових умовах гранулометричний склад визначають “сухим” і “мокрим” методами. Ситовий метод гранулометричного аналізу застосовують для визначення кам'янистої частини ґрунтів різного гранулометричного складу, а також в

аналізі пісків [3]. Для більшої ефективності просіювання набір сит встановлюють у спеціальний прилад – ротап.

Є багато методів визначення гранулометричного складу, які поділяють на дві групи: аналіз у проточній воді (методи Небеля, Шене, Копецького та ін.); аналізу в стоячій воді (методи Осборна, Кноппа, Аппіані, Вільямса, Сабаніна, Аттерберга, Глушкова, Робінсона, Філатова, Качинського, Долгова тощо).

Одним із найпоширеніших методів є метод піпетки, який ґрунтується на врахуванні швидкості осідання часток різного розміру в рідкому середовищі та відборі проб із суспензії з глибини [10]. Гранулометричний аналіз складається з двох основних етапів: диспергації ґрунтової маси та аналізу вмісту часток різного розміру. Тільки після етапу механічного розділення визначають вміст часток різного розміру – визначають гранулометричний склад. За основу розрахунків, які виконують за гідравлічних способів аналізу, взято формулу Стокса – швидкість осадження частинок сферичної форми залежить від радіуса частинок, питомої ваги частинок, питомої ваги води, прискорення сили тяжіння і в'язкості води.

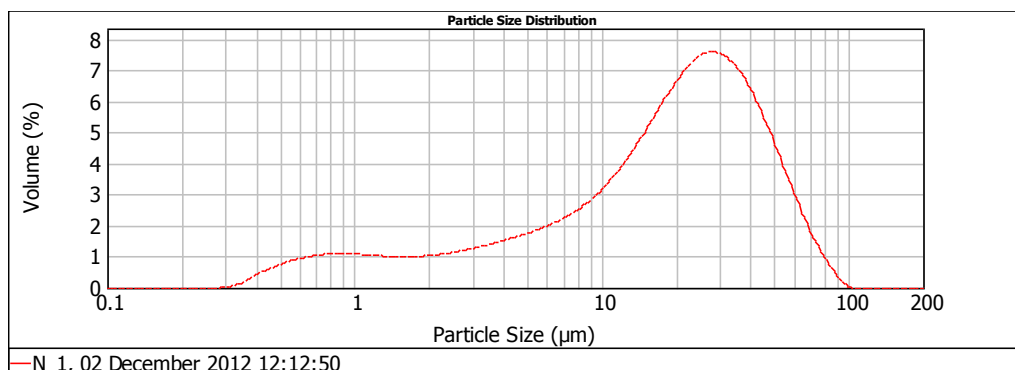
В окрему групу виділяють методи, які ґрунтуються на дослідженні фізичних властивостей ЕГЧ: лазерна дифракція (осадження), кондуктометричний метод (лічильник Коултера), оптичні методи (аналіз зображень).

Рентген-седиментаційний метод гранулометричного аналізу ґрунтується на принципі вимірювання густини седиментувальної дисперсії за поглинутими рентгенівськими променями з автоматичною реєстрацією результатів у вигляді інтегральної кривої мас-розподілу в діапазоні часток діаметром від 100 мкм (0,1 мм) і менше. Цей метод добре показує неперервну криву гранулометричного складу та виділяє особливості досліджуваного зразка; розділення проби за допомогою ультразвуку до оптимального виходу тонких фракцій, що забезпечує цілісність гранулометричних елементів; серія пілових аналізів дає змогу оцінити міцність мікроструктури ґрунту [17]. За допомогою приладу Sedigraph 5100 (Micromeritics Instrument Corporation, Norcross, GA, USA) вимірюють швидкість осадження частинок, визначаючи рентгенівським випромінюванням мутність на різних рівнях стовпчика зразка. Дані розподілу наводять у відсотках щодо маси.

За останні 10–15 років інтенсивно розвивається метод лазерної дифракції, який застосовують для визначення розподілу часток за розміром і в якому використовують фізичний принцип флуктації електромагнітних хвиль. Світло паралельного лазерного променя зазнає заломлення твердофазовими частками і відхиляється на фіксовані кути, які залежать від діаметрів і оптичних властивостей часток. Із загальної сукупності кожен індивідуальний розмір часток локалізує певний кут розсіювання, розшифрування дифракційної картини дає змогу розрахувати відсотковий вміст часток різного розміру. Зведені в одній точці лінзи фокусують розсіяне світло в кільці на центральній панелі, де детектор вимірює розподіл світлової енергії (спектр Фур'є). Розподіл часток за розмірами обчислюють відповідно до теорії Фраунгофера за єдиною розрахунковою процедурою. Для визначення гранулометричного складу ґрунтів лазерним дифрактометричним (оптичним) методом використовують прилади різних конструкцій. Залежно від моделі приладу проба може бути піддана вимірюванню навіть у сухому стані. Як носій у цьому випадку використовують струмінь повітря, що рухається зі швидкістю, більшою від швидкості звуку. Це відкриває нові можливості для отримання додаткових відомостей про стан твердої фази ґрунту. У разі визначення гранулометричного складу ґрунтів цим методом використовують універсальний лазерний дифракційний аналіза-

тор розміру часток SALD-201V фірми SHIMADZU (Японія), лазерний седиментограф Mastersizer 2000 (Malvern Instruments, UK). За його допомогою можна визначити вміст часток розміром від 350 до 0,25 мкм (від 0,35 до 0,00025 мм) [1].

Результати досліджень гранулометричного аналізу зр. 2, що характеризує ілювіальний горизонт (30–60 см) сірого лісового ґрунту, отримані лазерним седиментографом Mastersizer 2000 (Malvern Instruments, UK) (див. рисунок). Дані наведені відповідно до об'єму, максимально відповідають реальному розподілу часток за фракціями. На рисунку відображено криву розподілу часток за розміром. Вісь  $x$  – розмір часток, мкм, вісь  $y$  – відсотковий вміст (відповідно до кількості частинок). Диференційна крива ілюструє загальну картину і переважні у цьому зразку фракції. Зокрема, максимальна кількість часток на діапазон розмірностей (фракцій) 0,05–0,002 мм (50–2 мкм) та становить 79 %.



Результат аналізу гранулометричного складу зр. 2.

Кондуктометричний метод. Визначення розмірів окремих частинок виконують за імпульсами електричного струму. Частинки перебувають у завислому стані в розчині електроліту і проходять через невеликий отвір. Два електроди створюють електричний струм у цьому отворі. Коли частка проходить через нього, вона заміщує власним об'ємом електроліт, збільшуючи опір в отворі. Створена пульсація прямо пропорційна до об'єму частки. Аналіз пульсацій дає змогу отримати розподіл завислих частинок за розміром. Цей прилад визначає гранулометричний склад, а також концентрацію часток у зразку. Вимірювання на лічильнику охоплюють частки діаметром від 1,8 до 20,7 мкм [12].

“Час переміщення” (TOT). Виявлення частинок відбувається за допомогою лазерного променя, що обертається. Промінь, сфокусований на невелику точку, забезпечує кругове сканування призми з досліджуваним зразком. Так само як лазерна дифракція, метод TOT надає результати у відсотках щодо об'єму. Одним з приладів, які працюють за цим принципом, є CIS-100 [12].

До оптичних (аналіз зображення) належать такі методи: статичний аналіз зображення (SIA) та динамічний аналіз зображення (DIA). Метод SIA ґрунтується на програмному забезпеченні для дослідження морфометричних параметрів часток із цифрових знімків.

Також для аналізу частинок розміром до 2 мкм застосовують такі прилади, як трансмісійні електронні мікроскопи (ТЕМ) та сканувальні електронні мікроскопи (SEM), що надають інформацію про розміри, форму та морфологічні особливості.

Наявні сьогодні методи визначення фільтраційних властивостей ґрунтів трудомісткі й досить тривалі за часом, тому особливого значення набули методи оцінювання структури порового простору та часток за допомогою растрового електронного мікроскопа (РЕМ), що дають змогу виявляти проникність ґрунтів за зразками малого розміру. Метод передбачає аналіз РЕМ-зображень спеціально підготовлених поверхонь зразків. Кількісний аналіз структури порового простору зразків виконують за допомогою пакета прикладних програм STIMAN (ПП STIMAN), розробленого в Московському державному університеті імені М. Ломоносова. Основною відмінністю цього методу є те, що він дає змогу вирішити проблему одночасного опрацювання кількох різномасштабних зображень (до десяти). За допомогою ПП STIMAN можна отримати такі характеристики: розмір і форму структурних елементів, їхню орієнтацію, площу, периметр, пористість, питому поверхню тощо. Спеціальна програма статистичного опрацювання дає змогу будувати відповідні гістограми, а модифікований варіант пакета – отримувати таку важливу характеристику, як фільтраційний коефіцієнт ґрунту [6].

Проте класичні ТЕМ та SEM методика передбачають дуже складну і трудомістку процедуру підготовки зразків (усунення агломератів глинистих частинок). Нове покоління мікроскопів представлено сканувальним мікроскопом (Scanning Probe Microscopy (SPM)), що відрізняється простотою процедури підготовки зразка та високою роздільною здатністю (від мікроскопічних до розмірів атома). Визначення гранулометричного складу ґрунтується на вимірюванні діаметра та товщини часток; результати наведені у відсотках щодо маси чи кількості часток. Метод SPM є дуже потужним інструментом у дослідженні розміру частинок ґрунту на нанорівні [11].

Зазначені методи аналізу гранулометричного складу ґрунтуються на певному фізичному принципі, проте є проблеми зіставлення результатів аналізу із класичними методами визначення розмірів елементарних ґрунтових часток. Кожен із цих методів має особливі способи пробопідготовки. У розрахункові моделі закладено різні форми часток тощо.

Отже, аналіз сучасних методів визначення гранулометричного складу ґрунтів засвідчив перспективність ширшого їх застосування в практиці прикладних ґрунтових досліджень. Описані методи суттєво зменшують час проведення аналізу. Для зіставлення результатів аналізу необхідно накопичувати фактичний матеріал, розробляти алгоритми переходу до національної системи класифікації ґрунтів за гранулометричним складом. Особливу увагу на це повинні звернути члени Технічного комітету стандартизації “Ґрунтознавство” (ТК 142), які працюють над розробкою, впровадженням і адаптацією національних стандартів у сфері ґрунтознавства, агрохімії й охорони ґрунтів, а також працюють у напрямі системної гармонізації з міжнародними та європейськими стандартами.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Блохин А. Н.* Оценка применения метода лазерной дифрактометрии в определении гранулометрического состава [Текст] / А. Н. Блохин, С. П. Кулижский // Вестник ТГУ. Биология. – 2009. – № 1. – С. 37–43.

2. *Блохин А. Н.* Характеристика гранулометрического и агрегатного состава почв северной части ареала Черневой тайги Кузнецкого Алатау с использованием параметров вероятностных функций [Текст] / А. Н. Блохин, Е. Н. Шеин, Е. Ю. Милановский // Вестник ТГУ. Биология. – 2010. – № 2 (10). – С. 7–18.
3. *Качинский Н. И.* Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения / Н. И. Качинский. – М. : Издательство АН СССР, 1958. – 192 с.
4. *Лактіонова Т. М.* Про можливість застосування в Україні класифікації гранулометричного складу ґрунтів USDA/FAO [Текст] / Т. М. Лактіонова // Агрохімія і ґрунтознавство. – 2011. – Вип. 74. – С. 36–46.
5. *Мельник В. М.* Деякі питання ідентифікації моделей водної та вітрової ерозії [Текст] / В. М. Мельник, В. Ф. Радзій, В. П. Мендель // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2013. – № 1 (25) – С. 139–144.
6. *Мельник В. М.* РЕМ-аналіз мікроструктури дерново-підзолистих ґрунтів [Текст] / В. М. Мельник, В. Ф. Радзій, Ю. А. Мельник // Вісн. геодезії і картографії. – 2010. – № 5. – С. 29–34.
7. *Митропольський О. Ю.* Результати досліджень донних відкладів на геоекологічному полігоні в межах експериментального відділення морського гідрофізичного інституту НАН України [Текст] / О. Ю. Митропольський, Є. І. Наседкін, Г. М. Іванова та ін. // Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу. – 2011. – Вип. 25, Т. 1. – С. 181–191.
8. *Осадчук П. І.* Кінетика екстрагування масел з нетрадиційної рослинної сировини : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.18.12 – процеси та апарати харчових виробництв / П. І. Осадчук ; Одеська держ. академія харчових технологій. – Одеса, 2000. – 19 с.
9. *Позняк С. П.* Ґрунтознавство і географія ґрунтів : підручник. У двох частинах. Ч. 1 / С. П. Позняк. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2010. – 270 с.
10. *Практикум з ґрунтознавства : навчальний посібник* / [Д. Г. Тихоненко, В. В. Дегтярьов, С. В. Крохін та ін.] ; за ред. проф. Д. Г. Тихоненка. – 6-те вид., перероб. і доп. – Х. : Майдан, 2009.
11. *Стадніченко С. М.* Методика використання седиментографа MASTERSIZER 2000 для гранулометричного аналізу та питання інтерпретації отриманих результатів [Текст] / С. М. Стадніченко, В. О. Подоба // Зб. наук. праць Інституту геологічних наук НАН України. – 2008. – Вип. 1. – С. 269–277.
12. *Стадніченко С. М.* Сучасні методи визначення гранулометричного складу осадових порід та особливості їх застосування [Текст] / С. М. Стадніченко // Зб. наук. праць Інституту геологічних наук НАН України. – 2009. – Вип. 2. – С. 152–161.
13. *Таргульян В. О.* Память почв: формирование, носители, пространственно-временное разнообразие [Текст] / В. О. Таргульян // Память почв. Память как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий / [под ред. В. О. Таргульяна, С. В. Горячкина]. – М. : Изд-во ЛКИ, 2008. – С. 23–57.
14. *Теории и методы физики почв : коллективная монография* / [под ред. Е. В. Шеина, Л. О. Карпачевского]. – М. : “Гриф и К”, 2007. – 616 с.
15. *Федорчук-Мороз В. І.* Дослідження процесу екстрагування цільових компонентів з амарантової сировини : монографія / В. І. Федорчук-Мороз, Є. М. Семенишин. – Луцьк : РВВ ЛНТУ, 2011. – 104 с.

16. *Чижевська Л. Т.* Вплив гранулометричного складу ґрунту на екологічну стійкість природних систем Волинської області [Текст] / Л. Т. Чижевська // Природа Західного Полісся та прилеглих територій : зб. наук. пр. – 2011. – № 8. – С. 22–24.
17. *Шеин Е. В.* Гранулометрический состав почв: проблемы методов исследования, интерпретации результатов и классификации [Текст] / Е. В. Шеин // Почвоведение. – 2009. – № 3. – С. 309–317.

*Стаття: надійшла до редакції 08.04.2013  
доопрацьована 26.04.2013  
прийнята до друку 17.06.2013*

## MODERN METHODS OF GRAIN SIZE DISTRIBUTION OF SOILS

**Volodymyr Radzii**

*Lesya Ukrainka Eastern European National University,  
Voli Ave, 13, UA – 43025, Lutsk, Ukraine*

Grain size distribution of soil determines much of water and physical properties of the soil mass. However, it defines ecological functions and morphological memory of soils in the study of their genesis, evolution and use. This article describes the main methods of particle size analysis and suggests the modern methods used increasingly in the research in soil science, geology, chemical, pharmaceutical and other industries.

*Key words:* particle size distribution of soil, sedimentograph, laser diffraction.

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВ

**Владимир Радзий**

*Восточноевропейский национальный университет имени Леси Украинки,  
просп. Воли, 13, 43025, г. Луцк, Украина*

Гранулометрический состав почв определяет значительную часть водно-физических свойств почвенной массы, а также экологические функции и морфологическую память почв в исследованиях их генезиса, эволюции и использования. Рассмотрено основные методы гранулометрического анализа, описано современные методы, которые все более применяют в почвоведении, геологии, химической, фармацевтической и других отраслях промышленности.

*Ключевые слова:* гранулометрический состав почв, седиментограф, лазерная дифракция.