

## СУЧАСНИЙ СТАН МЕТОДИЧНИХ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ У СВІТІ

**СОЛОХА М.О.** – доктор сільськогосподарських наук

<https://orcid.org/0000-0002-1860-0819>

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії  
імені О. Н. Соколовського»

**ВИНОКУРОВА Н.В.** – провідний інженер

<https://orcid.org/0000-0003-3876-480X>

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії  
імені О. Н. Соколовського»

**Постановка проблеми.** Нині різниця класифікацій, переклад назв фракцій ґрунту, методики підготовки проб до аналізу у різних країнах світу створюють проблеми щодо використання всесвітнього досвіду боротьби з деградацією земель та якісного ведення сільського господарства, що унеможлиблює використання в Україні міжнародних даних про оптимальне зрошення і внесення добрив в орані ґрунти. Для співпраці в межах міжнародної роботи з ФАО в питаннях впливу зміни клімату та опустелювання на стан ґрунту (згідно з реалізацією плану заходів Національної академії аграрних наук України з виконання у 2021-2025 рр. заходів Національного плану дій щодо боротьби з деградацією земель та опустелюванням, затвердженого Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 березня 2016 р. № 271-р. [1] та низкою профільних документів, Рішенням Ради національної безпеки і оборони України «Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації») постає необхідність створити, адаптувати та гармонізувати національні та міжнародні методики визначення гранулометричного складу. Для цього стає у пригоді лазерно-дифракційний метод (ЛДМ), адже він дозволяє визначати розподіл частин за фракціями, межі яких можна встановити одночасно як за класифікацією Н.А. Качинського, так і за будь-якою іншою. Але цей метод є новітнім і потребує розроблення методики для використання в ґрунтознавстві.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існуючі методи гранулометричного аналізу, класифікація ґрунтів і встановлені межі фракцій висвітлили Т. Allen [2], Р. Schulte [3]. А.В. Юдина [4], D. Igaz та інші [5]. Вони зазначили, що кожний із методів має свої переваги та недоліки. J. Moeys [6] розробила програму для побудови трикутника текстури ґрунту різних класифікацій. Що стосується використання ЛДМ, то в ISO 13320:2020 (E) [7] надаються лише рекомендації до вимірювання розподілу частинок шляхом аналізу їх світлорозсіюючих властивостей і не розглядаються способи пробопідготовки до аналізу.

**Мета дослідження** – аналіз різних методичних підходів до визначення гранулометричного складу ґрунту у різних країнах світу, зокрема відносно новітнього методу – лазерної дифракції.

**Матеріали та методика досліджень.** Використані публікації як українських науковців, так і дослідників інших країн стосовно визначення гранулометричного складу, доступні в Інтернеті, та власний досвід роботи у мережі GLOSOLAN проєкту ФАО. Дослідження проводилося шляхом аналізу, систематизації та порівняння методик і класифікацій, що використовуються.

**Результати досліджень.** Нині існують різні методи з визначення гранулометричного складу: органолептичні, ситові, седиментаційні, метод мікроскопії, лазерно-дифракційний метод та інші.

Для швидкого визначення текстури у польових умовах використовують органолептичні методи. В Україні найпоширенішими органолептичними методами є «сухий метод» (розтирання грудки ґрунту на долоні пальцями та залежно від відчуттів визначення його механічного складу (піщаний, суглинковий чи глинистий), та «вологий метод», за якого з вологого зразка ґрунту скручують дріт діаметром близько 3 см і роблять кільце, за формою якого встановлюється механічний склад ґрунту (пісок, супісок, легкий суглинок, середній суглинок, важкий суглинок, глина). Водночас ФАО [8] пропонує використовувати дещо інші польові методи визначення текстури ґрунту, поділяючи їх на: метод «відчуття», метод «стрічки» і «тест на струшування». Метод «стрічки» і «тест на струшування» пов'язані з методом «відчуття» для визначення фракцій пісок, мул, глина. У методі «відчуття» з вологого ґрунту скручують дріт діаметром від 7 мм до 3 см, а з нього – кільце та за відчуттям за таблицею визнають у відсотках приблизний уміст цих фракцій. За цими значеннями згідно з діаграмою у вигляді трикутника, адаптованою виробництвом ФАО для опису ґрунтів [8], визначають текстуру. І хоча за виконанням «вологий метод» подібний до методу «відчуття», але інтерпретація різна та використовуються різні класифікації.

В Україні у ґрунтово-географічних і ґрунтово-агрономічних дослідженнях переважно використовується двочленна система за Н. А. Качинським, а також застосовувалась у період обстеження ґрунтів України тричленна класифікація ґрунтів за М. М. Годліним, за якою побудована карта ґрунтів України 1972 року та яка використовується донині. У більшості європейських країн, а також в Австралії і США класифікація текстури ґрунту тричленна, але відрізняється одна від одної,

має різні межі фракцій піску, мулу і глини [6]. У деяких країнах Східної Європи (Болгарії, Чехії, Словаччині), а також у країнах пострадянського простору використовують також двочленну систему класифікації ґрунтів за Н. А. Качинським або ту, яка виникла з неї (класифікація Новака).

Польові методи дають лише приблизне уявлення про текстуру ґрунту, більш точно розмір частинок визначається в лабораторних умовах. За потрапляння зразка до лабораторії він проходить попередню обробку. Як у нашій державі, так і в багатьох країнах світу прийнято ISO 11277:2002 або ISO 11464:2006 (ДСТУ ISO 11464:2007), згідно з яким зразки висушують на повітрі або у печі за температури, що не перевищує 40°C, до повітряно-сухого стану [власний досвід роботи в мережі GLOSOLAN проекту FAO] Використовують іншу сушку зразків: за температури 60-70°C (у країнах Коста-Ріка, Болівія, Еквадор), інколи – за температури 105°C [9] та 110 °C у геотехнічних дослідженнях [10]. Для визначення гранулометричного складу використовують методи, що стали класичними (ситовий і седиментаційний) та новітні (мікроскопічні, лазерно-дифракційний та інші). Кожен із цих методів базується на різних принципах вимірювання і застосовується лише до певного діапазону розміру частинок.

Ситовий метод використовують лише для визначення розміру частинок, що затримуються на ситі з діаметром отворів від 125 мм до 20 мк [3]. Цей метод використовується переважно для піщаних зразків та в разі видалення піску з ґрунту. Просіювання проводиться за допомогою сертифікованого набору калібрувальних сит залежно від необхідних розмірів фракцій і класифікації текстури ґрунту. У ситовому методі визначають орієнтовний поперечний діаметр частинки, що пройшла крізь сито з певним діаметром отворів. Метод легкий у використанні, але якщо частинки мають голчасту або витягнуту форму, механічний рух під час просіювання впливає на повторюваність і відтворюваність результатів, що обумовлює похибку вимірювання [2].

Седиментаційні методи, засновані на законі Стокса, поділяють на піпетковий та аерометричний; вони придатні для фракцій мулу і глини. Розмір частинок приймають за сферу, що має «стоксовий діаметр»: частинка має таку саму швидкість седиментації, як і сферична частинка певного діаметру з визначеною щільністю.

Перед використанням седиментаційних методів, після подрібнення зразок ґрунту просіюють крізь сито з діаметром отворів 2 мм або 1 мм, а потім застосовують сухе та вологе просіювання на ситах із діаметром отворів 250 мк, 100 мк, 63 мк, 0,074 мм, 0,05 мм залежно від методу і використаної класифікації. Окрім того, проводиться попередня обробка зразку: видалення органічної речовини, карбонатів, розчинних солей, дисперсія. Седиментаційний метод застосовують в Україні згідно з ДСТУ 4730:2007 або ДСТУ ISO 11277:2005, або ДСТУ Б В.2.1-19:2009 для будівельної галузі. В інших країнах застосовують свої стандарти: у Польщі – ASTM D7928–17 та EN ISO 17892-4 [11], в Угорщині – MSZ-08-0205 (1978) та ISO 11277 2009 [12], в Росії – ГОСТ 12536-2014 [4], у Німеччині – DIN 18123, 2011 та DIN EN

ISO 17892-4, 2014, DIN 19683 [3; 13], в Австралії – AS 1289.3.6.3–2003 та ISO D. 11277:2002 [14] та інші. Кожен зі стандартів має свої відмінності. Незважаючи на це, їх використовують як еталон для порівняння із ЛДМ, який дозволяє визначати діаметр частинок на основі законів оптики (заломлення, поглинання та відбиття променя), дифракції світла.

Найчастіше застосовувалась аналогічна пробопідготовка ґрунту до ЛДМ, як і для седиментаційних методів. Деякі автори статей не проводили видалення органічних речовин для визначення розподілу частинок за розмірами ЛДМ [5]. А. Юдина [4], проводячи вибір способу попереднього видалення органічної речовини зі зразків, визнає, що окислення 30% перекисом водню  $H_2O_2$  протягом 7 діб є найповнішим і сприяє більшому виходу мулистої фракції, але окислення призвело до зміни градації у класифікації ґрунтів за гранулометричним складом (за класифікацією Н. А. Качинського). С. Rasmussen і К. Dalsgaard [9] дійшли висновку, що видалення органічного вуглецю зі зразків із низьким вмістом органічного матеріалу не впливає або слабо впливає на розподіл частинок за розміром, але якщо зразок має більше 2% органічного вуглецю, його видалення впливає на розподіл.

У методиках багатьох країн видалення органічної речовини під час визначення текстури ґрунту є обов'язковим, тому більшість авторів [15; 16; 9; 3] перед вимірюванням ЛДМ із зразків все ж таки видаляли органічні речовини, використовуючи найчастіше перекис водню  $H_2O_2$ . А Мако, порівнюючи зразки з обробкою перекисом водню та без нього, дійшов висновку, що «попередня обробка змінює співвідношення фракцій глини, мулу, піску» [15]; це підтверджено в інших дослідженнях [3; 16]. Р. Fisher зі співавторами [14] видаляли органічні речовини гіпохлоритом натрію (ця методика підходить для ґрунтів південно-західної Вікторії (Австралія)) дійшли висновку, що не слід завчасно видаляти вуглець під час вимірювання на лазерному дифрактометрі Mastersizer 2000 (Malvern Instruments, Malvern, UK), адже «використання попередньої обробки зразків зазвичай скоріше погіршувало, аніж покращувало Lin's CCC». Цей етап пробопідготовки подовжує загальний час визначення розміру частинок ґрунту ЛДМ, тому рішення залишати чи видаляти органічну речовину у зразку для аналізу під час вимірювання ЛДМ залежить від того, який ґрунт використовують (наявність органіки та гумусу) та за якою стандартною процедурою проводять підготовку ґрунту для визначення гранулометричного складу в тій чи іншій країні. ISO 13320: 2020 [7] не регламентує цей параметр. Те ж саме стосується і видалення карбонатів та розчинних солей. Але найчастіше процедуру видалення карбонатів проводять і використовують розбавлену соляну кислоту, інколи – буферний розчин ацетату натрію або оцтову кислоту. В. Lucke та U. Schmidt [13] вважають, що «не бажано видаляти карбонат кальцію задля аналізу розміру частинок вапняних наземних ґрунтів та відкладень, адже це впливає на результати вимірювань. Якщо необхідно досягти максимальної точності розподілу частинок за розміром, слід провести декілька аналізів, які поєднують об'ємний аналіз зразків

із видаленням  $\text{CaCO}_3$  та без нього з оптичними оцінками тонких зрізів».

Для запобігання флокуляції в якості реагента під час вимірювання ЛДМ застосовували: розчин гексометорфосфату натрію  $\text{Na}_6[(\text{PO}_3)_6]$  [4; 5; 10; 13; 14; 15], розчин 0,05 М поліфосфату натрію (сіль Грехема  $(\text{NaPO}_3)_n$ ) [4; 5], 3,6-5,0 %, розчин пірофосфату натрію  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  [4; 11; 16].

В Україні згідно з ДСТУ 4730:2007 видаляють карбонати розчином соляної кислоти, а також для диспергування зразок кип'ятять у дистильованій воді з додаванням 4-5  $\text{cm}^3$  розчину гідроксиду натрію. Відомості щодо використання цієї процедури підготовки ґрунту (як в ДСТУ 4730:2007) для визначення розподілу частинок за розміром ЛДМ у літературі відсутні.

Для дезагрегації ґрунтів у лазерній дифрактометрії також використовують ультразвук із різною потужністю в поєднанні з пептизуючою речовиною [5; 10; 11; 13; 14; 15; 17] або тільки ультразвук [4; 18]. С. Rasmussen і К. Dalsgaard [9] вважають, що час, необхідний для застосування ультразвуку, не повинен перевищувати 60 секунд, оскільки деякі частинки з низькою міцністю під впливом ультразвуку можуть зруйнуватися, створюючи таким чином розподіл частинок за розміром, де кількість дрібних часток завищена. Здійснивши дослідження дисперсії зразків, А. Юдина [4] дійшла висновку, що «жоден із опрацьованих хімічних способів пробопідготовки ґрунтів до гранулометричного аналізу не забезпечує близького ступеня дисперсності зразка, яку можна здобути використанням ультразвукового методу». Оскільки автори статей за ЛДМ мають різні думки щодо часу та потужності використання ультразвуку, то надалі перед застосуванням ультразвуку слід провести додаткові дослідження різних типів ґрунту та його впливу на частинки (використовуючи, зокрема, електронну мікроскопію задля спостереження за змінами).

Окрім того, у публікаціях порівнюють дані методу седиментації (сито-піпет або аерометричний) та ЛДМ і відзначають, що показники за фракціями є розбіжними, їх неможливо порівняти один із одним, необхідна кореляція. Для цього використовуються регресійні моделі та функції педотрансфера. Зокрема А. Юдина [4], порівнюючи результати двох методів (ЛДМ та сито-піпет методу за Качинським) показала, що існує стійкий лінійний взаємозв'язок ( $p=0,05$ ,  $R^2 = 0,82$  та  $0,84$ ) для фракцій мулу (<1 мк) та піску (>50 мк) відповідно; для фракції пилу (1-50 мк) цей взаємозв'язок більш слабкий, коефіцієнт детермінації дорівнює лише 0,68 (для дрібного пилу (1-5 мк) – 0,34, середнього пилу (5-10 мк) – 0,40, великого пилу (10-50 мк) – 0,86. Для перетворення показників розподілення частинок ЛДМ у показники розподілення частинок методом сито-піпетки для зразків верхнього шару ґрунту LUCAS A. Makó зі співавторами [15] розробили та використали функції Pedotransfer, що дозволило оптимізувати межі глина-мул та мул-пісок, які становлять 6,6 мк та 60,3 мк відповідно (для ґрунтів з органічною речовиною), а також 5,8 мк і 69,2 мк відповідно (для ґрунтів без органічної речовини). В. Н. М. Al-Hashemi зі співавторами [10] після проведення дослідження сімох різних зразків ґрунту Саудівської Аравії повідомили, що

відмінності між методами ЛД та аерометру з геотехнічної точки зору є незначними.

Крім того, порівнювали показники ЛДМ і ситового методу та відзначили узгодженість цих методів щодо для піску, але вони все ж таки дещо відрізнялися, що пояснюється несферичною формою природних частинок піску.

**Висновки та пропозиції.** Огляд світової літератури щодо методичних підходів до визначення гранулометричного складу ґрунту у світі свідчить про різноманітність класифікацій і підготовки проб до аналізу для того ж самого методу, що ґрунтується на подібних засадах (просіювання, седиментація або дифракція, розсіювання світла). Зіставлення показників, одержаних класичними методами, з показниками лазерної дифракції у більшості випадків показало, що вони різняться та потребують кореляції. Хоча існують міжнародні стандарти визначення гранулометричного складу ґрунту, згідно з публікаціями стосовно ЛДМ, але країни не поспішають відмовлятися від внутрішніх стандартів. Однак ведеться робота із зіставлення та визначення різниці між показниками, одержаними за неоднакової підготовки проб до аналізу (застосовувалися різні стандартні методи і класифікації) за допомогою ЛДМ. Результати дослідження свідчать, що в Україні робота з використання лазерного дифрактометра у ґрунтознавстві не проводиться, немає також інформації про одночасне використання методу згідно з ДСТУ 4730:2007 і класифікацією за Н.А. Качинським та міжнародними класифікаціями. Перехід до тричленної системи класифікацій ФАО потребує розроблення для дієвої співпраці з ФАО задля охорони ґрунтів.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Про затвердження Національного плану дій щодо боротьби з деградацією земель та опустелюванням. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 березня 2016 р. № 271-р, Київ. Урядовий кур'єр від 29.04.2016. № 82
2. Allen T. Powder Sampling and Particle Size Determination. Amsterdam, the Netherlands. Elsevier B.V. 2003. 683 p.
3. Schulte P. Laser diffraction size analysis of loess-paleosol sequences – pretreatment, calculation, interpretation: Dissertation. Tag der mündlichen Prüfung: 18.04.2017 163 p. URL: <http://publications.rwth-aachen.de/record/691033/files/691033.pdf>
4. Юдина А. В. Лазерная дифрактометрия в почвоведении: методические аспекты и диагностическое значение : дисс. ... канд. биол. наук : 06.01.03. Москва, 2018. 251 с.
5. Laser diffraction as an innovative alternative to standard pipette method for determination of soil texture classes in central Europe. / Igaz D. [et al.]. *Water*. 2020. V. 12, 1232; <https://doi.org/10.3390/w12051232>.
6. Moeys J. The soil texture wizard: R functions for plotting, classifying, transforming and exploring soil texture data. 2019. URL : [https://cran.r-project.org/web/packages/soiltexture/vignettes/soiltexture\\_vignette.pdf](https://cran.r-project.org/web/packages/soiltexture/vignettes/soiltexture_vignette.pdf) (дата звернення 30.04.2021 р.).
7. ISO 13320:2020(E) Particle size analysis – Laser diffraction methods. [Second edition 2020-01] International Standard. Geneva, Switzerland, 2020. 66 p.

8. FAO. 2020. Soil testing methods – Global Soil Doctors Programme – A farmer-to-farmer training programme: FAO. Rome, 2020. 100 p. URL : <https://doi.org/10.4060/ca2796en>
9. Working paper: Documentation of tests on particle size methodologies for laser diffraction compared to traditional sieving and sedimentation analysis. / C. Rasmussen, K. Dalsgaard Aarhus Universitetsforlag ISBN: 978-87-7507-390-0 2017. P. 35. URL : <https://doi.org/10.7146/aul.205.148>
10. The validity of laser diffraction system to reproduce hydrometer results for grain size analysis in geotechnical applications. / Al-Hashemi B. H. M. [et al.]. PLOS ONE January 14, 2021 V.16(1) URL : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245452>
11. Gorączko A., Topoliński S. Particle Size Distribution of Natural Clayey Soils: A Discussion on the Use of Laser Diffraction Analysis (LDA). *Geosciences*. 2020. V.10(2),55. P. 1-9. URL : <https://doi.org/10.3390/geosciences10020055>
12. Evaluation of soil texture determination using soil fraction data resulting from laser diffraction method. / Mako A. [et al.]. *International Agrophysics*. 2019. V.33. P. 445-454 URL : <https://doi.org/10.31545/intagr/113347>
13. Lucke B., Schmidt U. Grainsize analysis of calcareous soil sand sediments: intermethod comparison with and without calcium carbonate removal. *Erlanger Geographische Arbeiten Band* 2015. V.42 P. 83–98. <https://www.researchgate.net/publication/290946097> (дата звернення 20.04. 2021)
14. Adequacy of laser diffraction for soil particle size analysis. / Fisher P. [et al.] PLoS ONE May 4 2017. V.12(5): e0176510. URL : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176510>
15. Pedotransfer functions for converting laser diffraction particle-size data to conventional values. / Makó A. [et al.]. *European Journal of Soil Science*. September 2017. V.68. P. 769–782. URL: <https://doi.org/10.1111/ejss.12456>
16. Gresina F. Comparison of pipette method and state of the art analytical techniques to determine granulometric properties of sediments and soils. *Hungarian Geographical Bulletin*. 2020. V.69(1). P. 27–39. DOI: <https://doi.org/10.15201/hungeobull.69.1.3>
17. Ryzak M., Sochan A., Barna G., Hernadi H., Beczek M., Polakowski C. and Mako A. Laser Diffractometer in the Measurements of Soil and Sediment Particle Size Distribution. / Bieganski A. [et al.]. *Advances in Agronomy*. 2018. V. 151 ISSN 0065-2113. URL : <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.04.003>
18. Болдырева В. Э., Безуглова О. С., Морозов И. В. К вопросу об определении гранулометрического состава почв с использованием метода лазерной дифракции. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 2019. № 1(33). С. 184-194. DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-184-194
- March 30, 2016] № 271-r, Kyiv. Government courier from 29.04.2016. № 82 [in Ukrainian].
2. Allen, T. (2003). Powder Sampling and Particle Size Determination. *Elsevier B.V.* Amsterdam, the Netherlands.
3. Schulte, P. (2017). *Laser diffraction size analysis of loess-paleosol sequences – pretreatment, calculation, interpretation*. [Doctoral dissertation, RWTH Aachen University]. Published on the publication server of RWTH Aachen University. <http://publications.rwth-aachen.de/record/691033/files/691033.pdf>
4. Yudina, A. V. (2018). *Lazernaya difraktometriya v pochvovedenii: metodicheskiye aspekty i diagnosticheskoye znacheniyе* [Laser diffractometry in soil science: methodological aspects and diagnostic value]: thesis candidate of biological sciences: 06.01.03. Moscow, 251 p. [in Russian].
5. Igaz, D., Elena Aydin, E., Šinkovičová, M., Šimanský, V., Tall A. & Horák J. (2020). Laser diffraction as an innovative alternative to standard pipette method for determination of soil texture classes in central Europe. *Water*, 12(5), 1232. <https://doi.org/10.3390/w12051232>
6. Moeys, J. (2019). The soil texture wizard: R functions for plotting, classifying, transforming and exploring soil texture data. Available online: [https://cran.r-project.org/web/packages/soiltexture/vignettes/soiltexture\\_vignette.pdf](https://cran.r-project.org/web/packages/soiltexture/vignettes/soiltexture_vignette.pdf) (accessed on 30 April 2021)
7. International Organization for Standardization. (2020) *Particle size analysis – Laser diffraction methods*. (ISO Standard No. 13320:2020(E)). <https://www.iso.org/ru/home.html>
8. FAO. (2020). Soil testing methods – Global Soil Doctors Programme – A farmer-to-farmer training programme. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca2796en>
9. Rasmussen, C., & Dalsgaard, K. (2017). *Documentation of tests on particle size methodologies for laser diffraction compared to traditional sieving and sedimentation analysis*. (s. 1-35). Aarhus Universitetsforlag. <https://doi.org/10.7146/aul.205.148>
10. Al-Hashemi HMB, Al-Amoudi OSB, Yamani ZH, Mustafa YM, Ahmed H-u-R (2021). The validity of laser diffraction system to reproduce hydrometer results for grain size analysis in geotechnical applications. *PLoS ONE* 16(1): e0245452. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245452>
11. Gorączko A., & Topoliński S. (2020) Particle Size Distribution of Natural Clayey Soils: A Discussion on the Use of Laser Diffraction Analysis (LDA). *Geosciences*, 10(2), 55. <https://doi.org/10.3390/geosciences10020055>
12. Makó, A., Szabó, B., Rajkai, K., Szabó, J., Bakacsi, Z., Labancz, V., Hernádi, H., & Barna, G. (2019). Evaluation of soil texture determination using soil fraction data resulting from laser diffraction method. *Int. Agrophys*, 33, 445–454. <https://doi.org/10.31545/intagr/113347>
13. Lucke, B., & Schmidt, U. (2015). Grainsize analysis of calcareous soil sand sediments: intermethod comparison with and without calcium carbonate removal. *Erlanger Geographische Arbeiten Band*, 42, 83–98. Available online: <https://www.researchgate.net/publication/290946097> (accessed on 30 April 2021).
14. Fisher, P., Aumann, C., Chia, K., O'Halloran, N., & Chandra, S. (2017). Adequacy of laser diffraction for soil particle size analysis. *PLoS ONE* 12(5): e0176510. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176510>

**REFERENCES:**

1. Pro zatverdzhennya Natsional'noho planu diy shchodo borot'by z dehradatsiyeyu zemel' ta opustelyuvan-nyam. Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 30 berezhnya 2016 r. [On approval of the National Action Plan to combat land degradation and desertification. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of

15. Makó, A., Tótha, G., Weynants, M., Rajkai, K., Hermann, T. & Tótha, B. (2017). Pedotransfer functions for converting laser diffraction particle-size data to conventional values. *European Journal of Soil Science*, 68, 769–782. <https://doi.org/10.1111/ejss.12456>
16. Gresina, F. (2020). Comparison of pipette method and state of the art analytical techniques to determine granulometric properties of sediments and soils. *Hungarian Geographical Bulletin*, 69(1), 27–39. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.69.1.3>
17. Bieganski, A., Ryzak, M., Sochan, A., Barna, G., Hernadi, H., Beczek, M., Polakowski, C., & Mako, A. (2018). Laser Diffractometer in the Measurements of Soil and Sediment Particle Size Distribution. *Advances in Agronomy*, 151, 215-279. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.04.003>
18. Boldyreva, V. E., Bezuglova, O. S., Morozov, I. V. (2019). K voprosu ob opredelenii granulometricheskogo sostava pochv s ispol'zovaniyem metoda lazernoy difraktsii. [On the issue of determining the granulometric composition of soils using the method of laser diffraction]. *Scientific journal of the Russian Research Institute of Melioration Problems*, 1 (33), 184-194 [in Russian]. DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-184-194

**Солоха М.О., Винокурова Н.В., Сучасний стан методичних підходів щодо визначення гранулометричного складу у світі**

У статті представлено огляд світової літератури щодо методичних підходів до визначення гранулометричного складу ґрунту різними методами, як класичними, так і новітнім лазерно-дифракційним методом (ЛДМ).

Аналізуючи публікації, що стосуються визначення гранулометричного складу ґрунту, можна відзначити, що використання різних методик і класифікацій текстури ґрунту призвело до розбіжностей у застосуванні методу просіювання (використовуються сита з неоднаковим діаметром отворів) та різниці меж фракцій у седиментаційних методах (аерометричному та піпетковому). Органолептичні методи, які застосовують в Україні (сухий та вологий), хоч і подібні у виконанні до тих, що пропонує ФАО для польових умов, але використовують неоднакові класифікації. Щодо методу лазерної дифракції, то під час підготовки проб до аналізу спираються на класичні методи, використовуючи їх як еталон, отже, і пробопідготовку роблять подібну, застосовуючи такі ж самі реактиви і способи видалення органічної речовини, карбонатів, розчинних солей та аналогічну дезагрегацію зразка. Вплив підготовки проби для аналізу на результати розподілу частинок за розміром визначають шляхом застосування лазерного дифрактометра за однаковими налаштуваннями приладу. Розбіжності в будові приладів та застосованої оптичної і детекторної систем призводить до отримання різних результатів за однакової підготовки проб до аналізу.

Порівняння показників, одержаних класичними методами, з показниками у разі застосування лазерно-диф-

ракційного методу свідчить про необхідність подальших досліджень щодо їх використання, адже поки що такі результати різняться та потребують кореляції. Це не заважає використовувати ЛДМ за одночасного визначення текстури ґрунту, застосовуючи різні класифікації. Тому метод лазерної дифракції у майбутньому можна використовувати для адаптування показників, одержаних методом Н.А. Качинського, до міжнародних класифікацій, що сприятиме роботі з ФАО у питаннях впливу зміни клімату та опустелювання на стан ґрунту.

**Ключові слова:** класифікація, лазерна дифрактометрія, органолептичні методи, діаметр отворів сит, пробопідготовка, седиментація, фракція.

**Solokha M.O., Vynokurova N.V. Current state of the world methodological approaches to determination of granulometric composition**

The article reviews the world literature on methodological approaches in determining the granulometric composition of soil by different methods, both classical and modern – laser diffraction method (LDM).

Analyzing the publications related to the determination of granulometric composition, it can be noted that the application of different methods and soil texture classifications has led to differences in the use of sieving (sieves with different hole diameters) and differences in fractional boundaries in sedimentation methods (aerometric and pipetting). Organoleptic methods used in Ukraine (dry and wet), although similar in implementation to those proposed by FAO for field conditions, but use different classifications. As for the method of laser diffraction, the preparation of samples for analysis is based on classical methods, using them as a reference, and therefore sample preparation is done similarly, using the same reagents and methods for removing organic matter, carbonates, soluble salts, and similar sample disaggregation. The effect of sample preparation for analysis on the results of particle size distribution is determined by using a laser diffractometer at the same instrument settings. Differences in the structure of instruments and applied optical or detector systems lead to different data with the same preparation of samples for analysis.

Comparison of the data obtained by classical methods with the data of the laser-diffraction method indicates the need for further research in using, because so far the data are different and have to be correlated. This does not prevent using LDM while determining soil texture by different classifications. Therefore, the laser diffraction method can be used in the future to adapt the data of Kachinsky method to international classifications, which will help work with FAO on the impact of climate change and desertification on the soil.

**Key words:** classification, laser diffractometry, organoleptic methods, diameter of sieve holes, sample preparation, sedimentation, fraction.