

**АНАЛІЗ МЕТОДИК ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО
СКЛАДУ ҐРУНТІВ**

Обґрунтована необхідність створення комплексного банку інформації по зміні властивостей дисперсних ґрунтів. Проведено порівняння основних схем підготовки зразків, способів визначення гранулометричного складу лесових ґрунтів. Виявлено, що метод «Мікроструктура» найбільш повно відображає динамічність системи «ґрунт-навколишнє середовище». Застосування нового методу визначення гранулометричного та мікроагрегатного складу для вивчення рухомості мікроструктури різноманітних геолого-генетичних комплексів відкриває нові можливості для дослідження зміни властивостей ґрунтів при техногенезі.

Ключові слова: агрегованість, дисперсний, «Мікроструктура».

Обоснована необходимость создания комплексного банка информации по изменению свойств дисперсных ґрунтов. Проведено сравнение основных схем подготовки образцов, способов определения гранулометрического состава лессовых ґрунтов. Выявлено, что метод «Мікроструктура» наиболее полно отражает динамичность системы «почва – окружающая среда». Применение нового метода определения гранулометрического и микроагрегатного состава для изучения подвижности микроструктуры различных геолого-генетических комплексов открывает новые возможности для исследования изменения свойств ґрунтов при техногенезе.

Ключевые слова: агрегированность, дисперсный, «Мікроструктура».

The necessity of creating a comprehensive information bank to change the properties of dispersed soils. Comparison of major schemes sample preparation, methods of determining granulometric composition of loess soils. We found that the method of "Microstructure" best reflects the dynamics of the system "soil-environment." The use of a new method for determining the granulometric and composition mikroagregative to study the microstructure of different mobility geological-genetic systems opens up new possibilities for the study of changes in soil properties technogenesis.

Key words: aggregate, disperse, "Microstructure".

Постановка проблеми. Безперервне накопичення пилюватих частинок впродовж четвертинного періоду сформувало потужний лесовий шар на територіях Китаю, Європи та Центральної Азії. Історія дослідження лесових ґрунтів почалася ще у ХІХ ст. і на даний час багато питань залишились невирішеними. Придніпровський регіон більшою мірою розташований у межах Українського кристалічного щита, перекритий четвертинними породами, що ерозійно розчленовані яружно-балковою мережею р. Дніпро. Досліджуючи четвертинні відклади України, М. Ф. Веклич виділив чергування ґрунтових та лесових горизонтів. У зв'язку з урбанізацією вільних від будівництва територій в Дніпропетровській області, важливо мати комплексний банк інформації по зміні властивостей дисперсних ґрунтів регіону.

Актуальність дослідження. Питання створення банку інформації обговоренні в роботах [4, 15]. Основну увагу приділяють аналізу змін фізико-механічних властивостей. Зміни структурно-текстурних особливостей у зоні техногенезу практично не вивчені, у результаті виконання стандартних визначень

гранулометричного та мікроагрегатного складу неможливо виконати прогноз зміни дисперсності. Застосування нового методу визначення мікроагрегатного складу [12] для вивчення рухомості мікроструктури та гранулометричного складу різноманітних геолого-генетичних комплексів відкриває нові можливості вивчення зміни властивостей ґрунтів при техногенезі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення мікроструктури розпочалось ще у 1939 році, коли Дж. Розенквіст вперше застосував електронні мікроскопи для вивчення мікробудови лесових та глинястих відкладів. А. К. Ларіоновим (1959) для оцінки ступеню агрегованості ґрунту запропонований метод розрахунку коефіцієнту мікроагрегованості ($K_{ма}$), а І. М. Горьковою (1965) для визначення типу структурних зв'язків – коефіцієнт агрегування [3, 8]. У 1984 році Б. Грабовською-Ольшевською, В. І. Осіповим та В. М. Соколовим створений атлас мікроструктур глинястих порід [4]. Вивченню мікроструктури, фізико-хімічної активності, складу (мінерального та гранулометричного) глинястих та лесових ґрунтів присвячені роботи китайських вчених Li Lan (2004), Li-dong (2001), Zhou Cui-ying, Mu Chun-mei (2005), Yang, Gong (2010). Колективом авторів (2008) описані інженерно-геологічні розрізи лесових порід території Молдови, України, Росії, Туркменістану, Узбекистану, Таджикистану та Киргизії [15]. Напрямок аналізу, проведеного мною, спрямований на розширення географії робіт таких вчених як А. К. Ларіонов, Ю. М. Абелев, М. Ю. Абелев, В. М. Соколов, В. Т. Трофімов, І. Ю. Григор'єва, М. Г. Демчишин, В. І. Осіпов, Т. Г. Рященко, В. В. Акулова, Є. І. Шевцов [2–5, 7–13, 15] та має на меті вдосконалення методики досліджень лесових відкладів.

Викладення основного матеріалу. Наявність масштабного фактору, на думку Є. М. Сергєєва та Г. Г. Ільчинської [11], визиває необхідність вивчати структуру лесових порід, виділяючи 2 масштабних рівня дослідження: макрорівень (у відслоненні) та мікрорівень (оптичні та растрові електронні мікроскопи, гранулометричний аналіз). На кожному з рівнів організації речовини при створенні банку інформації по зміні мікроструктури дисперсних ґрунтів даного регіону макро- та мікроскопічні дослідження повинні доповнювати один одного.

Розмір структурних елементів лесових порід може оцінюватися побічними (основані на використанні залежності швидкості осідання часток в рідкому та повітряному середовищі) та прямими методами. У практиці ґрунтознавства найбільше розповсюдження отримали перші, при цьому прийнято виділяти наступні фракції часток: глинясту (менше 0,001 мм), мілкопилювату (0,001–0,01 мм), крупнопилювату (0,01–0,05 мм), піщану (більше 0,05 мм) [11]. В американській літературі розбивка на класи відбувається за геометричною прогресією з кроком, що дорівнює $\sqrt[3]{2}=1,189$, а в Україні - $\sqrt{2}=1,414$. Застосовуючи різні методи підготовки породи до аналізу, вдається встановити її гранулометричний та мікроагрегатний склад. В першому випадку аналізуються розмір первинних часток та зерен, знаходять їх відносний вміст у породі, в другому визначають вміст у окремих розмірних фракціях у первинних зернах та частках, водостійких мікроагрегатах та агрегатах.

Механічні елементи, особливо у суглинистих та глинистих ґрунтах, знаходяться в агрегованому стані. Для визначення гранулометричного складу ґрунту, необхідно зруйнувати агрегати й перевести усі механічні елементи у роздільночастковий стан. Це досягається хімічною та механічною дією на ґрунт при підготовці його до механічного аналізу. Механічний вплив виконується

шляхом розтирання, кип'ятіння, збовтування ґрунту. Та хоч вони і не втратили свого значення, їх місце поступово посідають фізико-хімічні способи підготовки суспензії, які передбачають активний вплив на ґрунт різноманітними диспергаторами (оксалат, пірофосфат, гексаметофосфат натрію та ін.), розчинами кислот та лугів. Хімічний вплив полягає у заміні поглинутих двовалентних катіонів (Ca^{2+} та Mg^{2+}) на одновалентні (Na^+ , Li^+ , NH_4^+), які мають великі гідратні оболонки, що призводить до диспергування ґрунту. Широко використовується й симбіоз методів, наприклад метод розтирання та пірофосфатний метод, використання пірофосфату й ультразвукової диспергації. В залежності від способу підготовки ґрунтів до гранулометричного аналізу ступінь дисперсності породи є різноманітною. А при хімічній підготовці відбувається найбільш глибока зміна складу ґрунту, деякі його складові частини розчиняються і не можуть бути враховані при гранулометричному аналізі, тому хімічну підготовку застосовують в особливих випадках.

Загалом виділяють три основні схеми підготовки ґрунтів до гранулометричного аналізу. За першою (підготовка до дисперсного аналізу) ґрунт приводять до стану максимальної дисперсності шляхом заміщення усіх обмінних катіонів катіоном Na^+ . За другою (підготовка до напівдисперсного аналізу) ґрунт приводять до стану природнього елементарного розчленування без хімічного впливу. За третьою (підготовка до агрегатного аналізу) – розмочують природні комки ґрунту у воді та тривало (протягом 1 години) збовтують на спеціальному апараті. Для усунення коагуляції застосовують пірофосфорнокислий натрій $\text{NH}_4\text{OH}\cdot\text{NaOH}$, додаючи його перед кип'ятінням до некарбонатних ґрунтів або розтирають з пастою ґрунту при аналізі карбонатних ґрунтів [16].

Наступна стадія досліджень полягає у кількісному підрахунку механічних складових. Серед «традиційних» способів фракціонування підготовленої суспензії найбільше поширення отримав седиментаційний метод з відбором середніх проб, що відрізняється відносною нетривалістю і можливістю розділення частинок діаметром менше 0,01 мм на ряд фракцій.

Найбільш поширені способи гранулометричного аналізу об'єднують в 6 груп: візуальний спосіб, польові методи Філатова та Рутковського, ситовий аналіз, гідравлічні способи (Сабаніна, Аттерберга, Вільямса), безперервні способи аналізу (метод піпетки по Качинському, спосіб Свен-Одена, ареометричний аналіз) та центрифугування [16].

Методи дослідження гранулометричного складу ґрунтів стандартизовані й визначаються за ГОСТом 12536-79, та при наукових дослідженнях виникає потреба в їх модифікації. Для того, щоб визначити яка з модифікацій гранулометричного аналізу ґрунту найбільш точно відображає вміст кожної з фракцій, окремо зупинимось на особливостях методики їх дослідження.

В основу методу піпетки по Качинському покладено розрахунок розподілення за розмірами часток з обліком їх питомої ваги згідно з формулою Стокса [16]. У зв'язку з широкою дисперсністю фракційної складової ґрунту і складним мінералогічним складом, частинки одного і того ж розміру можуть мати різну питому вагу, тому гранулометричний склад ґрунту визначають зневажаючи внутрішньофракційним розподілом питомої ваги. Недоліком є те, що розрахунок проводиться для діапазону розмірів частинок, тому неможливо одержати значення вмісту частинок конкретного розміру і, відповідно, представити дані у вигляді безперервної функції розподілу. В. М. Соколов, зауважив, що з допомогою

гранулометричного аналізу можна отримати лише приблизні данні про розмір часток ґрунту, через те, що в основі методу піпетки лежить формула Стокса, з'єднуюча час седиментації твердих мінеральних часток у воді з їх еквівалентним діаметром [13].

При пірофосфатно-акустичному методі П. Ю. Конончука обов'язковим є візуальний контроль за диспергуванням часток. На відміну від методів підготовки проби, де використовується розтирання і кип'ятіння, пірофосфатно-акустичним методом досягається достатнє розділення ґрунтового зразку з повною цілісністю первинних часток. За цією методикою час підготовки проби до аналізу скорочується до 10 хв. При аналізі оптичної розрахункової мікроскопії первинною є крива чисельності розподілення, виражена в масових долях часток, може використовуватись як для визначення повного гранулометричного складу так і для вивчення поступового внутрішньофракційного розподілення часток. Співставивши результати седиментометричного та лазерно-дифракційного методів бачимо, що перший метод показує кращі результати по виходу мілких фракцій, а метрологічні показники другого методу вищі, у зв'язку з чим рекомендується проведення 2–3 паралельних вимірювань для отримання достовірної інформації за фракційним розподілом [6].

При виконанні гранулометричного аналізу за модифікацією С. І. Долгова та А. І. Личманової [14] ґрунт розтирають з 4%-им розчином пірофосфату натрію, та аналізують методом піпетки. Відбирають 4 проби розміром $\leq 0,05$ мм, $\leq 0,01$ мм, $\leq 0,005$ мм, $\leq 0,001$ мм з різних глибин при визначеному часі відстоювання суспензії. При визначенні назви ґрунту використовують класифікацію В. І. Кирюшина, додаючи інформацію про переважаючу фракцію. За результатами механічного аналізу знаходять «гранулометричний показник структурності», з допомогою якого можливо оцінити потенційну можливість ґрунту до оструктурювання. При цьому механічні елементи розділяють на активні, що приймають участь в процесах коагуляції та володіють цементуючими властивостями, та пасивні, що беруть участь в структуроутворенні як пасивний матеріал.

У ґрунтознавчій групі аналітичного центру Інституту земної кори СО РАН (м. Іркутськ) було запропоновано новий метод аналізу гранулометричного складу «Мікроструктура» [12], який передбачає визначення мікроструктурних параметрів дисперсних утворень за даними гранулометричного аналізу з двома способами підготовки зразка (агрегатний та дисперсний). При агрегатному способі підготовки руйнуються тільки водонестійкі агрегати, при дисперсному відбувається максимальне руйнування агрегатів всіх типів. Коефіцієнти мікроагрегатності ($K_{ма}$) являють собою різницю вмісту фракції, отриманої при гранулометричному аналізі з дисперсною і агрегатною підготовкою зразків. На відміну від А. К. Ларіонова, який запропонував рахувати $K_{ма}$ тільки для однієї фракції ($< 0,002$ мм), за методикою Т. Г. Рященко визначаються коефіцієнти мікроагрегованості для 6 фракцій: середньо-крупнопіщаної (1,00–0,25 мм; $K_{ма}^1$), тонко-мілкопіщаної (0,25–0,05 мм; $K_{ма}^2$), крупнопилуватої (0,05–0,01 мм; $K_{ма}^3$), мілкопилуватої (0,010–0,002 мм; $K_{ма}^4$), грубоглинястої (0,002–0,001 мм; $K_{ма}^5$) і тонкоглинястої ($< 0,001$ мм, $K_{ма}^6$). За величиною шести коефіцієнтів мікроагрегованості: $K_{ма}^1 - K_{ма}^6$ судять про ступінь агрегованості ґрунту, кількість і розмір агрегатів, утворення яких ймовірно при зміні зовнішніх умов. Здатність до агрегації найбільшою мірою властива глинястим часткам. Тому, чим їх більше в лесових ґрунтах, тим вище ступінь мікроагрегованості. Виконується розрахунок частки первинних (вільних) і захоплених частинок в агрегати для кожної фракції. Відношення вільних суб'єктів

до загальної кількості фракції (це первинні частинки і агрегати тієї ж розмірності) представляють собою спеціальний показник – коефіцієнт свободи (F). Участь різних частинок в будові агрегатів можна визначити за ступенем зниження їх коефіцієнта свободи: чим менше коефіцієнт, тим більше цих частинок знаходиться в агрегатах. В залежності від кількості агрегатів (A,%) визначається тип мікроструктури ґрунту. Для виявлення типу структурної моделі ґрунту визначається сума агрегатів X_i та первинних частинок відповідного розміру та розраховують коефіцієнт елементарності G, що показує долю первинних частинок в загальній сумі структурних елементів. Тип структурної моделі встановлюють за розміром переважаючих структурних елементів та коефіцієнтом елементарності. Переваги цього методу в тому, що аналіз проводиться для динамічної системи, враховується вміст частинок конкретного розміру [10].

Для визначення розподілу часток за розмірами все частіше [1] застосовують метод лазерної дифракції, який керується принципом флуктуації електромагнітних хвиль. При використанні цього методу проходить оптична реєстрація дійсних, фактичних розмірів з високою точністю, що дозволяє при розшифруванні дифракційної картини розрахувати відсотковий вміст часток різного розміру. Переваги методу: невеликий об'єм породи для дослідження (десяті долі грама), мінімальне механічне руйнування часток, прямий зв'язок з обчислювальною технікою. До недоліків можна віднести те, що через м'яке оброблення проби агрегати руйнуються не повністю, тож пристрій не вловлює відсотковий вміст фракції < 0,005 мм.

Головні висновки. Для виконання прогнозу зміни дисперсності лесових порід у зоні техногенезу, необхідно визначати гранулометричний та мікроагрегатний склад. Гранулометричний склад дає уявлення про вміст первинних зерен та часток в породі, в той час як мікроагрегатний відображає її природну дисперсність, яка відповідає тим фізико-хімічним умовам, в яких вона знаходиться. Недоліком всіх проаналізованих методик є те, що вони не дають інформацію про морфологію часток, характер поверхні зерен та їх орієнтації в ґрунті.

Отже, застосування нового методу «Мікроструктура» доповненого даними аналізу за РЕМ-знімками для вивчення рухомості мікроструктури різноманітних геолого-генетичних комплексів відкриває нові можливості для дослідження зміни властивостей ґрунтів при техногенезі.

Бібліографічні посилання

1. **Блохин А. Н.** Ускоренный метод оценки агрегатного состояния почв с использованием лазерной дифрактометрии / А. Н. Блохин, Е. Ю. Милановский, С. П. Кулижский // Вестник КрасГАУ, 2012. – С. 35–38.
2. **Вашестюк Ю.В.** Микроструктура дисперсных грунтов юга Восточной Сибири и сопредельных территорий (на примере ключевых участков): Автореферат/ Ю.В. Вашестюк. – Иркутск, 2014. – 130 с.
3. **Горькова И. М.** Структурные и деформационные особенности осадочных пород различной степени уплотнения и литификации / И. М. Горькова. – М.: Наука, 1965. – 128 с.
4. **Грабовска-Ольшевска Б., Осипов В. И., Соколов В. Н.** Атлас микроструктур глинистых пород / Б. Грабовска-Ольшевска, В. И. Осипов, В. Н. Соколов. – Варшава: Изд-во Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1984.

5. **Григорьева И. Ю.** Микростроение лессовых пород / И. Ю. Григорьева. – М.: Наука, МАИК Наука/ Интерпериодика, 2001 – 141 с.
6. **Конончук П. Ю.** Адаптация метода оптической счётной микроскопии для определения гранулометрического состава почв: Диссертация / П. Ю. Конончук.– Санкт-Петербург, 2009. – 197 с.
7. **Кригер Н. И.** Что такое лесс (вопросы определения и классификации) / Н. И. Кригер // Классификационные критерии разделения лессовых пород. – М.: Наука, 1984. – С. 6–14.
8. **Ларионов А. К.** Методы исследования микроструктуры грунтов / А. К. Ларионов. – М.: Недра, 1971. – 199 с.
9. **Ломтадзе В. Д.** Инженерная геология. Инженерная геодинамика/ В. Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1977. – 479 с.
10. **Мокрицкая Т. П.** Микроструктура лессовых отложений Среднего Приднепровья на примере днепровского горизонта (г. Днепропетровск) / Т. П. Мокрицкая, Т. Г. Рященко, В. В. Акулова, К. А. Самойлич // Проблемы та досвід інженерного захисту урбанізованих територій і збереження спадщини в умовах геоecологічного ризику: Мат-ли Міжнародної науково-практичної конференції; під ред. В. М. Шестапалова, М. Г. Демчишина, В. О. Кендзери, Ю. О. Маслова. – К.: Фенікс, 2013. – С. 227–230.
11. **Осипов В. И.** Микроструктура глинистых пород / В. И. Осипов; под ред. Е. М. Сергеева. – М.: Недра, 1989. – 211 с.
12. **Рященко Т. Г.** Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь) / Т. Г. Рященко. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2010. – 287 с.
13. **Соколов В. Н.** Структура лёссовых пород проблема лёссов / В. Н. Соколов // Соросовский Образовательный Журнал. – 1996. – № 9. – С. 86–93.
14. **Терпелец В. И.** Учебно-методическое пособие по изучению агрофизических и агрохимических методов исследования почв / В. И. Терпелец, В. Н. Слюсарев. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 65 с.
15. **Трофимов В. Т.** Опорные инженерно-геологические разрезы лессовых пород Северной Евразии / В. Т. Трофимов, С. Д. Балькова, Т. В. Андреева, А. В. Ершова, Я. Е. Шаевич / Монография. – КД Университет, 2008. – 608 с.
16. **Чаповский Е. Г.** Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов / Е. Г. Чаповский. – М.: Недра, 1975. – 303 стр.

Надійшла до редколегії 10.05.2014 р.