

УДК 624.131.4

Визначення впливу мікроструктури на фізико-механічні властивості лесових ґрунтів Придніпровського регіону

К. О. Самойлич

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпропетровськ, Україна,
e-mail: kseniya.sam@mail.ru

Мета досліджень – уведення нових, більш сучасних методик для виявлення впливу мікроструктури на фізико-механічні властивості лесових ґрунтів Придніпров'я. Актуальність дослідження полягає у визначенні параметрів мікроструктури дисперсних ґрунтів, які впливають на цілу низку властивостей фізико-хімічного та механічного характеру. Досліджено фізичні та фізико-механічні властивості, виявлено тип мікроструктури найбільш поширених викопних дофінівського (e P_{III} df), вітачевського (e P_{III} vt) та лесових удайського (vd P_{III} ud), дніпровського (vd P_{II} dn) ґрунтів м. Дніпропетровськ. За результатами гранулометричного аналізу методом «Мікроструктура» для кожного з ґрунтів виділено класифікаційний код, розшифрування якого характеризує основні параметри мікроструктури для кожного з ґрунтів. Установлено залежність між типом мікроструктури лесових ґрунтів та їх просадністю. Виявлено наявність на території м. Дніпропетровськ ґрунтів агрегованого та змішаного типу мікроструктури, для яких характерний крупнопилуватий змішаний та елементарний тип структурної моделі, агрегати складені різними за розміром частинками з переважанням тонкоглинистих і в деяких випадках крупнопилуватих.

Ключові слова: мікроструктура, агрегати, лесові ґрунти, просадкові властивості.

Determination of influence of the microstructure on the physical and mechanical properties of loess soils in Dnieper region

K.O. Samoilych

Oles Gonchar Dnipropetrovsk National University, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: kseniya.sam@mail.ru

The aim of my work is to identify, study and analyze of the microstructure of loess soils of Dnieper region. The main task of this work is to determine the composition, structure and properties of loess soils of Prydniprovyia, according to new experimental technique that has been used previously in Ukraine. This technique allows to make a forecast of changes of granula composition of loess soils due to their degradation. The subject of the research will be microstructure of loesses and the nature of its structural links, the impact of structural changes on the strength and deformation properties of soils. Microstructure of loess sediments and its change during technogenesis is a factor that affects their deformation behavior. The object of the research will be loess soils, which are the most widespread in the zone of influence of man-made buildings in Dnieper region (for example gullies «Tunnelna», «Zustrichna», «Yvatoriyska»). To be the first in Ukraine in introduction of a new method “Microstructure”, to determine the particle size distribution of loess soils of Prydniprovyia, to determine the structural strength of the soil and its connection with the peculiarities of the microstructure of loess soils in Dnieper region.

Results shown are the properties of loess soil research that was conducted by yourself as part of state budget theme “Experimental determination and prediction of changes in subsidence of properties (degradation) of loess soils by technogenesis”. I investigated the physical and physical-mechanical properties, identified of the most common microstructure type of paleo- P_{III} df, e P_{III} vt and of loess soils vd P_{III} ud, vd P_{II} dn in Dnepropetrovsk. Particular sized is tribution of loess and paleosoils is determined by a pipette of three ways to preparation the soil analysis (dispersed, standard and aggregate). As a result of particle size analysis method “microstructure” was dedicated classification code for each soil. His transcript describes is the basic parameters for each of the microstructure of soils. Found that dofinivsky horizon (e P_{III} df) is aggregated type of microstructure, vitachivsky (e P_{III} vt) – mixed (skeletal-aggregated), and they lie below udaysky (vd P_{III} ud) and dneprovskij (vd P_{II} dn) – mixed (aggregatal-skeletal). I revealed the presence of silty the soil mixed with large type and elementary structural model. Aggregates composed of different sized particles with a predominance of fine clay and sometimes coarse silty particles. The dependence between the type of microstructure of loess is the soil and their subsidence. It was found that the type of soils of aggregate subsidence return lower than mixed (aggregatal-skeletal).

Keywords: microstructure, aggregates, loess soils, physical and mechanical properties.

Вступ. Мета досліджень – уведення нових, більш сучасних методик для виявлення впливу мікроструктури на фізико-механічні властивості лесових ґрунтів Придніпров'я. Відображено результати самостійного комплексного дослідження властивостей лесових ґрунтів, що проводилось на базі лабораторії ґрунтознавства та механіки ґрунтів Державного агентства «Укравтодор» та НДЛ геології, гідрогеології та геоінформатики НДІ геології в рамках держбюджетної теми «Експериментальне визначення та прогноз змін просадкових властивостей (деградації) лесових ґрунтів при техногенезі». Об'єкт дослідження – дисперсні зв'язні ґрунти, відібрані зі стінок зриву сучасних зсувів балок Тунельна, Зустрічна, Євпаторійська (м. Дніпропетровськ), розрізу на вододілі балок Тунельна та Зустрічна.

Дисперсні ґрунти являють собою багатокомпонентні та багатофазні системи, складені мінеральними частинками, пори між якими заповнені повітрям та водою. Кількість і розмір первинних частинок у ґрунтах визначає його первинну дисперсність. Вторинна, або природна, дисперсність, що характеризується мікроагрегатним складом, враховує в аналізі як первинні, так і вторинні частинки (Апанєв, 2005). На первинну дисперсність осадових порід значно впливає їх мінералогічний склад. Чим вищий вміст глинистих мінералів у породі, тим вища її дисперсність. Лесові ґрунти – це дисперсні системи, постійний рух яких викликає зміни міцності, водопроникності, набухання, пластичності та інших властивостей, а всі ці властивості залежать від розподілу ґрунтових фракцій за розміром.

Визначення гранулометричного складу лесових ґрунтів використовується для виконання багатьох практичних та теоретичних завдань. Різні параметри розміру зерна, такі як медіанний/середній розмір зерна (An et al., 1991; Sun et al., 1998), співвідношення між розмірами зерна, вміст грубозернистої фракції широко використовуються для реконструкції зміни кліматичних умов часів ґрунтоутворення. Під час інженерно-геологічних вишукувань параметри мікроструктури дисперсних ґрунтів слугують ознакою літогенезу, який впливає на цілу низку властивостей фізико-хімічного та механічного характеру (Ryaschenko, 2010).

Матеріали та методи досліджень. Першим методом, що дозволив дослідити мікроструктурні особливості лесових порід, був гранулометричний аналіз, за допомогою якого оцінювали кількісний вміст мікроагрегатів (Larionov, 1970). Гранулометричний склад на певному відріzkу часу – величина постійна і змінюється тільки за впливу тривалих процесів.

Мікроагрегатний склад породи не є постійним у часі через безперервне утворення у породі та руйнування вторинних частинок.

Важлива особливість структури лесових ґрунтів – її висока агрегованість, коли пилюваті та глинисті частинки утворюють ізометричні агрегати з розмірами 0,01 – 0,25 мм. Найбільш дрібнодисперсні частинки в лесових породах перебувають у формі макро- та мікроагрегатів, які розрізняються за розміром, водостійкістю та механічною міцністю. Макро- та мікроагрегати виникають та розпадаються за того чи іншого впливу на ґрунт (розтирання, зміна концентрації електролітів та рН середовища тощо). Для визначення кількості мікроагрегатів значну роль відіграє характер хімічної, механічної дії на зразок породи. Чим інтенсивніший вплив на ґрунтову навіску, тим більший вихід дрібнодисперсних частинок.

Гранулометричний склад характеризує граничну дисперсність, а мікроагрегатний відображає ступінь агрегування породи в даних умовах, використовуючи для характеристики структурні зв'язки у породі. Стандартна методика визначення гранулометричного складу ґрунтів має істотний недолік: вона не дозволяє досягнути максимальної диспергації первинних частинок і не враховує їх постійного динамічного перетворення (Mogozov, 1962). Однак, незважаючи на недоліки, результати саме цього методу гранулометричного аналізу є одними з основних характеристик, що дозволяють порівняти будову лесових порід різних регіонів.

С. С. Морозов, класифікуючи лесові ґрунти за гранулометричним складом, виявив, що в них переважають первинні пилюваті частинки, в той час як у лесоподібних ґрунтів основними твердими структурними елементами є агрегати (Mogozov, 1962). Н. Н. Комісарова зазначила, що як основні структурні елементи в лесових ґрунтах виступають складно побудовані глобулярні агрегати (Komissarova, 1977). Разом із Мінервіним А. В. вони розглядали формування глобулярних агрегатів як результат кріогенного роздроблення кристалічного кварцу у процесі накопичення, транспортування та акумуляції матеріалу, наступної аморфізації поверхні кварцу та адсорбції на ній з природних вод, насичених іонами Ca^{2+} та HCO_3^- , карбонатної оболонки. Глобулярні агрегати стійкі відносно води структурними елементами лесових порід, тож їх не вивчають з точки зору впливу просадності.

Ступінь агрегатизації залежить від кількісного співвідношення основних компонентів, що утворюють ґрунти – уламкових (кварцу, польових шпатів, різних порід, слюд), глинистих (монтморилоніту,

гідрослюди, рідше каолініту) та хемотропних (кальциту, іноді сидериту, рідше гіпсу) речовин. Агрегація посилюється з глибиною та корелюється з ущільненням породи, зменшенням пористості та просадності (Van, 2011).

Завдяки наявності у лесових ґрунтах глинястих частинок (0,002 – 0,001 мм) у них може відбуватись процес самоорганізації мікроструктури, зміст якої полягає у самопоновленні (регенерації) зруйнованої механічною дією вихідної структури на мікрорівні (Stroková, Lesovik, Karatsupa, Lyutenko, Yakovlev, 2006).

Механічні елементи, особливо в суглинистих та глинистих ґрунтах, перебувають в агрегованому стані. В процесі хімічної або механічної обробки до гранулометричного аналізу руйнуються агрегати й відбувається переведення усіх механічних елементів у роздільночастинковий стан. Механічний вплив виконується шляхом розтирання, кип'ятіння, збовтування ґрунту. 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 спричинює диспергування ґрунту. За цієї підготовки відбувається найбільш глибока зміна складу ґрунту, деякі його складові частини розчиняються і не можуть бути враховані в гранулометричному аналізі, тому хімічну підготовку застосовують в особливих випадках.

Завдяки комбінованій дії вапнякового цементу та зв'язаної глини, що складають лесові ґрунти, вони потрапляють до категорії ґрунтів із міжзерновими зв'язками (Koliji, Vulliet, Laloui 2010). Муньєз-Кастельбланко, досліджуючи РЕМ-знімки лесових ґрунтів після нагнітання ртуті у поровий простір під тиском, помітив, що опір мікроструктури неоднорідний, через неправильну позицію глинистих агрегатів. Просадки від змочування відбуваються у тих областях, де є чисті зерна з великими порами коло них. Зони, в яких пористість навколо агрегатів заповнена глинистими частинками, більш стійкі й локально менш чутливі до просадок (Muñoz-Castelblanco, Pereira, Delage, Cui, 2012).

Структурні зв'язки у вологих дисперсних ґрунтах мають більш складний характер тому, що поруч із молекулярними силами тяжіння виявляються розклинювальні сили тяжіння гідратних оболонок навколо твердих мінеральних частинок, які направлені протилежно молекулярним силам. Крім того, виникають сили взаємодії іонно-електростатичного характеру. Тому у вологих тонкодисперсних ґрунтах існує молекулярно-іонно-електростатичний зв'язок. В. Т. Трофімов зазначив, що у природних масивах

у процесі переходу лесових порід у водонасичений стан утворюються потужні оболонки зв'язаної води, легко руйнуються неводостійкі агрегати, з якими пов'язують провальну просадність. У разі тривалого зволоження з плином часу відбувається розпад водостійких агрегатів, що зумовлює уповільнені післяпросадкові деформації лесових товщ (Trofimov, 1999).

На регіональному рівні вже проводились визначення впливу мікроструктури на просадність лесових ґрунтів (Часовських В. А. та ін.). Проте вони виділяли загальний тип мікроструктури, для визначеного населеного пункту, не враховуючи особливостей, притаманних геологічним горизонтам, що складали лесову товщу цього місця. Дослідники виділили агрегативну, зернисту та зернисто-агрегативну мікроструктури. Агрегативна мікроструктура здатна до повільного доущільнення при сприянні води. Просадка проявляється спокійно, у перший момент спостерігається набухання ґрунтів, а потім уже починається безпосередній розвиток просадкових процесів. У часі він відбувається відносно рівномірно, величина просадкових деформацій від власної ваги ґрунтів незначна. Цей тип мікроструктури властивий для лесових ґрунтів м. Дніпропетровськ. Загальний вміст глинистих мінералів у зернистій мікроструктурі менший, ніж в агрегативній. Ґрунти мають хорошу несну здатність за умови малої вологості (менше 12 – 14 %), однак за дії води виникають просадкові деформації та руйнування структури через неводостійкість. Процес просідання відбувається з великими швидкостями і має кінцеву величину, у багато разів вищу за просадку ґрунтів агрегативного типу (переважає у м. Нікополь). У зернисто-агрегативній (проміжній) мікроструктурі просадка відбувається більш інтенсивно, ніж в агрегативній, і менш інтенсивно, ніж у зернистій (м. Запоріжжя) (Chasovskih, Gagarin, Lyubich, Abyizov, Petrov, 1974).

Зміна мікроструктури ґрунтів у процесі деформування полягає в розпаді агрегатів ґрунтів, зміщенні та перекомпановці частинок, їх переорієнтації та у розвитку дефектів структури – розривів та порушень зв'язків у каркасі ґрунтів та утворення мікротріщин (Vyalov, Zaretskiy, Maksimyak, Pekarskaya, 1972). І. В. Кареліна та ін. досліджували методи усунення просадкових властивостей лесової основи та підвищення її міцносних та деформаційних характеристик. Автори дійшли висновків, що за дії динамічних навантажень відбувається максимальне зближення частинок ґрунту, що супроводжується процесом часткового чи повного руйнування агрегатів та мікроагрегатів (Karelina, Gumirov, Markin,

2009). Саме для виявлення максимальної кількості агрегатів, які зможуть розпастись, ми застосували гранулометричний аналіз із трьома способами підготовки за методикою «Мікроструктура» (Ryaschenko, 2010). Перевагою цієї методики є розрахунок вмісту частинок відповідного розміру, що дозволяє оперувати результатами як динамічною системою. За методикою «Мікроструктура» виділяють агреговану, скелетну та змішану (агреговано-скелетну та скелетно-агреговану) мікроструктури лесових ґрунтів. За результатами гранулометричного аналізу методом піпетки з трьома способами підготовки визначають

коефіцієнт мікроагрегатності, ступінь агрегованості, коефіцієнт свободи, тип мікроструктури та структурної моделі ґрунтів.

Результати. Для виявлення впливу типу мікроструктури лесових відкладів на їх просадність виконано експериментальні лабораторні дослідження найбільш поширених горизонтів м. Дніпропетровськ. Місця відбору зразків для гранулометричного аналізу: балки Тунельна, Євпаторійська, Зустрічна, вододіл балок Зустрічна та Тунельна. Загалом для характеристики впливу гранулометричного складу на просадність лесових ґрунтів відібрано 44 значення коефіцієнта

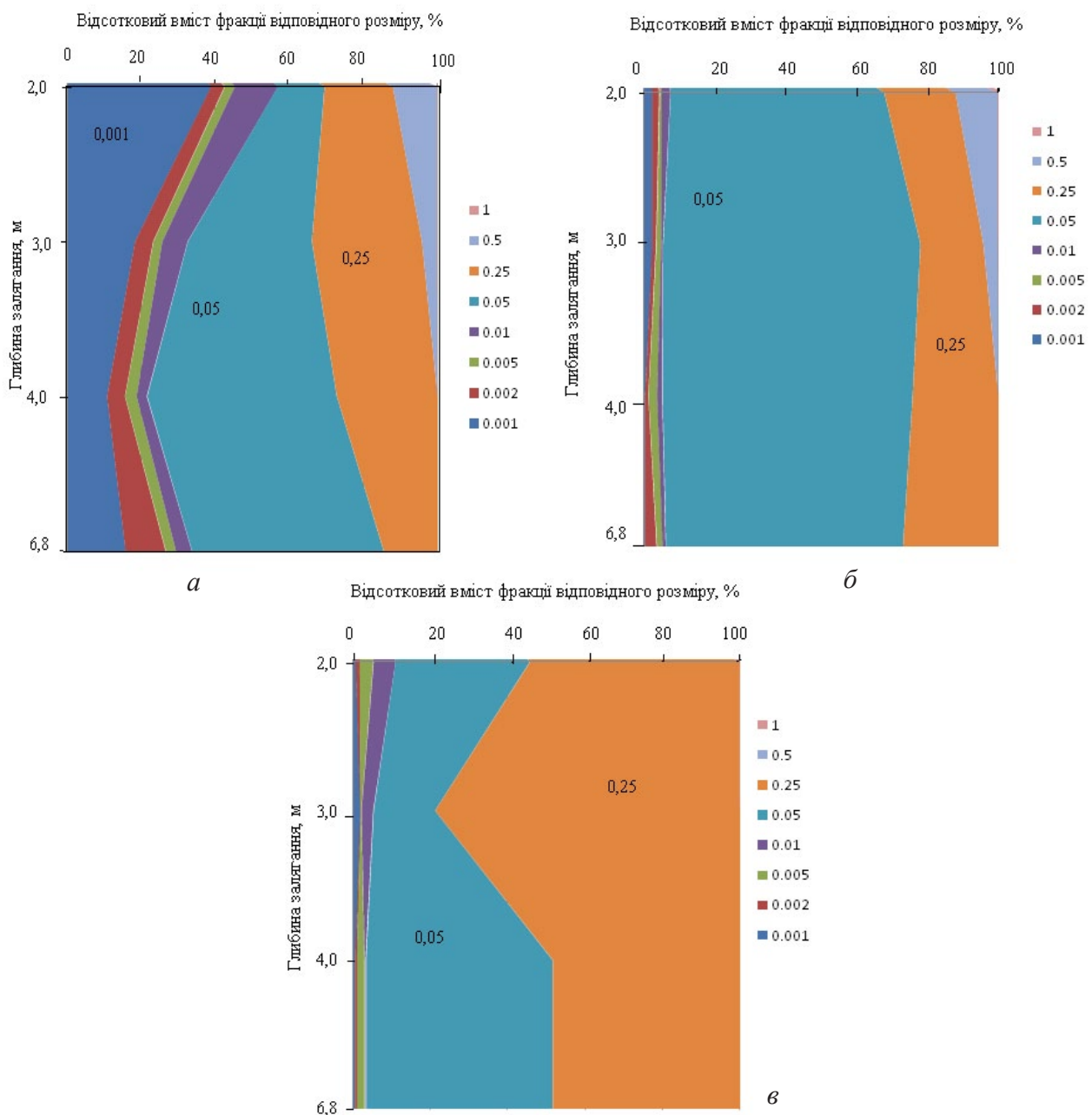


Рис. 1. Розподіл відсоткового вмісту фракцій за:
a – дисперсної; *b* – агрегатної; *v* – стандартної підготовки по глибині

просадності лесових та викопних ґрунтів, 200 визначень гранулометричного складу з різними способами підготовки до аналізу. Комплекс досліджень включає в себе визначення фізичних, фізико-механічних властивостей ґрунтів.

Нижче наведено результати досліджень ділянки, розташованої на вододілі балок Тунельна та Зустрічна, де проводились інженерно-геологічні вишукування для визначення причин просадності 12-поверхової будівлі. Відібрано зразки дофінівського (eP_{III} df), вітачівського (eP_{III} vt), удайського (vdP_{III} ud) та дніпровського (vdP_{II} dn) горизонтів.

Гранулометричний склад лесових та викопних ґрунтів визначали методом піпетки з трьома способами підготовки ґрунтів до аналізу (дисперсна, стандартна та агрегатна) (Mokritskaya, Ryaschenko, Akulova, Samoylich, 2013; Ryaschenko, Shestopalov, Akulova, Mokritskaya, Samoylich, 2014; Ryaschenko, 2010). За методикою (Koval, 2001) побудовано гістограми розподілу відсоткового вмісту фракцій трьома способами підготовки по глибині. Розподіл на горизонти прийняли умовно, маючи за мету наочно відобразити різницю по виходу частинок відповідного розміру.

За дисперсної підготовки максимально руйнуються мікроагрегати і збільшується відсотковий вміст фракцій розмірами $< 0,001$ мм, $0,001 - 0,002$ мм, $0,002 - 0,005$ мм, $0,005 - 0,01$ мм. За агрегатної підготовки зруйновані тільки водонестійкі агрегати, тож максимальний вміст мають фракції розміром $0,05 - 0,25$ мм та $0,25 - 0,5$ мм. За стандартної підготовки проходить частковий розпад мікроагрегатів, переважний вміст також мають фракції розміром $0,05 - 0,25$ мм та $0,25 - 0,5$ мм, проте вміст тонкодисперсних частинок трохи більший, ніж за агрегатної підготовки. Вміст крупних фракцій поступово зменшується знизу вгору по розрізу (і відповідно зростає вміст дрібних частинок). Цей факт свідчить про послаблення гідродинамічної активності з часом її формування. Тож для визначення часткового/повного руйнування агрегатів та мікроагрегатів рекомендовано проводити гранулометричний аналіз трьома способами підготовки зразків.

Результати проведених лабораторних досліджень наведено нижче. За результатами гранулометричного аналізу методом «Мікроструктура» для кожного з ґрунтів виділено класифікаційний код, розшифрування якого характеризує основні параметри мікроструктури для кожного з ґрунтів (Ryaschenko, 2010).

Для запису коду мікроструктури використовують такі позначення: M^2 – загальний вміст грубо- та

тонкоглинястих частинок ($< 0,002$ мм) за даними стандартної гранулометрії; M^{11} – загальна кількість крупно- та дрібнопиловатих частинок ($0,05 - 0,002$ мм) за даними стандартної гранулометрії; A – загальна кількість агрегатів; A^{1-5} – кількість агрегатів, розміром $1,00-0,25$; $0,25-0,05$; $0,05 - 0,01$; $0,01 - 0,002$; $0,002 - 0,001$ мм; $M^{2A} - M^{6A}$ – кількість частинок у складі агрегатів, розрахована для фракцій $1,00 - 0,25$; $0,25 - 0,05$; $0,05 - 0,01$; $0,01 - 0,002$; $0,002 - 0,001$; $< 0,001$ мм. $F^2 - F^6$ – коефіцієнти вільності, розраховані для фракцій $1,00 - 0,25$; $0,25 - 0,05$; $0,05 - 0,01$; $0,01 - 0,002$; $0,002 - 0,001$; $< 0,001$ мм; M^8 – загальна кількість (первинних і у складі агрегатів) частинок $< 0,002$ мм.

Дофінівський горизонт (eP_{III} df), глибина відбору проби 2,0 м, представлений суглинками сірувато-коричневого кольору, легкими, місцями піщанистими. Природна вологість 11 – 20 %, число пластичності 9 ч. од., щільність ґрунту $1,45 - 1,60$ г/см³, щільність ґрунтових частинок – $2,55$ г/см³. Коефіцієнт неоднорідності за дисперсної підготовки – 60; за агрегатної – 2,5; за стандартної – 35,8.

$M^9 3,04$ $M^{11} 46,32$ $A 50,28$ [$A^2 6,59$ $A^3 43,68$] $M^{4A} 11,62$ $F^4 20,86$ $M^{5A} 3,38$ $F^5 39,9$ $M^{6A} 35,27$ $F^6 6,58$ $M^8 43,39$.

Розшифровка. Суглинок пиловатий, мікроструктура – агрегативна, тип структурної моделі крупнопиловата (переважають крупнопиловаті структурні елементи) змішана. Агрегати складаються з тонкоглинястих ($F^6 6,58$) і дрібнопиловатих ($F^4 20,86$), у меншому ступені – грубоглинястих ($F^5 39,9$) частинок. Реальна глинястість суглинків 43,39 % за рахунок агрегативної мікроструктури.

Вітачівський горизонт (eP_{III} vt), глибина відбору 3,0 м – суглинок світло-буро-коричневий з червоним відтінком. Природна вологість 15 – 17 %, число пластичності 7 ч. од., щільність ґрунту $1,79$ г/см³, щільність ґрунтових частинок – $2,64$ г/см³. Коефіцієнт неоднорідності за дисперсної підготовки – 27; за агрегатної – 2,35; за стандартної – 46,94.

$M^2 2,02$ $M^{11} 30,77$ $A 28,17$ [$A^4 5,40$ $A^5 2,58$ $A^6 20,19$] $M^{2A} 25,93$ $F^3 71,55$ $M^{2A} 2,24$ $F^2 92,12$ $M^8 26,41$.

Розшифровка. Суглинок пиловатий, мікроструктура – скелетно-агрегована, тип структурної моделі крупнопиловата (переважають крупнопиловаті структурні елементи) елементарна. Агрегати складаються з крупнопиловатих частинок ($F^3 71,55$). Реальна глинястість суглинків 26,41 % за рахунок скелетно-агрегованої мікроструктури.

Удайський горизонт (vdP_{III} ud), глибина відбору 4,0 м – лесоподібний супісок світло-палевий, легкий, вапняковистий. Природна вологість 13 %,

число пластичності 4 ч. од., щільність ґрунту $1,79 \text{ г/см}^3$, щільність ґрунтових частинок – $2,63 \text{ г/см}^3$. Коефіцієнт неоднорідності за дисперсної підготовки – 21,3; за агрегатної – 1,9; за стандартної – 34,15.

$M^{92,15} M^{1118,93} A^{21,11} [A^2 9,82 A^3 11,29] M^{4A} 1,96 F^{460,43} M^{5A} 2,10 F^{531,05} M^{6A} 17,04 F^{62,90} M^{820,60}$.

Розшифровка. Супісок пилюватий, мікроструктура – агрегативно-скелетна, тип структурної моделі крупнопилювата (переважають крупнопилюваті структурні елементи) змішана. Агрегати складаються з тонкоглинястих ($F^{62,90}$) і грубоглинястих ($F^{531,05}$), у меншому ступені – дрібнопилюватих ($F^{460,43}$). Реальна глинястість суглинків 20,60 % за рахунок агрегативно-скелетної мікроструктури.

Дніпровський горизонт ($vd P_{II} dn$), глибина відбору 6,8 м – лесоподібний супісок, жовто-палевий, легкий, вапняковистий. Природна вологість 6 – 7 %, число пластичності 6 – 7 ч. од., щільність ґрунту $1,75 \text{ г/см}^3$, щільність ґрунтових частинок – $2,55 \text{ г/см}^3$. Коефіцієнт неоднорідності за дисперсної підготовки – 20; за агрегатної – 1,75; за стандартної – 29.

$M^{94,17} M^{1147,29} A^{21,09} [A^2 6,69 A^3 14,40] M^{4A} 2,24 F^{456,91} M^{5A} 3,90 F^{531,66} M^{6A} 14,95 F^{66,30} M^{821,65}$.

Розшифровка. Супісок пилюватий, мікроструктура – агрегативно-скелетна, тип структурної моделі крупнопилювата (переважають крупнопилюваті структурні елементи) елементарна. Агрегати складаються з тонкоглинястих ($F^{66,3}$) і грубоглинястих ($F^{531,66}$), у меншому ступені – дрібнопилюватих ($F^{456,91}$) частинок. Реальна глинястість суглинків 21,65 % за рахунок агрегативно-скелетної мікроструктури.

Тож за результатами гранулометричного аналізу ґрунтів вододілу балок Тунельна та Зустрічна методом «Мікроструктура» виділено класифікаційний код, розшифровка якого характеризує основні параметри мікроструктури для кожного з ґрунтів. Дофінівський горизонт ($e P_{III} df$) має агрегований тип мікроструктури, вітачівський ($e P_{III} vt$) – змішаний (скелетно-агрегований), а нижчезалягаючі удайський ($vd P_{III} ud$) і дніпровський ($vd P_{II} dn$) – змішаний (агреговано-скелетний). Для досліджуваних ґрунтів характерний крупнопилюватий змішаний ($e P_{III} df$, $e P_{III} vt$, $vd P_{III} ud$) та елементарний ($vd P_{II} dn$) типи структурної моделі, агрегати складені різними за розміром частинками з переважанням тонкоглинястих ($e P_{III} df$, $vd P_{III} ud$, $vd P_{II} dn$) і в деяких випадках крупнопилюватих ($e P_{III} vt$).

Із рисунка 2 видно, що загальна кількість агрегатів та частинок (первинних і в складі агрегатів) із глибиною зменшується. Загальний вміст крупно- та дрібнопилюватих частинок (0,05 – 0,002 мм)

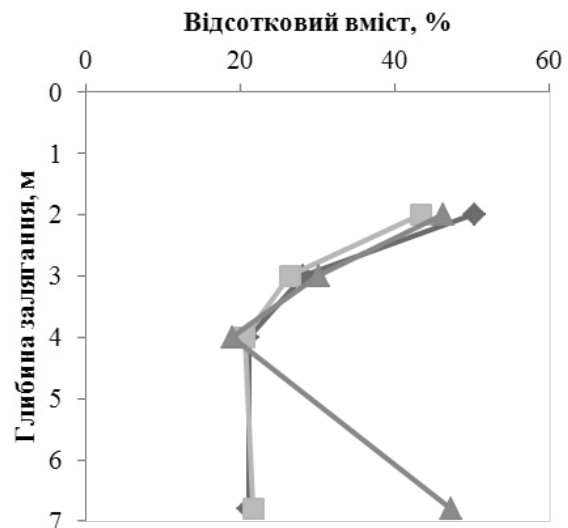


Рис. 2. Розподіл загальної кількості агрегатів та частинок по глибині. Вміст крупно- та дрібнопилюватих частинок (0,05 – 0,002 мм)

— ромб — загальна кількість агрегатів; — квадрат — загальна кількість частинок (первинних і в складі агрегатів); — трикутник — загальний вміст крупно- та дрібнопилюватих частинок (0,05 – 0,002 мм) за даними стандартної гранулометрії

теж зменшується з глибиною, проте починає своє збільшення для дніпровського горизонту. Для $e P_{III} df$ та $vd P_{II} dn$ ґрунтів характерні більш високий вміст крупно- та дрібнопилюватих частинок (0,05 – 0,002 мм), а руйнування частинок саме цього розміру скоріше за все є причиною значних просадкових деформацій.

У компресійних приладах системи «Гідропроект» за методикою «двох кривих» визначено характеристики просадності ґрунтів для монолітів непорушеної структури в інтервалі навантажень 0,05 – 0,6 МПа. (Samoylich, 2015).

За результатами компресійних випробувань для ґрунтів агрегованого ($e P_{III} df$) та агреговано-скелетного ($vd P_{II} dn$) типів мікроструктури побудовано графік залежності коефіцієнта просадності від тиску $\epsilon_{sl} = f(P)$ (рис. 3).

Процес ущільнення ґрунтів агрегованого типу мікроструктури на ділянці $A - A'$ відбувається лінійно, на ділянці $A' - A''$ спостерігається нерівномірне затухання. Це може бути спричинене руйнуванням агрегатів розміром 0,25 – 0,05 мм за дії граничних навантажень. Процес ущільнення ґрунтів змішаного (агреговано-скелетного) типу мікроструктури відбувається лінійно, стрімко, на всьому інтервалі навантажень, без затухання. Ґрунти агрегованого типу мають менші показники просадності, ніж змішано-

го (агреговано-скелетного). Для е P_{III} df та vd P_{II} dn ґрунтів характерний більш високий вміст крупно- та дрібнопилуватих частинок (0,05 – 0,002 мм), а руйнування частинок саме цього розміру скоріше за все є причиною значних просадкових деформацій.

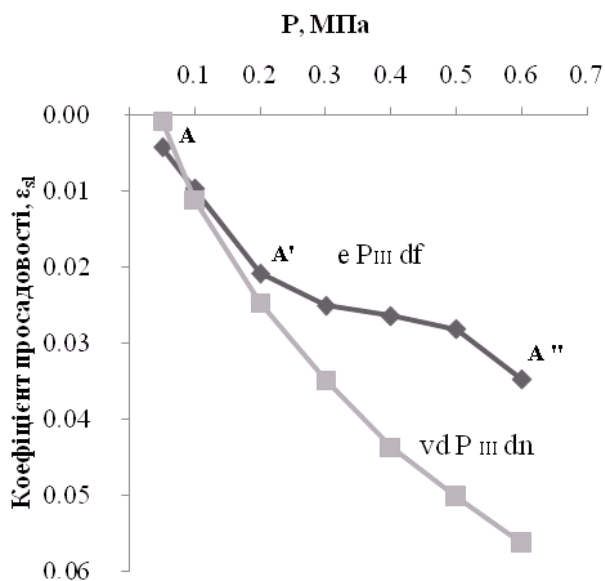


Рис. 3. Графік залежності коефіцієнта просадності від тиску $\epsilon_{sl} = f(P)$ для ґрунтів агрегованого (e P_{III} df) та агреговано-скелетного (vd P_{II} dn) типу мікроструктури забудованої території вододілу

Висновки. Отже, у процесі дослідження мікроструктури лесових та викопних ґрунтів Придніпровського регіону отримано класифікаційні коди мікроструктури, за якими встановлено, що дофінівський горизонт (e P_{III} df) має агрегований тип мікроструктури, вітачівський (e P_{III} vt) – змішаний (скелетно-агрегований), а нижчезалягаючі удайський (vd P_{III} ud) і дніпровський (vd P_{II} dn) – змішаний (агреговано-скелетний). Ґрунти агрегованого типу мають менші показники просадності, ніж змішаного (агреговано-скелетного).

Результати досліджень показали, що тип мікроструктури впливає на просадність лесових відкладів. На даному етапі досліджень одержані висновки не суперечать відомим раніше результатам, тому вирішено продовжити дослідження гранулометричного складу, щоб у подальшому з'явилась можливість застосовувати дані гранулометричного аналізу як прогнозні характеристики властивостей лесових ґрунтів.

Бібліографічні посилання

An, Z.S., Kukla, G., Porter, S.C., Xiao, J.L., 1991. Late Quaternary dust flow on the Chinese Loess Plateau. *Catena* 18, 125–132.

- Ananov, V.P., Potapov, A.D., 2005. *Inzhenernaya geologiya: Ucheb. dlya stroit. spets. vuzov* [Engineering geology : Proc. for the building. specialist. universities]. M.: Higherwks. (in Russian)
- Chasovskih, V.A., Gagarin, P.A., Lyubich, L.G., Abyizov, A.G., Petrov, O.B., 1974. *Strukturnye osobennosti lessovykh Gruntov i uprochnenie ih v rezultate uplotneniya*. [The structural features of loess soils and strength eningthemas a result of compaction]. Questions Hydrogeology and Engineering Geology of Ukraine. Geotechnical and hydrological forecasts. Publishing house «Budivelnik», Kiev. 18 – 19 (in Russian)
- Chmshkhan, A.V., 2012. *Sovershenstvovanie metodov rascheta prosadochnykh deformatsiy* [Perfection of methods of calculation of subsidence deformation] *Engineers Don Gazette* Issue number 4-2, volume 23. (in Russian)
- Karelina, I.V., Gumirov, M.A., Markin, V.B., 2009. *Izmenenie mikrostruktury lessovykh gruntov pod vozdeystviem dinamicheskikh nagruzok* [Changing the microstructure of clayey soils under load] *Journal "Mining"* 3, p. 43. (in Russian)
- Kemp, R.A., 1999. Micromorphology of loess-paleosol sequences: arecord of paleoenvironmental change. *Catena* 35, 181–198.
- Koliji, A., Vulliet, L., Laloui, L., 2010. Structural characterization of unsaturated aggregated soil. *Canadian Geotechnical Journal* 47 (3). 297 – 311.
- Komissarova, N.N., 1977. *Formirovanie struktury i tekstury prosadochnykh lessovykh porod (na primere Minusinskogo mezhgornogo progiba)* [Formation of structure and texture of subsidence of loess rocks (for example, Minusinsk intermontanetroughs)] Abstract. Dis. Cand.G.-Min. Sciences. – M.: MSU, 1977. – 26 p. (in Russian)
- Koval, S.A., 2001. *Kompyuternaya obrabotka rezultatov granulometricheskogo analiza psammitov i ih geneticheskaya interpretatsiya* [Computer processing of the results particle size analysis psammitov and their genetic interpretation] *Vestnik SSU Ser. Geology*, 12. (in Russian)
- Mokritskaya, T.P., Ryaschenko, T.G., Akulova, V.V., Samoylich, K.A., 2013. *Mikrostruktura lessovykh otlozheniy Srednego Pridneprovya na primere dneprovskogo gorizonta (g. Dnepropetrovsk)* [The microstructure loessial deposits on the example of the Middle Dnieper Dnieper horizon (Dnepropetrovsk)] *Problems and experience of engineering protection of urban areas and the preservation of heritage interms of geoecological risk: Proceedings of the International Scientific Conference*. C K.: Phoenix, 227 – 230. (in Russian)
- Morozov, S.S., 1962. *Izmenenie v sostave i svoistvakh lessovykh porod v zavisimosti ot nahozhdeniya v razlichnykh prirodnykh zonah* [Changes in the composition and properties of loess rocks, depending on location invarious natural zones] *Bulletin MSU. Ser. Geology*, 4. – S.13 – 24. (in Russian)
- Muñoz-Castelblanco J. A., J. M. Pereira, P. Delage and Y. J. Cui, 2012. The water retention properties of a natural unsaturated loess from Northern France. *Géotechnique*, 62 (2), 95 – 106.

- Osipova, M.A., 2007. Analiz izmeneniya strukturnoy prochnosti lessovyih Gruntov Priobskogo plato v zavisimosti ot koeffitsienta poristosti pri razlichnyih pokazatelyah tekuchesti [Analysis of changes in the structural strength of loess soils Ob plateau depending on the porosity coefficient at various flow rates] Polzunovsky Bulletin number 1, 2, 75 – 77. (in Russian)
- Ryaschenko, T.G., 2010. Regionalnoe Gruntovedenie (Vostochnaya Sibir) [Regional Soil (Eastern Siberia)] Irkutsk: Earth Crust SBRAS. (in Russian)
- Ryaschenko, T.G., Shestopalov, V.M., Akulova, V.V., Mokritskaya, T.P., Samoylich, K.A., 2014. Osobennosti mikrostroeniya i fraktalnoy struktury lessovyih otlozheniy Srednego Pridneprovya i yuga Vostochnoy Sibiri [Feature of the microstructure and the fractal structure of the Middle Dnieper and south of Eastern Siberia loess deposits] Proceedings of the higher educational establishments: Geology and Exploration. 5. 37 – 42.. (in Russian)
- Samoylych, K.O., 2015. Analiz zminy prosidnykh vlastyivostey lessovykh gruntiv Prydniprov's'koho rehionu [The analysis of subsidence loess soil properties Dnipro region] Proceedings of the Third International Forum of Students and Young Scientists/ed.: M. count.. Polyakov (Chairman) and others. D.: DNU. 442 – 443. (in Ukrainian)
- Strokova, V.V., Lesovik, R.V., Karatsupa, S.V., Lyutenko, A.O., Yakovlev, E.A., 2006. Mikrostruktura tehnogennyih glinistyyh Gruntov, kak factor tehnogennogo litogeneza [Microstructure anthropogenic clay soils, as a factor of technogenic Lithogenesis] The success of modern natural science number 6, 52 – 54 (in Russian)
- Sun, Y., Lu, H., An, Z., 2006. Grain size of loess, palaeosol and Red Clay deposits on the Chinese Loess Plateau: Significance for understanding pedogenical teration and palaeomonsoon evolution. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 241. 129 – 138
- Sun, D.H., An, Z.S., Shaw, J., Bloemendal, J., Sun, Y.B., 1998. Magnetostratigraphy and paleoclimatic significance of late Tertiary aeolian sequences in the Chinese Loess Plateau. Geophys. J. Int. 134, 207 – 212.
- Trofimov, V.T., 1999. Prosadochnost' leyssovyih porod [The genesis of subsidence of loess rocks] M.: MSU. (in Russian)
- Van, A.V., 2011. Postsedimentatsionnyie protsessyi v formirovani prosadochnyyh svoystv lessovyih porod. [Postsedimentary processes in the formation of subsidence properties of loess rocks] Interkespo Geo-Sibiria. 2. (in Russian)
- Vyalov, S.S., Zaretskiy, Yu.K., Maksimyak, R.V., Pekarskaya, I.K., 1972. Kinetika strukturnyih deformatsiy i razrusheniya glin [Kinetics of structural deformation and destruction of clays] In the book: Proceedings XIII International Conf. soils mechanics and foundation. M. 13 – 23. (in Russian)
- Wen, L.J., Lu, H.Y., Qiang, X.K., 2005. Changes in grain-size and sedimentation rate of the Neogene Red Clay deposits along the Chinese Loess Plateau and implications for the palaeowind system. Sci. China, Ser. D: Earth Sci. 48, 1452–1462.

Надійшла до редколегії 28.02.2016