
MICROMORPHOLOGY OF FOREST SOILS



V. M. Yakovenko✉ Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof.

UDK 504.53+630*1

*O. Honchar Dnipropetrovsk National University,
Gagarin ave., 72, Dnipro, Ukraine, 49010*

MACRO- AND MICRO-MORPHOLOGICAL DIFFERENTIATION OF HUMUS-ACCUMULATIVE HORIZON OF FOREST SOILS

Abstract. The paper presents the results of studies of macro- and micromorphological differentiation of the surface humus-accumulative horizon (A) of forest soils of the steppe zone of Ukraine. The study groups included typical soil profiles of natural ravine, wall (slope of the river bank) and floodplain forests, and chernozem under grassy and artificial tree vegetation within Prisma Dniprovsky (Novomoskovsk district, Dnipropetrovsk region). In the macromorphological study, the method of field description of soils recommended by FAO (2012) was used, the characteristics of microstructural soil organization were described in G. Stoops (2003).

The differentiation of the surface humus-accumulation horizon (A) of the investigated soils is diagnosed after changes in a number of macro- and micromorphological characteristics of the structural state-morphology and aggregate size, total porosity, void morphology, and addition density. The analysis of morphological characteristics reveals both communities the features of differentiation of the humus-accumulative horizon, and certain differences between the soils of natural forests and Calcic Chernozem.

The surface humus-accumulative horizon of Calcic Chernozem, both under grassy and under artificial tree vegetation, is differentiated into two sub-horizons A1 and A2. In the Voronic Luvic Chernozem of natural ravine, Luvic Phaeozem of the pristine (slope of the river bank) forests and Mollic Fluvisol of floodplain forests, the surface horizon is differentiated into three sub-horizons – A1, A2, A3.

At the macromorphological level, of the surface humus-accumulative horizon there are synchronous changes in the main characteristics of the structural state - the set and the dominant types of structure, the prevailing dimensions of aggregates within the framework of one type of structure, the total porosity, the diversity of the morphology of the voids, the relative participation of individual types of voids in the formation of pore space, density shape.

At the micromorphological level, differentiation is diagnosed on the basis of changes: a set and the relative ratio of different types of microstructure; the ratio of the dominant types of voids and the total area of apparent porosity; morphology of aggregates (shape, size, degree of accommodation of surfaces, intra-aggregate porosity) within a single type of microstructure.

The more complex differentiation of the surface humus-accumulative horizon of forest soils in comparison with Calcic Chernozem is due to the greater thickness of the horizon, which causes a

✉ Tel.: +38066-559-68-06, e-mail: yakovenko_v@i.ua

DOI: 10.15421/041614

significant compaction in the lower direction within the surface horizon and more intensive biological activity (especially soil meso- and microfauna).

Key words: *microstructure, morphology of voids, soil aggregates, density shape, forest soils.*

УДК 504.53+630*1

В. Н. Яковенко

канд. биол. наук, доц.

*Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара,
просп. Гагарина, 72, г. Днепр, Украина, 49010,
тел.: +38066-559-68-06, e-mail: yakovenko_v@i.ua*

МАКРО- И МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ГУМУСОВО-АККУМУЛЯТИВНОГО ГОРИЗОНТА ЛЕСНЫХ ПОЧВ

Аннотация. В работе изложены результаты исследований макро- и микроморфологической дифференциации на подгоризонты гумусово-аккумулятивного горизонта лесных почв степной зоны Украины. Дифференциация гумусово-аккумулятивного горизонта исследованных почв диагностируется по изменениям ряда макро- и микроморфологических характеристик структурного состояния – морфологии и размера агрегатов, общей пористости, морфологии пустот, плотности сложения. Анализ морфологических характеристик выявляет как общие черты дифференциации гумусово-аккумулятивного горизонта, так и определенные различия между почвами природных лесов и черноземами обыкновенными под травянистой и искусственной древесной растительностью.

Гумусово-аккумулятивный горизонт черноземов обыкновенных (Calcic Chernozem) как под травянистой, так и под древесной искусственной растительностью дифференцируется на два подгоризонта – Н₁ и Н₂. В черноземных почвах природных байрачных (Voronc Luvic Chernozem), пристенных лесов (Luvic Phaeozem) и лугово-лесных почвах (Mollic Fluvisol) пойменных лесов поверхностный горизонт дифференцируется на три подгоризонта – Н₁, Н₂, Н₃. Более сложная дифференциация гумусово-аккумулятивного горизонта лесных почв сравнительно с черноземами обыкновенными, на наш взгляд, обусловлена большей мощностью горизонта, что обуславливает значительное уплотнение в нисходящем направлении в пределах поверхностного горизонта, и более интенсивной биологической активностью (особенно почвенной мезо- и микрофауны).

Ключевые слова: *микроструктура, морфология пустот, почвенные агрегаты, плотность сложения, лесные почвы.*

УДК 504.53+630*1

В. М. Яковенко

канд. біол. наук, доц.

*Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара,
просп. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49010,
тел.: +38066-559-68-06, e-mail: yakovenko_v@i.ua*

МАКРО- ТА МИКРОМОРФОЛОГІЧНА ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ ГУМУСОВО-АКУМУЛЯТИВНОГО ГОРИЗОНТУ ЛІСОВИХ ҐРУНТІВ

Анотація. У роботі наведено результати досліджень макро- та микроморфологічної диференціації гумусово-аккумулятивного горизонту лісових ґрунтів степової зони України. Диференціація гумусово-аккумулятивного горизонту досліджених ґрунтів діагностується за зміною низки макро- та микроморфологічних характеристик структурного стану – морфології і розміру агрегатів, загальної пористості, морфології порожнин, щільності складення. Аналіз морфологічних характеристик виявляє як спільні риси диференціації гумусово-аккумулятивного горизонту, так і певні відмінності між ґрунтами природних лісів і черноземами звичайними.

Гумусово-аккумулятивний горизонт черноземів звичайних (Calcic Chernozem) як під трав'янистою, так і під деревною штучною рослинністю диференціюється на два підгоризонти – Н₁ та Н₂. У черноземних ґрунтах природних байрачних (Voronc Luvic Chernozem) і пристінних лісів (Luvic Phaeozem) та лучно-лісових ґрунтах (Mollic Fluvisol) заплавлених лісів поверхневий горизонт диференціюється на три підгоризонти – Н₁, Н₂, Н₃. Більш складна диференціація гумусово-аккумулятивного горизонту лісових ґрунтів порівняно з черноземами звичайними, на наш погляд, обумовлена більшою потужністю горизонту, що зумовлює суттєве зростання

ущільнення в низхідному напрямку в його межах, та більш інтенсивною біологічною активністю (особливо ґрунтової мезо- і мікрофауни).

Ключові слова: мікроструктура, морфологія порожнин, ґрунтові агрегати, щільність складення, лісові ґрунти.

ВСТУП

Польові дослідження морфологічної будови ґрунтів є вихідним матеріалом для діагностики і класифікації ґрунтів, порівняльної характеристики будови ґрунтів у різнопланових дослідженнях (зокрема, обзорах, атласах та ін.), при визначенні різноманітних аналітичних показників генетичних горизонтів та їх змін у профілі.

Ключовим елементом морфологічного дослідження ґрунтів є визначення генетичних горизонтів та їх сполучення в профілі. Підставою для виділення відповідного горизонту або підгоризонту може бути зміна по вертикалі будь-якої (навіть однієї) суттєвої морфологічної ознаки (Rozanov, 2004) – гранулометричного складу, забарвлення, структури, складення (щільності, пористості), новоутворень, включень та ступеня однорідності (плямистості). За методикою польового опису ґрунтів ФАО (2012), яка жорстко прив'язана до міжнародної класифікації ґрунтів WRB, підгоризонти виділяються на основі морфологічно виражених відмінностей у структурі, кольорі або гранулометричному складі.

Наш досвід дослідження профілів байрачних, пристінних і заплавних лісових ґрунтів степової зони України (Belova, Yakovenko, 1997; Yakovenko, 2004, 2008, 2014 та ін.) свідчить, що характерною особливістю їх морфологічної будови є диференціація гумусово-акумулятивного горизонту (поверхневий горизонт А за WRB) на три підгоризонти – Н₁, Н₂ і Н₃ (за WRB відповідно підгоризонти А1, А2, А3). Однак у макроморфологічних описах лісових ґрунтів на фоні одноманітного забарвлення і гранулометричного складу гумусово-акумулятивного горизонту спостерігаються різночитання у виділенні підгоризонтів на основі змін по вертикалі відносного співвідношення агрегатів різної морфології або розміру педів домінуючого типу структури, змін щільності складення, загальної пористості та відносної часті порожнин різної морфології й генезису. Отже, існує проблема об'єктивної діагностики диференціації гумусово-акумулятивного горизонту лісових ґрунтів на підгоризонти, яка вирішується дослідженнями на макро- та мікроморфологічному рівні організації ґрунтів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктами досліджень слугували типові профілі ґрунтів природних байрачних, пристінних і заплавних лісів, а також чорноземів звичайних під трав'янистою і штучною деревною рослинністю в межах Присамар'я Дніпровського (Новомосковський район Дніпропетровської області).

При макроморфологічному дослідженні застосовувалась методика польового опису ґрунтів, рекомендована ФАО (2012), визначались тип ґрунтової структури, щільність, морфологія пористості і характер меж між підгоризонтами. У роботі застосовано номенклатуру ґрунтів Комплексної експедиції ДНУ і міжнародну класифікацію ґрунтів WRB (IUSS Working Group WRB, 2014).

Характеристики мікроструктурної організації ґрунтів надавались за Ступсом (Stoops, 2003), зокрема визначались типи мікроструктури та їх відносне співвідношення у складенні горизонтів, типи агрегатів і ступінь акомодатії їх поверхонь, морфологічні типи порожнин і площа видимої пористості. Тип мікроструктури визначався на рівні, який сполучається з макроморфологічним описом структурного стану – як загальний фон організації ґрунтової маси при малому збільшенні ($\times 15$). Площа порового простору визначалась планиметричним методом (Gagarina, 2004) на основі підрахування площі порожнин (більших, ніж 0,1 мм

усіх морфологічних типів по 25–30 полях зору для кожного підгоризонту. Статистична обробка результатів вимірювання площі пористості здійснювалась із використанням програмного пакета Statistica.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Послідовно викладено результати загальної характеристики морфологічної будови генетичних профілів досліджених ґрунтів, особливості макро- та мікроморфологічної диференціації гумусово-аккумулятивного горизонту на підгоризонти.

Загальна характеристика морфологічної будови генетичних профілів

Чорнозем звичайний (Calcic Chernozem). Степова цілина (пробна площа № 201-B2) на вододілі між р. Самарою та її притокою р. Сороковушкою на схилі в 2° північно-східної експозиції. Будова профілю: H_0 (3–0 см) – степова повсть; H_1 (0–7 см) – поверхневий підгоризонт гумусово-аккумулятивного горизонту; H_2 (7–26 см) – другий підгоризонт гумусово-аккумулятивного горизонту; H_{pk} (26–42 см) – перший перехідний карбонатний горизонт; Phk (42–57 см) – другий перехідний карбонатний горизонт; Pk (57–130 см +) – материнська порода, карбонатний лес.

Чорнозем звичайний лісопокрощений (Calcic Chernozem). Штучне дубове насадження на плакорі (пробна площа № 224-B2). Будова профілю: H_0 (2–0 см) – лісова підстилка; H_1 (0–8 см) – поверхневий підгоризонт гумусово-аккумулятивного горизонту; H_2 (8–42 см) – другий підгоризонт гумусово-аккумулятивного горизонту; H_p (42–58 см) – перший перехідний горизонт; Phk (58–74 см) – другий перехідний карбонатний горизонт; Pk (74–120 см +) – материнська порода, карбонатний лес.

Чорнозем лісовий (Vogenic Luvis Chernozem). Природний ліс на схилі північної експозиції байраку Капітановський, середня третина схилу (пробна площа № 204-B2). Будова профілю: H_0 (3–0 см) – лісова підстилка; H_1 (0–9 см) – поверхневий підгоризонт гумусово-аккумулятивного горизонту; H_2 (9–38 см) – другий підгоризонт гумусово-аккумулятивного горизонту; H_3 (38–62 см) – третій підгоризонт гумусово-аккумулятивного горизонту; H_{pil} (62–86 см) – перехідний ілювіальний горизонт; Pk (86–140 см +) – материнська суглинкова порода, карбонатна з глибини 110 см.

Чорнозем лісовий (Luvis Phaeozem). Природний ліс на пристіні правого берега р. Самари, середня третина схилу (пробна площа № 207-B2). Будова профілю: H_0 (2–0 см) – лісова підстилка; H_1 (0–8 см) – поверхневий підгоризонт гумусово-аккумулятивного горизонту; H_2 (8–43 см) – другий підгоризонт гумусово-аккумулятивного горизонту; H_3 (43–66 см) – третій підгоризонт гумусово-аккумулятивного горизонту; H_{pil} (66–90 см) – перший перехідний ілювіальний горизонт; Phl (90–120 см) – другий перехідний ілювіальний горизонт; P (120–160 см +) – материнська суглинкова порода.

Заплавний лучно-лісовий ґрунт (Mollic Fluvisol). Природний ліс у центральній заплаві р. Самари (пробна площа № 209-B2). Будова профілю: H_0 (3,5–0 см) – лісова підстилка; H_1 (0–8 см) – поверхневий підгоризонт гумусово-аккумулятивного горизонту; H_2 (8–36 см) – другий підгоризонт гумусово-аккумулятивного горизонту; H_3 (36–60 см) – третій підгоризонт гумусово-аккумулятивного горизонту; H_p (60–100 см) – перехідний горизонт.

Макроморфологічна диференціація гумусово-аккумулятивного горизонту

Диференціація гумусово-аккумулятивного горизонту досліджених ґрунтів діагностується за зміною низки макро- та мікроморфологічних характеристик структурного стану – морфології і розміру агрегатів, загальної пористості, морфології порожнин, щільності складення. Морфологічні ознаки гумусово-аккумулятивного горизонту за методикою ФАО відносяться до наступних класифікаційних категорій (табл. 1).

Таблиця 1

Диференціація гумусово-аккумулятивного горизонту на макроморфологічному рівні

Генетичний підгоризонт / підгоризонт WRB	Глибина, см	Тип ґрунтової структури*	Пористість	Морфологічні типи порожнин**	Щільність, кг дм ⁻³	Межі між підгоризонтами (перехід / форма)
1	2	3	4	5	6	7
Чорнозем звичайний (Calsic Chernozem), степова цілина						
H ₁ / A1	0-7	Дуже дрібна зерниста, дрібна зерниста, дуже дрібна грудкувата	Висока	Міжагрегатні, ваги, пори-канали, тріщини	1,11-1,31 (BD2)	Різкий / рівна
H ₂ / A2	7-26	Дрібна грудкувата, дрібна зерниста, середня зерниста, дуже дрібна призматична, дрібна призматична	Висока	Тріщини, ваги, міжагрегатні, пори-канали	1,37-1,57 (BD3)	-
Чорнозем звичайний лісопокрашений (Calsic Shegnozem), шлuchte дубове насадження						
H ₁ / A1	0-8	Дуже дрібна зерниста, дрібна зерниста, дуже дрібна грудкувата	Висока	Міжагрегатні, ваги, пори-канали, тріщини	1,08-1,28 (BD2)	Різкий / рівна
H ₂ / A2	8-42	Дуже дрібна грудкувата, дрібна грудкувата, дрібна зерниста, середня зерниста	Висока	Ваги, тріщини, міжагрегатні, пори-канали	1,34-1,54 (BD3)	-
Чорнозем лісовий (Votonic Luvic Chernozem), схил байраку						
H ₁ / A1	0-9	Дрібна зерниста, середня зерниста, дуже дрібна зерниста, дуже дрібна грудкувата	Дуже висока	Міжагрегатні, ваги	0,72 - 1,02 (BD1)	Різкий / рівна

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
N ₂ / A2	9–38	Дуже дрібна грудкувата, дрібна грудкувата, дрібна зерниста, середня зерниста	Висока	Міжарегатні, ваги, тріщини	1,17–1,37 (BD2)	Ясний / рівна
N ₃ / A3	38–62	Дрібна грудкувата, дуже дрібна грудкувата, середня грудкувата, дрібна зерниста, середня зерниста	Висока	Міжарегатні, ваги, тріщини, пори-канали	1,4–1,6 (BD3)	–
Чорнозем лісовий (L-іс Rhaeozem), схил пристіпу						
N ₁ / A1	0–8	Дрібна зерниста, середня зерниста, дуже дрібна грудкувата, дрібна грудкувата	Дуже висока	Міжарегатні, ваги	0,78–1,08 (BD1)	Різкий / рівна
N ₂ / A2	8–43	Дрібна грудкувата, середня грудкувата, дуже дрібна грудкувата, дрібна зерниста, дуже дрібна зерниста, дуже дрібна призматична, дрібна призматична	Висока	Ваги, тріщини, міжарегатні, пори-канали	1,17–1,37 (BD2)	Ясний / рівна
N ₃ / A3	43–66	Дуже дрібна призматична, дрібна призматична, дуже дрібна грудкувата, дрібна горіхувата, дуже дрібна горіхувата, дрібна горіхувата	Висока	Тріщини, ваги, пори-канали, міжарегатні	1,4–1,6 (BD3)	–

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
		Заплавний лугово-лісовий ґрунт (Mollis Fluvisol), центральна заплава				
H ₁ / A1	0–9	Дрібна зерниста, середня дрібна грудкувата, дуже дрібна грудкувата	Дуже висока	Міжагрегатні, ваги	0,72–1,02 (BD1)	Різкий / рівна
H ₂ / A2	9–36	Дуже дрібна грудкувата, дрібна грудкувата, середня грудкувата, дрібна зерниста	Висока	Міжагрегатні, ваги, пори-канали, тріщини	1,14–1,34 (BD2)	Ясний / рівна
H ₃ / A3	36–60	Дрібна зерниста Дуже дрібна грудкувата, середня грудкувата, дрібна зерниста, середня зерниста	Висока	Міжагрегатні, ваги, тріщини, пори-канали	1,37–1,57 (BD3)	–

*Типи ґрунтової структури розташовані за зменшенням відносного вмісту пелів відповідної морфології.

**Типи порожнин розташовані в порядку зниження їх відносної участі в поровому просторі.

Типи ґрунтової структури: зерниста (Granular) – сфероїдної або багатогранної форми, з вигнутими або неправильними гранями, які не прилягають до граней сусідніх агрегатів; грудкувата (Subangular blocky) – багатогранної форми майже рівних розмірів по всіх напрямках, з округленими гранями, до яких прилягають, повторюючи їх форму, сусідні агрегати; горіхувата (Angular blocky) – відрізняються від грудкуватих гранями, які пересікаються під відносно гострими кутами; призматична (Prismatic) – обмежені розміри в горизонтальній і розтягнуті розміри у вертикальній площині, мають дуже добре виражені вертикальні грані (форма граней плоска або слабоокруглена), до яких прилягають, повторюючи їх форму, сусідні агрегати.

Розмір педів відповідних типів структури: зерниста – дуже дрібна (< 1 мм), дрібна (1–2 мм), середня (2–5 мм); грудкувата – дуже дрібна (< 5 мм), дрібна (5–10 мм), середня (10–20 мм); горіхувата – дуже дрібна (< 5 мм), дрібна (5–10 мм); призматична – дуже дрібна (< 10 мм), дрібна (10–20 мм).

Категорії щільності горизонтів (кг дм⁻³) визначені з урахуванням комплексу характеристик: оцінки сили, з якою ніж уходить у стінку розрізу (при польовій вологості); переважаючої форми педів; характеру фрагментації зразка при вилученні з ґрунту (матеріал відразу розпадається на відокремлені агрегати, або спочатку зразок розпадається на великі фрагменти, які під впливом сили різної потужності розвалюються на відокремлені педи); пористості стінки розрізу. Оскільки в досліджених ґрунтах вміст гумусу перевищує 2 % (Turika, 1985; Belova, Travleyev, 1999), показники щільності знижувались на 0,03 кг дм⁻³ при кожному 1%-ному збільшенні вмісту органічної речовини.

Пористість визначена як доля, зайнята порами (що розпізнаються під лінзою при 10-кратному збільшенні) від загальної площі стінки гумусово-аккумулятивного горизонту у досліджених ґрунтах класифікується як висока (15–40 %) або дуже висока (> 40 %).

За морфологією визначено такі типи порожнин: міжагрегатні або складні пори пакування (Interstitial) – неправильної форми і не сполучаються між собою (утворюються в результаті упаковки агрегатів, які не прилягають щільно один до одного); ваги, або кавернозні (Vughs) – мають переважно неправильну, але близьку до ізометричної форму, переривчасті і не сполучаються між собою (виникають у результаті діяльності тварин або порушення форми інших порожнин); пори-канали (Channels) – витягнуті порожнини, переважно трубчастої форми, сильно варіабельні за розміром (виникають унаслідок діяльності рослин і тварин); тріщини (Planes) – більшість тріщин розташовується на межі між педями, звичайно мають непостійні форми, розмір та кількість, які варіюють залежно від ступеня зволоження ґрунту (виникають у результаті розтріскування або розміщення педів відносно один одного).

Перехід між підгоризонтами (визначається потужністю зони, у межах якої розташовується межа) класифікується як різкий (0–2 см) або ясний (2–5 см). Форма меж рівна (практично плоска поверхня горизонту) або хвиляста (ширина карманів більша, ніж їх глибина).

Аналіз морфологічних характеристик виявляє як спільні риси диференціації гумусово-аккумулятивного горизонту, так і певні відмінності між ґрунтами природних лісів і чорноземами звичайними під трав'янистою та штучною деревною рослинністю.

Чорноземи звичайні (степова цілина, штучне дубове насадження). При польовому дослідженні зразки поверхневих горизонтів чорноземів звичайних спочатку розвалюються на грудки (дрібніші в підгоризонті Н₁ та більші в підгоризонті Н₂) з наступним розпаданням на окремі структурні агрегати. У підгоризонті Н₁ домінують дуже дрібні і дрібні зернисті агрегати. Натомість у підгоризонті Н₂ домінують дуже дрібні і дрібні грудкуваті агрегати, зернисті більшого розміру (дрібні і середні), також наявні призматичні педи.

Загальна пористість класифікується як висока, хоча в підгоризонті H_2 вона помітно знижується. Морфологія порожнин досить різноманітна починаючи з поверхневого підгоризонту: міжагрегатні, ваги, тріщини і пори-канали. Але в другому підгоризонті суттєво змінюється співвідношення відносної участі порожнин різних типів: у підгоризонті H_1 переважають міжагрегатні і ваги, у підгоризонті H_2 – тріщини і ваги.

Щільність складення змінюється від BD2 у поверхневому до BD3 у другому підгоризонті. Перехід між підгоризонтами різкий, форма границі рівна.

Чорноземи лісові (схил байраку, схил пристіну), заплавної лугово-лісовий ґрунт (центральна заплава). На відміну від чорноземів звичайних, зразки поверхневого підгоризонту H_1 лісових ґрунтів відразу розпадаються на відокремлені зернисті (дрібні і середні) й грудкуваті (дуже дрібні і дрібні) агрегати. Грані сусідніх агрегатів не прилягають. Грудкуваті окремоті виглядають як конгломерати зернистих агрегатів. Матеріал підгоризонтів H_2 та H_3 спочатку розвалюється на великі нестабільні грудки (розміром від 3 до 10 см), які розпадаються на окремі переважно дрібні і середні грудкуваті педи, що так само мають вигляд конгломератів зернистих агрегатів. Грані педів прилягають, повторюючи форму поверхні сусідніх агрегатів. Первинні зернисті агрегати більші порівняно з поверхневим підгоризонтом.

Більш різноманітною є структура гумусово-аккумулятивного горизонту чорноземів пристінних лісів, де в підгоризонті H_2 спостерігаються грудкуваті, зернисті і призматичні педи, а в підгоризонті H_3 призматичні (домінуючий тип), грудкуваті і горіхуваті.

Пористість різко змінюється з дуже високої до високої між підгоризонтами H_1 та H_2 . Менш контрастні зміни спостерігаються в категорії високої пористості між підгоризонтами H_2 та H_3 .

У ґрунтах природних лісів спостерігається чітка відмінність морфології порожнин між підгоризонтами H_1 та H_2 . У поверхневому підгоризонті поровий простір формують переважно міжагрегатні пори і ваги (що відповідає повній агрегованості матеріалу і домінуючому типу структури), натомість поровий простір другого і третього підгоризонтів більш різноманітний – міжагрегатні, ваги, тріщини і пори-канали. При переході від другого до третього підгоризонту спостерігається зменшення відносної участі міжагрегатних пор і вагів та зростання участі каналів і особливо тріщин. Відзначимо, що пори-тріщини переважно є порожнинами між контактуючими поверхнями грудкуватих і призматичних педів.

Лісові ґрунти відзначаються низькою щільністю (позначення щільності – BD1) поверхневих горизонтів H_1 і значним ущільненням у цифровому вираженні (кг дм^{-3}) на межі з підгоризонтами H_2 (позначення щільності – BD2). Ущільнення при переході до підгоризонтів H_3 має менш контрастний характер у цифровому вираженні.

Межі між підгоризонтами H_1 та H_2 мають різкий перехід і рівну форму, межі між H_2 та H_3 характеризуються більш поступовим, ясним переходом і рівною формою.

Загальні риси макроморфологічної диференціації

гумусово-аккумулятивного горизонту досліджених ґрунтів

Усім дослідженим ґрунтам властиве домінування зернистих агрегатів у підгоризонті H_1 і педів грудкуватої морфології в підгоризонті H_2 . Спостерігається загальна тенденція збільшення розмірів структурних окремотей униз по профілю, зокрема найбільш контрастне між підгоризонтами H_1 та H_2 у ґрунтах природних лісів.

Менш контрастні зміни спостерігаються в категорії високої пористості, оскільки вона має широкі межі (15–40 %), але загалом зниження загальної пористості є помітним. Загальною закономірністю є зростання вниз по профілю участі в поровому просторі тріщин і пор-каналів на тлі зменшення відносної участі вагів та особливо міжагрегатних пор.

Щільність поверхневих підгоризонтів H_1 чорноземів звичайних дорівнює щільності підгоризонтів H_2 лісових ґрунтів (позначення щільності – BD2).

В усіх досліджених ґрунтах між підгоризонтами H_1 та H_2 спостерігається різкий перехід і рівна форма меж.

Мікроморфологічна диференціація гумусово-аккумулятивного горизонту

Мікроструктурні ознаки гумусово-аккумулятивного горизонту досліджених ґрунтів наведено в табл. 2.

Варто зазначити, що макроморфологічне поняття структури та мікроморфологічне поняття мікроструктури суттєво відмінні за своїм визначенням: якщо тип структури характеризує морфологію лише ґрунтових педів, то тип мікроструктури включає повну характеристику організації твердої фази ґрунту на основі морфології, співвідношення і особливостей просторового розташування порожнин, педів та неагрегованого матеріалу.

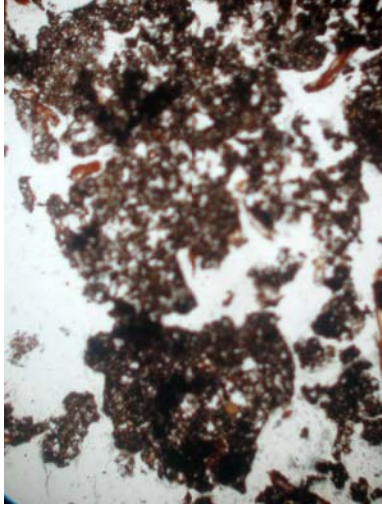
Мікрозони грудкуватої (Clumb) мікроструктури складаються з переважно високопористих агрегатів сфероїдної форми за участю зернистих агрегатів та пухкого неагрегованого матеріалу (рисунк, а). Характеризуються різним ступенем акомодатції поверхонь сусідніх педів (не акомодовані або частково акомодовані). Основну площу пористості формують композитні (Compound packing voids) складні пори пакування агрегатів і каналоподібні (Channels) пори, заповнені дрібними копрогенними агрегатами. Наявні також дрібні пори-тріщини і ваги. Даний тип мікроструктури на рівні макроморфології пов'язаний з грудкуватим типом структури.

Копрогенна (Vermicular) мікроструктура сформована скупченнями зернистих, щільних, непористих або низькопористих, сфероїдної форми агрегатів зоогенного походження (рисунк, б). Акомодатція між зернистими агрегатами відсутня. Поровий простір сформований композитними складними порами пакування зернистих агрегатів та меншою мірою біогенними каналами. Мікрозони копрогенної мікроструктури відзначаються найвищими показниками площі видимої пористості. На макроморфологічному рівні копрогенна мікроструктура пов'язана із зернистим типом структури, дуже високою пористістю і низькими показниками щільності складення.

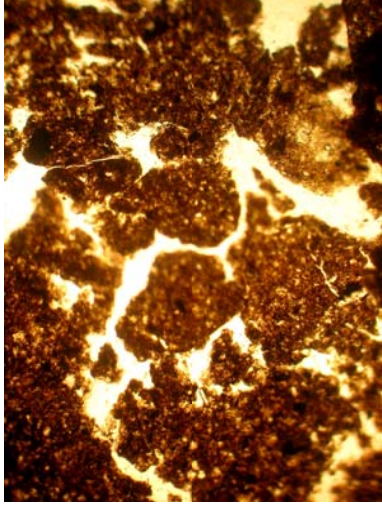
Округло-блокова (Subangular blocky) мікроструктура утворена блоками з розвинутими гранями і округлими кутами (рисунк, в). Блоки є результатом фрагментації ґрунтового матеріалу внаслідок розтріскування. Педи переважно щільні, низькопористі, але біогенна активність (проникнення коренів рослин, локомоторна і структуроутворююча діяльність безхребетних) можуть створювати внутрішньоагрегатну пористість. Між сусідніми блоками спостерігається часткова або досконала акомодатція поверхонь. Основним морфологічним типом порожнин округло-блокової мікроструктури є пори-тріщини (Planes) між блоками, значна участь каналоподібних пор і вагів (Vughs). На рівні макроморфології цей тип мікроструктури пов'язаний з грудкуватим та призматичним типом структури, порами-тріщинами і значною щільністю складення.

Гострокутно-блокова (Angular blocky) мікроструктура утворюється внаслідок процесів розтріскування ґрунтової маси на щільні блоки, які мають різкі плоскі грані і гострі кути (рисунк, г). Сусідні блоки характеризуються досконалою акомодатцією поверхонь. Поровий простір відзначається найнижчими, порівняно з іншими типами агрегованої мікроструктури, показниками загальної площі. Представлений порами-тріщинами, зустрічаються ваги, на загальному фоні спостерігаються біогенні канали. Мікрозони гострокутно-блокової мікроструктури зустрічаються в підгоризонті H_3 байрачних ґрунтів у комплексі з іншими типами мікроструктури. На рівні макроморфології сполучається з грудкуватою і призматичною структурою, порами-тріщинами і високою щільністю складення.

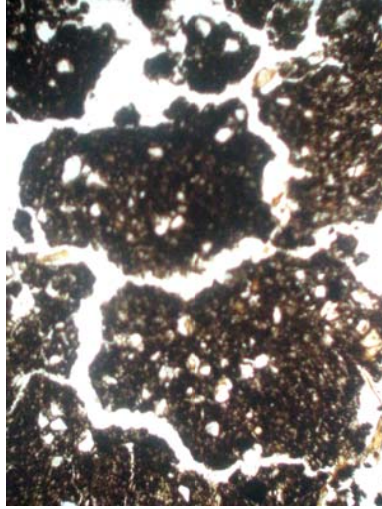
Мікрозони неагрегованої мікроструктури характеризуються досить різною щільністю і загальною пористістю. Зустрічаються різноманітні морфологічні типи – пори-тріщини, ваги, канали, сполучені з камерами. У горизонтах зі значним вмістом



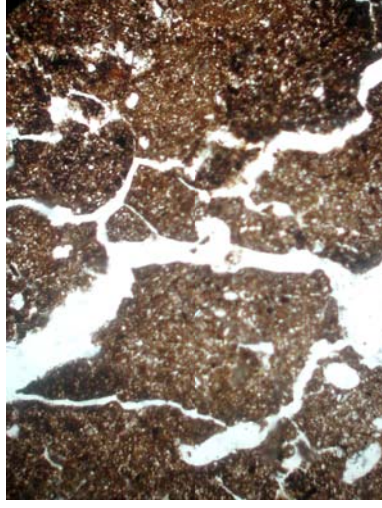
a



б



в



г

Мікροструктурна організація гумусово-аккумулятивного горизонту:

a – грудкувата, чорнозем звичайний лісопокрашений (Calcic Chernozem);
б – зерниста копрогенна, заплавлений лучно-лісовий ґрунт (Mollic Fluvisol);

в – округло-блокова, чорнозем звичайний (Calcic Chernozem);

г – гострокутно-блокова, чорнозем лісовий (Voronіc Luvis Chernozem). Ширинa знімків 2 мм, ніколi ||

Таблиця 2

Диференціація гумусово-аккумулятивного горизонту на мікрморфологічному рівні							
Генетичний підгоризонт / підгоризонт WRB	Глибина, см	Тип мікроструктури*	Домінуючий тип агрегатів**	Ступінь акомодациі поверхонь сусідніх агрегатів***	Домінуючий тип порожнин	Загальна площа порожнин розміром > 0,1 мм, %***	
						Статистика	Значення
1	2	3	4	5	6	7	8
Чорнозем звичайний (Calsic Chernozem), степова цілина							
H ₁ / A1	0-7	Грудкувата	Грудкуваті	Частково акомодовані, неакомодовані	Композитні складні, каналоподібні	X Me O SE	24,3 23,86 7,82 2,5
H ₂ / A2	7-26	Округло-блокова	Округлі блоки	Акомодовані	Пори-тріщини, каналоподібні	X Me O SE	19,03 18,5 7,61 2,41
Чорнозем звичайний лісопокрашений (Calsic Chernozem), штучне дубове насадження							
H ₁ / A1	0-8	Грудкувата	Грудкуваті	Частково акомодовані, неакомодовані	Композитні складні, каналоподібні	X Me O SE	37,58 40 6,5 2,65
H ₂ / A2	8-42	Копрогенна	Зернисті	Неакомодовані	Композитні складні, каналоподібні	X Me O SE	30,58 34,5 8,5 3,47

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
		Копрогенна	Зернисті	Неакомодовані	Композитні складні, каналоподібні		
		Губчаста	Зернисті	Неакомодовані	Каналоподібні, пори-камери, ваги, пори-тріщини		
Чорнозем лісовий (Voponic Luvic Chernozem), схил байраку							
N ₁ / A1	0–9	Копрогенна	Округлі блоки	Частково акомодовані, акомодовані, неакомодовані	Композитні складні, каналоподібні	X	54,2
			Зернисті	Неакомодовані		Me	52,5
						O	15,29
						SE	3,42
N ₂ / A2	9–38	Копрогенна	Округлі блоки	Частково акомодовані, акомодовані, неакомодовані	Композитні складні, каналоподібні	X	46,93
			Зернисті	Неакомодовані		Me	49,5
						O	12,94
						SE	2,45
N ₃ / A3	38–62	Гострокутно-блокова	Кутасті блоки	Акомодовані, частково акомодовані	Пори-тріщини, каналоподібні	X	24,04
						Me	23,5
						O	13,31
						SE	2,52
		Не агрегована	–	–	Пори-тріщини, каналоподібні, ваги		
Чорнозем лісовий (Luvic Phaeozem), схил пристіну							
N ₁ / A1	0–8	Копрогенна	Зернисті	Неакомодовані	Композитні складні, каналоподібні	X	21
						Me	13,75
						O	25,01
						SE	7,22

1	2	3	4	5	6	7	8
		Грудкувата	Грудкуваті	Частково акомодовані, неакомодовані	Композитні складні, каналоподібні		
H ₂ / A ₂	8–43	Не агрегована	Окремі дрібні зернисті і грудкуваті	–	Ваги, пори-тріщини, каналоподібні, комплексні складні	X Me O SE	7,55 5,5 8,18 2,59
H ₃ / A ₃	43–66	Не агрегована	Окремі дрібні зернисті і грудкуваті	–	Ваги, комплексні складні, каналоподібні, пори-тріщини	X Me O SE	7,08 4,25 8,24 2,61
Заплавний лугово-лісовий ґрунт (Mollis Fluvisol), центральна заплава							
H ₁ / A ₁	0–9	Копрогенна	Зернисті	Неакомодовані	Композитні складні, каналоподібні	X Me O SE	21,79 23 8,89 1,68
H ₂ / A ₂	9–36	Копрогенна	Грудкуваті Зернисті	Неакомодовані, частково акомодовані Неакомодовані	Композитні складні, каналоподібні	X Me O SE	17,04 16 7,04 1,33
H ₃ / A ₃	36–60	Округло-блокова	Грудкуваті Округлі блоки	Частково акомодовані, неакомодовані Акомодовані	Пори-тріщини, ваги, каналоподібні	X Me O SE	15,54 12 14,33 2,73

*Типи мікроструктури розташовані в напрямку зменшення їх відносної площі в мікроструктурній організації підгоризонтів.

**Домінуючі типи агрегатів і порожнин розташовані в напрямку зменшення їх відносної площі у відповідному типі мікроструктури.

***Ступінь акомодатції поверхонь агрегатів позначена за зменшенням прояву у відповідних типах педів.

**** Статистика: X – середнє арифметичне; Me – медіана; O – стандартне відхилення; SE – стандартна похибка середнього арифметичного.

великих зерен скелету наявні комплексні складні (Complex packing voids) пори пакування мінеральних зерен і дрібноземистого матеріалу. Неагрегована мікроструктура на рівні мікроморфології пов'язана з великими розмірами призматичних і грудкуватих агрегатів, порами-тріщинами і високою щільністю складення.

Контрастність диференціації на підгоризонти діагностується за такими змінами мікроструктурної організації: 1) зміни комплексу типів мікроструктури; 2) зміни відносного співвідношення (домінуючі/другорядні) різних типів мікроструктури; 3) зміни характеристик порового простору (співвідношення домінуючих типів порожнин, площі пористості) та морфології агрегатів (форма, розмір, внутрішньоагрегатна пористість) у межах одного типу мікроструктури; 4) загальної площі видимої пористості.

Чорнозем звичайний (Calcic Chernozem). Для гумусово-аккумулятивного горизонту властиве сполучення мікроструктур двох типів – грудкуватої та округло-блокової з відповідним набором домінуючих типів агрегатів і морфологічних типів порожнин. У підгоризонті Н₁ їх співвідношення приблизно рівне, натомість у другому підгоризонті збільшується відносна частка округло-блокової мікроструктури і різноманіття морфологічних типів порожнин на фоні зменшення загальної пористості. Також у мікронах округло-блокової мікроструктури другого підгоризонту спостерігається вищий ступінь акомодатії поверхонь агрегатів і зростання ролі пор-тріщин у формування порового простору.

Чорнозем звичайний лісопокращений (Calcic Chernozem). У підгоризонті Н₁ основним типом є грудкувата мікроструктура, складена великими грудкуватими педами, незначні площі копрогенної мікроструктури сформовані зернистими викидами безхребетних. Поровий простір утворений композитними порами пакування, вагами і каналами різного розміру і характеру їх заповнення. У підгоризонті Н₂ переважає грудкувата мікроструктура з участю копрогенної і меншою мірою – губчастої. Різноманіття морфологічних типів порожнин представлене композитними порами пакування агрегатів, каналоподібними і вагами. Зменшується загальна площа пористості від 37,58 % до 30,58 %.

Чорнозем лісовий (Voronc Luvic Chernozem). Мікроструктура підгоризонту Н₁ копрогенна з чергуванням мікронах достатньо щільного складення та крупних порожнин з розсіяними (у 2D просторі) агрегатами. У мікронах щільного складення спостерігається висока ступінь акомодатії поверхонь педів (хоча відстань між ними значна), натомість у високопористих мікронах акомодатія не спостерігається, незважаючи на наявність добре виражених граней в агрегатів. Порожини, незалежно від їх морфології (розгалужені канали, розгалужені тріщини, ваги неправильної форми), за генезисом можна класифікувати як композитні пори пакування зернистих агрегатів. Основу структури складають копрогенні педи (викиди люмбрицид), які сполучають у своїй будові ознаки блоків і зернистих агрегатів. Ознаки зернистості – форма близька до ізометричної, невисока пористість; ознаки блоковості – наявність граней, округлі вершини, висока ступінь акомодатії поверхонь. Копрогенні особливості макро- та мікроморфології педів, практично повна агрегованість, дуже висока загальна пористість горизонту та низька пористість власне педів свідчать про копрогенне походження структури з наступними контактними взаємодіями між педами, які зумовлюють утворення граней, що надає блокову морфологію педам на мікроморфологічному рівні організації.

Характер мікроструктури підгоризонту Н₂ подібний до поверхневого, але спостерігається вища акомодатія поверхонь агрегатів, зменшуються відстані між агрегатами, лінійні розміри порожнин різної морфології і площа пористості.

Третій підгоризонт діагностується на основі контрастної зміни копрогенної мікроструктури на гострокутно-блокову і неагреговану з відповідними їм типами порожнин і педів. Порівняно з попередніми підгоризонтами різко знижується площа пористості (з 46,93 % до 24,04 %) і ступінь оструктурення (пов'язано з укрупненням

грунтових агрегатів на макроморфологічному рівні). Педи різноманітної морфології – гострокутні й округлі блоки, зернисті, грудкуваті. Ступінь акомодатії між агрегатами залежить від типу мікроструктури конкретної мікрозони. Різноманіття типів мікроструктури, порожнин та агрегатів свідчить про різноманіття процесів структуроутворення.

Чорнозем лісовий (*Luvic Phaeozem*). Мікроструктура – копрогенна зерниста з окремими мікрозонами грудкуватої. Агрегати – переважно дрібні, щільні, низькопористі, високогумусовані, неакомодовані копроліти. Пористість складається з композитних пор пакування і біогенних каналів.

При переході до підгоризонту H_2 спостерігається контрастна зміна копрогенної і грудкуватої мікроструктури на неагреговану і відповідне різке зниження пористості з 21 % до 7,55 %. Переважають ваги, також наявні тріщини, канали і комплексні складні пори пакування.

Менш контрастною є диференціація між підгоризонтами H_2 та H_3 , яка проявляється в зростанні ролі комплексних пор пакування на фоні зменшення ролі пор-тріщин. Основну площу пористості формують ваги і комплексні пори пакування, зустрічаються канали і нечисельні тріщини. При цьому загальна площа пористості має близьке значення. Такі особливості мікроструктурної організації ґрунтів пристіну пояснюються полегшеним гранулометричним складом завдяки значному вмісту зерен скелету.

Заплавний лучно-лісовий ґрунт (*Mollic Fluvisol*). Диференціація гумусово-аккумулятивного горизонту подібна до байрачних чорноземів. У поверхневому підгоризонті суттєво переважає копрогенна зерниста мікроструктура порівняно з грудкуватою. Агрегати – переважно копроліти різного розміру і високопористі грудкуваті. У мікрозонах зернистого складення акомодатія поверхонь педів відсутня, у мікрозонах щільної грудкуватої мікроструктури спостерігається часткова акомодатія. Поровий простір сформовано переважно міжагрегатними композитними порами пакування, на загальному фоні розвинені біогенні канали, заповнені агрегатами-викидами.

Перший та другий підгоризонти відрізняються показниками видимої пористості (21,79 % і 17,04 % відповідно) при однотипній копрогенній мікроструктурі. У другому підгоризонті H_2 переважає копрогенний зернистий тип мікроструктури та наявні мікрозони грудкуватої складення. Педи переважно копрогенні, зернисті, низькопористі, різного розміру. Зустрічаються високопористі грудкуваті агрегати, що, імовірно, є «старіючими» копролітами, які поступово руйнуються

Підгоризонт H_3 вирізняється округло-блоковою мікроструктурою і зниженням площі пористості до 15,54 %. Основний тип порожнин – міжблокові тріщини, також наявні крупні ваги і каналоподібні пори. Акомодатія блоків висока.

ВИСНОВКИ

1. У досліджених ґрунтах Присамар'я Дніпровського спостерігається диференціація гумусово-аккумулятивного горизонту на макро- та міроморфологічному рівнях структурної організації. Гумусово-аккумулятивний горизонт чорноземів звичайних (*Calcic Chernozem*) як під трав'янистою, так і під штучною деревною рослинністю диференціюється на два підгоризонти – H_1 та H_2 . У чорноземних ґрунтах природних байрачних (*Voronc Luvic Chernozem*) і пристінних лісів (*Luvic Phaeozem*) та лучно-лісових ґрунтах (*Mollic Fluvisol*) заплавних лісів поверхневий горизонт диференціюється на три підгоризонти – H_1 , H_2 , H_3 .

2. На макроморфологічному рівні в межах гумусово-аккумулятивного горизонту спостерігаються синхронні зміни основних характеристик структурного стану: різноманіття морфологічних типів структури; домінуючих типів структури; переважаючих розмірів агрегатів у межах одного типу структури; загальної

пористості; різноманіття морфології порожнин; відносної участі окремих типів порожнин у формуванні порового простору; щільності складення.

3. На мікроморфологічному рівні диференціація діагностується за змінами: комплекту та відносного співвідношення різних типів мікроструктури; співвідношення домінуючих типів порожнин і загальної площі видимої пористості; морфології агрегатів (форма, розмір, ступінь акомодатії поверхонь, внутрішньоагрегатна пористість) у межах одного типу мікроструктури.

4. Більш складна диференціація гумусово-аккумулятивного горизонту лісових ґрунтів порівняно з чорноземами звичайними, на наш погляд, зумовлена більшою потужністю горизонту, що зумовлює суттєве зростання ущільнення в низхідному напрямку в його межах та більш інтенсивною біологічною активністю (особливо ґрунтової мезо- і мікрофауни).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Belova, N. A., Travleyev, A. P., 1999. Estestvennye lesa i stepnye pochvy [Natural forests and steppe soils]. DSU, Dnepropetrovsk (in Russian).
- Belova, N. A., Yakovenko, V. N., 1997. Mikromorfologiya pojmenno-lesnykh pochv Prisamarskogo monitoringa [Micromorphology of floodplain-forest soils of Prissamar monitoring]. Questions of steppe forest science and land reclamation. DSU, Dnepropetrovsk, 45–56 (in Russian).
- Gagarina, E. I., 2004. Mikromorfometricheskij metod issledovaniia pochv [Micromorphometric method of soil investigation]. S.-Petersburg University, S.-Petersburg (in Russian).
- IUSS Working Group WRB 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. World Soil Resources Reports 106, FAO, Rome.
- Rozanov, B. G., 2004. Morfologiya pochv [Morphology of soils]. Academic Project, Moscow (in Russian).
- Rukovodstvo po opisaniyu pochv, 2012 [Guidelines for Describing Soils]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome (in Russian).
- Stoops, G., 2003. Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections. Madison, WI, Soil Science Society of America. 184 p.
- Tupika, N. P., 1985. Kharakteristika gumusnogo sostoianiiia pochv lesnykh biogeotsenozov Prissamaria [Characteristics of the humus state of soils of forest biogeocoenoses of Prissamaria]. Questions of steppe forest science and the scientific foundations of forest reclamation of lands. DSU, Dnepropetrovsk, 44–48 (in Russian).
- Yakovenko, V. M., 2004. Mikrostruktura gruntiv lisovykh ekosystem Prissamaria Dniprovskogo [The microstructure of soils of forest ecosystems Prissamar'ya Dnieper]. Naukovyy visnyk Chernivetskogo universytetu. Seriya Biologiya 194, 170–177 (in Ukrainian).
- Yakovenko, V. M., 2008. Mikromorfologichna diagnostyka chornozemiv Prissamaria Dniprovskogo [The micromorphological diagnostics of the black soils of Prissamar'e Dniprovskoe]. Gruntoznavstvo 9(3–4), 119–127 (in Ukrainian).
- Yakovenko, V. M., 2014. Vplyv delyuvialnykh protsesiv na macro- ta mikromorfologiyu bairachnykh lisovykh gruntiv [The influence of deluvial processes on macro- and micromorphology of ravined forest soil]. Gruntoznavstvo 15(3–4), 74–88 (in Ukrainian)

Стаття надійшла в редакцію: 22.11.2016