

**ЛІСОВІДТВОРЕННЯ, АГРОЛІСОМЕЛІОРАЦІЯ,
ФІТОМЕЛІОРАЦІЯ**

УДК 630.114 : 631.452

<https://doi.org/10.33220/1026-3365.147.2025.57>



**МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ОРГАНІЗАЦІЇ МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ ҐРУНТІВ
В УКРАЇНІ**

С. П. Распопіна^{1*}, І. Ф. Букша², Т. С. Пивовар³

Найвідомішою програмою моніторингу лісів у регіоні Європейської Економічної Комісії ООН, що передбачає моніторинг лісових ґрунтів, є програма ICP Forests. В Україні координаційним національним центром моніторингу лісів у рамках програми ICP Forests вже понад 30 років є УкрНДІЛГА ім. Г. М. Висоцького. У статті наведено основні принципи, методичні аспекти та проблеми з організації моніторингу лісових ґрунтів на всіх етапах його проведення відповідно до вимог програми ICP Forests. Спостереження проводять на ділянках моніторингу I та II рівня згідно з переліком обов'язкових і факультативних показників ґрунту. Ґрунтові дослідження складаються з декількох етапів: 1) натурний, 2) аналітичний, 3) верифікація результатів у лабораторних інтеркалібраційних тестуваннях. Натурні дослідження проводять за методикою польових досліджень ґрунтів ФАО (2006). Таксономічну назву ґрунту надають відповідно до Міжнародної системи класифікації ґрунтів на основі Світової реферативної бази ґрунтових ресурсів (World Reference Base for Soil Resources, WRB). Аналітичні дослідження здійснюють за рекомендованими стандартизованими методиками з використанням сучасних приладів. Верифіковані результати аналітичних вимірювань зберігаються в базах даних.

Ключові слова: ICP Forests, обов'язкові показники ґрунту, факультативні показники ґрунту, стандартизовані методики.

Вступ. Моніторинг лісових ґрунтів є надзвичайно важливим компонентом забезпечення сталого розвитку, надто в умовах сучасних екологічних викликів, таких як зміна клімату і збільшення антропогенного тиску на природні екосистеми. В Україні, особливо з урахуванням наслідків бойових дій, які погіршують стан земель через забруднення або деградацію, моніторинг ґрунтів стає не лише науковою, але й соціально значущою потребою. Наявність системи моніторингу дає змогу своєчасно виявити та оцінити негативні зміни в стані ґрунтів, попереджати ці зміни та вживати заходів для їхнього збереження й відновлення, що має важливе значення для довгострокового управління лісовими ресурсами та підтримання належного стану навколишнього середовища.

Найбільшою тривалою системою натурного (наземного) моніторингу стану лісових екосистем в Європі є Міжнародна спільна програма з оцінювання та моніторингу впливу забруднення повітря на ліси (ICP Forests), заснована у 1985 р. в межах Конвенції СЕК ООН (Європейська економічна комісія Організації Об'єднаних Націй) про транскордонне забруднення повітря (Ferretti *et al.*, 2024). Програма об'єднує 42 країни і функціонує на двох

¹ Распопіна Світлана Петрівна, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна; доцент кафедри лісових культур, меліорацій та садово-паркового господарства, Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських, 44, Харків, 61002, Україна. E-mail: s_raspopina@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1880-9364>

² Букша Ігор Федорович, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: buksha@uriffm.org.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7198-6485>

³ Пивовар Тетяна Сергіївна, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: pyvovartatiana@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7250-8549>

*Адреса для кореспонденції: s_raspopina@ukr.net

рівнях. Екстенсивний моніторинг (рівень I) охоплює близько 6 000 ділянок на сітці 16×16 км, що забезпечує репрезентативне оцінювання стану лісів у просторі та часі. Інтенсивний моніторинг (рівень II), який здійснюють на понад 600 ділянках, передбачає комплексне вимірювання фізико-хімічних, біологічних і кліматичних параметрів із метою виявлення причинно-наслідкових зв'язків. Ключовими складовими дослідження є: стан крон дерев, хімія ґрунтів і ґрунтового розчину, хімічний склад листя, склад і стан рослинності, атмосферні опади, фенологія, ріст дерев, лісова підстилка та якість повітря. Всі дослідження виконують відповідно до методик, викладених у посібнику ICP Forests (*Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis*, 2016; 2020), який періодично оновлюють, із дотриманням процедур забезпечення якості, що охоплюють інтеркалібраційні дослідження як для лабораторних аналізів, так і візуальних оцінок, зокрема стану крон.

У реалізації програми ICP Forests також бере участь і Україна. Національним координаційним центром моніторингу лісів вже понад 30 років є УкрНДІЛГА ім. Г. М. Висоцького. Моніторинг лісів проводять в Україні за методиками, гармонізованими з міжнародними протоколами, однак він є частковим та стосується насамперед блоку візуального оцінювання стану крон (Buksha *et al.*, 2017, 2019). Мережа моніторингу I рівня охоплює понад 1 500 ділянок (Ryvov *et al.*, 2019). Зібрані дані є частиною аналізу просторово-часових трендів стану лісів, які узагальнювали та надавали до ICP Forests. Після 2016 р. широкомасштабні моніторингові спостереження призупинено через закінчення дії цільової Державної програми «Ліси України» на 2010–2015 рр., тому з цього періоду та дотепер моніторинг лісів проводять лише в рамках науково-дослідних робіт на окремих ділянках.

Національною законодавчо-нормативною базою та міжнародними зобов'язаннями України передбачено проведення моніторингу й національної інвентаризації лісів (НІЛ). Починаючи з 2021 р. в Україні розпочалися роботи з НІЛ, які містять зокрема блок із оцінювання лісових ґрунтів (*Procedure for Conducting a National Forest Inventory*, 2021). Постановою № 684 13 червня 2024 р. Кабінет Міністрів України затвердив «Порядок функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем», що містить підсистему моніторингу лісів (*Procedure for the functioning of the state environmental monitoring system and its subsystems*, 2024). Порядок функціонування моніторингу лісів наразі знаходиться на етапі доопрацювання.

Порядком проведення моніторингу земель і ґрунтів (*Procedure for Conducting Land and Soil Monitoring*, 2024) визначено основні принципи, на яких він базується: актуальність, об'єктивність, достовірність і повнота відомостей про землі та ґрунти; інтегрованість та інтегрування даних, одержаних із різних джерел; гармонізація з європейськими та міжнародними системами моніторингу довкілля; відкритість і доступність відомостей, законність їхнього одержання, поширення та зберігання; інноваційність. Основна мета моніторингу лісових ґрунтів – оцінювання змін їхнього стану в лісових екосистемах під впливом природних та антропогенних чинників (зокрема – з урахуванням впливу військової агресії РФ проти України) задля вчасного виявлення негативних змін стану ґрунтів, запобігання їхній деградації та негативному впливу на лісові насадження.

Натепер дослідження лісових ґрунтів в Україні мають фрагментарний характер. Системний моніторинг лісових ґрунтів (подібний до моніторингу ґрунтів агроценозів задля агрохімічної сертифікації кожні п'ять років) – відсутній. Отже, лісові ґрунти залишаються поза увагою системних досліджень, що створює критичний інформаційний дефіцит щодо їхнього стану та динаміки властивостей унаслідок впливу численних негативних чинників довкілля.

Мета досліджень – проаналізувати основні методичні положення, актуальні вимоги та основні проблеми з проведення й організації моніторингу лісових ґрунтів в Україні в рамках Програми ICP Forests.

Результати. Аналіз методики моніторингу лісових ґрунтів, викладеної в останньому посібнику ICP Forests (*Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis*, 2020) свідчить, що дослідження лісових ґрунтів розглядають як важливу складову програми моніторингу лісів. Спостереження за ґрунтами здійснюють на ділянках I рівня та II рівня моніторингу лісів.

Мета моніторингу ґрунтів на ділянках моніторингу I рівня:

- 1) оцінювання базової інформації про хімічний стан ґрунту та його зміни з часом;
- 2) оцінювання властивостей ґрунту, які визначають чутливість лісових ґрунтів до забруднення повітря (наприклад, стан підкислення);
- 3) оцінювання стану лісових ґрунтів у Європі (основна мета репрезентативного обстеження ґрунтів), що уніфікує дані для міжнародного порівняння на основі використання однакових методів відбору та аналізу зразків ґрунту в усій мережі;
- 4) отримання опосередкованої інформації щодо зміни клімату (наприклад, інвентаризація поглинання вуглецю) та сталого ведення лісового господарства (наприклад, дослідження балансу поживних речовин і водного балансу).

Моніторинг ґрунтів II рівня (*Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis*, 2020) передбачає проведення розширеного спектра досліджень ґрунтів на постійних ділянках, що разом із дослідженнями інших компонентів лісу надає можливість комплексно оцінити загальний стан лісової екосистеми. Комплексні, системні дослідження є важливими для розуміння ролі лісових ґрунтів у причинно-наслідкових зв'язках, а також у функціонуванні лісових екосистем і наданні ними різнобічних екологічних послуг.

Розширені дослідження ґрунтів (на ділянках II рівня) охоплюють:

- 1) надання загальної характеристики ґрунту;
- 2) оцінювання стану ґрунту;
- 3) аналіз ґрунтових процесів та їхньої динаміки в довгостроковій перспективі.

Першим етапом досліджень ґрунтів на обох рівнях моніторингу є натурні (польові) роботи, що передбачають:

- 1) вибір репрезентативної ділянки;
- 2) закладання та опис ґрунтового профілю за морфологічними ознаками (педологічна характеристика);
- 3) відбирання зразків для аналітичних досліджень.

Моніторинг лісових ґрунтів у рамках Програми ICP Forests (*Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis*, 2020) потребує обов'язкового дотримання методичних вимог на всіх зазначених етапах досліджень, про основні з яких йтиметься далі.

На першому етапі ґрунтових досліджень на ділянках моніторингу надають загальну характеристику ґрунту (педологічна характеристика). Таке оцінювання здійснюють лише один раз; воно складається з детального морфологічного опису профілю за ґрунтовими горизонтами, доповненого відбором зразків. Морфологічний опис ґрунту передбачає дослідження як органічної його частини, зокрема відмерлої фітомаси (лісової підстилки, оторфованих горизонтів), так і мінеральної.

До 2021 р. педологічна характеристика була обов'язковою лише для ділянок моніторингу II рівня (*Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis*, 2016), а відповідно до останніх вимог її вже додано до переліку основних параметрів на ділянках I рівня (*Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis*, 2020). Отже, педологічна характеристика містить детальний морфологічний опис принаймні одного ґрунтового профілю за горизонтами, охоплюючи материнську породу, відповідно до Інструкції з описання ґрунтів (*Guidelines for soil description*, 2006). Після опису ґрунту йому надають таксономічну назву за останньою

офіційною версією Світової реферативної бази ґрунтових ресурсів (World Reference Base for Soil Resources (WRB)) (IUSS Working Group WRB, 2022). Натеper існують чотири версії цієї класифікації. Перша версія WRB – FAO (1998), друга – IUSS Working group WRB (2006), третя – IUSS Working group WRB (2014/2015), четверта (остання) версія WRB – IUSS Working group WRB (2022).

Коротко охарактеризуємо сутність таксономічної класифікації ґрунтів за WRB, яка докорінно відрізняється від національної. Вона має два таксономічні рівні.

1. Перший рівень містить 32 реферативні групи ґрунту (РГГ), які здебільшого різняться за типовими ґрунтовими властивостями та є результатом основних ґрунтоутворювальних процесів, за винятком тих випадків, коли визначальними є особливості материнських порід.

2. Другий рівень містить перелік РГГ зі списками головних і додаткових кваліфікаторів (показників) для кожної групи. На другому рівні (РГГ з кваліфікаторами) ґрунти ранжують за ознаками, що відображають результати будь-якого додаткового ґрунтоутворювального процесу, який має значний вплив на основні властивості ґрунту. Здебільшого беруть до уваги такі властивості ґрунтів, від яких залежить їхнє використання. Отже, групування за РГГ (перший рівень) ґрунтує на основних ознаках ґрунтів, зумовлених факторами або процесами ґрунтоутворення. Другий рівень – це реферативні ґрунтові групи з певними кваліфікаторами.

За системою WRB розрізняють основні (principal qualifiers) та додаткові (supplementary qualifiers) кваліфікатори. Основні кваліфікатори є найважливішими для подальшої характеристики кожної конкретної РГГ. Їх ранжовано в порядку пріоритетності для цієї РГГ. Натомість додаткові кваліфікатори, що містять інформацію про специфічні (індивідуальні) властивості ґрунтів, не ранжовано, а перераховано за абеткою. Виняток становлять кваліфікатори гранулометричного складу, розміщені на початку переліку. На основі використання основних і додаткових кваліфікаторів складають таксономічні назви одиниць другого рівня. Кожна РГГ має певний пакет кваліфікаторів.

Система WRB (IUSS Working Group WRB, 2022) дає змогу відобразити більшість властивостей ґрунту в його повній інформативній назві, тому її вважають доволі надійною. Ґрунти з незначною кількістю кваліфікаторів (показників) мають короткі назви, з багатьма – зокрема полігенетичні – довгі назви. Дефіцит даних не обов'язково призводить до суттєвої похибки в таксономічній назві ґрунту. Якщо один кваліфікатор помилково додано або не враховано через неповноту даних, то решта кваліфікаторів дають змогу доволі об'єктивно оцінити основні лісорослинні властивості ґрунту. Наведемо приклад алгоритму формулювання назви ґрунту в системі WRB, що за національною класифікацією визначено як лучно-чорноземний поверхнево-середньосолонцюватий (Solovey and Lebed, 2018). Згідно з діагностичними критеріями ключа-визначника WRB (наявність горизонтів chernic, calcic (горизонт акумуляції карбонатів кальцію у верхній частині профілю)) ґрунт належить до РГГ Chernozems. Оглеєння ґрунту у нижній його частині (охристі плями на фоні сизувато-блакитного забарвлення) згідно із системою WRB потребує застосування кваліфікатора «Gleyic»; наявність вираженого горизонту argic (ілювіальний горизонт) – кваліфікатора «Luvic», а концентрація обмінного Na понад 6 % від ємності катіонного обміну (середньосолонцюватий рівень) – «Sodic», який є додатковим кваліфікатором, тому береться у дужки. Отже, назва лучно-чорноземного поверхнево-середньосолонцюватого ґрунту за класифікацією WRB трактується як Luvic Gleyic Chernozems (Sodic) (Solovey and Lebed, 2018).

Педологічна характеристика ґрунту містить опис горизонтів за такими морфологічними ознаками: межі горизонтів, колір, строкатість, редоксиморфні (окислювально-відновлювальні) особливості, текстура, уламки гірських порід, андичний (вулканічний) матеріал, структура, послідовність, кутани, пористість, зв'язність, ущільнення, конкреції, коріння та інші біологічні складові, карбонати, гіпс, легкорозчинні солі, домішки, новоутворення, характер переходу між горизонтами, індекс (позначення) ґрунтового

горизонту. Обов'язковою є фотофіксація загального профілю ґрунту та окремих його горизонтів.

Наведений пакет морфологічних показників (IUSS Working Group WRB, 2022) здебільшого містить такі самі ознаки, які використовують в Україні для опису профілю ґрунту за генетичними горизонтами (Polupan *et al.*, 1981). Водночас він має особливості, на яких ми зацентруємо увагу. Однією з найважливіших морфологічних ознак ґрунту, яка дає можливість його діагностувати, є зміна забарвлення окремих горизонтів у межах ґрунтового профілю. Колір (забарвлення) слід реєструвати як у сухому, так і вологому стані (зволожуючи штучно пульверизатором). В Україні колір ґрунту визначають візуально (окомірно). Визначення кольору під час моніторингу лісових ґрунтів за Програмою ICP Forests має відбуватися шляхом використання системи кольорів і кодування Манселла (*Munsell soil color charts*, 2000), яка містить цифровий код і стандартизовану назву кольору. Приклад назви кольору горизонту: Сірувато-коричневий 10YR 5/2 (вологий) і світло-коричнево-сірий 10YR 6/2 (сухий); де 10YR (жовтувато-червоний) – це відтінок, 5 (або 6) – значення і 2 – кольоровість.

Ґрунтові горизонти позначають певним символом (індексом); вони характеризуються пакетом морфологічних критеріїв, за допомогою яких їх ідентифікують. Індксація горизонтів, вжита в класифікації WRB, відрізняється від національної системи індексів (табл. 1). Зауважимо, що згідно з вимогами моніторингу лісових ґрунтів для позначення мінеральних горизонтів ґрунту застосовують індексацію ФАО (*Guidelines for soil description*, 2006), тоді як для органічних горизонтів залишено класичні позначення, прийняті у європейському лісівничому співтоваристві (*Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis*, 2016; 2020). Так, шари лісової підстилки позначають як OL, OF і OH, а шари торфу (оторфованого матеріалу) – Hf, Hfs, Hs).

Педологічна характеристика супроводжується відбиранням проб із ідентифікованих горизонтів для подальшого аналітичного дослідження ґрунту. Із кожного такого горизонту достатньо відібрати один зразок. Якщо аналізують більше одного зразка, то слід зазначати отримане середнє значення параметра.

Органічний шар, розташований на поверхні ґрунту, відбирають окремо від мінеральних шарів, а поховані органічні шари – так само, як і мінеральні. Слід звернути увагу на правильне відокремлення органічного шару від мінеральних горизонтів ґрунту, яке хоча й виконують у натурних умовах, проте перевіряють у лабораторії відповідно до міжнародних критеріїв. Критерієм діагностики органічного ґрунтового матеріалу є вміст органічного вуглецю понад 20 % (за масою) у сухих зразках. Мінеральна фракція такого матеріалу становить невелику частину об'єму матеріалу і здебільшого є набагато меншою за половину маси. Якщо відокремлення виконано неправильно, відбір зразка необхідно повторити. За можливістю органічні й мінеральні шари слід відбирати в тих самих місцях, тобто відбір зразків мінеральних горизонтів ґрунту здійснювати там, де був знятий зразок органічного шару.

Одним із обов'язкових показників ґрунту для визначення на обох рівнях моніторингу є вміст органічного вуглецю. У мінеральних ґрунтах зразки відбирають на фіксованій глибині. Верхня межа мінерального ґрунту відповідає нульовому контрольному рівню вимірювання глибини. Загалом на ділянках моніторингу I рівня органічний вуглець визначають у змішаному зразку лісової підстилки (OF+OH), а також у мінеральних горизонтах на глибині 0–10, 10–20, 20–40 см, а на ділянках II рівня додатково відбирають зразок із глибини 40–80 см. Кількість зразків регламентовано вимогами для ділянок моніторингу певного рівня. Так, на I рівні для кожного шару ґрунтовым буром відбирають п'ять підзразків (дозволено зробити об'єднану пробу з п'яти), а на II рівні – мінімум 24 підзразки, які об'єднують щонайменше в три композитні зразки (тобто три композитних зразки з кожних восьми підзразків або чотири композитні зразки з кожних шести підзразків).

Таблиця 1

Відповідність основних індексів ґрунтових горизонтів класифікації WRB
та національної класифікації ґрунтів. Діагностичні критерії ґрунтових горизонтів

Table 1

Correlation of the main symbols of soil horizons according to the WRB classification to the symbols
of the national soil classification. Diagnostic criteria of soil horizons

Індекс ґрунтового горизонту Soil horizon symbol		Діагностичні критерії ґрунтових горизонтів Diagnostic criteria of soil horizons
WRB	Ukraine	
H	T	Торфовий, оторфований матеріал. Органічний або органо-технічний шар, який не входить до складу підстилки; насичений водою понад 30 днів поспіль упродовж більшої частини року або осушений. Зазвичай його розглядають як торф'яний, або органічний озерний шар.
O*	Ho	Лісова підстилка, що є переважно органічним матеріалом зі свіжого, частково або повністю розкладеного фітодетриту (листя, хвої, гілок, мохів і лишайників), який накопичився на поверхні; може знаходитися поверх мінерального або органічного ґрунту. Поділяється на підгоризонти: листовий (нерозкладений) (OL), ферментації (OF) та гуміфікації (перегнійний) (OH).
A	H	Мінеральний горизонт на поверхні ґрунту, або похований горизонт; містить органічну речовину, яка була принаймні частково змінена <i>in situ</i> ; структура ґрунту та/або структурні елементи є результатом обробки на $\geq 50\%$. Оброблені мінеральні шари позначають як A, навіть якщо перед обробкою їх було віднесено до іншого шару.
E	E	Елювіальний, горизонт вимивання – мінеральний горизонт, основною особливістю якого є втрата силікатної глини, заліза, алюмінію, органічної речовини або їхньої комбінації, що призводить до концентрації частинок піску, і в якому вся первісна структура материнського матеріалу або більша її частина знищена. Зазвичай є світлішим за кольором, ніж верхній (A) та нижній (B) горизонти.
B	I	Ілювіальний, горизонт вмивання – мінеральний горизонт, який сформувався нижче від горизонтів A або E; скелетна частина породи, якщо вона є, становить менше ніж 50 % (за обсягом від дрібнозему); має ознаки певних ґрунтових процесів (агрегатованість, утворення глинистих мінералів та/або оксидів, акумуляція: Fe, Al та/або Mn, органічних речовин, кремнезему, карбонатів, гіпсу; або видалення карбонатів/гіпсу. Ущільнений, часто набуває бурокоричневого забарвлення.
C	P	Горизонт, що можливо різати лопатою в мокрому стані (за винятком твердих корінних порід), який зазнав незначного впливу педогенетичних процесів (відсутні властивості горизонтів H, O, A, E, B). Коріння рослин може проникати в горизонт C, який є важливим середовищем для росту.
R	–	Тверда щільна гірська порода, що лежить в основі ґрунту. Граніт, базальт, кварцит, вапняк або піщаник – це приклади корінних порід, які позначають як R.
I	–	$\geq 75\%$ льоду (за об'ємом, по відношенню до загального шару ґрунту), постійний, під шаром H, O, A, E, B або C.
W	–	Вода над поверхнею ґрунту або між шарами може сезонно замерзати.

Примітка. O* – індекс позначає лісову підстилку (відповідно до методичних положень Програми ICP Forests).

Note. O* – the index denotes forest litter (in accordance with the methodological provisions of the ICP Forests Programme).

Після надання педологічної характеристики у відібраних зразках проводять аналітичні визначення ключових показників, що дають змогу дослідити перебіг ґрунтових процесів, якість і динаміку властивостей ґрунту та їхній вплив на лісові насадження в довгостроковій перспективі.

Ґрунтові показники об'єднано у п'ять груп:

1) фізико-хімічні – впливають на ріст і розвиток лісових рослин (рН, вміст гумусу, вміст макроелементів (N, P, K, Ca, Mg, S), вміст мікроелементів (Fe, Mn, Cu, Zn), сума обмінних катіонів (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), буферна здатність, щільність, пористість, солонцюватість);

2) біологічні – підтримують життєздатність і біорізноманіття ґрунтового середовища (біомаса ґрунтових мікроорганізмів і безхребетної фауни, активність ферментів ґрунту, рівень розвитку мікоризи тощо);

3) токсичні речовини та забруднювачі (пестициди, нафтопродукти, важкі метали (Cd, Pb, Hg, As тощо), радіонукліди тощо);

4) показники, що оцінюють втрати ґрунту та руйнацію його структури внаслідок ерозійний процесів;

5) індикатори забруднення повітря, що впливають на стан ґрунтів (оксиди сірки (SO_x), азоту (NO_x), важкі метали тощо).

Зазначені показники здебільшого є обов'язковими для визначення на ділянках моніторингу як II, так і I рівнів. Проте якщо на ділянках моніторингу I рівня їхнє вимірювання обмежено двома горизонтами 0–10 та 10–20 см, то на ділянках II рівня глибина досліджуваного шару збільшується до 80 см (табл. 2). Зразки аналізують за чітко регламентованими методиками. Для кожного показника рекомендовано застосовувати певний аналітичний метод вимірювання, яке проводять за ISO стандартами (Міжнародна організація зі стандартизації (International Organization for Standardization)).

Таблиця 2

Параметри ґрунту, що потребують визначення на ділянках моніторингу I та II рівнів

Table 2

The soil parameters requiring determination on of Level I and Level II monitoring plots

Параметри ґрунту Soil parameters	Органічний шар Organic layer	Мінеральний шар, см Mineral layer, cm			
	OF+OH	0–10	10–20	20–40	40–80
Маса органічного шару Mass of organic layer	I, II	–	–	–	–
Грубі фрагменти Coarse earth fraction	–	I, II	I, II	I, II	Ф*
Щільність дрібнозему Fine earth density	–	I, II	I, II	I, II	Ф
Гранулометричний склад (ФАО, 1990) Granulometric composition (FAO, 1990)	–	I, II	I, II	II	II
Вміст глини Clay content	–	I, II	I, II	II	II
Вміст мулу Silt content	–	II	II	II	II
Вміст піску Sand content	–	II	II	II	II
pH(CaCl_2)	I, II	I, II	I, II	II	II
pH(H_2O)	Ф	Ф	Ф	Ф	Ф
Загальний органічний вуглець Total organic carbon	I, II	I, II	I, II	I, II	I, II
Загальний азот Total nitrogen	I, II	I, II	I, II	I, II	I, II
Карбонати Carbonates	I, II	I, II	I, II	Ф	Ф
P, Ca, K, Mg, Mn Aq, екстраговані царською горілкою P, Ca, K, Mg, Mn Aq, extracted with aqua regia	I, II	Ф	Ф	Ф	Ф

Продовження табл. 2

Table 2 (Continued)

Параметри ґрунту Soil parameters	Органічний шар Organic layer	Мінеральний шар, см Mineral layer, cm			
	OF+OH	0–10	10–20	20–40	40–80
Cu, Pb, Cd, Zn P, Ca, K, Mg, Mn Aq, екстраговані царською горілкою Cu, Pb, Cd, Zn P, Ca, K, Mg, Mn Aq extracted with aqua regia	I, II	I, II	–	–	–
Al, Fe, Cr, Ni, S, Hg, Na, P, Ca, K, Mg, Mn Aq, екстраговані царською горілкою Al, Fe, Cr, Ni, S, Hg, Na, P, Ca, K, Mg, Mn Aq, extracted with aqua regia	Ф	Ф	–	–	–
Обмінна кислотність, H ⁺ Exchangeable acidity, H ⁺ Обмінні катіони: Al, Fe, Mn Exchangeable cations: Al, Fe, Mn	I, II	I, II	I, II	II	II
Обмінні катіони: Ca, Mg, K, Na Exchangeable cations: Ca, Mg, K, Na	I, II	I, II	I, II	II	II
Загальні: Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Mn Total: Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Mn	–	Ф	Ф	Ф	Ф
Fe, Al, що вилучаються оксалатом Fe, Al, oxalate extractable	Ф	II	II	II	II
Вилучення оксалатів P Oxalate extractable P	Ф	Ф	Ф	Ф	Ф

Примітка. Ф – необов'язковий (факультативний) для визначення параметр.

Note: Ф is an optional parameter for determination.

Методи визначення фізико-хімічних показників здебільшого потребують наявності сучасної інструментально-приладової бази (табл. 3).

Таблиця 3

Методи та прилади для визначення фізико-хімічних параметрів ґрунту

Table 3

Methods and instruments for determining physical and chemical parameters of soil

Параметри Parameters	Методи аналізу ¹ Analysis methods	
	ISO	Метод(и) вимірювання ² , обладнання Measurement method(s), equipment
Гранулометричний склад Granulometric composition		Лазерний дифракційний аналізатор або автоматичний-піпет-прилад Automated Soil Particle Size Analysis Laser Diffraction Analyzer or Automated Soil Particle Size Analysis
pH (CaCl ₂)	ISO 10390 (2005)	pH-електрод
pH (H ₂ O)		pH-електрод
Загальний азот Total Nitrogen	ISO 13878 (1998)	Сухе спалювання Dry combustion
	ISO 11261 (1995)	Модифікований К'ельдаля ³ Modified Kjeldahl ³
Загальний органічний вуглець Total organic Carbon	ISO 10694 (1995)	Сухе згоряння за t° ≥ 900 °C Dry combustion at t° ≥ 900 °C
Карбонати Carbonates	ISO 10693 (1994)	Кальциметр Calcimeter
P	ISO 11466 (1995)	ICP Колориметрія Colorimetry

Продовження табл. 3

Table 3 (Continued)

Параметри Parameters		Методи аналізу ¹ Analysis methods			
		ISO	Метод(и) вимірювання ² , обладнання Measurement method(s), equipment		
K, Ca, Mg, Mn					AAS (атомно-абсорбційний спектрофотометр) AAS (atomic absorption spectrophotometer)
Важкі метали: Cu, Cd, Pb, Zn Heavy metals: Cu, Cd, Pb, Zn					
Інші: Al, Fe, Cr, Ni, Na, Hg Other: Al, Fe, Cr, Ni, Na, Hg					
S					CNS – аналізатор CNS analyzer
Вільна кислотність (або сума Al, Fe, Mn and free H+) та вільний H+ Free acidity (or sum of Al, Fe, Mn and free H+) and free H+		ISO 11254 (1994) модифікований ISO 11254 (1994) modified	титрування до pH 7,8 або "німецький" метод titration to pH 7.8 or "German" method		
Обмінні катіони Exchangeable cations	Al, Fe, Mn	ISO 11260 (1994) модифікований ISO 11260 (1994) modified		AAS	-
	K, Ca, Mg, Na				FES (полуменевий фотометр) FES (Flame Photometer)
Оксалати Fe та Al, що витягують P Fe and Al oxalates extracting P		ISRIC (2002)	ICP	AAS	
Загальні форми: Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Mn Total forms: Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Mn		ISO 14869-1 (2001)			

Примітки: 1. Опис методів наведено в Додатку 1 до Посібника (*Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis*, 2020).

2. Для вимірювання низки параметрів існують кілька альтернативних варіантів обладнання, яке можна використовувати.

3. Метод модифікований К'ельдаля передбачає наявність системи швидкого інфрачервоного спалювання та автоматичної дистиляційної системи.

Notes: 1. The methods are described in Appendix 1 to the Manual (*Manual on methods and criteria for harmonised sampling, assessment, monitoring and analysis*, 2020).

2. There are several alternative equipment options that can be used to measure a number of parameters.

3. The modified Kjeldahl method requires a rapid infrared combustion system and an automatic distillation system.

Результати аналітичних визначень параметрів ґрунту обов'язково мають бути верифіковані. Верифікацію здійснюють шляхом участі лабораторії в інтеркалібраційних тестуваннях. Аналітичні результати вважають достатньої якості, якщо лабораторія отримала кваліфікацію за відповідним параметром (параметрами) після участі в Міжлабораторних порівняннях FSCC (Forest Soil Coordinating Centre – Координаційний центр з дослідження лісових ґрунтів). Міжлабораторні порівняння хімічного складу ґрунту мають охоплювати щонайменше п'ять зразків ґрунту (мінеральних та органічних). Якщо результати не менш ніж 50 % протестованих еталонних зразків знаходяться в допустимих межах, то лабораторія має право аналізувати відповідний параметр, а результати дослідження можуть бути передані до центральної бази даних (Європейське центральне сховище даних у Координаційному центрі ICP Forests Programme). Зауважимо, що наш досвід участі в подібних тестуваннях свідчить, що це дуже великий обсяг роботи, співставний з обсягами безпосередніх вимірювань параметрів ґрунту за чинною програмою моніторингу ґрунтів (або навіть більший).

Висновки. Моніторинг лісових ґрунтів є критично важливим для забезпечення сталого управління лісовими екосистемами загалом та у післявоєнний період зокрема, особливо

в умовах змін клімату, збільшення антропогенного навантаження та в контексті інтеграції України до Євросоюзу. Для забезпечення розбудови та належного функціонування моніторингу лісових ґрунтів потрібно:

1) удосконалити законодавчо-нормативну базу щодо моніторингу лісів, підготувати та затвердити на відповідному рівні Порядок його проведення, який регламентує вимоги до моніторингу лісових ґрунтів;

2) посилити інституційний, технічний та експертний потенціал відповідних суб'єктів моніторингу лісів, зокрема – забезпечити ґрунтові лабораторії сучасною інструментально-приладовою базою, створити умови для залучення до робіт із моніторингу перспективних фахівців;

3) удосконалити науково-методичне забезпечення моніторингу ґрунтів із урахуванням поточних (гармонізації національної та міжнародної (WRB) класифікацій ґрунтів, наслідків повномасштабної воєнної агресії РФ на території України) та майбутніх викликів, зокрема – потреб цифровізації моніторингу, вимог Європейського Союзу, наукової підтримки діяльності щодо запобігання та адаптації до зміни клімату тощо;

4) актуалізувати освітньо-професійні програми (ОПП) вищої освіти за спеціальністю «Лісове господарство» через введення навчального курсу, що вивчає методику формулювання назв та ідентифікації ґрунтових одиниць за таксономічною класифікацією WRB, а також методичні підходи гармонізації WRB і національної систематизації ґрунтів;

5) забезпечити фінансування моніторингу лісів і лісових ґрунтів шляхом формування цільової бюджетної програми моніторингу лісів та залучення коштів від міжнародних донорів, зокрема GEF (Global Environmental Fund), FAO, World Bank тощо.

Функціонування системи моніторингу лісів в Україні забезпечить інформаційно-аналітичну підтримку сталого лісоуправління та сприятиме збереженню лісових екосистем в умовах антропогенних, післявоєнних та кліматичних змін довкілля.

Джерела фінансування. Статтю підготовлено авторами в межах виконання теми досліджень УкрНДЛГА № 8, замовником якої було Державне агентство лісових ресурсів України

Funding sources. The paper was prepared by the authors in the framework of a research plan of URIFFM (grant 0120U101894), which was supported by the State Forest Resources Agency of Ukraine.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Buksha, I.F., Pasternak, V.P. and Pyvovar, T.S. (2019). *Recommendations for the development of the state forest monitoring system of Ukraine*. Kharkiv: URIFFM. [(in Ukrainian)].
- Buksha, I.F., Pasternak, V.P., Pyvovar, T.S., Buksha, M.I. and Yarotsky, V.Yu. (2017) *Methodical materials for monitoring the level of forests and ensuring its quality*. Kharkiv: URIFFM (in Ukrainian).
- Ferretti, M., Gessler, A., Cools, N., Fleck, S., Guerrieri, R., Jakovljević, T., Nicolas, M., Nieminen, T.M. Pitar, D., Potočić, N., Raspe, S., Schaub, M., Schwärzel, K., Timmermann, V., Vejpusková, M., Vesterdal, L., Vanninen, P., Waldner, P., Zimmermann, L. and Sander, T.G.M. (2024) 'Perspectives: Resilient forests need joint forces for better inventorying and monitoring', *Forest Ecology and Management*, 561, 121875. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121875>
- Guidelines for soil description* (2006). Rome: FAO. Available at: <https://www.fao.org/4/a0541e/a0541e.pdf> (Accessed: 20 September 2025).
- IUSS Working Group WRB (2022) *World reference base for soil resources: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. 4th edn. Vienna: International Union of Soil Sciences (IUSS).
- Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests* (2016). Edited by UN-ECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre. Eberswalde, Germany: Thünen Institute of Forest Ecosystems. Available at: <http://www.icp-forests.net/page/icp-forests-manual> (Accessed: 20 September 2025).
- Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests* (2020). Edited by UN-ECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre. Eberswalde, Germany: Thünen Institute of Forest Ecosystems. Available at: [https://www.icp-](https://www.icp-forests.net/page/icp-forests-manual)

forests.org/pdf/manual/2020/ICP_Manual_part04_2020_Crown_version_2020-3.pdf (Accessed: 20 September 2025).

Munsell soil color charts (2000). The year 2000 revised washable edition. Michigan, USA: Munsell Color.

Polupan, N.I., Nosko, B.S. and Kuzmichev, V.P. (eds) (1981) *Field guide to soils*. Kyiv: Urozhai. (in Russian).

Procedure for Conducting Land and Soil Monitoring (2024). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 848 dated 23 July 2024. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-2024-%D0%BF#Text> (Accessed: 20 September 2025) (in Ukrainian).

Procedure for Conducting a National Forest Inventory (2021). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 392 dated 21 April 2021. Available at: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-poryadku-provedennya-nacionalnoyi-inventarizatsiyi-lisiv-tavnesennya-zmini-392-210421> (Accessed: 20 September 2025) (in Ukrainian).

Procedure for the functioning of the state environmental monitoring system and its subsystems (2024). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 684 dated 13 June 2024. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/684-2024-%D0%BF#Text> (Accessed: 20 October 2025) (in Ukrainian).

Pyvovar, T., Buksha, I., Pasternak, V. and Buksha, M. (2019) 'Results of the long-term crown condition survey on the UNECE ICP Forests monitoring plots Level I in Ukraine', in *Trends and events – Drought, extreme climate and air pollution in European forests*. Proceedings of the 8th ICP Forests Scientific Conference, Ankara, 13 June 2019, p. 12.

Solovey, V. and Lebed, V. (2018) 'Methodological basis of comparison of the national soil nomenclature with the international WRB', *Bulletin of Agricultural Science*, 102(5), pp. 15–23. Available at: https://agrovisnyk.com/index.php/agrovisnyk/article/view/2024_05_02 (Accessed: 20 September 2025) (in Ukrainian).

METHODOLOGICAL ASPECTS OF FOREST SOIL MONITORING ORGANISATION IN UKRAINE

Raspopina S. P.¹, Buksha I. F.², Pyvovar T. S.³

The most prominent forest monitoring programme within the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) region that includes forest soil monitoring is the ICP Forests programme. In Ukraine, the Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration (URIFFM) has served as the national coordinating centre for forest monitoring under the ICP Forests programme for more than 30 years. The article outlines the main principles, methodological aspects, and challenges associated with organising forest soil monitoring at all stages of implementation in accordance with ICP Forests requirements. Observations are carried out on Level I and Level II monitoring plots according to the list of mandatory and optional soil indicators. Soil investigations comprise several stages: (1) field survey, (2) laboratory analysis, and (3) verification of results through laboratory intercalibration tests. Field studies are conducted following the FAO (2006) field soil research methodology. The taxonomic classification of soils is assigned according to the World Reference Base for Soil Resources (WRB). Analytical studies are performed using recommended standardised procedures and modern equipment. Verified analytical results are stored in dedicated databases.

Keywords: ICP Forests, mandatory soil indicators, optional soil indicators, standardised methodologies.

Дата надходження рукопису 22.09.2025

Дата прийняття до друку 28.10.2025

Дата публікації 29.12.2025

¹ Raspopina Svitlana, Dr. habil. (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky, 86 Hryhoriia Skovorody Street, Kharkiv, 61024, Ukraine; Associate Professor, State Biotechnological University, Alchevskiyh Street 44, Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: s_raspopina@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1880-9364>

² Buksha Ihor, PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky, 86 Hryhoriia Skovorody Street, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: buksha@uriffm.org.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7198-6485>

³ Pyvovar Tetiana, PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky, 86 Hryhoriia Skovorody Street, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: pyvovartatiana@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7250-8549>

* Correspondence: s_raspopina@ukr.net