

ВЛАСТИВОСТІ Й РЕЖИМИ ҐРУНТІВ SOIL PROPERTIES and MODES

УДК 631.4

Конструктивні та функціональні особливості провідних світових баз ґрунтових даних. Аналітичний огляд

Т.М. Лактіонова*, О.М. Бігун, С.Г. Накісько, К.Ю. Уваренко

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 04.01.2020 Отримано після доопрацювання 08.02.2020 Затверджено до друку 16.03.2020 Доступно онлайн 01.06.2020	Розробка концепції конструктивних і функціональних основ Ґрунтової інформаційної системи України має базуватися на аналізі відомостей про існуючі у світі ґрунтові інформаційні центри та бази даних. Для цього виконано аналітичний огляд сучасних світових публікацій у наукових журналах та інших інформаційних виданнях. Загальний перелік опрацьованих публікацій включає більше 90 наукових статей, презентацій, інструкцій, посібників, веб-сторінок тощо. В оглядовій статті представлено основні результати аналітичного дослідження і висновки щодо можливості впровадження в Україні різних аспектів позитивного досвіду світового ґрунтознавства у створенні баз ґрунтових даних. Роботу проведено трьома етапами. Перший – експертний огляд опублікованих матеріалів з відповідної тематики у зарубіжних виданнях з метою визначення основних світових міжнародних центрів ґрунтової інформації і провідних баз даних, найбільш використовуваних у світовому товаристві ґрунтознавців. В результаті представлено перелік провідних міжнародних інформаційних центрів з вказівками на місце їх локалізації і джерела інформації. Другий етап – детальне вивчення конструктивних характеристик, принципів функціонування і методів перетворення інформації у трьох найбільш відомих міжнародних базах ґрунтових даних: SOTER: Soil and Terrain database – База даних ґрунтів і земель; GSM: Global Soil Map – Карта ґрунтів Світу; WoSIS: World Soil Information Service – Світова ґрунтова інформаційна служба. Узагальнено інформацію про перелік атрибутів у кожній базі даних, способи їх кодування, спільні підходи до конструкції таблиць, нормування параметрів, формування набору метаданих тощо. І на третьому етапі було визначено перелік найбільш інноваційних особливостей конструкції національних баз даних у різних країнах Європи і світу, прийнятних для застосування в Україні.
Ключові слова: атрибути; база даних; ґрунт; конструкція; метадані	

* E-mail: tnlaktionova@ukr.net

Форма цитування: Лактіонова Т.М., Бігун О.М., Накісько С.Г., Уваренко К.Ю. Конструктивні та функціональні особливості провідних світових баз ґрунтових даних. Аналітичний огляд. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2020. С. 4-17. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-01>

1. Провідні міжнародні ґрунтові інформаційні центри та бази даних

Для успішного менеджменту ґрунтових ресурсів у локальному та регіональному масштабах важливим є використання всіх засобів для забезпечення інформаційної основи щодо стану ґрунтів та еволюції їхніх функцій у сучасному режимі використання.

На сьогодні актуальним для України є вирішення проблеми збереження і доступності ґрунтових і супутніх даних (до цього часу акумульованих переважно у паперових архівних матеріалах і картах), які є основою для розповсюдження об'єктивної інформації про стан ґрунтів та їх якість шляхом створення інформаційних продуктів, а також для прийняття обґрунтованих рішень щодо використання та збереження ґрунтів на різних рівнях, в тому числі, державному. В міжнародній практиці ці питання вирішено шляхом створення національних баз ґрунтових даних та інформаційних систем у різних країнах світу та формування і підтримки великих міжнародних баз даних, які є комплексом інтегрованих інформаційних ресурсів для накопичення й опрацювання відомостей про якість та стан ґрунтів світу.

Необхідним кроком у розробці концепції конструктивних і функціональних основ Ґрунтової інформаційної системи України є аналіз відомостей з літературних та інших інформаційних джерел про ті ґрунтові інформаційні центри та бази даних, що вже існують у світі. Роботу проведено трьома етапами. Перший – експертний огляд великої кількості опублікованих у зарубіжних виданнях матеріалів з відповідної тематики з метою визначення переліку основних інформаційних центрів з найбільш використовуваними у світовому товаристві ґрунтознавців базами даних і найбільш цитованих публікацій і авторів. Другий – детальне вивчення характерних конструктивних особливостей, принципів функціонування і методів перетворення інформації у трьох обраних

міжнародних базах даних: SOTER: Soil and Terrain database – База даних ґрунтів і земель; GSM: Global Soil Map – Карта ґрунтів Світу; WoSIS: World Soil Information Service – Світова ґрунтова інформаційна служба. І на третьому етапі було досліджено особливості створення і функціонування національних баз ґрунтових даних у різних країнах світу і сформульовано перелік найбільш інноваційних підходів і конструктивних рішень щодо створення баз ґрунтових даних, прийнятних для впровадження в Україні.

Загальний перелік опрацьованих публікацій включає більше 90 наукових статей, презентацій, інструкцій, посібників, веб-сторінок тощо. В результаті експертного аналізу публікацій на першому етапі виявлено і сформульовано перелік основних світових міжнародних центрів ґрунтової інформації і провідних баз даних (Табл. 1.).

Таблиця 1

Провідні міжнародні ґрунтові інформаційні центри та бази даних

Інформаційний центр	База даних, джерело інформації
ISRIC: World Soil Information – Міжнародний ґрунтовий довідково-інформаційний центр. Вагенінген, Нідерланди	ISIS (1990): ISRIC Soil Information Service – Ґрунтовий Інформаційний сервіс ISRIC [1,2];
	SOTER (1986): Soil and Terrain database – База даних ґрунтів і земель [3];
	WISE: World Inventory of Soil Emission Potentials – Світова інвентаризація потенціалів ґрунтової емісії [4,5];
	WoSIS: World Soil Information Service – Світова ґрунтова інформаційна служба [6,7];
JRC: Joint Research Centre – European Commission – Спільний дослідницький центр Європейської Комісії. Іспра, Італія	AfSP: Africa Soil Profile Database – База профільних ґрунтових даних Африки [8]
	LUCAS: Land Use/Cover Area frame Statistical Survey – База даних моніторингу земель Європейського Союзу [9,10];
	GSM: Global Soil Map – Карта ґрунтів Світу [11];
ESDAC: European Soil Data Centre. Іспра, Італія	EU HYDI: European HYdropedological Data Inventory – Інвентаризація європейських ґрунтово-гідрологічних даних [12]
	ESDB: European Soil Database – Європейська ґрунтова База даних [13]
FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Рим, Італія	HWSD: Harmonized World Soil Database – Гармонізована світова база даних [14,15];
	EuSIS: European Soil Information System – Європейська ґрунтова інформаційна система [16]

Із переліку вибрали три найбільших міжнародних бази ґрунтових даних для дослідження можливості використання їхніх методичних і конструктивних особливостей з метою впровадження у Ґрунтовій інформаційній системі України і базі профільних ґрунтових даних. Детальний аналіз конструкцій та порядку використання трьох обраних міжнародних баз даних виконано з опрацювання сучасних публікацій авторів і розробників цих баз даних у провідних виданнях і інтернет-ресурсах. Результати аналізу і висновки представлено у наступних розділах.

2. База даних Global Soil and Terrain Database (SOTER)

SOTER – Глобальна цифрова база даних ґрунтів і земель (Global Soil and Terrain Database), створена Міжнародним ґрунтовим довідково-інформаційним центром (ISRIC) за підтримки Продовольчої та сільськогосподарської організації Об'єднаних Націй (FAO), Програми ООН з навколишнього середовища (UNEP) та міжнародного союзу ґрунтознавців (IUSS) [17, 18, 19]. Метою проекту SOTER є використання інформаційних технологій для створення Світової бази даних ґрунтів та земель (World Soils and Terrain Database), що вміщує оцифровані одиниці карт та їх атрибутивні дані. Основна функція цієї бази даних – забезпечити необхідні дані для картографування та моніторингу змін світових ґрунтових ресурсів.

Вперше ідею створення Глобальної цифрової бази даних ґрунтів, запропонував у своїй дискусійній статті W.G. Sombroek [18]. У 1986 році Міжнародним товариством ґрунтознавців було організовано семінар міжнародних експертів, щоб розробити та обговорити структуру цифрової бази даних. За результатами семінару було написано

проектну пропозицію Глобальної цифрової бази даних ґрунтів і земель в масштабі 1:1 млн. Також було призначено невеликий міжнародний комітет, який розробив "універсальну" легенду для складання дрібномасштабних карт, а також перелік атрибутів, які можна використати для широкого кола досліджень, таких як оцінювання придатності земель для вирощування сільськогосподарських культур, придатності до зрошування, схильності ґрунтів до деградації, продуктивності лісів, глобальних змін навколишнього середовища, для агроекологічного зонування та ін. У 1987 році Програмою UNEP було організовано спеціальне засідання, присвячене питанням деградації ґрунтів та можливості застосування методології SOTER для підготовки карти деградації ґрунтів Світу у межах проекту GLASOD [18]. У 1992 році UNEP організувала другий семінар з методології SOTER, де FAO висловила свою цілковиту підтримку і готовність використовувати методологію SOTER для зберігання та оновлення власних даних про світові ґрунтові ресурси. З того часу під егідою FAO та ISRIC, а також у співпраці з великою кількістю національних ґрунтових інститутів, було розроблено на різних континентах понад 30 цифрових карт SOTER різного масштабу та бази даних до них.

База даних SOTER складається з ГІС-карти полігонів – (SOTER-одиниць) та набору таблиць з атрибутивними даними (у форматі MS Access або PostGreSQL), які пов'язані з картографічними одиницями [20].

Основою SOTER-підходу є картографування певної територіальної одиниці – SOTER-unit (SU) з характерним типом форми земної поверхні, форми схилу, з характерною ґрунотвірною породою та ґрунтовим покривом. Кожна окрема SU, таким чином, представлена однією унікальною комбінацією земельних і ґрунтових характеристик. Основними джерелами для визначення SU є топографічні, геоморфологічні, геологічні карти та карти ґрунтів, а також цифрові моделі рельєфу і супутникові знімки.

Атрибутивна частина БД SOTER налічує 139 показників, вміст її структуровано у такі блоки даних:

- характеристика SU - інформація про форму поверхні, висоту над рівнем моря, домінують крутість схилів та домінують ґрунотвірну породу (15 полів);

- опис територіального компоненту (TC) як частини SU – інформація про довжину та форму схилів, які переважають у межах TC, тип, походження та гранулометричний склад ґрунотвірної породи, глибину залягання підґрунтових вод (17 полів);

- характеристика ґрунтового компоненту (SC), компоненту структури ґрунтового покриву на території SU – інформація про класифікаційне положення ґрунту в системі WRB (2006), гранулометричний склад ґрунту, каменистість поверхні та характеристики прояву процесів ерозії (23 поля);

- опис місця розташування профілю ґрунту – точна координатна прив'язка, ґрунотвірна порода, рослинність, що домінує, назва ґрунту за національною класифікацією та класифікацією WRB, а також довідкові дані про національну базу даних, яка надала опис профілю ґрунту та лабораторію, яка виконувала аналізи (19 полів);

- дані про властивості ґрунту у межах генетичних горизонтів – інформація про потужність горизонтів, їхні морфологічні характеристики, хімічний склад, катіонно-обмінні, кислотно-основні, фізичні властивості (65 полів).

Атрибутивна частина також зберігає відомості про методи аналізування, первинні бази даних, лабораторії та посилання на джерела опублікованої інформації.

БД SOTER розроблялась як глобальна інформаційна система для моніторингу стану світових ґрунтових ресурсів, тому для кодування класифікаційних ознак ґрунту використовуються Світова реферативна база ґрунтових ресурсів (WRB) [21] та коди ґрунтів у легенді ґрунтової карти світу FAO 1988 року [22], а для кодування та визначення деяких властивостей ґрунтів – Посібник з опису ґрунтів FAO [23].

Доступ до наборів даних БД SOTER та цифрових SOTER-карт, що створені за участі ISRIC здійснюється через веб-сервіс Soil Data Hub [24]. Користування даними, що представлені на веб-сайтах та веб-ресурсах ISRIC надається відповідно до прийнятої політики щодо даних та програмного забезпечення ISRIC стосовно управління, цитування, доступу та використання програмного забезпечення [25].

Серед прийнятних для запозичення особливостей БД SOTER слід відмітити такі: атрибутивна частина БД вміщує дані про основні властивості ґрунту та характеристики рельєфу, які є важливими для агро-екологічного моніторингу; дані із БД можуть бути використані для широкого кола досліджень – оцінювання прояву різних видів деградації ґрунту та вразливості до забруднення та іншого антропогенного впливу, моделювання запасів ґрунтового органічного вуглецю та ін.

В результаті аналізу виявлено також деякі моменти організації даних, яких, очевидно, слід уникати: спрощена модель даних для опису профільного розподілу

властивостей ґрунту (включає тільки два об'єкти – профіль і генетичний горизонт, поза увагою при цьому залишаються окремі шари ґрунту у межах горизонту; відсутність інформації про спосіб добування даних (оригінальні експериментальні дані чи розрахункові); вказано методи лише для частини показників, що ускладнює гармонізацію та обумовлює неоднозначність інтерпретації значень показників; використано додаткове (проміжне) шифрування, яке ускладнює розуміння даних.

3. База даних Global Soil Map

Global Soil Map (GSM) – Карта ґрунтів світу (або Глобальна карта ґрунтів) – глобальний консорціум, який був створений з координаційними інститутами та центрами на кожному континенті. Проект Global Soil Map є ініціативою Робочої групи з цифрової картографії ґрунтів IUSS. Глобальним координатором цієї ініціативи є ISRIC. Ідея проекту була започаткована Робочою групою IUSS ще у 2006 році на 2-му Всесвітньому семінарі з цифрового картографування ґрунтів у Ріо-де-Жанейро, а 2009 року в Нью-Йорку (США) було підписано консорціум щодо створення проекту GSM, загальна координація якого здійснюється відомими вченими: Alfred E. Hartemink (від ISRIC); Alex McBratney (University of Sydney); Pedro Sanchez (Columbia University). За час роботи проекту було опубліковано понад 30 статей та написано 5 книг [11].

Мета проекту – створити нову цифрову карту ґрунтів світу, яка базуватиметься на використанні сучасних технологій картографування і методів прогнозування стану ґрунтів. Завдання: забезпечити підтримку прийняття рішень для розв'язання глобальних питань у масштабах від фермерського господарства до окремих континентів, таких як виробництво продуктів харчування, викорінення голоду, зміна клімату, деградація довкілля тощо [26, 27]. Кінцевою метою проекту є створення вільно завантажуваного набору даних високої роздільної здатності щодо основних властивостей ґрунту. Цей набір даних включатиме 504 млрд даних.

Отримання нових первинних даних про ґрунти шляхом відбирання проб ґрунту та нових обстежень потребувало б астрономічних витрат, тому проект GSM максимально використовує ті дані, що вже існують. Кожен постачальник даних несе відповідальність за повне документування внесених даних та процедур, які використовуються для генерації продуктів. Ця документація буде вказана як метадані, додані до кожного продукту [28].

Для глобального зіставлення та представлення узгоджених стандартизованих даних було розроблено методологію глобального цифрового картографування [29] та специфікації продукту GlobalSoilMap [29]. Для доступності даних широкому колу користувачів створено веб-сайти, де зібрано набори даних про ґрунти.

Згідно зі специфікацією проекту [29], GlobalSoilMap буде представляти приблизні значення (і міру невизначеності) для узгодженого набору властивостей ґрунту, що представляє два глобально визначених просторових об'єкта: первинний просторовий об'єкт рівня 1 – точне місце з визначеними координатами X, Y та вторинний просторовий об'єкт рівня 2 – 4-об'ємна комірка сітки (воксель), яка представляє площу 100 на 100 м у горизонтальних розмірах, центрованих у точках, визначених первинним просторовим об'єктом. У вертикальному напрямі передбачено опис для кожного просторового об'єкта дванадцяти властивостей ґрунтів на шести стандартних глибинах: 0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 та 100-200 см (Табл. 2). Кожна властивість ґрунту буде мати оцінку невизначеності, пов'язаної з прогнозом для кожної глибини для кожного розташування сітки. Невизначеність визначається як інтервал прогнозування 95 % (PI), який є діапазоном значень, в межах якого очікується, що істинне значення в будь-якому місці прогнозування буде знайдено 19 разів з 20. До кожної з властивостей ґрунту необхідно вказати дату відбирання проб.

Стосовно застосування конструктивних особливостей БД GlobalSoilMap у розробці структури і функцій профільної БД ґрунтів України слід констатувати, що всі 12 показників, які входять в атрибутивну частину, мають певні аналоги у застосовуваних в Україні дослідженнях. Однак, для більш повної гармонізації, до ґрунтової БД України слід додати декілька атрибутів (Табл. 2). Це №№ 5-8 – дані щодо гранулометричних фракцій, які, згідно з українською класифікацією гранулометричного складу, вимірюються іншими розмірами, але можуть бути перераховані з використанням спеціальних методів і атрибут №11 – дані щільності будови окремо дрібнозему, вимірювання, які не є типовими для обстежень ґрунтів в Україні.

Таблиця 2
Властивості ґрунту, включені у БД Global Soil Map [за 29]

Властивість (атрибут)	Короткий опис атрибуту і методу визначення
1. Загальна глибина профілю (см)	Глибина до контакту з твердою породою, як визначено в Інструкції з обстеження ґрунту USDA. Якщо глибина <200 см, або > 200 см, записати фактичну глибину [30]
2. Рослинна (ефективна) глибина ґрунту (см)	Нижня межа біологічної активності, кореневмісного шару місцевих багаторічних рослин. Ця глибина є там, де проникнення коренів сильно гальмується через фізичні (включаючи вологість або температуру ґрунту) та / або хімічні характеристики [30]
3. Вміст органічного вуглецю (г/кг)	Масова частка вуглецю у матеріалі ґрунту <2 мм (дрібнозем), що визначається сухим спалюванням при 900 °C (ISO 10694)
4. pH	1:5 ґрунт / вода (ISO 10390)
5. Вміст мулу (г/кг)	Масова частка фракції <2 мкм у матеріалі ґрунту <2 мм, визначена методом піпетки [31]
6. Вміст пилу (г/кг)	Масова частка фракції 2-50 мкм у матеріалі ґрунту <2 мм, визначена методом піпетки [31]
7. Вміст піску (г/кг)	Масова частка фракції 50 мкм - 2 мм у матеріалі ґрунту <2 мм, визначена методом піпетки [31]
8. Крупнозернисті фрагменти (гравій) (M ³ м ⁻³)	Масова частка ґрунтового матеріалу > 2 мм [31]
9. Ємність катіонного обміну (ммоль/кг)	Катіони, витяжка з BaCl ₂ + обмінний H + Al (ISO 11260)
10. Щільність будови ґрунту (по всьому профілю) (Mг/м ³)	Щільність будови всієї маси ґрунту (включаючи грубі фрагменти) у масовій одиниці об'єму методом, еквівалентним основному методу, і за допомогою педотрансферної функції (ISO 11272)
11. Щільність будови дрібнозернистої фракції ґрунту (<2 мм) (Mг/м ³)	Насипна щільність дрібнозернистої фракції ґрунту (<2 мм) в масі на одиницю об'єму за методом, еквівалентним основному методу, і за допомогою педотрансферної функції (ISO 11272)
12. Водомісткість ґрунту (мм)	Ємність ґрунту щодо доступної вологи, розрахована для кожної глибини [31]

4. База даних World Soil Information Service (WoSIS)

Світова ґрунтова інформаційна служба World Soil Information Service (WoSIS). За типом – реляційна серверна база даних, що складається з 46 таблиць. Місце розміщення - Міжнародний центр ґрунтової інформації (ISRIC). До БД WoSIS залучено дані з чотирьох раніше створених в ISRIC автономних баз даних [6]: ISIS – ISRIC Soil Information System; SOTER – Soil and Terrain databases; WISE – World Inventory of Soil Emission potentials; AfSP – Africa Soil Profiles database.

Оскільки БД WoSIS наповнено даними з чотирьох БД, створених у різні часи і з залученням іноді одних і тих самих профілів, важливим етапом було ліквідувати повторюваність профілів, тобто ліквідувати дублювання даних, що виникало в результаті об'єднання. Такий механізм було розроблено і всі дублі виявлено [1].

Найбільша кількість наукових публікацій з методологічних питань стосовно БД WoSIS належить N.Batjes, який є співробітником ISRIC і з 2006 року очолює відділ ґрунтів у Світовому дата-центрі (WDC-Soils). Саме його статті (також і з співавторами) дають максимум інформації про БД. У 2015 р. було опубліковано першу інструкцію для користувачів і провайдерів WoSIS [6], а у 2018 р. – другу версію Інструкції [7], до якої внесено певні зміни. Так, загальну кількість таблиць збільшено до 46.

База даних WoSIS була розроблена як відповідь на зростаючу для всіх країн світу загрозу втрати ґрунтової інформації, накопиченої на паперових носіях. Ідеєю розробки було створення централізованої бази даних, фокусованої на запити користувачів, для забезпечення доступною інформацією міжнародного співтовариства.

Мета діяльності WoSIS: зберегти дані світових ґрунтів в оригінальному вигляді «як є», що особливо стосується успадкованих, архівних даних; об'єднати в єдину світову інформаційну систему дані про ґрунти та земельні ресурси у стандартизованому і гармонізованому вигляді; забезпечити широку доступність інформації для створення природоохоронних інформаційних продуктів і керівних документів для сталого господарювання [6].

Важливим аспектом діяльності WoSIS є розробка послідовних процедур опису різних аналітичних методів, застосовуваних у світі і створення на їх основі стандартних

описів. Ця робота виконується також на підтримку компонента 5 «Гармонізація» Глобального ґрунтового партнерства [32].

Основні принципи діяльності БД WoSIS такі: будь-хто може вкласти дані у БД WoSIS і передати їх різними способами [7]; перед тим, як передати дані, провайдер має у письмовій формі погодитися з умовами політики даних в ISRIC [2]. Визначене угодою право доступу і походження даних будуть визначати статус загальної доступності даних пізніше, після їх розміщення в БД; отримані від провайдера дані мають бути поступово стандартизовані і гармонізовані згідно з прийнятою схемою опрацювання даних. Відносини між WoSIS і провайдерами даних характеризуються як режим взаємозв'язку.

Використовуватися у БД можуть лише авторизовані, гармонізовані і стандартизовані дані з відомим, детально задокументованим їх походженням. Призначенням БД WoSIS є обслуговування у межах ISRIC (разом з іншими базами даних) узгоджених, гармонізованих даних, отриманих від широкого кола провайдерів, перш за все успадкованих (*legacy data*), із результатів колишніх обстежень і досліджень ґрунту. До БД від провайдерів надходять різноманітні майже неспівставні набори ґрунтових профільних даних. Такі набори даних у незмінному вигляді імпортуються до бази даних PostgreSQL зі збереженням оригінальних назв та умов кодування, аббревіатур, доменів, походження даних та ліцензій; тобто, таким чином копії первинних матеріалів зберігаються в ISRIC.

Провайдери даних самостійно регламентують спосіб використання, розподілу (поширення) даних у майбутньому, як, наприклад: «лише збереження копій національних профільних ґрунтових даних»; «дозвіл на використання інформаційних продуктів, виведених із даних, але не самих профільних даних»; «повний відкритий доступ до даних і продуктів». Умови використання зберігаються разом з повною інформацією про походження даних як визнання і констатація приналежності даних (авторського права). З провайдерами також узгоджуються результати стандартизації і гармонізації даних.

Після імпортування наборів даних у БД WoSIS у незмінному вигляді («як є»), дані мають бути приведені до формату єдиної моделі. Процедурою гармонізування і стандартизування охоплюється не лише значення (параметри) властивостей ґрунту, але й перелік всіх тих умов, які необхідні, щоб зробити дані доступними для запитів. Особлива увага приділяється стандартизуванню описів аналітичних методів.

Гармонізація, за визначенням Глобального ґрунтового Партнерства [34], включає «забезпечення механізмів для порівняння, аналізу й обміну співставними глобальними ґрунтовими даними та інформацією». Сфера гармонізації включає такі пов'язані аспекти: а) опис ґрунту, класифікація, картографування; б) ґрунтові аналізи; в) обмін цифровими ґрунтовими даними; г) інтерпретація. І, зважаючи на масштабність задачі, фокус у WoSIS зроблено на стандартизації визначень (дефініцій) показників властивостей ґрунту, описів аналітичних методів і значень властивостей ґрунту саме для тих властивостей, які включено у легенду (2013 р.) [7, 35] Глобальної карти ґрунтів світу. Стандартизація розглядається як передумова для створення і тестування ґрунтової інформаційної моделі, що буде фундаментом (базою) і гарантією для широкої взаємодії і сумісності глобальних ґрунтових даних [36]. За результатами стандартизації і гармонізації дані з оціненою якістю набувають властивості порівнянності так, як би вони були отримані одним методом. Кінцевою метою є повна доступність гармонізованих даних у вбудованих веб-сервісах.

Процедури перетворення даних у WoSIS, за твердженням директора ISRIC Н. Van den Bosch [6], узгоджені з нині діючими міжнародними ґрунтовими програмами, такими, як Global Soil Partnership, Global Soil Map, Open Geospatial Consortium.

На наступних стадіях розвитку БД WoSIS важливим кроком вважається гармонізація класифікацій ґрунтів і описів ґрунтових профілів, щоб дані з різних куточків світу можна було б порівнювати. Ця робота, безумовно, потребуватиме великої кропіткої співпраці міжнародних експертів [6, 7].

База даних WoSIS містить 46 пов'язаних таблиць, утворюючи стандартну реляційну модель, імплементовану в PostgreSQL – потужну, відкриту об'єкт-орієнтовану систему баз даних [37]. Важливим удосконаленням у версії 2 (2015) [6] моделі бази даних було зменшення загального числа таблиць (від 76 до 45) та схем (від 15 до 1) з метою посилення надійності та зручності користування базою. У версії структури БД 2018 р. [7] кількість таблиць збільшено до 46 за рахунок реконструкції блоку метаданих.

Таблиці у БД систематизовано і поєднано, згідно з їх функціями, у такі групи [7]:

Растрові дані / Raster data (1 таблиця);	Профільні дані / Profile data (6 т.);
Класифікація ґрунтів/ Soil classification (11 т.);	Метадані /Metadata (8 т.);
Визначення атрибутів/ Attribute definition (10 т.);	Посилання /References (5).
Дані картографічних одиниць /Map unit data (5 т.);	

Кожна таблиця має унікальний ідентифікатор (поле), тобто, атрибут, що відіграє роль головного для зв'язку з іншими таблицями (*Primary key*). Для забезпечення цілісності даних введено і Зовнішні ключі (*Foreign key*), які також утворюють зв'язки між таблицями і визначають шляхи їх можливого використання. Існує спеціальний перелік функцій та запитів (*triggers*) для сприяння керуванню базою і, в тому числі, для імпорту даних, перегляду даних і створення вибірок [7]. WoSIS-2 (згідно зі звітом ISRIC 2017 р.) [37] містить 118400 профілів, з яких 96000 геореферовані і загалом це відображено у 31 млн записів. До переліку ґрунтових атрибутів, накопичуваних у БД WoSIS-2 перш за все належать атрибути, що ввійшли до легенди Глобальної карти ґрунтів. У таблиці 3 представлено групу основних атрибутів – властивостей ґрунту, параметри яких накопичені у БД [37].

Таблиця 3

Стандартизовані назви атрибутів БД WoSIS (у снапшоті 2016 р.) [37]

Атрибут	Короткий опис атрибуту
Щільність будови дрібнозему, kg dm^{-3}	Щільність будови для фракції дрібнозему менше X мм
Щільність будови ґрунту, kg dm^{-3}	Щільність будови ґрунту в цілому, включаючи грубі фрагменти
Загальний еквівалент карбонату кальцію, g kg^{-1}	Вміст карбонатів у вапняному матеріалі, або у карбонатному ґрунті так, як би всі карбонати були у формі CaCO_3 . «неорганічний вуглець»
Ємність обміну катіонів (CEC), cmol(c) kg^{-1}	Здатність дрібної фракції (<2mm) утримувати обмінні катіони, визначена через буферну дію ґрунту при певному рН
Вміст мулу, g kg^{-1}	Гравіметричний (ваговий) вміст ґрунтового матеріалу <0.002 мм у фракції дрібнозему <2 мм
Грубі фрагменти, гравіметрично, 10^{-2} g g^{-1} ($\text{g}/100 \text{ g}$)	Гравіметричний (ваговий) вміст грубих фрагментів >2 мм у всьому ґрунті
Грубі фрагменти, об'ємометрично, $10^{-2} \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ($\text{cm}^3/100 \text{ cm}^3$)	Об'ємометричний вміст грубих фрагментів >2 мм у всьому ґрунті
Ефективна ємність поглинання катіонів (ECEC), cmol(c) kg^{-1}	Здатність фракції дрібнозему <2 mm утримувати обмінні катіони; приблизно відповідає сумі обмінних основ (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) плюс 1N KCl обмінна кислотність (Al^{3+} і H^+) у кислих ґрунтах
Електрична провідність, dSm^{-1}	Здатність 1 : x водного екстракту (витяжки) з ґрунту проводити електричний струм (ECx , dSm^{-1}); ECe – відповідає значенню, виміряному у насиченому екстракті з ґрунту
Органічний вуглець, g kg^{-1}	Гравіметричний (ваговий) вміст органічного вуглецю у фракції дрібнозему
pH CaCl_2	Значення кислотності або лужності ґрунту, визначене як від'ємний десятковий логарифм активності гідрогенних іонів (H^+) у розчині CaCl_2
pH H_2O	Значення кислотності або лужності ґрунту, визначене як від'ємний десятковий логарифм активності гідрогенних іонів (H^+) у воді
pH KCl	Значення кислотності або лужності ґрунту, визначене як від'ємний десятковий логарифм активності гідрогенних іонів (H^+) у розчині KCl
pH NaF	Значення кислотності або лужності ґрунту, визначене як від'ємний десятковий логарифм активності гідрогенних іонів (H^+) у розчині NaF
Загальний вміст піску 10^{-2} g g^{-1} ($\text{g}/100 \text{ g}$)	Вміст фракції більшої за Y мм у ґрунтовому матеріалі <2 мм
Загальний вміст пилу 10^{-2} g g^{-1} ($\text{g}/100 \text{ g}$)	Вміст фракції розміром від 0.002 мм до Y мм у ґрунтовому матеріалі <2 мм
Класифікація ґрунтів FAO	Класифікація ґрунтового профілю відповідно до певної редакції (рік) Легенди FAO/Unesco до рівня ґрунтової одиниці, де можливо
Класифікація ґрунтів згідно з ґрунтовою таксономією США	Класифікація ґрунтового профілю відповідно до певної редакції (рік) Ґрунтової Таксономії USDA до рівня ґрунтової одиниці
Класифікація ґрунтів WRB	Класифікація ґрунтового профілю відповідно до певної редакції (рік) WRB до рівня кваліфікатора, де можливо
Загальний вміст вуглецю, g kg^{-1}	Гравіметричний (ваговий) вміст органічного вуглецю і неорганічного вуглецю у фракції дрібнозему <2 мм
Утримання води, гравіметрично, 10^{-2} g g^{-1} ($\text{g}/100 \text{ g}$)	Гравіметричний (ваговий) вміст ґрунтової вологи за певного тиску, визначеного в описі аналітичного методу
Утримання води, об'ємометрично, $10^{-2} \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ($\text{cm}^3/100 \text{ cm}^3$)	Об'ємометричний вміст ґрунтової вологи за певного тиску, визначеного в описі аналітичного методу

Виявлено ряд елементів, які можуть бути позитивними прикладами для запозичення і використання у створенні української ґрунтової профільної бази даних:

- принципний підхід до вимог щодо стандартизування вхідної інформації (стандартні назва показника, опис методу аналізування, одиниці вимірювання тощо);
- дані від різних провайдерів мають бути повністю забезпечені необхідними (стандартизованими) метаданими, що гарантує недвозначність як у розумінні походження, типу і якості даних, так і в ідентифікації їх авторів;
- досвід WoSIS з упередження можливості дублювання профілів, набутий у процесі злиття чотирьох баз даних, цілком може бути застосованим для формування Української БД, де передбачається об'єднання декількох баз і наборів даних, які накопичені в лабораторіях ННЦ ІГА і в організаціях-співвиконавцях наукових програм, що, безумовно, може призвести до повторів;
- стандартизовані атрибути БД WoSIS (22 показника властивостей ґрунту), представлені у табл. 3, можуть бути застосовані для розширення Реєстру атрибутів, а також для використання назв і опису показників в українській базі даних з метою гармонізації.

5. Національні бази даних ґрунтів і підходи до організації інформаційних систем

Прогрес у розвитку окремих національних баз даних ґрунтів зафіксовано у сучасних публікаціях. Одна з найновіших – оглядова стаття великої групи авторів, очолюваної D. Arrouays [11]. Автори констатують, що до цього часу у національних базах даних концентровано близько 800 тисяч описаних профілів ґрунтів. Перелік відомих національних баз даних у різних країнах світу, представлено у табл. 4.

Таблиця 4
Бази даних у деяких країнах світу (за [11])

Країна	Назва бази даних
Австралія	National soil site data collation (NSSDC)
Бельгія	Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV)
Китай	China Soil Database
Бразилія	Sistema de Informacao de Solos Brasileiros& ESALQ Brazilian Soil Profile Database
Канада	Canadian Soil Information Service; Canadian Digital Soil Data Consortium
Франція	DoneSol
Данія	Danish Soil Profile Database
Росія	Unique State Register of Soil Resources of Russia
Індонезія	SIMADAS (SistemInformasiManajemen Data SumberdayaLahan)
Португалія	INFOSOLO
США	NCSS Microsoft Access Soil Characterization Database
Південна Корея	Korean Soil Database
Нідерланди	BIS Nederland
Угорщина	Digital Kreybig Soil Information System (DKSIS); Hungarian Detailed Soil Physikal and Hydrological Database
Індія	Bhoomi
Англія та Уельс	LandIS – Land Information System (for England and Wales)
Румунія	PROFISOL; MoniSol-RO
Україна	Ukraine Soil Properties Database
Латвія	Digital Land and Soil Database of Latvia

Прогрес є у тому, що протягом останніх десятиліть майже всі країни світу намагаються збільшити кількість накопичуваної у базах даних інформації. Так, практично удвічі збільшилось число ґрунтових даних у США за час з 2000 до 2016 р. В основному нові дані отримано з університетів, які брали участь у польових обстеженнях і аналізуванні зразків у межах договорів з національною службою ґрунтових обстежень [38]. Загалом до 2016 р. в арсеналі бази даних USDA накопичено 60962 обстежених профілів. У США опубліковано на веб-ресурсах Цифрову колекцію різних інформаційних продуктів, а також велику кількість сканованих рукописних описів ґрунтових профілів та інших документів, зроблених за часи обстежень [39].

На 69 % збільшено число ґрунтових профілів у базі даних Франції з 2009 до 2015 р. [40] і загальна їх кількість, разом з описаними результатами досліджень ґрунтів за допомогою ручного буріння свердловин, становить 160103. У 2014 р. було проведено інвентаризацію наявних у країні картографічних матеріалів, придатних для ефективного використання у створенні GlobalSoilMap. З кінця 2015 р. каталог, що включає 5854 карти є доступним на веб-ресурсі. Близько половини цієї колекції карт є дигіталізованими, а 407 –

доступні як завершені бази даних. Процес створення БД триває і пріоритет віддається масштабам 1:250-1:50 тис. [40].

Австралія зараз має, як мінімум, 13 незалежних унікальних ґрунтових інформаційних систем [41], де не менше як 70 років накопичуються дані. У роботі за проектом GlobalSoilMap 281000 профілів було відібрано в єдину БД, для якої було розроблено структуру, протокол збирання і взаємодії даних. У цій БД міститься і 2,5 млн результатів лабораторних вимірювань.

Австралійська інформаційна система ґрунтових ресурсів (ASRIS) була створена щоб забезпечити первинними даними про ґрунти і землі широке коло користувачів включаючи і дослідників. Он-лайн система забезпечує добрий доступ до інформації на всій території країни і рівень детальності залежить від покриття обстеженням у кожному регіоні [42].

У Нідерландах більше, ніж 32700 описів профілів, отриманих за допомогою ручного буріння, вивело країну на перше місце за кількістю розрізів на одиницю площі території – 1 розріз на 13 кв. км сільськогосподарських та природних угідь [11].

Національна БД Нігерії на цей час налічує близько 1900 профілів більшу частину яких було додано після 2011 р. [43].

В Індії ґрунтове обстеження проводиться Національним бюро під егідою Комітету сільськогосподарських досліджень, побудовано декілька карт різних масштабів, загальна кількість описаних профілів у 2015 р. налічує 91900, але гармонізованої єдиної бази даних поки що немає [11].

В Індонезії, де інвентаризація ґрунтових ресурсів розпочалася з 1905 р., існує декілька БД і 100 % території охоплено картами масштабу 1:250000, 40 % - 1:50000. І зараз там створюють базу даних сканованих копій звітів про обстеження і напрацьованих картографічних матеріалів [44].

У Південній Кореї вся територія країни покрита картами масштабу 1:25000 (і паперовими й електронними). Більше того, за результатами обстеження 1995-1999 рр. було створено і дигіталізовано детальні карти масштабу 1:5000, які зараз загально доступні на веб-сайті. Створено дві бази ґрунтових даних, як частини ґрунтової інформаційної системи Кореї: перша – картографічних матеріалів різних масштабів (від 1:250 тис. до 1:5 тис.) і друга – парцел-базованих даних хімічних властивостей ґрунтів, що містить близько 7 млн записів [11].

Шотландія. Карти масштабу 1:25 тис. було створено Інститутом ґрунтових досліджень за матеріалами ґрунтових обстежень 1947-1987 рр. Починаючи з 2013 їх оновлюють за новою системою класифікації ґрунтів і за державною програмою забезпечують доступність картографічних матеріалів на веб-ресурсах [11].

Латвія. У Латвії аналогові ґрунтові карти (1976-1997) сільськогосподарських земель масштабу 1:10 тис. були дигіталізовані і було створено базу даних. БД містить 2 частини: перша – характеристика полігонів, включаючи дату обстеження, тип ґрунту за генетичною класифікацією, грансклад; друга – дані з профілів, в т.ч. рН, глибина залягання CaCO₃ та ін. Загалом БД містить дані з 543601 полігонів і опис 746 ґрунтових профілів [45]. Виконано деяку технічну роботу для конвертації національних класифікаційних ґрунтових одиниць у WRB 2014.

Росія. Детальні карти ґрунтів масштабу 1:10 – 1:50 тис. доступні для всіх орних земель як у паперовому вигляді, так і скановані копії. Загалом число карт становить 20000. Карты прив'язані до ґрунтових нарисів з характеристикою основних ґрунтів і репрезентативних профілів. Колекція карт зберігається у центрі ґрунтових даних Інституту ґрунтознавства (Москва) і не є доступною публічно. Карты використовують для створення унікального державного реєстру ґрунтів Росії і для різних баз даних [46].

Угорщина. Великомасштабне картографування (1:25 тис.) почалося з 1930-х років і продовжувалося до 1950-х., а карти 1:10 тис. створювали до 80-х років. Ці набори даних використано для побудови карт більш дрібних масштабів. Всі карти 1:25 тис. дигіталізовано, всі полігонні і точкові дані були організовані у цифрові набори даних. Створено багато нових інформаційних продуктів, що є незалежними джерелами нової інформації, які забезпечують інформаційну різноманітність [11].

Португалія. Стан справ з інформацією про ґрунти в Португалії характеризується майже так само, як і в Україні: ґрунтові дані в Португалії використовують лише окремі політики і вчені [47] тому, що відсутня координація даних, інформація розпорошена по різних інституціях, відсутня сучасна ґрунтова інформаційна система, здатна зберігати всю ґрунтову інформацію, отриману в усіх установах і лабораторіях, що мають стосунок до ґрунту і ґрунтознавства. БД INFOSOLO включає ґрунтові дані з 9934 горизонтів/ шарів, досліджених у 3461 профілях по всій країні у період 1966-2014 рр. дані отримано з

широкої мережі ґрунтових служб, дослідницьких проєктів і академічних досліджень, проведених Португальськими та іншими європейськими інститутами. Із загальної кількості профілів у 570 розрізах досліджено лише верхній шар, а 2895 профілів вже класифіковані за принципами WRB [48].

Ми можемо заключити, що за деякими показниками БД INFOSOLO також має багато спільного з українською БД «Властивості ґрунтів України». Наприклад, ступінь рівномірності розміщення профілів на території країни нічим не регулюється, адже інформацію отримано у різні часи з різних організацій, що працювали за неузгодженими планами з різними цілями.

Бельгія. Описуючи процедуру формування легенди карти ґрунтів Бельгії і порядок вибору репрезентативних профілів для окремих картографічних одиниць Van Orshoven з співавторами [49] наводять як приклад базу даних, відомості про яку були опубліковані ще 1988 року [50] і яка містила 8962 профілі, у межах яких описано 48311 горизонтів. Саме цю БД використано для підтримки карти масштабу 1:20 тис., яка була свого часу генералізована з великомасштабних карт (1:5 тис.). БД має свою систему кодування описуваних ґрунтових одиниць і властивостей горизонтів; код включає символи, якими характеризуються клас гранскладу, клас дренажності, клас потужності профілю тощо з використанням класифікації FAO та USDA. Набір показників не дуже широкий: вміст 4-х гранулометричних фракцій; CaCO_3 ; потужність і глибина залягання генетичних горизонтів; вміст органічного вуглецю.

Кенія. Працюючи над проєктом зі створення ґрунтової географічної бази даних для ґрунтової інформаційної системи заради поліпшення менеджменту даних ґрунтових і земельних ресурсів, пов'язаних з територією навколо озера Naivasha в Кенії Т.В. Bezu [51] детально описав процес створення бази ґрунтових даних, який він назвав надзвичайно важливим для впровадження інформаційної системи, оскільки відомо, що ця робота є коштовною і трудомісткою. Недоліки й помилки під час запуску та перевищення часу на етапі створення бази даних можуть призвести до зниження якості менеджменту. У процесі створення БД ґрунтів важливими є такі аспекти: технологія (сканування, оцифрування тощо), якість (точність, документація, перевірка тощо), штатний розклад (внутрішні підрядники, зовнішні установи тощо) і планування (забезпечення того, щоб деякі ключові продукти могли бути розроблені з частково заповненої бази даних) [52]. Вимоги до розробки бази даних називають такі: в БД мають бути включені всі дані, необхідні для задоволення вимог користувачів, але збережено принцип мінімізації надмірності; користувачам має бути зрозумілою організація даних; мають бути сформульовані і жорстко підтримувані правила обробки даних. У процесі проєктування БД має бути враховано, що під час роботи на більш пізніх етапах до рішень, прийнятих на ранній стадії, можуть бути необхідними або затребуваними деякі зміни [53].

Україна. З кінця 90-х років минулого століття співробітниками лабораторії геоєкофізики ґрунтів ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» розпочато роботи з формування бази даних «Властивості ґрунтів України». За цей час сформовано структуровану атрибутивну базу даних, яка включає повну характеристику умов ґрунтоутворення, класифікаційні характеристики ґрунту та параметри основних його властивостей (всього 112 показників) для 2050 ґрунтових профілів у межах України [54]. Джерелами інформації БД «Властивості ґрунтів України» є матеріали великомасштабного ґрунтового обстеження 1957-1961 рр., наукові звіти лабораторії геоєкофізики ґрунтів, дисертаційні роботи виконані в ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», особисті архіви дослідників-ґрунтознавців з різних наукових установ. Загальні відомості про базу даних властивостей ґрунтів, а також про інші багаторічні напрацювання лабораторії геоєкофізики у сфері систематизування інформації і створення баз даних описано в оглядовій статті [55].

6. Висновки з результатів аналізування сучасних міжнародних та національних баз ґрунтових даних

В результаті дослідження структурних і функціональних особливостей вибраних міжнародних баз ґрунтових даних (SOTER, GSM і WoSIS) було виокремлено найбільш прогресивні аспекти, які рекомендовано для використання у розробці конструкції сучасної єдиної профільної бази ґрунтових даних в Україні. Короткий огляд перспективних характеристик відомих баз даних продемонстровано в табл. 5.

Таблиця 5

Перелік методичних, структурних і функціональних особливостей міжнародних баз ґрунтових даних (SOTER, GSM, WoSIS), рекомендованих для впровадження в Україні

База даних	Характерна особливість БД
SOTER	Містить оцифровані картографічні одиниці та асоційовані атрибутивні дані, що відображають інформацію про земельні ресурси, рельєф, рослинність, породи і ґрунти. Присутня ієрархічність опису картографічних одиниць з посиленням детальності у напрямі одиниць меншого розміру. Отже, найменша територіальна одиниця забезпечена найбільш детальною характеристикою і в т.ч. щодо компонентів ґрунтового покриву. Для кодування атрибутів використано систему кодів WRB і FAO. Кодування територіальних одиниць – унікальний ідентифікаційний чотирьохзначний код SOTER. Функціонує як глобальна інформаційна система, призначена для моніторингу стану ґрунтів, для оцінювання прояву деградаційних процесів тощо.
GSM	Включає 12 характеристик ґрунту, які мають бути пріоритетними для будь-якої БД у світі. Найкращим джерелом інформації для побудови GSM її автори вважають великомасштабні карти ґрунтів з базами атрибутивних точкових (профільних) даних, або набори даних, асоційовані з картографічними одиницями.
WoSIS	Атрибути і дані розподілені у стандартні таблиці, зразки оформлення яких є доступними в Інструкції до формування БД. Існує принциповий підхід до вимог щодо стандартизування вхідної інформації (стандартна назва показника, стандартний опис методу аналізування, стандартні одиниці вимірювання тощо). Існує чітка регламентація способів використання даних в ISRIC. До комплексу метаданих залучено всю необхідну інформацію, що гарантує недвозначність як у розумінні походження, типу і якості даних, так і в ідентифікації їх авторів. Розпочато процес гармонізації показників і, в першу чергу, для тих, що входять у БД GSM. Стандартна реляційна модель БД імплементована в PostgreSQL – потужну, відкриту об'єкт-орієнтовану систему баз даних.

В результаті дослідження прогресивних методичних особливостей створення і ведення національних ґрунтових баз даних у деяких країнах світу створено перелік можливих корисних елементів, які рекомендовано запозичити для формування Української ґрунтової інформаційної системи і бази ґрунтових даних (Табл. 6).

Таблиця 6

Перелік методичних, структурних і функціональних особливостей національних баз ґрунтових даних у різних країнах світу, прийнятних для запозичення в Україні

Характерна особливість БД	Країна, посилання
Сканування рукописних описів ґрунтових профілів та інших документів, створених під час ґрунтових обстежень	США [39]; Індонезія [44];
Зберігання оригінальних результатів лабораторних вимірювань	Австралія [41]
Інвентаризація наявних картографічних матеріалів у країні і розробка плану (черговості) їх дигіталізації; в т.ч. з метою їх використання у розробці Global Soil Map	Франція [40]; П. Корея [11]; Латвія [45]
Багаторівнева просторова ієрархія записів у БД – від країни до генетичного горизонту у профілі ґрунту	Австралія [42]; Латвія [45]
Кожна просторова територіальна одиниця забезпечена своїм набором характеристик (якостей), ступінь генералізації яких залежить від місця в ієрархії	Австралія [42]
Наявність двох частин бази ґрунтових даних: 1 – карти масштабів від 1:250 тис. до 1:5 тис.; 2 – парцел-базовані дані хімічних властивостей.	Південна Корея [11]
Система репрезентативних профілів і державний реєстр ґрунтів	Росія [46]
Конвертація національної класифікації ґрунтових одиниць у WRB 2014	Латвія [45]
Організація точкових і полігонних даних у цифрові набори даних	Угорщина [11]
Таблиці релятивної БД об'єднано у групи	Португалія [47]
Використання символічної системи кодування FAO USDA для позначення класу, до якого належить певний параметр (наприклад, клас гранскладу, клас дренажності або клас потужності профілю)	Бельгія [49]
Розділення процесу проектування БД на окремі послідовні етапи: збирання й аналізування вимог; створення концептуальної схеми; логічної схеми; фізичної схеми; імплементация.	Кенія [51,53]
Наявність державної програми щодо забезпечення доступності картографічних матеріалів на веб-ресурсах	Шотландія [11]

Отже, зважаючи на всі розглянуті й вивчені особливості баз ґрунтових даних у світі, можна вважати, що Україна цілком забезпечена прикладами інструктивних матеріалів для створення структури власної бази даних ґрунтів.

Список використаних джерел

1. Batjes N.H. Overview of procedures and standards in use at ISRIC WDC-Soils. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2017. 28 p.
2. ISRIC Soil Information System (ISIS) [Electronic resource] : Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2012-2018. URL: <http://isis.isric.org> (viewed on November 2, 2018).
3. Global and National Soils and Terrain Digital Databases (SOTER) / V.W.P. Van Engelen, J.A. Dijkshoorn [et al.]. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2013. 198 p. URL: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/shared_folder/SOTER/isis_report_2013_04.pdf
4. Batjes N.H. Harmonized soil profile data for applications at global and continental scales: updates to the WISE database. *Soil Use Management*. Vol. 25. 2009. P. 124-127. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2009.00202.x
5. Batjes N.H. World Inventory of Soil Emission Potentials: WISE 2.1 – Profile database user manual and coding protocols. Wageningen : ISRIC Technical Paper 26, 1995. 56 p.
6. Towards the standardization and harmonization of world soil data: Procedures manual ISRIC World Soil Information Service (WoSIS version 2.0) / E.Ribeiro, N.H. Batjes, J.G.B. Leenaars [et al.]. Wageningen : ISRIC – World Soil Information. 2015. 100 p. URL: https://www.isric.org/sites/default/files/isis_report_2015_03.pdf
7. Ribeiro E., Batjes N.H., Oostrum A.J.M. World Soil Information Service (WoSIS)-Towards the standardization and harmonization of world soil data. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2018. 166 p. URL: https://www.isric.org/sites/default/files/isis_report_2018_01.pdf
8. Leenaars J.G.B. Africa Soil Profiles Database: a compilation of georeferenced and standardised legacy soil profile data for Sub Saharan Africa (version 1.2). Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2014. 160 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.10667.75040
9. Tóth G., Jones A., Montanarella L. The Lucas topsoil database and derived information on the regional variability of cropland topsoil properties in the European Union. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2013. Vol. 185. P. 7409-7425. DOI: 10.1007/s10661-013-3109-3
10. LUCAS: Land Use/Cover Area frame Statistical Survey [Electronic resource] Ispra : ESDAC, 2018. URL: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/lucas>. (viewed on November 2, 2018).
11. Soil legacy data rescue via GlobalSoilMap and other international and national initiatives / D. Arrouays, J.G.B. Leenaars, A.C. Richer-de-Forges [et al.]. *GeoResJ*. 2017. Vol. 14. P. 1–19. DOI: 10.1016/j.grj.2017.06.001 2214-2428
12. Soil data from Ukraine / T. Laktionova, V. Medvedev O. Bigun [et al.]. In: European Hydropedological Data Inventory (EU-HYDI) / Publications Office of the European Union. Luxembourg : 2013. P. 106-110. URL: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/european-hydropedological-data-inventory-eu-hydi>
13. Panagos P., Liedekerke M., Montanarella L. European Soil Portal. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2006. 77 p.
14. World Reference Base for soil resources. World Soil Resources Report No 84. Rome : FAO, 1998. 88 p.
15. FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC. Harmonized World Soil Database. Rome : FAO, 2012. 50 p. URL: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/ru/>
16. The European Soil Information System / L. Lahmar, V. Vanengelen [et al.]. Rome : FAO, 2000. 163 p.
17. Soil and Terrain (SOTER) database [Electronic resource]. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2012-2018. URL: <http://www.isric.org/projects/soil-and-terrain-soter-database-programme> (viewed on November 2, 2018).
18. Global and National Soils and Terrain Databases (SOTER). Procedures Manual. Version 2.0 / ed. V.W.P. van Engelen, J.A. Dijkshoorn. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2013. 198 p. URL: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/shared_folder/SOTER/isis_report_2013_04.pdf
19. Development of soil databases for global modelling / N.H. Batjes, V.W.P. van Engelen, H. Kauffman, L.R. Oldeman. *Transactions: 15th World Congress of Soil Science : conference abstracts (Mexico, Acapulco, 10-16 July 1994) / International Society of Soil Science, Mexican Society of Soil Science. Acapulco : ISSS; MSSS, 1994. Vol. 6a. P. 40-57.*
20. SOTER Databases [Electronic resource]. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2012-2018. URL: <http://www.isric.org/explore/soter> (viewed on November 2, 2018).
21. World reference base for soil resources 2006 / IUSS Working Group WRB. Rome : FAO, 2006. 145 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-a0510e.pdf>
22. FAO/UNESCO soil map of the world: revised legend / FAO, International Soil Reference and Information Centre. Rome : FAO, 1988. 119 p.
23. Guidelines for Soil Description / FAO. Rome : FAO, 2006. 110 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-a0541e.pdf>
24. ISRIC Soil Data Hub [Electronic resource]. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2012-2018. URL: <https://www.isric.online/explore/isis-soil-data-hub> (viewed on November 2, 2018).
25. Data and Software Policy [Electronic resource]. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2012-2018. URL: <https://www.isric.org/about/data-policy> (viewed on November 2, 2018).
26. GLOBALSOILMAP.NET [Electronic resource]. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2008-2018. URL: <http://www.globalsoilmap.net> (viewed on November 2, 2018).
27. CSIRO contributes to Global Soil Map [Electronic resource]. Canberra : CSIRO, 2010-2018. URL: <https://data.csiro.au/dap/landingpage?pid=csiro%3A11413> (viewed on November 2, 2018).
28. Minasny B., McBratney A. Methodologies for Global Soil Mapping. In: *Digital Soil Mapping: Bridging Research, Environmental Application and Operation – 2010*. P. 429-436. DOI: 10.1007/978-90-481-8863-5_34
29. GLOBALSOILMAP.NET [Electronic resource]. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2008-2018. URL: <http://www.globalsoilmap.net> (viewed November 2, 2018).
30. Soil survey manual / C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger [et al.]. Washington : U.S. Department of Agriculture Handbook, 1993. 639 p.

31. Burt R. Soil Survey Laboratory Methods Manual. In: Soil Survey Investigations Report. 2004. No. 42. 700 p. URL: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcseprd1026807.pdf
32. Global Soil Partnership : The five pillars of action, FAO Global Soil Partnership. [Electronic resource]. Rome : FAO-GSP, 2018. URL: <http://www.fao.org/globalsoilpartnership/the-5-pillars-of-action/en/> (viewed November 2, 2018).
33. Baritz R., Erdogan H., Fujii K. Harmonization of methods, measurements and indicators for the sustainable management and protection of soil resources. Rome : Global Soil Partnership, FAO, 2014. 44 p.
34. GlobalSoilMap Specifications / D. Arrouays, A. McBratney, B. Minasny, [et al.]. Wageningen : ISRIC World Soil Information, 2015. 52 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/283156396_The_GlobalSoilMap_project_specifications
35. Omuto C., Nachtergaele F., Vargas R. State of the Art Report on Global and Regional Soil Information: Where are we? Where to go?, Rome : FAO, 2012. 69 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-i3161e.pdf>
36. PostgreSQL [Electronic resource]. California : The PostgreSQL Global Development Group, 1996-2019. URL: <http://www.postgresql.org/docs/9.2/static/index.html> (viewed November 2, 2018).
37. WoSIS: providing standardised soil profile data for the world. / N.H. Batjes, E. Ribeiro, A. van Oostrum [et al.]. *Earth Syst. Sci. Data*. 2017. Vol. 9. P. 1-14. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/essd-9-1-2017>.
38. Web soil survey [Electronic resource]. Washington : United States Department of Agriculture, 2018. URL: <http://websoilsurvey.nrcs.usda.gov> (viewed on November 2, 2018).
39. A digital collection of selected historical publications on soil survey and soil classification in the United States of America / W.R. Effland, D. Helms, H. Eswaran [et al.]. USDA Natural Resources Conservation Service. Washington, 2006. URL: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/publication/?cid=stelprdb1256535>
40. Le programme Inventaire Gestion Conservation des Sols de France: Volet Référentiel Régional Pédologique / B. Laroche, A.C. Richer de Forges, A. Leménager [et al.]. *Étude et Gestion des Sols*. 2014. Vol. 21. P. 125-140.
41. Soil and landscape grid of Australia / M.J. Grundy, R.A. Viscarra Rossel, R.D. Searle [et al.] *Soil Research*. 2015. Vol. 53. 835-844. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR15191>
42. Online Soil Information Systems – Recent Australian Experience / N.J. McKenzie, D.W. Jacquier, L.J. Gregory [et al.]. In: *Digital Soil Mapping with Limited Data*. 2008. P. 283-284.
43. Total soil organic carbon and carbon sequestration potential in Nigeria / S.I.C. Akpa, I.O.A. Odeh, T.F.A. Bishop [et al.]. *Geoderma*. 2016. Vol. 271. P. 202-215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.02.021>
44. Harmonizing legacy soil data for digital soil mapping in Indonesia / Y. Sulaeman, B. Minasny, A.B. McBratney [et al.]. *Geoderma*. 2013. Vol. 192. P. 77-85. URL: https://www.academia.edu/3326578/Harmonising_legacy_soil_data_for_digital_soil_mapping_in_Indonesia
45. Nikodemus O., Kasparinskis R., Karklins A. Development of Digital Land and Soil Database of Latvia for support of sustainable land management. Final Report, Ministry of Agriculture. 2016.
46. Ivanov A.L., Shoba S.A. Unique state register of soil resources of Russia. Moscow : V.V. Dokuchaev Soil Science Institute. 2014. 768 p.
47. The INFOSOLO database as a first step towards the development of a soil information system in Portugal / T.B. Ramos, A. Hortab, M.C. Goncalves [et al.]. *Catena*. 2017. Vol. 158. P. 390-412. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.07.020>
48. European Hydropedological Data Inventory (EU-HYDI) / M. Weynants, L. Montanarella, G. Tóth [et al.]. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2013. 168 p. URL: <https://biblio.ugent.be/publication/5988012/file/5988022.pdf>
49. A procedure for the statistical characterization of the units of the Belgian soil map / J. Van Orshoven, J. Maes, H. Vereecken [et al.]. *Pedologie*, 1991. XLI-3. P. 193-212. URL: https://www.researchgate.net/profile/Jan_Feyen/publication/279705431_A_procedure_for_the_statistical_characterization_of_the_units_of_the_Belgian_soil_map/links/559e532308aeb45d171623b9/A-procedure-for-the-statistical-characterization-of-the-units-of-the-Belgian-soil-map.pdf
50. A structured database of Belgian profile data / J. Van Orshoven, J. Maes, H. Vereecken [et al.]. *Pedologie*. 1988. 38. P. 191-206.
51. Bezu T.B. Building a soil information system for multi-source data integration. In: *A case study in Lake Naivasha area, Kenya*. ITC, Enschede, 2001. 133 p. URL: <https://sites.google.com/site/naivasharesearch/Home/scientific-publications/msc-theses>
52. Reeve D.E., Petch J.R. GIS, Organisations and People: A Socio-technical Approach. In: *GIS for Beginners*. London : Taylor & Francis Ltd. 1999. 232 p.
53. Elmasri R., Navathe S.B. Fundamentals of Database Systems. The Benjamin. Cummings publishing C, Inc. Redwood California. 1989. 1201 p.
54. База даних «Свойства почв Украины». Структура и порядок использования / Т.Н. Лактіонова, В.В. Медведєв, К.В. Савченко и др. Харьков: ЦТ №1, 2012. 150 с.
55. Лактіонова Т.М. Досвід створення і використання семи баз даних в лабораторії геоєкофізики ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2018. № 87. С. 63-71. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss87-10>.

UDC 631.4

Design and functional features of the world leading soil databases. Analytical review

T.M. Laktionova*, O.M. Bigun, S.G. Nakisko, K.Yu. Uvarenko

National Scientific Center “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky”,
Kharkiv, Ukraine

* E-mail: tnlaktionova@ukr.net

The development of the concept of structural and functional foundations of the soil information system of Ukraine should be based on the analysis of information about the existing soil information centers and databases in the world. For this purpose, an analytical review of modern world publications in scientific journals and other sources of information was performed. The total list of investigated publications includes more than 90 scientific articles,

presentations, instructions, manuals, web pages etc. The review article presents the main results of analytical research and conclusions on the possibility of introducing in Ukraine various aspects of the positive experience of world soil science in the creation of soil databases. The work was carried out in three stages. The first was an expert review of published materials on relevant topics in foreign publications in order to identify the world's major international centers of soil information and leading databases most used in the World Society of Soil Scientists. As a result, a list of leading international information centers was provided, with an indication of their location and source of information. The second stage was a detailed study of the design characteristics, principles of operation and methods of information transformation in the three most famous international soil databases: SOTER: Soil and Terrain database; GSM: Global Soil Map; WoSIS: World Soil Information Service. The information about the list of attributes in each database, methods of their coding, common approaches to the construction of tables, normalization of parameters, formation of a set of metadata, etc. was summarized. And at the third stage the list of the most innovative features of national database designs in different countries over the World, acceptable for use in Ukraine, was determined.

Keywords: attributes; database; construction; metadata; soil.

Citing: Laktionova T.M., Bigun O.M., Nakisko S.G., Uvarenko K.Yu. 2020. Design and functional features of the world's leading soil databases. Analytical review. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 5-17. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-01>.