

ДОСЛІДЖЕННЯ Й ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ SOIL SURVEY and SOIL QUALITY ASSESSMENT

УДК 631.147:631.416.9:631.81.095.337

Основні принципи оцінювання якості ґрунтів за вмістом важких металів для їх бонітування

К.Б. Смірнова*, А.І. Фатєєв

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 01.09.2017 Отримано після доопрацювання 28.09.2017 Затверджено до друку 15.11.2017 Доступно онлайн 05.12.2017</p> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p>Бонітування ґрунтів; Якість ґрунту; Здоров'я ґрунту; Важкі метали; Урожайність; Якість рослинної продукції; Модифікаційні критерії; Тест-рослини.</p>	<p>Метою оглядової статті є відстоювання тези, що оцінка якості ґрунту має базуватися не лише на його здатності створювати певну кількість урожаю, але й на визначенні еколого-токсикологічного стану ґрунту і пов'язаної з цим якості вирощуваної рослинної сировини та їх впливу на здоров'я населення, сільськогосподарської худоби та свійських і диких тварин.</p> <p>За допомогою системного, комплексного, порівняльного й логіко-аналітичного методів на основі узагальнення власних експериментальних даних і аналізу літературних джерел авторами сформульовані основні принципи оцінювання якості ґрунтів за вмістом важких металів. Запропоновано новий концептуальний підхід до удосконалення процедури загального й часткового бонітування, що передбачає розробку серії оцінювальних шкал модифікаційних критеріїв на вміст важких металів у ґрунтах. Критерії мають бути ранжовані згідно з буферністю ґрунтів щодо важких металів і видами сільськогосподарських угідь (рілля, сіножаті, багаторічні насадження, пасовища). Доведено важливість залучення до оцінювальних процедур даних аналізування тест-рослин на вміст важких металів, дії поліелементного забруднення, синергізму й антагонізму, рухомості, біологічної доступності важких металів, толерантності сільськогосподарських культур, можливості розбавлення забрудненої і дефіцитної щодо вмісту Zn, Cu, Co, Fe або Mn рослинної продукції тощо. Розробка є першою концептуальною пропозицією щодо моделі оцінювання якості ґрунтів України у сучасному контексті «від поля до столу», тобто, з урахуванням також якості вирощуваної рослинної сировини та її впливу на здоров'я людей і тварин.</p>

* E-mail: k_smirnova@meta.ua

1. Постановка проблеми

В Україні бонітети ґрунтів є складовою частиною земельного кадастру і основою економічної оцінки земель. Результати бонітування враховуються у грошовій оцінці земельних ділянок, в оцінці екологічної придатності ґрунтів для вирощування культур тощо [1, 2]. Бали бонітетів наразі істотно впливають на розмір земельного податку, державного мита при міні, спадкуванні та даруванні земельних ділянок, орендної плати за ділянки державної та комунальної власності, втрат виробництва, які підлягають відшкодуванню у разі виведення ділянок зі складу земель сільськогосподарського призначення, а після зняття мораторію на продаж землі – і на вартість земельних ділянок. Це спонукає вчених до пошуку нових і удосконалення існуючих підходів до бонітування ґрунтів, що дозволить розвинути механізм оцінювання земель в Україні до сучасного рівня.

В оцінці сільськогосподарських земель західних країн до визначення якості ґрунтів відносяться доволі серйозно, нерідко ототожнюючи поняття «якість ґрунту» («*soil quality*») і «здоров'я ґрунту» («*soil health*») [3]. Термін «якість ґрунту» поєднує "придатність для використання" і "здатність ґрунту функціонувати", характеризуючи спроможність ґрунту виконувати свої функції за призначенням.

Оскільки ґрунт є живою екосистемою, що є домівкою для мільярдів бактерій, грибів та інших мікроорганізмів, забезпечує рослини поживними речовинами, абсорбує й утримує воду для рослин, служить фільтром і буфером для потенційних забруднювачів та середовищем для живого біорізноманіття, відносно нього (як і інших живих організмів) застосовується термін «здоров'я». Тому термін «*soil health*» сприймається як безперервна здатність ґрунту функціонувати у вигляді важливої живої екосистеми, яка підтримує рослини, тварин і людей [4].

Відповідно, оцінка здоров'я ґрунту (*soil health assessment*) є оцінкою того, наскільки добре ґрунт виконує свої функції на даний час, і як ці функції зберігаються для майбутнього використання. Списки індикаторів оцінки якості ґрунтів і методи їх розрахунку визначаються метою і завданнями здійснення *soil health assessment* або *soil quality assessment* (український аналог – «бонітування ґрунтів»). Разом з тим, зважаючи на сприйняття ґрунту як складної комплексної живої системи, ці списки є доволі розгорнутими і включають широкий перелік фізичних, фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунту, а також кліматичних факторів та виробничо-технологічних особливостей. Адже адекватно оцінити стан здоров'я (якість) ґрунту, особливо у контексті сільськогосподарського використання, за мінімумом факторів неможливо.

Так, «Настанови щодо оцінки якості ґрунтів у плануванні охорони навколишнього середовища» [5] пропонують до вживання декілька десятків різних показників, що у сукупності надають об'єктивне уявлення про стан оцінюваних ґрунтів. Це важлива частина Програми технічної допомоги USDA (Міністерства сільського господарства США) щодо збереження навколишнього середовища (СТАР), що гарантує фермерам, місцевим органам влади, професійним консультантам та іншим зацікавленим особам й організаціям технічну підтримку щодо захисту й підвищення якості ґрунтів і водних ресурсів, розробки й застосування стійких сільськогосподарських систем, нових технологій управління земельними ресурсами тощо та можливість брати участь у програмах фінансової допомоги USDA та інших федеральних, державних і місцевих програмах [4].

Загалом проблема оцінювання якості ґрунтів та їх реального стану досліджується протягом тривалого часу і широко відображена в роботах вчених країн Європейського Союзу, Канади, Аргентини [6,7,8,9], Індії [10,11], Індонезії [12], США і Китаю [13,14,15], Тайваню [16] та інших країн світу.

Натомість в Україні, коли мова заходить про бонітування ґрунтів, «якість ґрунту» й досі ототожнюється з «родючістю ґрунту» і сприймається виключно як його здатність створювати певну кількість урожаю без урахування його зв'язків з навколишнім середовищем, екологічних функцій ґрунту і впливу його якості на життя й здоров'я живих істот (рослин, тварин, людей). Відповідно, новітні бонітувальні розробки українських учених, що відповідають сучасним світовим тенденціям оцінки якості ґрунтів (наприклад, [18]), на жаль, не завжди знаходять повне розуміння, але, безумовно, це лише питання часу.

Утім, навіть такі розробки не містять науково обґрунтованих алгоритмів залучення індикаторів забруднення ґрунтів до комплексного оцінювання їх якості, обмежуючись відносними експертними оцінками для часткових бонітетів до овочевих культур на ґрунтах легкого гранулометричного складу [17].

Це пов'язано не тільки з аспектами, що потребують наукового обґрунтування (різна реакція культур на дію важких металів, синергізм та антагонізм різних забруднювачів тощо) й ускладнюють розробку алгоритмів оцінювання. Головною причиною є нестача достатніх масивів лабораторних і польових експериментальних даних, здобутих за сучасними методами аналізування ґрунтів (національні ДСТУ і гармонізовані стандарти ISO) [18]. Тому в Україні нині є лише тимчасові орієнтовні оцінки з обмеженою сферою застосування [17].

Протягом останніх років у відділі охорони ґрунтів ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» накопичено значний обсяг експериментальних даних щодо впливу важких металів на ріст і розвиток сільськогосподарських культур і створено унікальну геоінформаційну систему «Мікроелементи в ґрунтах України», що містить інформацію з 3000 геопозиціонованих ґрунтових об'єктів із даними вмісту мікроелементів і важких металів, здобутими за сучасними методами аналізування. Це дозволило науковцям лабораторії розпочати розробку науково обґрунтованої системи оцінювання якості техногенно забруднених ґрунтів за вмістом важких металів.

Відповідно, метою даної роботи стала розробка основних принципів оцінювання якості ґрунтів за вмістом важких металів як основи нового концептуального підходу до їх бонітування.

2. Методика досліджень і джерела інформації

Дослідження проведено з використанням методів системного, комплексного, порівняльного, логіко-аналітичного, критичного аналізу, інформетрії та узагальнення на основі власних експериментальних даних, одержаних під час розробки серії тематичних

напрацювань: «Агрогеохімічне районування ґрунтів України та методологія діагностики стану хімічних елементів (мікроелементи, важкі метали) в системі ґрунт-рослина як основа оптимізації мікроелементного складу рослинницької продукції» [19]; «Порівняльний аналіз екстрагентів для вилучення рухомих форм важких металів з чорноземів звичайних з метою нормування їх вмісту» [20]; «Нормативи оптимального вмісту мікроелементів у ґрунтах з урахуванням вимог основних сільськогосподарських культур» [21, 22]; «Оцінка придатності ґрунтів України для органічного землеробства за вмістом мікроелементів» [23]; «Оцінка придатності ґрунтів до органічного землеробства за вмістом мікроелементів у зонах впливу атмосферних викидів підприємств енергетичної та хімічної промисловості (на прикладі Зміївської ТЕС та Авдіївського коксохімічного комбінату)» [24]; «Методика визначення забезпеченості ґрунтів мікроелементами для потреб плодових насаджень та заходи з усунення їх нестачі в мінеральному живленні» [25]; «Екологічна реабілітація техногенно забруднених важкими металами ґрунтів» [26] та ін.

Польові дослідження просторового розподілу вмісту рухомих форм мікроелементів (МЕ) і важких металів (ВМ) у ґрунтах та меж його коливання здійснювали за нерегулярною сіткою з географічним позиціонуванням за допомогою GPS-навігатора і використанням базових розрізів, які було закладено співробітниками «ННЦ ІГА імені О.Н. Соколовського» та інших організацій (мережа обласних філій ДУ «Інститут охорони ґрунтів України»). Досліджували різні ґрунти сполучених геохімічних ландшафтів, що знаходяться у різних кліматичних умовах. Загалом було обстежено й проаналізовано зразки близько 2500 ґрунтових різновидів у всіх адміністративних областях України.

Серією модельних і мікропольових дослідів протягом декількох років досліджено такі фактори: 1) рухомість мікроелементів у ґрунтах різних ґрунтово-кліматичних зон України, у т.ч. під впливом різних сільгоспкультур; 2) вплив довгострокового застосування мінеральних та органічних добрив у стаціонарних дослідках на забруднення ґрунту (Ерастівська, Красноградська, Розівська, Ізмаїльська дослідні станції; дослідні господарства ІЗГ УААН, Запорізької ДСГДС та ін.); 3) явища синергізму й антагонізму між ВМ в ґрунті (вплив різних рівнів забруднення на вміст у ґрунті важких металів); 4) вплив ВМ на зміну агрохімічних і біологічних показників ґрунту, кількість і якість урожаю зональних сільгоспкультур.

Для досягнення єдності результатів вимірювань і мінімізації систематичної складової похибок вміст у ґрунті рухомих форм ME/VM (в експедиційних і стаціонарних дослідженнях) визначали на одному приладі – атомно-абсорбційному спектрофотометрі „Сатурн-4”. Здобуту в 3-кратній повторності аналітичну інформацію статистично обробляли з використанням модулів кореляційного, регресійного та дисперсійного аналізів у межах пакету *Statistica 10.0* із підтвердженням достовірності. Дані занесено до спеціально створеної геоінформаційної системи (ГІС) «Мікроелементи в ґрунтах України».

Для побудови картосхем на основі ГІС використано геостатистичний метод дослідження – кригінг (статистична версія інтерполяції). За картографічну основу взято карту ґрунтів України масштабу 1:2 500 000 (за редакцією М.К. Крупського) та регіональні карти масштабу 1:200 000 (за редакцією М.К. Крупського). Для уточнення меж адміністративних районів, населених пунктів та мережі доріг, використовували топографічні карти масштабу 1:200 000. Класифікацію просторових даних здійснено шляхом групування цифрових значень одного атрибута (вмісту МЕ і ВМ).

У роботі також ураховано результати досліджень інших учених, викладених у монографіях, книгах, дисертаціях та періодичних виданнях [27- 33 та ін.].

3. Принципи оцінювання якості (бонітування) ґрунтів щодо вмісту важких металів

3.1. Вибір індикаторів забруднення ґрунтів важкими металами має враховувати їх розповсюдженість, наявність відповідної нормативної бази, можливість одержання й оновлення масивів фактичних даних на всій площі оцінюваних сільгоспземель.

Як відомо, у світі не існує однозначного визначення терміну «важкі метали». За різними джерелами до їх складу відносять елементи з властивостями металів й атомною масою вище 20 [15] або вище 40 [27]. Науковці Цільової групи з викидів важких металів під егідою Європейської економічної комісії ООН (UNECE) віднесли до групи важких металів лише Zn, As, Se і Sb, тоді як І.Д. Омері [28] і Н.Ф. Реймерс [29] дають більш широкий перелік: Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg і т.д.

Новим концептуальним підходом передбачено оцінювання якості ґрунтів за вмістом Zn, Cu, Co, Mn, Cr, Ni, Cd, Fe і Pb з урахуванням гранично допустимих концентрацій (ГДК) у ґрунті і продовольчій сировині (на орних ґрунтах) та максимально допустимих рівнів (МДР) у кормах для тварин (на ґрунтах сіножатей і пасовищ).

Важливим фактором такого вибору є наявність достатньої нормативної бази щодо сучасних методів аналізу вмісту цих забрудників у ґрунтах і рослинах та заснованих на цих методах нормативів впливу ВМ на врожай сільгоспкультур і здоров'я населення. Вагомим чинником є також можливість постійного оновлення масових фактичних даних за результатами суцільних обстежень сільгоспземель, які здійснює з періодичністю 5 років ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» МінАП. За таких умов упровадження нової системи оцінювання якості техногенно забруднених ґрунтів за вмістом важких металів у практику бонітування ґрунтів України буде доволі безболісним, адже передбачатиме легке вливання у вже функціонуючу налагоджену систему, без жодних значних змін в її роботі й пов'язаних із цим фінансових витрат.

3.2. Системою індикаторів оцінювання має бути враховано як негативний, так і позитивний вплив окремих МЕ/ВМ на родючість ґрунту, продуктивність сільгоспкультур, якість урожаю, життєдіяльність і стан здоров'я живих організмів (мікроорганізмів, рослин, тварин і людей).

Слід пам'ятати, що деякі важкі метали (наприклад, Cu, Zn, Co) у невеликих кількостях є мікроелементами, необхідними для нормального росту і розвитку живих організмів. Так, дефіцит Co помітно впливає на активність ґрунтових мікроорганізмів, здатність бобових рослин поглинати атмосферний азот, кількість урожаю та перешкоджає нормальному розвитку тварин і людей, викликає анемію Аддісона-Бірмера, неврологічні розлади, необоротну загибель нервових клітин. Нестача його особливо помітна у кістковому мозку та нервовій тканині. Кобальт бере участь у процесах кровотворення (активує синтез еритропоєтину – гормону, який підвищує продукцію еритроцитів), сприяє синтезу м'язових білків, гормонів щитовидної залози, впливає на асиміляцію азоту та обмін вуглеводнів. Сполуки кобальту також поліпшують засвоєння заліза, ретинолу, токоферолу ацетату, аскорбінової кислоти й посилюють синтез вітаміну В₁₂. Існують встановлені норми добової потреби кобальту для нормального функціонування людини (14-78 мкг) [28, 30].

Однак тривалий вплив надмірних доз кобальту обумовлює хронічні захворювання верхніх дихальних шляхів, органів кровотворення, нервової системи, шлунково-кишкового тракту, алергічні симптоми: бронхіальну астму та алергодерматози, а також кобальтову кардіоміопатію та ін. Надмірна кількість доступного рослинам кобальту негативно позначається на розвитку рослин і знижує врожай зернових, бобових та інших культур [28, 30].

Відомо також, що різні сільгоспкультури мають неоднакову потребу в мікроелементах і суттєво різняться за здатністю накопичувати важкі метали. Так, вміст у ґрунті міді (Cu) на рівні 0,1-0,2 мг/кг цілком задовольняє потреби зернових, бобових культур і картоплі, але при цьому є недостатнім для нормального росту і розвитку коренеплодів і овочів, особливо в умовах інтенсивної культури землеробства [21, 22, 31]. Тому, будуючи оцінювальну шкалу якості ґрунтів за вмістом важких металів, не можна обмежуватись виключно прив'язкою до ГДК, лінійно збільшуючи бальну оцінку ґрунту у разі зменшення вмісту токсину. Необхідно враховувати той факт, що низький вміст окремих ВМ у ґрунтах насправді може бути дефіцитом мікроелементів, який також призводить до зменшення кількості і якості врожаю сільгоспкультур.

3.3. У розрахунку балів бонітетів мають бути враховані дія поліелементного забруднення ґрунтів і рослинницької продукції та синергізму й антагонізму різних забрудників, а також рухомість, біологічна доступність і фітотоксичність різних сполук ВМ і толерантність сільгоспкультур до впливу токсикантів.

Існує значна кількість відомостей про взаємодію важких металів між собою, що може підсилити, або, навпаки, частково знівелювати їх токсичний вплив на біологічні об'єкти. Так, що стосується Co, відомо про його гео- та біохімічний антагонізм із Fe через їх здатність розташовуватись в одних позиціях кристалічних структур та подібність їх металоорганічних сполук. Науковими експериментами доведено також антагоністичність

відносин між Zn і Cd, Cu, Fe; Cu і Fe, Mo та ін. Так, накопичення Cd, Co, Cr, Pb, Ni, Mn, Zn викликає дефіцит Fe у рослинах [30, 34]. За певних умов може спостерігатись синергізм між Cu та Ni або Mn або між Cd та Pb або Fe чи Ni [30].

Так, за результатами серії польових дослідів лабораторії, проведених під керівництвом А.І. Фатєєва, було констатовано, що забруднення ґрунту одним із чотирьох елементів (Cd, Pb, Ni або Cr) призводить до збільшення вмісту у ґрунті кислоторозчинних форм інших трьох перелічених елементів. При цьому, зниження врожаю зеленої маси ячменю відбувається вже за забруднення на рівні 2 кларків від фонового: під дією одного з елементів – на 46,6-57,3 %, а за сукупного впливу Cd, Pb, Ni і Cr – на 61,5 % [35].

Біологічна вразливість і толерантність рослин до негативного впливу забруднюючих речовин залежить від специфічних реакцій їх різних видів і значної кількості зовнішніх факторів, у тому числі, різноманітних фізико-хімічних процесів, що протікають у ґрунті. Так, мінералізація органічної речовини в ґрунті, завдяки дії мікробів з утворенням низькомолекулярних органічних сполук, що діють як хелатори, може збільшити рухливість та доступність мікроелементів [36]. Істотно відрізняється також здатність окремих видів рослин транспортувати важкі метали від коренів до пагонів, створюючи ризики для здоров'я людини [37-39].

Стійкість окремих видів рослин до високого вмісту ВМ у навколишньому середовищі і їх спроможність накопичувати надмірну кількість токсикантів є, з одного боку, позитивним явищем, оскільки дозволяє вирощувати їх на сильно забруднених територіях, у т.ч. для фітореMediaції, але з іншого – сприяє надходженню ВМ до продуктів харчування і шкодить здоров'ю населення.

Так, дослідження бразильських учених щодо накопичення важких металів лікарськими рослинами, які широко використовуються у складі ліків та дієтичних добавок, показали, що концентрації токсичних елементів істотно змінювались у рослинах різних видів практично за всіма елементами. Коефіцієнт варіювання становив від 50 до 245 % [40].

3.4. Відомості, наведені у п.п. 2 і 3 обумовлюють необхідність уведення принципу оцінювання якості ґрунтів за потребами рослин у мікроелементах і особливостями накопичення металів окремими сільськогосподарськими культурами, що передбачає необхідність вибору основних культур для загального і часткового бонітування ґрунтів.

Нагадаємо, що запорукою продовольчої безпеки держави є зернові культури. Саме за їх економічною оцінкою визначається диференційований рентний дохід для орних земель і абсолютний рентний дохід для всіх видів угідь у межах фіскальної та експертної грошової оцінки [2].

На нашу думку є цілком логічним орієнтуватись саме на зернові культури у визначенні загального бонітету, базуючись на специфічних вимогах інших зональних культур для обрахування часткових бонітетів.

3.5. Концептуальний підхід повинен враховувати здатність сільгоспкультур накопичувати важкі метали із навколишнього середовища, що оточує оцінюваний ґрунтовий різновид (атмосферне повітря, опади, стічні та зрошувальні води).

Надмірний вміст важких металів у ґрунтах і рослинах може мати різні джерела надходження. Так, дослідженнями китайських учених було виявлено, що високі концентрації важких металів у ґрунтах Ліяньюаня на 33,6 % зумовлені їх фоновим вмістом, на 26,1 % – атмосферною емісією, на 23,4 % – промисловими видами діяльності та на 16,9 % – аграрним виробництвом. Такі елементи, як Zn, Cu та Cd, переважно були наслідками сільськогосподарської та промислової діяльності, а Pb, Sb, Hg та As – атмосферного осадження залишків від спалювання вугілля. Основними джерелами Hg, Cd, Mo і V були промислові практики, такі як видобуток вугілля, хімічна та металоплавильна промисловість. Материнські породи відіграли важливу роль у збагаченні ґрунтів Mn, Cr та Fe [41].

Як відмічалось вище, коректне оцінювання якості ґрунтів на землях сільгосппризначення передбачає врахування дії чинників зовнішнього впливу (атмосферне повітря, опади, стічні та зрошувальні води тощо), що тісно пов'язані з ґрунтом у складній комплексній системі для вирощування сільгоспкультур.

Ця думка, що панує у західній науці, маючи в Україні лише окремих прихильників [18, 42], безпосередньо підтверджується результатами наших досліджень, проведених упродовж 2014-2015 рр. у зонах негативного впливу атмосферних викидів підприємств енергетичної й хімічної промисловості (Зміївська теплоелектростанція (ТЕС) та Авдіївський коксохімічний комбінат). Тоді ми констатували факти аеротехногенного походження надмірного вмісту Fe, Cd, Ni, Cr, Pb та Cu у рослинній продукції за відносно невисокого вмісту ВМ у ґрунтах (таблиця).

Таблиця

Забрудненість території важкими металами під впливом аеральної емісії підприємств енергетичної та хімічної промисловості (на прикладі Зміївської ТЕС та Авдіївського коксохімічного комбінату)

Важкі метали	Частка території з надмірним умістом ВМ, % до загальної площі			
	Зміївська ТЕС		Авдіївський коксохімічний комбінат	
	ґрунт ¹	рослинна продукція ²	ґрунт ¹	рослинна продукція ²
Zn	-	-	-	-
Cu	-	< 10	> 25	> 30
Pb	-	> 70	-	> 80
Ni	-	-	-	> 50
Cr	< 10	> 80	-	> 80
Cd	нема даних	> 30	нема даних	> 60
Fe	нема даних	нема даних	нема даних	> 80

¹ метод аналізування проб ґрунту - за ДСТУ 4770.1-4770.9 з ААБ рН 4.8;

² метод аналізування проб рослинної продукції - за МВВ 31-497058-016

Надмірність вмісту Cr, Ni і Pb у ґрунтах і рослинах визначали відносно ГДК (або МДР), Cd і Fe – лише за ГДК у продовольчій сировині й МДР у кормах для сільгосптварин (через відсутність нормативів ГДК у ґрунтах).

За результатами цієї роботи ми дійшли висновку, що здійснення процедур щодо оцінки й сертифікації земель сільгосппризначення потребує обов'язкового включення аналізів тест-рослин за еколого-токсикологічними показниками, оскільки через обмеженість ґрунтової діагностики неможливо точно оцінити ризики забруднення рослинної сировини.

Тестування рослин на вміст ВМ має й інший позитивний момент для бонітування ґрунтів – щодо дискусійного питання «Чи варто відділяти природне походження аномально високого вмісту важких металів у ґрунтах від антропогенного?». Головним індикатором тут має бути реакція сільгоспкультур і рівень накопичення в них ВМ, тобто, кількість і якість урожаю, незалежно від походження забруднення ґрунту.

3.6. Методи визначення вмісту важких металів у ґрунтах і тест-рослинах потрібно вибирати з урахуванням мети й специфіки бонітувальних робіт.

У світовій практиці існує безліч різних методів діагностування вмісту ВМ у ґрунтах і рослинах, недоліки й переваги яких широко висвітлено у науковій літературі. Утім, найбільш цікавими для бонітування ґрунтів є такі, що мають широке розповсюдження на території України, досить сучасні, застосовуються як наукою, так і виробництвом, більш-менш точно відображують кількість біологічно доступних рослинам сполук, і за якими вже зібрано достатню кількість масових даних щодо вмісту ВМ у ґрунтах і сільгоспкультурах на території України.

Більшість аналітичних методів, чинних в Україні, мають певні недоліки для використання у бонітувальних роботах. Деякі з них вже застаріли і фактично не використовуються, інші (наприклад, із використанням однонормальної солянокислої витяжки або «Царської водки») не мають адекватних нормативів відносно потреб сільгоспкультур і не дають адекватної інформації щодо вмісту біологічно доступних форм мікроелементів. Нещодавно гармонізовані стандарти (ДСТУ ISO) ще не мають широкого

розповсюдження на території країни. Відповідно, відсутній достатній масив фактичних даних, зібраних за цими методами у ґрунтово-кліматичних умовах України, немає напрацьованої наукової експериментальної бази, нормативів забезпеченості різних ґрунтів мікроелементами згідно з потребами зональних культур, ГДК важких металів у ґрунтах і рослинах тощо.

Тому оптимальним вибором для цілей бонітування ґрунтів України нині є такі методи: для ґрунту – атомно-абсорбційної спектрофотометрії з використанням буферної амонійно-ацетатної витяжки з рН 4,8 за ДСТУ 4770.1-4770.9; для рослинної продукції – МВВ 31-497058-016.

3.7. Алгоритмами і математичними моделями для оцінювання впливу важких металів на врожайність і якість сільськогосподарської продукції має бути врахована буферна здатність ґрунтів щодо важких металів.

Біологічна доступність ВМ може істотно змінюватись залежно від ґрунтово-кліматичних умов. За результатами попередніх досліджень ми виділили три класи буферності ґрунтів щодо мікроелементів і важких металів [34], як «здатності ґрунтів підтримувати вміст найбільш доступних для рослин форм цих елементів на відносно постійному рівні і протистояти зовнішнім факторам впливу, які направлені на зрушення цього рівня» [35].

До низькобуферних ґрунтів із найвищою рухомістю ВМ та найбільшим ризиком їх накопичення сільгоспкультурами віднесено буроземні, дерново-підзолисті, ясно-сірі й сірі лісові ґрунти легкого гранулометричного складу у зонах Полісся та Карпат. Середньобуферними є більшість ґрунтів зони Лісостепу й легкі ґрунти Степу. Високобуферними, зі здатністю створення продукції задовільної якості за умов помірного забруднення ВМ є ґрунти середнього і важкого гранулометричного складу зони Степу. Ступінь буферності ґрунтів визначали за показниками $pH_{вод.}$, $pH_{сол.}$, вмісту фізичної глини (%) і гумусу (%) за градаціями, які запропонував В.Б. Ільїн [32].

Утім, результатами наших подальших досліджень [44] доведено, що залучення до статистико-математичного аналізу (квадратичні моделі) показника співвідношення в гумусі вмісту вуглецю гумінових і фульвокислот ($C_{ГК}/C_{ФК}$) істотно підвищує тісноту зв'язку між вмістом мікроелементів у ґрунті й у рослинах ($R = 0,95-0,99$), що дозволяє, з певною точністю, прогнозувати рівень накопичення мікроелементів культурами на фонових ґрунтах. Виявили, що різниця між розрахунковими і фактичними величинами у більшості випадків не перевищує 10 %. На нашу думку, введення відношення $C_{ГК}/C_{ФК}$ до складу показників буферності ґрунтів стосовно ВМ сприятиме зростанню точності у визначенні ступеню буферності ґрунту, а отже, й точності прогнозу щодо забруднення вирощуваної на ньому рослинної продукції.

3.8. Оцінювальні шкали слід розробляти зважаючи на локальність території забруднення ґрунтів важкими металами.

За результатами попередніх досліджень (2011-2013 рр.), якими було охоплено всю територію України, виявлено, що забруднення сільгоспземель важкими металами, переважно, має локальний характер, тобто, відмічаються лише окремі ареали забруднених ґрунтів, які пов'язані з великими індустріальними центрами, де найбільше переважає промислова та сільськогосподарська діяльність людини. До того ж, відмічаються певні біогеохімічні провінції з аномально високим природним вмістом важких металів, де доволі складно отримати санітарно-гігієнічно чисту рослинну продукцію навіть за фонових умов [23].

За нашими підрахунками [45], загальна площа забруднених важкими металами земель сільськогосподарського призначення в Україні становить 1552 тис. га, окрім цього – 25 тис. га забруднених сільгоспземель розташовано вздовж автомобільних магістралей.

У той же час, загальна площа орних ґрунтів в Україні становить 34,4 млн га. Отже, застосування індикаторів забруднення ґрунтів ВМ як основних критеріїв бонітування означатиме надмірну перевантаженість алгоритмів обрахування бонітетів для більшості незабруднених ґрунтів. Цілком логічним є впровадження таких індикаторів у розрахунки як модифікаційних критеріїв до вже розроблених методик бонітування ґрунтів поряд з поправковими коефіцієнтами на інші негативні властивості ґрунтів.

3.9. Система оцінювання може враховувати можливість змішування сільгосппродукції з надмірним і дефіцитним вмістом мікроелементів для досягнення оптимальної якості і залишення забруднених ґрунтів в аграрному виробництві.

Сільськогосподарську сировину, яка помірно забруднена деякими ВМ, можливо розбавляти чистою продукцією з дефіцитом цих мікроелементів. З одного боку, такий підхід надає змогу одержати збалансоване за вмістом мікроелементів зерно, з іншого – залишити (у разі такої необхідності) у складі сільгоспземель ділянки, забруднені Zn, Cu, Co, Fe або Mn і здобувати на них дохід, незважаючи на невідповідність вирощеної продукції нормативам вмісту ВМ у кормах і продовольчій сировині (ГДК, МДР). Тож, діапазони оцінювальних шкал за такими елементами мають охоплювати доволі широкий діапазон ступенів забруднення ґрунту, у т.ч. таких, де вміст ВМ істотно перевищує величини ГДК у ґрунті й рослинній продукції.

3.10. Універсальність системи оцінювання якості техногенно забруднених ґрунтів за вмістом важких металів для їх бонітування надасть змогу застосовувати її з різними методиками бонітування ґрунтів.

Розроблена система оцінювальних модифікаційних критеріїв на вміст важких металів у ґрунтах має бути універсальною, тобто, адаптованою для використання у розрахунках як за відкритою, так і за замкнутою 100-бальною оцінювальною шкалою.

Вона повинна бути придатною для використання як за чинною методикою бонітування ґрунтів, так і за новітніми концепціями оцінювання якості ґрунтів, способи застосування поправкових коефіцієнтів у яких відрізняються від традиційних. Передбачається, що загалом буде розроблено декілька варіантів модифікаційних таблиць, які зможуть гармонійно увійти до алгоритмів обрахунку бонітетів за декількома, найбільш відомими концепціями бонітування ґрунтів.

4. Заключення

Запропоновано новий концептуальний підхід до удосконалення процедури загального й часткового бонітування, який передбачає розробку серії оцінювальних шкал модифікаційних критеріїв на вміст важких металів у ґрунтах. Критерії мають бути ранжовані згідно з буферністю ґрунтів щодо важких металів і видами сільськогосподарських угідь (рілля, сіножаті, багаторічні насадження, пасовища).

Здійснення оцінювальних процедур щодо забрудненості земель потребує залучення даних аналізування тест-рослин на вміст ВМ, оскільки одна лише ґрунтова діагностика не дає точної інформації щодо ризиків забруднення сільськогосподарської продукції і його впливу на здоров'я тварин та населення.

Бали бонітетів повинні враховувати дію поліелементного забруднення, синергізму й антагонізму, рухомості й біологічної доступності різних сполук ВМ, толерантності сільгоспкультур, можливості розбавлення забрудненої і дефіцитної щодо вмісту Zn, Cu, Co, Fe або Mn сировини тощо.

Розроблена система оцінювання має бути універсальною, тобто, адаптованою для використання у розрахунках як за відкритою, так і за замкнутою 100-бальною оцінювальною шкалою, і придатною для застосування з найбільш відомими методиками бонітування ґрунтів України.

Розробка є першою спробою оцінити якість ґрунтів України у сучасному контексті «від поля до столу», враховуючи якість вирощуваної сільгоспсировини, її вплив на здоров'я людей і тварин.

Список використаної літератури

1. Закон України "Про оцінку земель" від 11.12.2003 № 1378-IV: за станом на 28.06.2015 / Верховна Рада України. Офіц. вид. на сайті Верховної Ради України <http://zakon2.rada.gov.ua>. Ідентифікатор - 1378-15.
2. *Про Методику* нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення та населених пунктів. Постанова Кабміну України від 23 березня 1995 р. № 213, Київ: за станом на 20.05.2015. Офіц. вид. на сайті Верховної Ради України URL: <http://zakon2.rada.gov.ua>. Ідентифікатор 213-95-п.
3. Allen D.E., Singh B.P., Dalal R.C. Soil Health Indicators Under Climate Change: A Review of Current Knowledge / In book "Soil Health and Climate Change", editors: Bhupinder Pal Singh, Annette L. Cowie, K. Yin Chan. Berlin: Publisher "Springer Berlin Heidelberg". Vol. 29 of the series Soil Biology. 2011. P. 25-45;

4. *Soil health* / USDA (United States Department of Agriculture). Natural Resources Conservation Service: URL: <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/> (дата звернення: 2017.09.02).
5. *Guidelines for Soil Quality assessment* in Conservation Planning / Friedman D., Hubbs M., Tugel A. [et al.], Editor B. Joubert. 2001. 48 p.
6. *Soil quality, properties, and functions in life cycle assessment: an evaluation of models* / Legaz B.V., Maia De Souza D., Teixeira R.F.M. [et al.]. Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 140. P. 502-515;
7. *Murillo P., Domínguez M.T., Murillo J.M.* Evaluation of pastures for horses grazing on soils polluted by trace elements. *Ecotoxicology*. 2009. Vol.18 (4). P. 417-428.
8. *De la Rosa D., Sobral R.* Soil Quality and Methods for its Assessment / In book "Land Use and Soil Resources", editors: Braimoh, Ademola K., Vlek, Paul. 2008. P. 167-200. DOI 10.1007/978-1-4020-6778-5. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-1-4020-6778-5> (дата звернення: 2017.09.04).
9. *MASQ: Monitoring and Assessing Soil Quality* in Great Britain. Countryside Survey Module 6: Soils and Pollution. R&D Technical Report E1-063/TR / H.I.J. Black, J.S Garnett, G. Ainsworth [et al.] Research Contractor: Centre for Ecology and Hydrology. Publishing Organisation Environment Agency, Rio House, Waterside Drive, Aztec West, Almondsbury, BRISTOL, BS32 4UD. 2002. 200 p.
10. *AbdelRahman M.A.E., Natarajan A., Hegde R.* Assessment of land suitability and capability by integrating remote sensing and GIS for agriculture in Chamarajanagar district, Karnataka, India, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. 2016. Vol.19. P. 125–141.
11. *Sonawane N.S., Sawant C.P., Patil R.V.* Soil Quality Assessment and Heavy Metal Contamination in Agricultural Soil in and around Toranmal (Triable Region) of Maharashtra. *Archives of Applied Science Research*. 2013. Vol. 5 (2). P. 294-298.
12. *Assessing the Suitability and Availability of Land for Agriculture* in Tuban Regency, East Java, Indonesia / Widiatmaka, W. Ambarwulan, Yu. Setiawan, Ch. Walter // *Applied and Environmental Soil Science*. 2016. Vol. 2016. Article ID 7302148. 13p. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/7302148> (дата звернення 2017.09.01).
13. *Warkentin B.P.* The changing concept of soil quality. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1995. Vol.50. No.3. P. 226-228.
14. *Heavy Metal Contamination of Soils: Sources, Indicators, and Assessment* / Z. He., J. Shentu, X. Yang [et al.]. *Journal of Environmental Indicators*. 2015. Vol. 9. P. 17-18.
15. *A Comparative Analysis of Environmental Quality Assessment Methods a Case Study of Heavy Metal-Contaminated Soil* / W. Li, X. Zhang, B. Wu [et al.]. *Pedosphere*. 2008. Vol. 18. Is. 3. P. 344–352; URL: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(08\)60024-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(08)60024-7) (дата звернення 2017.09.05).
16. *Zueng-Sang Ch.* Selecting indicators to evaluate soil quality. Food and Fertilizer Technology Center: URL: <http://www.agnet.org/library.php?func=view&id=20110808172707> (дата звернення: 2017.09.06).
17. *Кисель В.И.* Загрязнение почв тяжелыми металлами // Агроэкологическая оценка земель Украины и размещение сельскохозяйственных культур. Под ред. В.В.Медведева. К.: Аграрная наука, 1997. С. 114-125.
18. *Медведев В.В., Плиско И.В.* Бонитировка и качественная оценка пахотных земель Украины Х.: Друкарня № 13, 2006. 386 с.
19. *Розробити агрогеохімічне районування ґрунтів України та методологію діагностики стану хімічних елементів (мікроелементи, важкі метали) в системі ґрунт-рослина як основи оптимізації мікроелементного складу рослинницької продукції*: звіт про НДР (заключний) : 01.02.03-022 / ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»; керівник Фатеев А.І.; відповідальний виконавець : Мірошніченко М.М.; виконавці : Самохвалова В.Л. [та ін.]. Харків, 2010. 70 с. № ДР 0106U004786.
20. *Порівняльний аналіз екстрагентів для вилучення рухомих форм важких металів з чорноземів звичайних з метою нормування їх вмісту* / Я.В. Бородіна, А.І. Фатеев, І.Д. Жолудева, О.М. Ситіна // Агрохімія та ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник. Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського». 2011. № 74. С. 63-68.
21. *Бородіна Я.В., Фатеев А.І.* Патент на корисну модель № 89924 UA, МПК (2006.01) G01N 33/24 Спосіб оцінювання забезпеченості ґрунтів доступними формами мікроелементів для вирощування зернових культур; заявник та власник: Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». Заявка U 2013 10006; опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9.
22. *Оценка обеспеченности почв Украины подвижными формами микроэлементов для выращивания зерновых культур* / А.И. Фатеев, Н.Н. Миросниченко, Я.В. Бородина, А.М. Шемет // Агрохімія і ґрунтознавство. Спец. випуск до IX з'їзду УТГА «Охорона ґрунтів – основа сталого розвитку України», 30 червня-4 липня 2014 р., м. Миколаїв. Книга 1. Плен. Доп. Харків: Смуґаста типографія, 2014. С. 162-171.
23. *Оцінка придатності ґрунтів України для органічного землеробства за вмістом мікроелементів* / А.І. Фатеев, К.Б. Смірнова, Д.О. Семенов [та ін.]. Вісник аграрної науки. 2014. № 4. С. 5-9.
24. *Визначити межі впливу атмосферних викидів підприємств енергетичної та хімічної промисловості: звіт про НДР (заключний) : 07.01.02.05 П / ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»; керівник Фатеев А.І.; відповідальні виконавці : Семенов Д.О., Смірнова К.Б.; виконавці: Самохвалова В.Л. [та ін.]. Харків, 2015. 64 с. № ДР 0114U003070.*
25. *Методика визначення забезпеченості ґрунтів мікроелементами для потреб плодових насаджень та заходи з усунення їх нестачі у мінеральному живленні* / Демідов О.А., Костенко В.М., Фатеев А.І. [та ін.]. За ред. Фатеева А.І. Харків: КП «Міська друкарня», 2013. 61 с.
26. *Екологічна реабілітація техногенно забруднених важкими металами ґрунтів. Методика* / А.І. Фатеев В.Л. Самохвалова, О.В. Мандрика [та ін.]. За ред. А.І. Фатеева, В.Л. Самохвалової. Харків: ТОВ «Смуґаста типографія», 2016. 147 с.
27. *Алексеев Ю.В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
28. *Омери І.Д.* Фізіологічні аспекти дії кобальту та кадмію на здоров'я людини. Культура безпеки, екології та здоров'я. 2010. № 3. 39-40 с.
29. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование: Словарь справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.
30. *Kabata-Pendias A.* Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. 548 с.
31. *Важенин И.Г.* Методические указания по агрохимическому обследованию и картографированию почв на содержание микроэлементов. М.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1971. 79 с.
32. *Ильин В.Б.* Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам // Агрохімія. 1995. № 10. С. 109-113.

33. Пащенко Я.В. (Бородіна Я.В.) Буферна здатність торфових ґрунтів відносно важких металів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : [спец] 06.01.03 «Агрохімія» / ННЦ "Ін-т ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського" . Харків, 1996. 25 с.
34. A New Method of Environmental Assessment and Monitoring of Cu, Zn, As, and Pb Pollution in Surface Soil Using Terricolous Fruticose Lichens / Yu. Sueoka, M. Sakakibara, S. Sano, Y. Yamamoto // *Environments*. 2016. Vol. 3. № 35.; doi:10.3390/environments3040035. URL: <http://www.mdpi.com/2076-3298/3/4/35/html> (дата звернення: 2017.09.06).
35. Журавльова І.М. Агрохімічні аспекти проявлення токсичності важких металів у системі ґрунт-рослина : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : [спец] 06.01.04 «Агрофізика» / ННЦ "Ін-т ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського" . Харків, 24 с.
36. *Effects of Various Amendments on Trace Element Stabilization in Acidic, Neutral, and Alkali Soil with Similar Pollution Index* / M.S. Kim, H.G. Min, S.H. Lee, J.G. Kim. *PLOS ONE*. 2016. Vol. 11. 12 p. DOI:10.1371/journal.pone.0166335 (дата звернення: 2017.09.06).
37. *Assessment of heavy metal tolerance in two plant species growing in experimental disturbed polluted urban soil* / J. Rodríguez-Vocanegra, N. Roca, An. Febrero, J. Bort. *Journal of Soils and Sediments*; doi:10.1007/s11368-017-1666-8 (дата звернення: 2017.09.06).
38. *Торсуоғл В. Heavy Metal Mobility and Bioavailability on Soil Pollution and Environmental Risks in Greenhouse Areas / Bülent Торсуоғлу. IJAEE*. 2016. Vol. 3, Is. 1. P. 208-213.
39. *Assessment of Trace Element Intake through Some Vegetables to the Population of Mumbai* / P Singhal, S.K Jha, V.K. Thakur [et al.] *Vitam Miner*. Vol. 5, Is.1. DOI:10.4172/2376-1318.1000135. (дата звернення: 2017.09.06).
40. *Silva P.S.C. Francisconi L.S., Gonçalves R.D.M.R. Evaluation of Major and Trace Elements in Medicinal Plants. J. Braz. Chem. Soc*. 2016. Vol. 27, No. 12. P. 2273-2289.
41. *Spatial distribution and source identification of heavy metals in surface soils in a typical coal mine city, Lianyuan, China* / J. Liang, Ch. Feng, G. Zeng [et al.] *Environmental Pollution*. 2017. Vol. 225. P. 681-690.
42. Серый А.И., Оголенко Н.А. Современные методы бонитировки почв в УССР (Обзор информ.). Укрининти. Сер. 31.1 Земледелие, агрономия, с.-х. мелиорация. Киев, 1987. 36 с.
43. *Нормування вмісту мікрофіксованих форм важких металів у ґрунтах* / А.І. Фатєєв, М.М. Мірошніченко, Я.В. Бородіна [та ін.] *Вісник аграрної науки*. 2011. № 9. С. 41-44.
44. *Патент на корисну модель № 105541 UA, МПК (2006.01) G01N 33/24 Спосіб прогнозування рівня накопичення мікроелементів у сільськогосподарських культурах на фонових ґрунтах* / А.І. Фатєєв, Д.О. Семенов, К.Б. Смірнова, А.М. Шемет; заявник та власник: Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». Заявка у 2015 08913; опубл. 25.03.2016, Бюл. № 6.
45. *Меліорація ґрунтів* (систематика, перспективи, інновації). За ред. С.А Балюка, І.М. Ромащенко, Р.С. Трускавецького. Херсон: Гринь Д.С., 2015. 668 с.

UDK 631.147:631.416.9:631.81.095.337

Basic principles of soil quality assessment in the content of heavy metals**K.B. Smirnova*, A.I. Fatjejev****NSC "Institute of Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine**E-mail: k_smirnova@meta.ua

In modern foreign works, soil quality is mainly associated with "soil health", that is, its ability to function as an important living ecosystem that supports plants, animals and humans. The assessment of soil quality in Ukraine is traditionally based on the ability of the soil to produce a certain amount of crop, while its environmental-toxicological condition and the related changes in the quality of agricultural produce grown, its impact on the health of the population and farm animals are still ignored. With the help of system, complex, comparative and logical-analytical methods, on the basis of generalization of their own experimental data and analysis of literature sources, the authors formulated the main principles for assessing soil quality by heavy metal content. A new conceptual approach to improving the procedure for general and partial assessment is proposed, which involves the development of a series of assessment scales of modification criteria for the content of heavy metals in soils. The criteria should be ranked according to the buffering of soils with respect to heavy metals and agricultural land types (arable land, hayfields, perennial plantations, pastures). The importance of attracting to the evaluation procedures the analysis of test plants for the content of heavy metals, the effects of polyelement contamination, synergism and antagonism, mobility and bioavailability of heavy metals, tolerance of crops, the possibility of diluting contaminated and deficient in content of Zn, Cu, Co, Fe or Mn agricultural products and the like. Development is the first attempt to assess the quality of soils in Ukraine in the modern context "from field to table", taking into account the quality of agricultural produce grown and its impact on the health of people and farm animals.

Keywords: soil assessment; soil quality; soil health; heavy metals; crop yield; agricultural products quality; modification criterion; test-plants.