

Є. М. Улько,
к. е. н., доцент, доцент кафедри економіки та бізнесу,
Державний біотехнологічний університет,
с. н. с. відділу інноваційної економіки, зовнішніх зв'язків та інформатизації наукових
досліджень, ННЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського"
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1626-410X>

DOI: 10.32702/2306-6814.2023.11.85

НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СТАЛОГО УПРАВЛІННЯ РЕМЕДІАЦІЄЮ ЗАБРУДНЕНИХ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ГРУНТІВ

Y. Ulko,
PhD in Economics, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Economics and Business, State Biotechnological University,
Senior Scientific Researcher of the Department of Innovative Economics, External Relations and Informatization of Scientific
Research, National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky"

THE SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL BASIS OF SUSTAINABLE MANAGEMENT TO REMEDIATE POLLUTED OF HEAVY METALS SOILS

Метою дослідження даної статті є розгляд та узагальнення науково-методологічних основ сталого управління ремедіацією забруднених важкими металами ґрунтів. На підставі численних публікацій наукових робіт розкрито спільні концептуальні положення сталого управління земельними (ґрунтовими) ресурсами, зокрема, які відповідають категорії сталого управління ремедіації техногенно забруднених ґрунтів. Спільним для цих дефініцій є те що вони передбачають науково-теоретичні та прикладні рішення щодо збереження та відтворення родючості ґрунтів мірами та способами, які дозволяють запобігти розвитку їх деградації. Результати монографічних розвідок засвідчують, що виробники, які застосовують практики сталого управління земель одержують до дворазової переваги у вартості рослинництва порівняно з тими, які їх не дотримуються. Уточнено невідворотність процесу зміни візії агробізнесу з виключно ресурсноорієнтованого або споживацького на відтворювальний тип, ядром якого виступає суспільна відповідальність та створення стійкого зовнішнього середовища аграрного сектора національної економіки. Розроблено концептуальний підхід щодо забезпечення сталого управління ремедіацією ґрунтів забруднених важкими металами, який на методологічному рівні створює базис поєднання оцінювання збитків у наслідок техногенного забруднення, проведення економічної оцінки змін за меліоративними заходами та широкого застосування нормативної грошової оцінки земель (ґрунтів) підданих забрудненню в єдиному комплексі аграрних проєктів, що базуються на інноваційних методах детоксикації та деконтимінації ґрунтів, зосереджуючи методичні прийоми з поглиблення біоремедіації земель завдяки підбору рослин-ремедіантів на ланках сівозміни використовуючи методику оптимізації згідно з комбінаторним сполученням.

The purpose of the research is to review and generalize the scientific and methodological foundations of sustainable management to remediate polluted of heavy metals soils. On the basis many publications of scientific works, common conceptual provisions for sustainable management of land (soil) resources were revealed, in particular, which correspond to the category of sustainable management to remediate of technogenically polluted soils. Overall these definitions that they provide scientific-theoretical and applied solutions for preserving and restoration the fertility of soils by measures and methods that allow to prevent the development their degradation. The results of the monographic studies show that producers who apply sustainable land management practices receive up to a two-fold advantage in the cost of crop production compared to those who do not follow them. A mechanism for establishing sustainable management of soil remediation has been developed, which consists in improving the institutional environment, strengthening already existing institutions and the need for new organizational structures to regulate land relations in the context effective and ecologically safe use of land (soil) resources. The inevitability change to vision for agribusiness from an exclusively resource-oriented or consumerist to a reproductive type, the core of which is social responsibility and the creation of a stable external environment at agrarian sector of the national economy, is clarified. The given spatial distribution by normative monetary evaluation (NME) of arable land and fallow land according to stochastic models of contamination by mobile forms lead and cadmium indicates two extreme cases that negatively impact on value of NME. The first is associated with a fairly low content of the pollutant in the soil, which is much lower than the natural background, and the second is due to its excess above maximum permissible concentration (MPC). Therefore, it is proposed to take this provision into account when carrying out sustainable management to remediate polluted of heavy metals soils, which involves regulation into account the pollutants at lithogenic origin and preventing anthropogenic manifestations. A conceptual approach has been developed to ensure sustainable management to remediate polluted of heavy metals soils, which at the methodological level creates a basis for combining damage assessment as a result to technogenically pollution, carrying out an economic assessment changes due to remediate measures and wide application of normative monetary evaluation by contaminated land (soil) to common complex for agricultural projects based on innovative methods of soil detoxification and decontamination, focusing on methodological techniques for deepening bioremediation of land to selection the remedial plants at the crop rotation links using optimization techniques by combinatorically.

Ключові слова: агробізнес, важкі метали, ґрунт, деградація земель, економічна оцінка, земельні (грунтови) ресурси, інновації, нормативно грошова оцінка, оптимізація сівозміни, проект, ремедіація, стале управління.

Key words: agribusiness, heavy metals, soil, land degradation, economic assessment, land (soil) resources, innovations, normative monetary evaluation, optimization of crop rotation, project, remediation, sustainable management.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Однією з причин деградації ґрунтів є забруднення їх важкими металами. До них відносяться такі забруднювачі як свинець, кадмій, мідь, цинк, нікель, ртуть та інші. Вони крайнє негативно впливають на ґрунтовий стан, його якість, спричиняють негативні зміни щодо придатності для сільськогосподарського обігу. У цілому накопичення важких металів у ґрунті веде до зміни кислотно-лужного балансу (pH), істотно зменшує природну спроможність ґрунтового-вбирного комплексу (буферність), знижує родючість ґрунту, а землі перетворюються в токсично забруднені та малопродуктивні. Проблема ускладнюється й тим, що погіршення структури ґрунтового профілю та зменшення вмісту в ньому органічної речовини посилює розвиток інших видів деградації земель, у тому числі ерозії [1].

У зв'язку з цим відбувається зменшення кількості придатних земель для ведення сільськогосподарського виробництва, біорізноманіття, безповоротно втрачається продуктивний потенціал агроєкосистем, зокрема недоодержується продукція рослинництва, тваринництва та інших галузей. Збитки операційної діяльності зрештою позначаються на конкурентоспроможності галузі, і непомірна шкода завдається для подальшого розвитку інституцій національної економіки [2—4]. Остання стосується кризи довкілля, екологічні наслідки в цьому процесі посідають ключове місце, а токсичне забруднення земельних (ґрунтових) ресурсів зрештою завдає шкоди здоров'ю людей та загострює соціальні виклики [5; 6].

Забезпечення сталого розвитку сільського господарства та екобезпеки країни є досить амбітним завдан-

ням. Для досягнення якого має бути обов'язково окреслена зона відповідальності всіх учасників цього процесу та одночасно активно здійснюватися екологічне просвітництво в суспільстві [7].

Крім того, виключна поведінка агробізнесу щодо орієнтування тільки на прибуток з одночасним нехтування вимог у галузі землевпорядкування, землеустрою, переважним недотриманням законів ґрунтознавства, рослинництва, використання неощадливих та землемістких агротехнологій, незадовільне та/або неналежне виконання нормативно-правових актів, а також вітчизняних і міжнародних стандартів екологічної безпеки є тим хибним шляхом який, і на далі унеможливить формування сталого управління земельними (ґрунтовими) ресурсами [8]. Доцільно зрозуміти, що стале управління це виключно відповідальна сфера агробізнесу, в якому чітко мають дотримуватись конкретно поставлені цілі сталого розвитку, які є загальноприйнятими в світі і, які ухвалені ООН.

З огляду на вищевикладене науковий напрям дослідження є актуальним. Водночас стале управління землями потребує детального розгляду проблем пов'язаних із забрудненням важкими металами ґрунтів і розробкою ефективного механізму з їхньої ремедіації.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Стале управління землями сільськогосподарського призначення постає важливе з огляду на глобальні зміни клімату. Це посилює виклики в системі його управління, а неправильна організація господарського чи в цілому ринкового обігу земель зрештою веде до погіршення їхньої функціональності та надання екосистемних послуг. Збереження та відновлення агропродовольчих функцій ґрунтів позитивно впливає на їх потенціал, тим самим посилюючи конкурентоспроможний розвиток сільського господарства та агропродовольчого комплексу країни [9; 10].

Як стверджує академік НААН України С. А. Балюк та ін. [11, с. 4], першочерговим завданням є забезпечення сталого використання та відновлення деградованих ґрунтів, тобто регулювання навантаження на ґрунти та врахування встановлення динамічної рівноваги між антропогенним навантаженням на природне середовище та його здатністю до самовідновлення шляхом визначення граничних значень потенціалу стійкості. При цьому дослідження з даної проблеми у рамках програми Світового банку доводять, що одним із ліпших шляхів в системі сталого управління земельними (ґрунтовими) ресурсами полягає у запобіганні деградації землі, оскільки це більш дешевший і ефективніший спосіб, ніж реабілітація сильно деградованих земель [12, с. 17].

Детальні дослідження стійкості управління потенціалом ґрунтів вказують на коло актуальних проблем і досить диференційований підхід у їх вирішенні. Тобто для кожного з таких варіантів є властивим особиста модель чи спосіб щодо недопущення розвитку негативних наслідків у землекористуванні [13]. У світі щорічно через недосконалу практику управління землями втрачається понад 75 млрд ґрунту т, ступінь їх деградації досить розлогий, а площа сильно деградованих земель становить близько 2 млрд га. Відтак, це призводить до

істотної екологічної шкоди, змін у кліматі та впливає на добробут людства [14]. Як стверджує N. Haregeweyn та ін. [15, с. 11], що серед проаналізованих наукових статей рецензованих журналів (у кількості понад 1181 од. упродовж 1992—2020 рр.) і практик сталого управління землями (зареєстровано понад 1900 од. у 129 країнах), де метою розгляду більшості з них є пошук шляхів щодо пом'якшення (зменшення) деградації земель, водночас інші питання такі як адаптація до змін клімату, збереження біорізноманіття та економічні вигоди були дослідженими набагато менше.

Дослідження Н. Etsay та ін. [16, с. 12] визначили, що інституційна підтримка та доступ до базової інфраструктури вплинули на загальне подальше використання практик сталого управління землями та переваг домогосподарств щодо цих практик, а саме для тих суб'єктів які використовували такі практики, то у них вартість рослинницької продукції була на 77—100 % більше, ніж у тих, хто їх не дотримувався. Як стверджує W. L. Filho та ін. [17, с. 555], щоб досягти успіху в зусиллях спрямованих на відновлення екосистем, які на початку десятиліття ООН прийняті в Порядку денному на період до 2030 року, перед нами виникли завдання для яких потрібно зробити більше.

Багатофакторність впливу на землеустрій та пов'язана стратегія щодо забезпечення дохідності сільськогосподарства поєднуються у загальній схемі сталого управління земельними (ґрунтовими) ресурсами. У даній структурі безпосереднє місце посідають державна політика та інституції, без яких досягти сталого розвитку не можливо [18, с. 22]. Однак, S. Meredith [19, с. 7] пропонує вже на даному етапі внести зміни в модель сталого управління, які формують нову екологічну архітектуру ЄС в рамках спільної аграрної політики.

Для України в цьому напрямі відмічаються як не-ефективна державна політика (агрополітика), так і недостатньо розвинені інституції, що неуможливлює здійснення сталого управління земельними (ґрунтовими) ресурсами. Так, серед топ-5 загроз стану системи охорони ґрунтів в аграрному секторі України, дві з них прямо стосуються деградації ґрунтів і ще одна викликів через зміни клімату й антропогенну діяльність. До того ж дане становище ускладнюється у зв'язку з відсутністю повноважного національного органу направлено на вирішення саме зазначених проблем [20, с. 41—42].

Зважаючи на вагомий вклад закордонних і вітчизняних науковців щодо методологічної основи сталого управління земельними (ґрунтовими) ресурсами, однак не достатньо досліджено проблеми теоретичного й науково-практичного забезпечення сталого управління ремедіацією забруднених важкими металами ґрунтів. Тому необхідність висвітлення концептуальних підходів у формуванні інноваційних засад щодо сталого управління ремедіацією техногенно забруднених ґрунтів послугувало у виборі теми та формулювання мети дослідження, визначило наукові шляхи розв'язку поставлених завдань.

МЕТА СТАТТІ

Розвинути та узагальнити науково-методологічні основи сталого управління ремедіацією забруднених важкими металами ґрунтів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Стале управління родючістю ґрунтами безпосередньо пов'язано з протидією та запобіганням розвитку деградаційних процесів, які чинять негативний вплив на педосферу. Не винятковим у цьому контексті є й питання, які тісно пов'язані з такою науковою й практичною проблематикою як забруднення ґрунтів важкими металами. Загрози із-за забруднення ґрунтів різноманітними важкими металами як в Україні, так і закордоном щорічно посилюються, оскільки, як правило, причиною їх виникнення є надмірний антропогенний тиск на навколишнє середовище, урбанізація території та недбайливе господарське використання природних ресурсів. Рідше це літогенна природа виникнення забруднення ґрунтів. Тому центральним ланцюгом у цьому різноманітті векторів забруднення важкими металами припадає саме на ґрунти.

На даний час оцінка лише економічних збитків через деградацію ґрунтів по Україні становить 1,315 млрд дол США, у тому числі в наслідок забруднення ґрунтів щорічно втрачається близько 106 млн дол США [21, с. 80]. Проте капітальні вкладення на консервацію та рекультивацію техногенно забруднених ґрунтів є суттєві, а втрати врожаю відбуваються упродовж їх вилучення з господарського обігу, який може тривати десятиліття.

Розгляд літературних джерел показує, що існують різноманітні способи й шляхи ремедіації забруднених важкими металами ґрунтів. Так, S. Halid та ін. [22, с. 5] розглядають хімічні, біологічні та фізичні методи очищення ґрунтів, але водночас зазначили, що на підставі опитування, яке проведене за підтримки Європейської комісії, обраховані щорічні втрати суспільства у зв'язку забруднення ґрунтів становлять близько 17,3 млрд євро. Застосовуючи поділ антропогенних джерел забруднювачів (важкими металами), де запропоновано S. M. Ross [23], щоб переважну більшість з них можливо відносити до таких як 1) сільське господарство (Zn, As, Pb, Cd, Cu, Se, U); 2) видобуток і виплавка металів (Cd, Pb, As, Hg); 3) промисловість (Cd, Hg, As, Cr, Cu, Co, Ni, Zn); 4) утилізація відходів (As, Pb, Cu, Cd, Cr, Zn, Hg); 5) осадження в атмосфері (As, Pb, Cr, Hg, Cu, Cd, U). Як бачимо небезпечними для довкілля вони є всі, але загрозу до накопичення одночасно з усіх антропогенних джерел відмічаються за кадмієм (Cd) і миш'яком (As), свинцем (Pb), мідь (Cu) і ртуть (Hg) зустрічаються в чотирьох з п'яти груп, інші хімічні елементи дещо менше.

У контексті сталого розвитку ґрунтових ресурсів та їх ефективному управлінню все більшого значення набуває біологізація землеробства, а одержання органічної продукції базується на дотриманні високих екологічних стандартів [24; 25]. Методи ремедіації забруднених важкими металами ґрунтів теж постають з технологій пов'язаних із природними процесами саморегуляції ґрунтового покрива.

У цілому А. Thome та ін. [26, с. 186] зазначають, що кожна з технологій ремедіації техногенно забруднених ґрунтів має свої особливості, обмеження, переваги та недоліки, однак жоден універсальний метод не здатний задовільнити всі потреби, однак учені підкреслюють і те що нині в ЄС лише тільки визначених забруднених важкими металами територій понад 342 тис. ділянок, а

за оцінками їх близько 2,5 млн од. При цьому для очищення лише виявлених забруднених площ щорічно потрібно близько 6 млрд євро. У свою чергу за дослідженням А. В. Кучера та ін. [5], в Україні частка площі сільськогосподарських угідь забруднених свинцем становить 23,9 %, а забруднених кадмієм — 20,9 %, у той же час щорічні умовні економічні збитки (втрати) за свинцем і кадмієм згідно до стохастичної моделі перевищення ГДК (гранично допустимої концентрації) відповідно становить 6814 млн грн і 106,2 млн грн.

До того ж визначено, що за нормативною грошовою оцінки ріллі та перелогів (НГО), вартість угідь забруднених свинцем на 3,2 % менше порівняно з середнім рівнем, а у випадку забруднення кадмієм на 5,7 % [6, с. 293]. Однак новаційна методика НГО, яка стала досить чутливою до відповідних якісних характеристик ґрунтів і, зокрема від умісту гумусу, адекватно показує про неоднорідність просторового розподілу, а такі наслідки через забруднювачі є більш істотними [27—29].

Забруднення важкими металами, в основному, має локальний характер. Найбільше забруднені території зустрічаються поблизу промислових центрів, великих виробництв і транспортних магістралей. Потрапляючи у ґрунт, важкі метали постійно мігрують, переходячи в ту, чи іншу форму хімічних сполук — частина піддається гідролізу, інші можуть утворювати важкорозчинні сполуки та закріплюватися у ґрунтового середовищі. У ґрунті важкі метали можуть знаходитися у трьох станах: необмінному, обмінному й водорозчинному. Причому в процесах акумуляції та трансформації металів беруть участь всі види вбирної здатності ґрунтів.

Між іншим рослини, як і всі живі організми, можуть протидіяти підвищенню концентрації важких металів лише до певної межі, а подальше збільшення концентрації призводить до пригнічення і загибелі живих організмів. Тому наслідком накопичення важких металів у верхніх шарах ґрунту є збіднення видового складу рослин та мікроорганізмів і погіршення умов росту та розвитку культурних рослин.

Аналіз літературних джерел доводить, що в боротьбі із забрудненням ґрунтів важкими металами та в управлінні процесом їх ремедіації важливу роль відіграє науково-технологічна база та сукупність новацій у цьому напрямі. Гармонійне поєднання сучасних методик і своєчасне господарське застосування прийомів ремедіації дозволяє достатньо швидко відновити властивості ґрунтів і гарантувати безпечність їх використання. Проте такі заходи потребують інвестицій у контроль (моніторинг) стану ґрунтів, які знаходяться в зоні (ймовірності) небезпеки щодо техногенного забруднення, або, в гіршому випадку, — спрямування грошових коштів, трудових та інших ресурсів на ліквідацію наслідків шкочинних подій (ситуацій).

Економічна оцінка умовних збитків (втрат) завданих земельному капіталу через забруднення земель (ґрунтів) рухомими формами свинцю та кадмію в Україні згідно до залишків стохастичних моделей наведено на рис. 1 і 2.

Залишки НГО ріллі та перелогів згідно до стохастичної моделі факторів впливу за рухомими формами свинцю вказують на щільний розподіл до лінії теоретичного значення (рис. 1). Дана лінія відповідає умові нор-

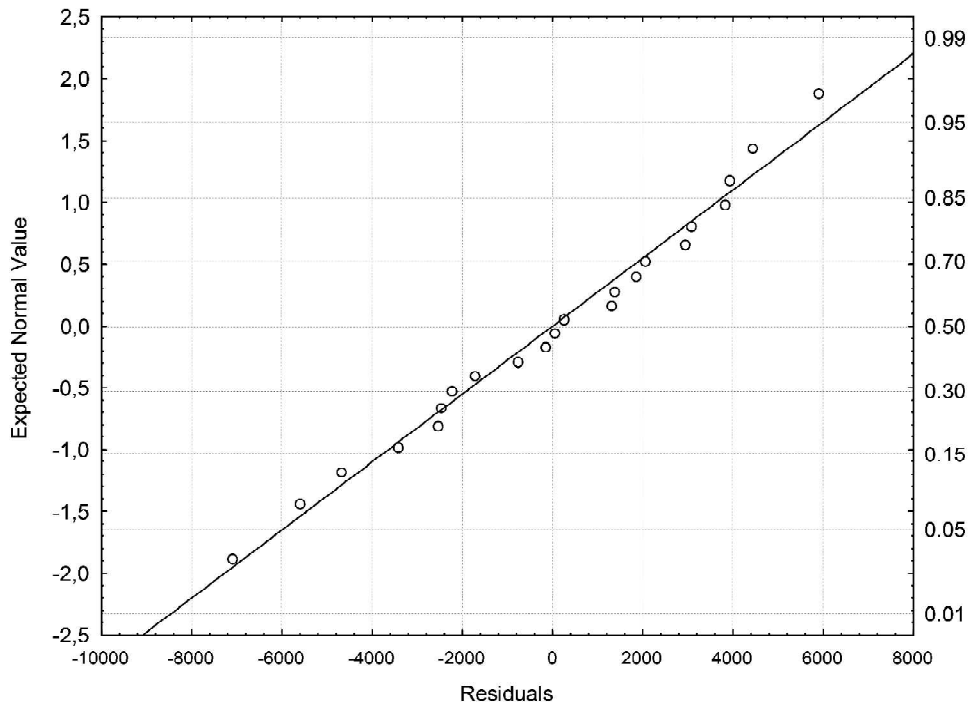


Рис. 1. Нормальний розподіл залишків НГО ріллі та перелогів за варіантом стохастичної моделі забруднення с.-г. угідь рухомими формами свинцю

Джерело: обрахунок автора та згідно до стохастичних моделей [6, с. 279].

мального розподілу випадкової величини НГО ріллі та перелогів. Вона свідчить про відсутність істотних відхилень одержаної за регресії величини НГО ріллі та перелогів у відповідності до нормального розподілу, а на всьому проміжку ймовірність такого розподілу випадкової величини відбувається як від від'ємного значення, так і до позитивного, коли фактичний перевищує роз-

рахунковий рівень. Із ймовірністю у 0,05 щодо нормального розподілу потрапляє лише один випадок відхилення НГО, також за ймовірності в 0,95 потрапляють в проміжок за виключенням одного, але всі вони розподіляються у в інтервалі ймовірності, яка становить 1. Загалом розподіл очікуваних залишків НГО ріллі та перелогів перебуває в межах відхилення задовільняючи статистич-

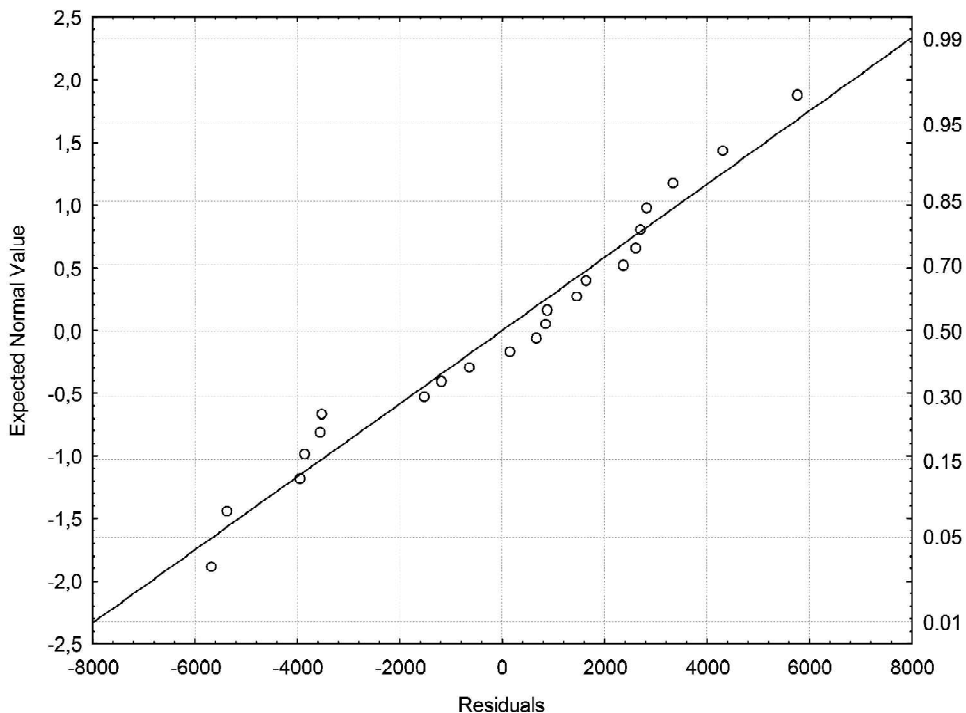


Рис. 2. Нормальний розподіл залишків НГО ріллі та перелогів за варіантом стохастичної моделі забруднення с.-г. угідь рухомими формами кадмію

Джерело: обрахунок автора та згідно до стохастичних моделей [6, с. 279].

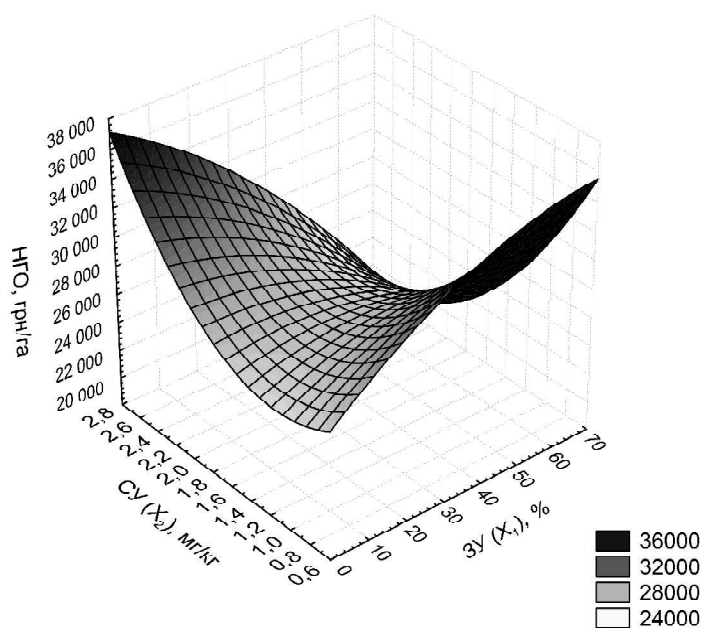


Рис. 3. Просторовий розподіл величини НГО ріллі й перелогів залежно від частки забруднення площі с.-г. угідь (усі категорії господарств) та середньозваженого умісту рухомих форм свинцю в Україні, грн/га¹

¹ Умовні позначення: ЗУ (X_1) — забрудненою політантами у відсотках від усієї площі; СУ (X_2) — середньозважений уміст (концентрація) політанта у кг ґрунту за ацетатно-амонійного буферного розчину, мг.

Джерело: обрахунок автора та згідно до стохастичних моделей [6, с. 279].

ний критерій нормального розподілу в $\pm 2\sigma$. Між іншим на кінцях лінії нормального розподілу величини залишків НГО ріллі та перелогів не проявляють будь-яких суттєвих відхилень від теоретичного значення, а такий розподіл залишків моделі відбувається згідно з очікуваною ймовірністю стандартного відхилення.

У варіанті із забрудненням рухомими формами кадмію (рис. 2), залишки стохастичної моделі НГО ріллі та перелогів переважно узгоджуються з теоретичними значеннями відповідно до лінії нормального розподілу. Проте мають місце деякі незначні відхилення залишків у відповідності зі стандартною величиною, зокрема це відмічається переважно при перевищенні розрахункової величини над фактичним значенням НГО ріллі та перелогів. І, навпаки, при перевищенні фактичного значення над теоретичним, розподіл залишків НГО відбувається більш щільніше до лінії нормального розподілу. Тим не менше розподіл залишків стохастичної моделі забруднення земель рухомими формами кадмію досить добре описується згідно нормального розподілу залишків даної моделі. Аналогічного до попереднього випадку зі свинцем, забруднення земель (ґрунтів) рухомими формами кадмію доводять, що розподіл залишків НГО ріллі та перелогів відбувається з досить близькою частотою, а саме з ймовірністю до 0,05 і понад 0,95 потрапило по одному випадку. У цілому очікуваний розподіл залишків НГО ріллі та перелогів за забрудненням кадмієм перебуває в інтервалі $\pm 2\sigma$. Слід зазначити, що таке відхилення в обох моделях у достатній мірі задовільняє величині ймовірності у 0,95 при оцінці самих регресій.

Таким чином, ми впевнилися у спроможності стохастичних моделей адекватно відображати величини порівняно до даних згідно з обстеженням забруднених земель (ґрунтів) як за свинцем, так і за кадмієм. При

цьому характер розподілу залишків моделей достатньо повно відповідає нормальному розподілу. Тому обрана специфікація моделей НГО ріллі та перелогів є у достатній мірі статистично обґрунтованою до стандартного відхилення.

Стохастичні моделі впливу забруднювачів на величину НГО ріллі та перелогів у просторовому розподілі (відображенні), який залежить від рухомих форм свинцю та кадмію, наведено на рис. 3 і 4. При цьому в обох випадках НГО ріллі та перелогів змінюється під впливом двох змінних: 1) забруднення політантами на площі угіддя (ЗУ або X_1), % та 2) середньозважений уміст (концентрація) політанта у кг ґрунту за ацетатно-амонійного буферного розчину (СУ або X_2), мг.

Дані моделі передбачають формування значень НГО ріллі та перелогів при обчисленні порівняльної характеристики умісту політантів порівняно з середньозваженим значенням, який відповідає ГДК. Так, ГДК рухомих форм свинцю та кадмію (ацетатно-амонійний буфер, рН 4,8) відповідно становить 2 і 0,7 мг/кг [5]. Саме у подальшому досліджується не сам вплив умісту політанта у ґрунті, а характер відношення політанта у порівнянні з граничним значенням, і вже саме від нього обраховані умовні економічні збитки (втрати) за продукцією, так і від зниження вартості земельних (ґрунтових) ресурсів [6].

Величина кореляції в моделі НГО ріллі та перелогів за факторами впливу рухомих форм свинцю становить 0,466, що відповідає помірній щільності зв'язку, а обрані фактори на 21,7 % пояснюють розклад у загальній дисперсії досліджуваної моделі. Середня похибка апроксимації становить 10,7 %, що вказує на хорошу точність для даної стохастичної моделі НГО (рис. 3).

На рис. 4 наведено просторовий розподіл величини НГО ріллі та перелогів, який залежить від факторів заб-

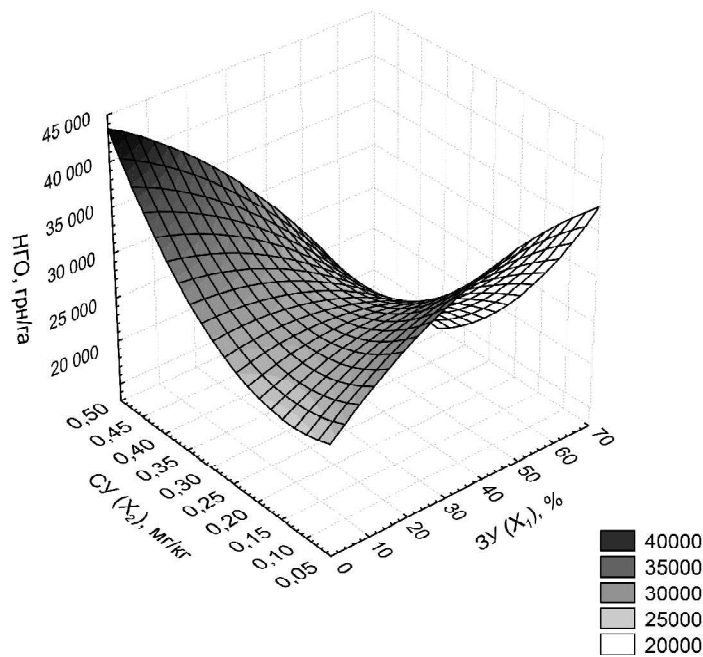


Рис. 4. Просторовий розподіл величини НГО ріллі й перелогів залежно від частки забруднення площі с.-г. угідь (усі категорії господарств) та середньозваженого умісту рухомих форм кадмію в Україні, грн/га¹

¹ Умовні позначення: ЗУ (X_1) — забрудненою політантами у відсотках від усієї площі; СУ (X_2) — середньозважений уміст (концентрація) політанта у кг ґрунту за ацетатно-амонійного буферного розчину, мг.

Джерело: обрахунок автора та згідно до стохастичних моделей [6, с. 279].

руднення земель (ґрунтів) рухомими формами кадмію, де для заданої стохастичної моделі коефіцієнт кореляції становить 0,564, що свідчить про середню щільність зв'язку. До того ж обрані фактори (змінні) на 31,8 % пояснюють розклад загальної дисперсії НГО ріллі та перелогів, а середня похибка апроксимації становить 10,2 %, характеризуючи про хорошу точність цієї моделі.

На рис. 4 наведено просторовий розподіл величини НГО ріллі та перелогів, який залежить від факторів забруднення земель (ґрунтів) рухомими формами кадмію, де для заданої стохастичної моделі коефіцієнт кореляції становить 0,564, що свідчить про середню щільність зв'язку. До того ж обрані фактори (змінні) на 31,8 % пояснюють розклад загальної дисперсії НГО ріллі та перелогів, а середня похибка апроксимації становить 10,2 %, характеризуючи про хорошу точність цієї моделі.

Однак просторовий розподіл величин НГО ріллі та перелогів за обома варіантами має досить подібну форму і між собою достатньо кореспондуються, хоча забруднювачі зовсім різні. Як бачимо на рис. 3 і 4 при низькому вмісті важких металів і частки забрудненої площі, то вартість земель (ґрунтів) за показником НГО є найнижчою. Такий же стан відмічається і в зворотному випадку, тобто в разі їх високого вмісту і істотної частки забрудненої площі величина НГО залишається найменшою. Але в міру зменшення умісту рухомих форм свинцю і кадмію або питомої ваги забрудненої площі цими важкими металами проявляється чітка тенденція до зростання величини НГО.

Тобто наявність забруднювачів у межах природного (фоновий) умісту, позитивно впливає на вартість земель (ґрунтів). Також досить висока вартість земель

них (ґрунтових) ресурсів досягається за відсутності перевищення умісту досліджуваних важких металів величини ГДК. Слід не допускати перебільшення граничних значень концентрації рухомих форм свинцю та кадмію, що є одним із суттєвих механізмів формування високої вартості земельного (ґрунтового) потенціалу та сталого управління земельними (ґрунтовими) ресурсами. До речі, вплив рухомих форм кадмію порівняно зі свинцем викликає більшу варіацію НГО ріллі та перелогів, а відтак, кадмієве забруднення суттєвіше впливає на зниження вартості земель (ґрунтів) у відповідності з даними моделями та це чітко відображається на просторовому розподілі досліджуваного показника.

Ремедіація забруднених важкими металами земель (ґрунтів) часто поєднується з їх меліорацією, а відтак, потребує інноваційних методів у збереженні і відтворенні продуктивності сільськогосподарських угідь, зростанні агропродовольчого потенціалу сільськогосподарства [30]. Вартісна оцінка земель (ґрунтів) набуває важливої ролі при здійсненні управління аграрними проєктами, зокрема оцінювання їхньої ефективності [31]. Інноваційна діяльність і розробка способів забезпечення сталого управління земельними (ґрунтовими) ресурсами покладається на їх економічну оцінку та виявлення резервів зростання їхньої вартості завдяки впровадженню сучасних і перспективних проєктів [32].

Важливість ремедіації біологічним способом є очевидним заходом. Тим більше біологічна детоксикація та деконтамінація ґрунтів є досить доступною технологією для агробізнесу, і в переважній чисельності випадків є достатньою, щоб зберегти допустимий фон забруднення без істотного втручання у ґрунтовий профіль. В. Л. Самохвалова [33] стверджує, що саме біологічні методи ремедіації забезпечують екологічно безпечне

поліпшення стану ґрунтів без кардинального втручання у природні процеси. Ученою розроблені інноваційні методи щодо ремедіації забруднених важкими металами ґрунтів, особливо привертає увага на поглиблення біологічних варіацій, поєднуючи рослини-меліоранти та їх спроможності до забезпечення екологічності та підвищення природного біологічного потенціалу як ґрунту, так і рослин [34; 35].

Аналіз літературних джерел та систематизація наукових пропозицій щодо ремедіації ґрунтів виокремлює, що в цьому напрямі існують два істотні підходи, один пов'язаний з очищенням ґрунтів на місці — "in situ", а інший з їх транспортуванням в спеціальні місця для подальшого очищення — "ex situ". Перший варіант є менш затратним і тим самим економічно ефективнішим [36]. До високоефективних біологічних заходів із очищення забруднених важкими металами земель відносяться такі як вилучення забруднювачів за допомогою рослин-накопичувачів; використання бактерії *Ralstonia metallidurans* та інших мікроорганізмів, фітоекстракція, фітодеградація, фітотолеранція, фітостабілізація тощо [33].

Переходячи до мінімізації використання синтетичних добрив на користь (перевагу) органічним, особливо утилізації стічних вод, побутових відходів та інших небезпечних джерел щодо забруднення ґрунтів потрібно надавати новачкам у сфері переробки на високоступні й поживні органічні добрива такі як різноманітні компости та біодобрива, зокрема органно-мінеральні [5; 37].

Між тим застосовуючи новітні технології та дотримуючись підходу щодо "in situ" ефективним шляхом є більш широке застосування фіторемедіації, що передбачає розширення спектра застосування фіторемедіантів домінуючих трав'янистих дикоростучих видів рослин конкуруючих родин *Asteraceae*, *Fabaceae* та *Roaseae* з їх чергуванням у просторі і часі для вилучення важких металів різних класів небезпечності з ґрунтів [36].

У цьому випадку потрібно раціонально відібрати послідовність сільськогосподарських культур здатних найбільш ефективно очищувати ґрунти. Комбінаційне сполучення за ланками культур дає змогу сформулювати модель сівозміни, яка передбачає одержання найбільшого ефекту від впровадження кращих сівозмін під час ремедіації ґрунту, пошук оптимального значення оцінюється за критерієм r^* .

$$r^* = \arg \max_{r \in R^* \subset R} W[r, l(r, k)],$$

де r^* — оптимальне значення елемента комбінаторної множини; W — критерій оптимізації системи підбору сільськогосподарських культур фіторемедіаційного спрямування; r — комбінаторна множина за входними значеннями сільськогосподарських культур; l — вектор набору власних критеріїв; k — витрати на очищення ґрунту, грн/га.

Узагальненням результатом даної моделі є відповідний кортеж $\langle r^*, W^*, l^* \rangle$, який одержаний завдяки комбінаторному обчисленню, де відбувається перебір сільськогосподарських культур з екологічними обмеженнями на властивості попередників у формуванні оп-

тимальної сівозміни. Дані пропозиції становлять невід'ємну складову в системі сталого управління ремедіацією забруднених важкими металами ґрунтів, поруч із іншими проблемами науково-методологічного забезпечення сталого управління ґрунтовими ресурсами [38].

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Стале управління ремедіацією забруднених важкими металами ґрунтів є крайнє важливою та багатогранною науковою та прикладною проблемою, оскільки в цьому контексті не існує єдиного погляду на її вирішення. Разом з тим аналіз різнобічних літературних джерел доводить, що важливим місцем є нагальна потреба у безпосередньому дослідженні методології формування ефективного механізму управління ремедіацією ґрунтів та окреслення дієвих підходів, які поєднують питання екологічної та економічної ефективності, здійснення заходів, зокрема новацій в даній сфері. Головною рисою сталого управління земельними (ґрунтовими) ресурсами має стати відповідальність агробізнесу перед суспільством, розвиток стійкого зовнішнього середовища товаровиробників. На таких засадах варто базувати й управління ремедіацією техногенно забруднених ґрунтів.

Визначено, що концептуальною моделлю сталого управління ремедіацією забруднених важкими металами ґрунтів покладається на економічну оцінку, зокрема запропоновано використовувати нормативно грошову оцінку (НГО) земель. Приведені стохастичні моделі доводять про існування кореляції на НГО ріллі та перелогів від таких факторів як 1) забруднення політантами на площі угіддя ($ЗУ$ або X_1), % та 2) середньозважений уміст (концентрація) політанта у кг ґрунту за ацетатно-амонійного буферного розчину ($СУ$ або X_2), мг.

Підтверджено, що розподіл залишків величин НГО ріллі та перелогів при забрудненні рухомими формами свинцю та кадмію відповідає нормальному розподілу і знаходиться в інтервалі . Тим самим наявні відхилення в обох моделях у достатній мірі задовільняє величині ймовірності у 0,95 при оцінці самих регресій. Незважаючи на слабку для варіанта зі свинцем і середню для варіанту з кадмієм щільність кореляційного зв'язку, середня похибка апроксимації для цих моделей становить 10,7 % і 10,2 % відповідно, характеризуючи їх з хорошою прогнозною точністю. Однак, варіація обраних показників у загальній дисперсії НГО ріллі та перелогів при забрудненні свинцем становить 21,7 %, а кадмієм — 31,8 %. Однією з причин низького відгуку НГО ріллі та перелогів пов'язано зі специфікою чинної методики нормативної грошової оцінки земель, що досить слабо корелює з бонітетом земель або, навіть, дає обернений зв'язок.

Просторовий розподіл величин НГО ріллі та перелогів доводить, що існують крайні випадки у формуванні їх розміру. Перший стосується умісту досліджуваних забруднювачів (рухомих форм свинцю та кадмію) у межах природного фону, а інший перевищуючи ГДК. Останній варіант в жодному разі є недопустимим, він шкодочинно впливає на ґрунти, а в економічному відношенні завдає істотні збитки. Проте і в першому варіанті, де досить низька частка земель забруднених

важкими металами нижче природного рівня, відмічається негативний вплив на грошову вартість земель (грунтів).

Відтак, за можливості необхідно включити в сільськогосподарські проєкти економічну оцінку земель (грунтів), зокрема за НГО. Тобто стале управління ремедіацією забруднених ґрунтів важливо здійснювати у визначених межах і зберігати ґрунти від непомірного умісту забруднювача, не перевищуючи природного фону, і підходячи до цієї проблеми індивідуальним чином, у тому числі передбачаючи здійснення заходів у відповідності до розроблених проєктів щодо реабілітації ґрунтів. З проведених досліджень випливає, що стале управління ремедіацією забруднених важкими металами ґрунтів слід здійснювати з врахуванням нормоутворення політантів літогенного походження, але водночас унеможливаючи антропогенний характер їх виникнення.

Узагальнено, що інноваційні підходи з ремедіації забруднених важкими металами ґрунтів є перспективним напрямом для подальшого формування механізму сталого управління земельними (грунтовими) ресурсами, а численні способи біоремедіації є економічно ефективними, технологічно доступними агровиробникам та найголовніше екологічно безпечними. Отже, для посилення біоремедіації ґрунтів запропоновано використання комбінаторних прийомів завдяки кращому підбору рослин-ремедіантів на ланках сівозмін.

Подальші наукові розвідки слід провадити у напрямі розробки економетричних моделей з різними варіантами удосконалення методичного підходу з НГО земель (грунтів) та оцінюванні новітніх способів біоремедіації техногенно забруднених земельних (грунтових) ресурсів.

ПОДЯКА

Автор висловлює глибоку вдячність за цінні поради та висловлені ідеї, використані в цьому дослідженні, докторам екон. наук Кучеру А.В. та Кучер Л.Ю. Деякі з матеріалів і висновків є частиною проведених досліджень у рамках НДР "Стратегія й інноваційні технології переробки органічних відходів тваринництва в контексті забезпечення нейтральної деградації земель: від лінійної до циркулярної економіки", № д.р. 0122U001484.

Література:

1. Soil erosion indication by magnetic methods in Kharkiv region / Kruglov O. et al. Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. 2018. Vol. 3. P. 36—44.
2. Улько Є. М. Формування прибуткового виробництва як важіль управління конкурентоспроможністю зернової галузі. Вісник ХНАУ. Сер.: Екон. науки. 2015. № 3. С. 75—88.
3. Улько Є. М. Інституціональна складова економічного розвитку тваринництва на основі диференціації впливу інституцій та інститутів. Вісник ХНАУ. Сер.: Екон. науки. 2015. № 2. С. 131—142.
4. Улько Є. Інституційне забезпечення сталого розвитку тваринництва в Україні. Економічний дискурс. 2016. Вип. 1. С. 71—81.
5. Кучер А. В., Улько Є. М., Анісімова О. В. Науково-методологічні засади визначення економічної ефек-

тивності застосування інновацій у сфері охорони й раціонального використання ґрунтових ресурсів: моногр.; за ред. чл.-кор. АЕНУ А.В. Кучера. Харків: ФОП Бровін О.В., 2021. 312 с.

6. Улько Є., Москаленко А., Кучер А., Павленко О., Сербов М. Економічна оцінка наслідків забруднення ґрунтів у системі сталого управління землями. *Agricultural and Resource Economics*. 2022. Т. 8. № 4. С. 266—300.

7. Улько Є. М. Стратегія екобезпеки держави щодо сталого управління земельних (грунтових) ресурсів України під дією глобальних змін клімату. Зелена економіка та низьковуглецевий розвиток: глобальні виклики та реалії за умов повоєнного часу: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, Україна, 16 груд. 2022 р.). К.: ДЕУ, 2022. С. 53—57.

8. Улько Є. Організаційно-економічні основи управління проєктами землевпорядкувань агробізнесу щодо забезпечення сталості агроєкосистем. *Journal of Innovations and Sustainability*, 2022. 6 (3), 06.

9. Ulko Ye. M. The methodological to sustainable management of land (soil) resources on the base a cost evaluation in Ukraine. Modern aspects of modernization of science: status, problems, development trends: Materials of the 26th International Scientific and Practical Conference (Zagreb, Croatia, 7 November 2022). 2022. P. 422—429.

10. Улько Є. М. Оцінка рівня конкурентоспроможності галузі рослинництва та роль в цьому процесі земельного потенціалу. Економічний потенціал країни: теоретичні засади та практика реалізації: зб. наук. пр. з акт. питань екон. наук. Дніпро: Гельветика, 2016. С. 146—159.

11. Балюк С., Воротинцева Л., Захарова М. Стале управління ґрунтовими ресурсами у контексті адаптації до змін клімату. Вісник Львівського університету. Сер.: географ. 2017. Вип. 51. С. 3—10.

12. Sustainable Land Management: challenges, opportunities, and trade-offs. The World Bank. USA, Washington DC. 2006. 112 p.

13. Моделі системного управління потенціалом родючості ґрунтів (на прикладі Харківської і Волинської областей) / за наук. ред. С. А. Балюка, Р. С. Трускавецького. Харків: Стильна типографія, 2018. 116 с.

14. Alemu M. M. Sustainable Land Management. *Journal of Environmental Protection*. 2016. № 7. P. 502—506. <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2016.74045>.

15. Progress and challenges in sustainable land management initiatives: A global review / Haregeweyn N. et al. *Science of Total Environment*. 2023. 858.

16. Etsay H., Negash T., Aregay M. Factors that influence the implementation of sustainable land management practices by rural households in Tigray region, Ethiopia. *Ecological Processes*. 2019. 8:14.

17. Filho W. L., Azeiteiro U. M., Setti A. F. F. Challenges in sustainable land use management. *Sustainability in Natural Resources Management and Land Planning*. 2021. P. 553—556. http://doi.org/10.1007/978-3-030-76624-5_31.

18. Strategies for sustainable land management and poverty reduction in Uganda / Nkonya E. et al. International food policy research institute. Research report 133. USA. Washington, DC. 2004. 136 p.

19. Meredith S. Getting to the roots of sustainable land management: A briefing on the Common Agricultural Policy in the EU Post-2020. Institute for European Environmental Policy. 2019. 16 p.
20. SWOT-аналіз системи охорони ґрунтів і нормативно-правове забезпечення регулювання відтворення родючості / за ред. акад. НААН С. А. Балюка, чл.-кор. АЕНУ А. В. Кучера. Харків: ФОП Бровін О.В., 2018. 44 с.
21. Kucher A. V. Sustainable soil management in the formation of competitiveness of agricultural enterprises: monograph. Plovdiv: Academic Publishing House "Talent", 2019. 444 p.
22. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils / Khalid S. et al. Journal of Geochemical Exploration. 2017. 182. P. 247—268.
23. Toxic metal in soil-plant systems / S. M. Ross (Ed.). University of Bristol, Bristol, UK, published by Wiley. 1994. 484 p.
24. Ulko Ye. Management of soil (land) resources based on the development of projects on biologicalization of agricultural production. Integration of scientific and modern ideas into practice: proceedings of the VIII International scientific and practical conference. (Stockholm, Sweden, 15—18 November 2022). 2022. International Science Group. P. 123—126. <http://doi.org/10.46299/ISG.2022.2.8>.
25. Улько Є. Оцінка економічної ефективності інновацій в органічному землеробстві. Agricultural and Resource Economics. 2019. 5 (3). С. 118—141.
26. Thome A., Reginatto C., Vanzetto G., Braun A. Remediation technologies applied in polluted soils: new perspectives in this field. Proceedings of the 8th International Congress on Environmental Geotechnics. 2018. Vol. 1. P. 186—203.
27. Ulko Ye., Kucher A., Salkova I., Priamukhina N. Management of soil fertility based on improvement methodological approach to evaluation of arable land: case of Ukraine. Journal of Environmental Management and Tourism. 2018. IX. 7 (31). P. 1559—1569. [https://doi.org/10.14505//jemt.9.7\(31\).18](https://doi.org/10.14505//jemt.9.7(31).18).
28. Кучер А. В., Анісімова О. В., Улько Є. М. Ефективність інновацій для раціонального використання ґрунтів: теорія, методика, аналіз: моногр.; за ред. чл.-кор. АЕНУ А. В. Кучера. Харків: ФОП Бровін О. В., 2017. 275 с.
29. Улько Є. М. Методичні засади вдосконалення нормативної грошової оцінки ріллі за маркетинговими підходами. Вчені зап. ТНУ імені В. І. Вернадського. Сер.: Екон. і управл. 2018. Т. 29 (68). № 3. С. 34—43.
30. Ulko Y. Reproduction management of soil fertility for innovative approach in agromelioration of Ukraine. Technology Audit and Production Reserves. 2022. 4 (66). P. 24—32. <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.265575>.
31. Кучер Л., Дрокін С., Улько Є. Еколого-економічна ефективність зрощувальних проєктів у контексті змін клімату. Agricultural and Resource Economics. 2020. Т. 6. № 2. С. 57—77. <http://doi.org/10.51599/are.2020.06.02.04>.
32. Ulko Ye. Normative monetary evaluation (NME) of agricultural projects towards sustainable land and soil management. Journal of Innovations and Sustainability. 2023. 7 (1).
33. Самохвалова В. Л. Біологічні методи ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. Біологічні студії. 2014. Т. 8. № 1. С. 217—236.
34. Samokhvalova V. L. Remediation of contaminated soils using innovative methods. Proceedings of the Global Symposium on Soil Pollution. (Rome, Italy, 2—4 May 2018). 2018. Rome, Italy, FAO. P. 692—698.
35. Samokhvalova V. Innovative methods to remediate polluted soils. In Dmytruk Y., Dent D. (Eds.). Soil under stress. Springer, Cham. 2021. P. 227—239.
36. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів / Самохвалова В. Л. та ін. Агроекологічний журнал. 2015. № 1. С. 92—100.
37. Улько Є. М. Управління проєктом із переробки курячого посліду на якісний торфопослідний компост та забезпечення меліоративної дії з відтворення родючості ґрунтів. Агросвіт. 2018. № 17. С. 26—35.
38. Балюк С. А., Мірошніченко М. М., Медведєв В. В. Наукові засади сталого управління ґрунтовими ресурсами України. Вісник аграрної науки. 2018. Т. 96. № 11. С. 5—12. <http://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-01>.

References:

1. Kruglov, O. et al. (2018), "Soil erosion indication by magnetic methods in Kharkiv region", Visnyk KNU, vol. 3, pp. 36—44.
2. Ulko, Y. M. (2015), "Forming a profitable production as lever of management competitiveness grain branch", Visnyk KhNAU, vol. 3, pp. 75—88.
3. Ulko, Y. M. (2015), "Institutional component economic development animal husbandry based on differentiation influence of institutions and institutes", Visnyk KhNAU, vol. 2, pp. 131—142.
4. Ulko, Y. (2016), "Institutional provision livestock sustainable development in Ukraine", The Economic Discourse, vol. 1, pp. 71—81.
5. Kucher, A. V., Ulko, Ye. M. and Anisimova, O. V. (2021), Naukovo-metodolohichni zasady vyznachennia ekonomichnoi efektyvnosti zastosuvannia innovatsij u sferi okhorony j ratsional'noho vykorystannia gruntovykh resursiv [Scientific and methodological bases for assessment the economic efficiency of the application of innovations in the sphere of conservation and rational use of soil resources], Publisher Brovin, Kharkiv, Ukraine.
6. Ulko, Ye., Moskalenko, A., Kucher, A., Pavlenko, O. and Serbov, M. (2022), "Economic evaluation of the consequences of soil pollution in the system of sustainable land management", ARE, vol. 8, no. 4, pp. 266—300.
7. Ulko, Ye. (2022), "State eco-security strategy regarding the sustainable management of land (soil) resources of Ukraine under the influence of global climate changes", Zelena ekonomika ta nyz'kovuhlytsevyj rozvytok: hlobal'ni vyklyky ta realii za umov povoiennoho chasu: materialy III Mizhnar. nauk.-prakt. konf. [Green economy and low-carbon development: global challenges and realities in post-war conditions: materials of the III Intern. sc. and pract. conf], DEU, Kyiv, Ukraine, December 16th, pp. 53—57.
8. Ulko, Ye. (2022), "Organizational and economic basis of management projects of land planning in agri-

business to ensure the sustainable of agroecosystems", *Journal of Innovations and Sustainability*, vol. 6 (3), 06.

9. Ulko, Ye. M. (2022), "The methodological to sustainable management of land (soil) resources on the base a cost evaluation in Ukraine", *Modern aspects of modernization of science: status, problems, development trends: materials of the 26th Intern. sc. and pract. conf.*, Zagreb, Croatia, 7 November, pp. 422-429.

10. Ulko, Ye. M. (2016), "Assessment of the level of competitiveness of the crop industry and the role of land potential in this process", *Coll. of science work from act. economic issues of science*, Dnipro, pp. 146—159.

11. Baliuk, S., Vorotyntseva, L. and Zakharova, M. (2017), "Sustainable management of soil resources for adaptation to climate change", *Visnyk LU*, vol. 51.

12. The World Bank (2006), *Sustainable Land Management: challenges, opportunities, and trade-offs*, The World Bank, USA, Washington DC.

13. Baliuk, S. A. and Truskavetskyi, R. S. (2018), *Modeli systemnoho upravlinnia potentsialom rodiuchosti gruntiv (na prykladi Kharkivs'koi i Volyns'koi oblastej)* [Models of systemic management of soil fertility potential (on the example of the Kharkiv and Volyn regions)], Stylish printing house, Kharkiv, Ukraine.

14. Alemu, M. M. (2016), "Sustainable Land Management", *Journal of Environmental Protection*, vol. 7, pp. 502—506.

15. Haregeweyn, N. et al. (2023), "Progress and challenges in sustainable land management initiatives: A global review", *Science of Total Environment*, Vol. 858, no. 3.

16. Etsay, H., Negash, T. and Aregay, M. (2019), "Factors that influence the implementation of sustainable land management practices by rural households in Tigray region, Ethiopia", *Ecological Processes*, vol. 8:14.

17. Filho, W. L., Azeiteiro, U. M., and Setti, A. F. F. (2021), "Challenges in sustainable land use management", *Sustainability in Natural Resources Management and Land Planning*, pp. 553—556.

18. Nkonya, E. et al. (2004), *Strategies for sustainable land management and poverty reduction in Uganda*, IFPRI, Research report 133, Washington. DC, USA.

19. Meredith, S. (2019), *Getting to the roots of sustainable land management: A briefing on the Common Agricultural Policy in the EU Post-2020*, IEEP, Bruxelles, Belgium.

20. Baliuk, S. A. and Kucher, A. V. (Eds.) (2018), *SWOT-analiz systemy okhorony gruntiv i normatyvno-pravove zabezpechennia rehulivannia vidtvorennia rodiuchosti* [SWOT analysis of the soil protection system and normative-legal support for the regulation of fertility reproduction], Publisher Brovin, Kharkiv, Ukraine.

21. Kucher, A. V. (2019), *Sustainable soil management in the formation of competitiveness of agricultural enterprises: monograph*, Plovdiv, Bulgaria.

22. Khalid, S. et al. (2017), "A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils", *Journal of Geochem. Exploration*, 182, pp. 247—268.

23. Ross, S. M. (1994), *Toxic metal in soil-plant systems*, University of Bristol, Bristol. UK.

24. Ulko, Ye. (2022), "Management of soil (land) resources based on the development of projects on biologicalization of agricultural production", *Integration*

of scientific and modern ideas into practice: proceedings of the VIII Intern. sc. and pract. conf., ISG, Stockholm, Sweden, 15—18 Nov, pp. 123—126.

25. Ulko, Ye. M. (2019), "Evaluation of economic efficiency of innovations in organic agriculture", *Agricultural and Resource Economics*, vol. 5 (3), pp. 118—141.

26. Thome, A., Reginatto, C., Vanzetto, G. and Braun, A. (2018), "Remediation technologies applied in polluted soils: new perspectives in this field", *Proceedings of the 8th Intern. Congress on Environm. Geotech.*, vol. 1, pp. 186—203.

27. Ulko, Ye., Kucher, A., Salkova, I. and Priamukhina, N. (2018), "Management of soil fertility based on improvement methodological approach to evaluation of arable land: case of Ukraine", *Journal of Environmental Management and Tourism*, IX, vol. 7 (31), pp. 1559—1569.

28. Kucher, A. V., Anisimova, O. V. and Ulko, Ye. M. (2017), *Efektivnist' innovatsij dlia ratsional'noho vykorystannia gruntiv: teoriia, metodyka, analiz* [Efficiency of innovations for sustainable soil management: theory, methodology, analysis], Publisher Brovin, Kharkiv, Ukraine.

29. Ulko, Ye. M. (2018), "Methodical foundations of improvement of normative monetary evaluation of arable on marketing approaches", *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University*, vol. 29 (68), 3, pp. 34—43.

30. Ulko, Y. (2022), "Reproduction management of soil fertility for innovative approach in agromelioration of Ukraine", *Technology Audit and Production Reserves*, vol. 4 (66), pp. 24—32.

31. Kucher, L., Drokin, S. and Ulko, Y. (2020), "Ecological-economic efficiency of irrigation projects in the context of climate change", *Agricultural and Resource Economics*, vol. 6 (2), pp. 57—77.

32. Ulko, Ye. (2023), "Normative monetary evaluation (NME) of agricultural projects towards sustainable land and soil management", *Journal of Innovations and Sustainability*, vol. 7, no. 1.

33. Samokhvalova, V. L. (2014), "Biological methods of remediation of soils contaminated with heavy metals", *Biological studies*, vol. 8, no. 1, pp. 217—236.

34. Samokhvalova, V. L. (2018), "Remediation of contaminated soils using innovative methods", *Proceedings of the Global Symposium on Soil Pollution*, FAO, Rome, Italy, 2—4 May, pp. 692—698.

35. Samokhvalova, V. (2021), "Innovative methods to remediate polluted soils", *Soil under stress*, Springer, Cham, pp. 227—239.

36. Samokhvalova, V. et al. (2021), "Phytoremediation of technologically polluted soils", *Agroecological Journal*, vol. 1, pp. 92—100.

37. Ulko, Ye. (2018), "Managing the project on processing the chicken manure to the high-quality peat-based manure compost and ensuring the ameliorative action on restoration of the soil fertility", *Agrosvit*, vol. 17, pp. 26—35.

38. Baliuk, S. A., Miroshnychenko, M. M. and Medvediev, V. V. (2018), "Scientific bases of stable management of soil resources of Ukraine", *Bulletin of Agricultural Science*, vol. 11, pp. 5—12.

Стаття надійшла до редакції 27.05.2023 р.