



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

JEL: Q01, Q15, Q24, Q53, Q57

Євгеній Улько^{1,2}, Анатолій Москаленко³, Анатолій Кучер^{4,2,5},
Олена Павленко⁶, Микола Сербов⁶

¹Державний біотехнологічний університет

²ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»

³Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового
виробництва Національної академії аграрних наук України

⁴Національний університет «Львівська політехніка»

⁵Університет агробізнесу і сільського розвитку

⁶Одеський державний екологічний університет

¹⁻⁴Україна

⁵Болгарія

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА НАСЛІДКІВ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ У СИСТЕМІ СТАЛОГО УПРАВЛІННЯ ЗЕМЛЯМИ

Мета. Метою цієї роботи є висвітлення результатів економічного оцінювання наслідків забруднення ґрунтів важкими металами (на прикладі рухомих форм свинцю та кадмію) в системі сталого управління землями в аграрному секторі України.

Методологія / методика / підхід. У дослідженні використано такі методи: бібліометричний, кластерний, графічний (для визначення стану досліджень щодо забруднення ґрунтів у світі на основі бази Scopus і наочного представлення результатів); групування (для визначення впливу показників за часткою забруднення площі с.-г. угідь рухомими формами свинцю та кадмію на ефективність використання земель); економетричне моделювання (для побудови стохастичних моделей впливу забруднення ґрунтів важкими металами на нормативну грошову оцінку ріллі й ефективність використання земель (в оцінці за виробництвом валової продукції сільського господарства, у тому числі рослинництва на 1 га с.-г. угідь) у розрізі областей України); монографічний та абстрактно-логічний (для узагальнення результатів дослідження). Інформаційною основою є дані про забруднення ґрунтів на землях сільгосппризначення в розрізі областей України за результатами Х туру агрохімічного обстеження земель і дані Державної служби статистики України. Дані щодо публікаційної активності оброблено з використанням програми «VOSviewer», побудову й статистичну оцінку економетричних моделей здійснено за допомогою програми STATISTICA і мови програмування R.

Результати. Здійснено економетричне моделювання економічних резервів та оцінку наслідків (збитків) від забруднення ґрунтів важкими металами (на прикладі рухомих форм свинцю і кадмію) в регіонах України, що дало змогу розробити 14 стохастичних моделей. Установлено, що зменшення до прийнятних норм забрудненості свинцем ґрунтів України дозволить підвищити нормативну грошову оцінку ріллі на 3,2 % від середнього рівня, а резерв збільшення валової продукції сільського господарства та рослинництва в постійних цінах 2016 р. з розрахунку на 1 га с.-г. угідь відповідно становить 23,4 і 20,9 %. У разі подолання забрудненості кадмієм очікуване збільшення нормативної грошової оцінки ріллі становить 5,7 %, а резерв валової продукції сільського господарства та рослинництва з розрахунку на 1 га с.-г. угідь – відповідно 27,6 і 21,2 %.

Оригінальність / наукова новизна. Уперше розроблено економетричні моделі, що

дозволило здійснити кількісну оцінку впливу забруднення ґрунтів рухомими формами свинцю та кадмію на формування ефективності використання земель і нормативну грошову оцінку ріллі. Набули дальшого розвитку положення про формування системи сталого управління землями в аграрному секторі з урахуванням результатів економічного оцінювання наслідків забруднення ґрунтів. Це дослідження заповнює прогалини, виявлені в результаті бібліометричного й кластерного аналізу, а також сприяє кращому розумінню економічних резервів сталого управління землями в аграрному секторі України.

Практична цінність / значущість. Ключові результати дослідження можуть бути використані для (i) вдосконалення ґрунтоохоронної політики держави в частині сталого управління забрудненими ґрунтами в аграрному секторі; (ii) оцінювання та прогнозування впливу забруднення ґрунтів важкими металами на ефективність використання земель на регіональному рівні; (iii) оцінювання ефективності ремедіації забруднених важкими металами ґрунтів на макrorівні з урахуванням запобігання/мінімізації можливих збитків.

Ключові слова: аграрний сектор, забруднення ґрунтів, економічні резерви, економічні збитки, грошова оцінка земель, стале управління ґрунтами.

*Yevhenii Ulko^{1,2}, Anatolii Moskalenko³, Anatolii Kucher^{4,2,5},
Olena Pavlenko⁶, Mykola Serbov⁶*

¹*State Biotechnological University*

³*NSC “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research
named after O. N. Sokolovsky”*

³*Institute of Agricultural Microbiology and Agro-industrial Manufacture of the
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine*

⁴*Lviv Polytechnic National University*

⁵*University of Agribusiness and Rural Development*

⁶*Odesa State Environmental University*

¹⁻⁴*Ukraine*

⁵*Bulgaria*

ECONOMIC EVALUATION OF THE CONSEQUENCES OF SOIL POLLUTION IN THE SYSTEM OF SUSTAINABLE LAND MANAGEMENT

Purpose. *The purpose of this paper is to highlight the results of the economic evaluation of the consequences of soil pollution with heavy metals (on the example of mobile forms of lead and cadmium) in the system of sustainable land management in the agricultural sector of Ukraine.*

Methodology / approach. *The study used the following methods: bibliometric, cluster, graphical (to determine the state of research on soil pollution in the world based on the Scopus database and visual presentation of the results); grouping (to determine the influence of indicators by the share of contamination of the area of agricultural land with mobile forms of lead and cadmium on the efficiency of land use); econometric modeling (for the construction of stochastic models of the impact of soil pollution with heavy metals on the normative monetary value of arable land and the efficiency of land use (estimated by the production of gross agricultural products, including crop production per 1 ha of agricultural land) in the context of regions of Ukraine); monographic and abstract-logical (to summarize the results of the study). The information base is data on soil pollution on agricultural land in the regions of Ukraine based on the results of the X round of agrochemical survey of land and data from the State Statistics Service of Ukraine. Data on publication activity were*

processed using the "VOSviewer" program, construction and statistical evaluation of econometric models was carried out using the STATISTICA program and the R programming language.

Results. Econometric modeling of economic reserves and assessment of the consequences (losses) of soil contamination with heavy metals (using the example of mobile forms of lead and cadmium) in the regions of Ukraine was carried out, which made it possible to develop 14 stochastic models. It is established that the reduction of lead contamination of the soils of Ukraine to acceptable norms will allow increasing the normative monetary value of arable land by 3.2 % from the average level, and the reserve for increasing the gross agricultural products and crop production in constant prices of 2016 per 1 ha of agricultural land is 23.4 and 20.9 %, respectively. In the case of overcoming cadmium pollution, the expected increase in the normative monetary value of arable land is 5.7 %, and the reserve of gross production of agriculture and crop production per 1 ha of agricultural land is 27.6 and 21.2 %, respectively.

Originality / scientific novelty. For the first time, econometric models were developed, which made it possible to carry out a quantitative assessment of the impact of soil contamination with mobile forms of lead and cadmium on the formation of the efficiency of land use and the normative monetary assessment of arable land. The provision on the formation of a system of sustainable land management in the agricultural sector was further developed, taking into account the results of the economic assessment of the consequences of soil pollution. This study fills the gaps identified as a result of bibliometric and cluster analysis, and also contributes to a better understanding of the economic reserves of sustainable land management in the agricultural sector of Ukraine.

Practical value / implications. The key results of the research can be used for (i) improvement of the soil protection policy of the state in terms of sustainable management of contaminated soils in the agricultural sector; (ii) assessment and forecasting of the impact of soil pollution with heavy metals on the efficiency of land use at the regional level; (iii) evaluation of the efficiency of remediation of soils contaminated with heavy metals at the macro level, taking into account the prevention/minimization of possible losses.

Key words: agricultural sector, soil pollution, economic reserves, economic losses, land monetary value, sustainable soil management.

Постановка проблеми. У світі проблема забруднення ґрунтів набула глобального характеру, про що свідчить хоча б те, що у 2018 р. у штаб-квартирі Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО) відбувся Глобальний симпозіум із забруднення ґрунту (GSOP18), під час якого обговорено ключові питання про стан, тенденції та дії (наукові, технічні, технологічні й політичні) щодо поліпшення забруднених ґрунтів, загрозливих наслідків проблеми забруднення ґрунту для здоров'я людини, безпеки харчових продуктів та якості довкілля загалом. Однак актуальному питанню економіки охорони ґрунтів від забруднення до теперішнього часу приділяється відносно мало уваги.

Як зазначено у звіті ФАО «Global Assessment of Soil Pollution», забруднення ґрунту невидиме для людського ока, але воно погіршує якість продукції, яку ми споживаємо, води, яку ми п'ємо, та повітря, яким ми дихаємо, і ставить під загрозу здоров'я людини та довкілля. Забруднення не знає кордонів: забруднювачі поширюються по наземних і водних екосистемах, і багато з них розповсюджуються в усьому світі шляхом атмосферного перенесення. Крім того, вони перерозподіляються в глобальній економіці через харчові та виробничі ланцюги. Забруднення ґрунту визнано на міжнародному

рівні як серйозну загрозу здоров'ю ґрунту, і воно впливає на здатність ґрунту надавати екосистемні послуги, включаючи виробництво безпечної та достатньої кількості харчових продуктів, що ставить під загрозу глобальну продовольчу безпеку. Забруднення ґрунту перешкоджає досягненню багатьох Цілей сталого розвитку ООН (ЦСР), у тому числі тих, які стосуються ліквідації бідності (ЦСР 1), нульового голоду (ЦСР 2) і міцного здоров'я та добробуту (ЦСР 3). Забруднення ґрунту найчастіше вражає найбільш вразливі верстви населення, особливо дітей і жінок (ЦСР 5). Постачанню безпечної питної води загрожує вимивання забруднювальних речовин у ґрунтові води та стік (ЦСР 6). Викиди CO₂ і N₂O з ґрунтів, якими нераціонально управляють, прискорюють зміну клімату (ЦСР 13). Забруднення ґрунту спричиняє деградацію землі і втрату наземного (ЦСР 15) та водного (ЦСР 14) біорізноманіття, а також знижує безпеку і стійкість міст (ЦСР 11) [1].

Більшість забруднювачів є наслідком людської діяльності. Зокрема, у передмові до спеціального випуску журналу «Environmental Pollution» під назвою «Глобальний стан забруднення ґрунтів» провідні фахівців ФАО та Європейської комісії до числа причин, через які забруднювачі потрапляють у ґрунт, віднесли такі: 1) неналежне поводження з міськими, промисловими та небезпечними відходами; 2) нераціональне використання агрохімікатів і препаратів; використання неочищених органічних відходів як джерела добрив і зрошення стічними водами; 3) видобуток корисних копалин і сировини; 4) спалювання сировини для виробництва енергії; 5) розвиток транспортної мережі й інфраструктури та багато іншого [2]. З огляду на антропогенний характер зазначених чинників можна констатувати, що вони є керованими, тому зусилля науковців мають бути спрямовані на розроблення й імплементацію практик сталого управління ними, у тому числі технологій і методів сталого ведення сільського господарства.

Важливість і актуальність проблеми економічного оцінювання наслідків забруднення ґрунтів України зумовлена тим, що використання результатів такої оцінки, як складника концепції економіки деградації земель, сприятиме кращому розумінню суб'єктами господарювання цінності практик сталого управління землями та доцільності їх упровадження, з порівнянням вартості дій і бездіяльності. Значущість цього питання зростає в умовах ринкового обігу земель сільськогосподарського призначення, що відкриває можливості враховувати вплив забруднення ґрунтів та їх ремедіації через ціну земель.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати дослідження показали, що загалом протягом 120 років у Scopus проіндексовано 1942 опублікованих документи, що містять фрази «soil pollution» або «soil contamination» у назві статей. При цьому близько третини (594 од., або 30,6 %) опубліковано протягом останніх п'яти років (2018–2022 рр.), коли наукова продуктивність у світі за цим напрямом становила понад 100 робіт щороку. Істотне зростання уваги з боку науковців до проблеми забруднення ґрунтів у світі, напевно, слід пов'язувати з проведенням Глобального симпозіуму із

забруднення ґрунту, після чого актуальність цього питання не тільки не зменшилася, а продовжує підвищуватися, про що свідчить висхідний тренд публікаційної активності (рис. 1).

Аналіз публікацій у розрізі країн свідчить, що найбільшу кількість статей про забруднення ґрунтів опублікували китайські (245 од., або 12,6 % від загального обсягу), американські (166 од., або 8,5 %) та польські вчені (149 од., або 7,7 %). Українські вчені мають 33 роботи (або 1,7 %), проіндексовані в Scopus, при цьому жодна з них не стосується економічних наук. Як і слід було очікувати, за результатами аналізу розподілу публікацій щодо забруднення ґрунтів за галузями знань у світі з'ясовано, що провідні позиції належать наукам про довкілля (34,2 %), аграрним і біологічним наукам (12,9 %) та наукам про Землю (11,7 %). Водночас на частку соціальних наук припадає 2,5 % проіндексованих документів, економічних наук – лише 1,4 %. Отже, є підстави констатувати недостатній рівень уваги науковців до економічного оцінювання наслідків забруднення ґрунтів та обґрунтування заходів щодо їх ремедіації у світі і наявність суттєвих прогалин із цього питання в Україні.

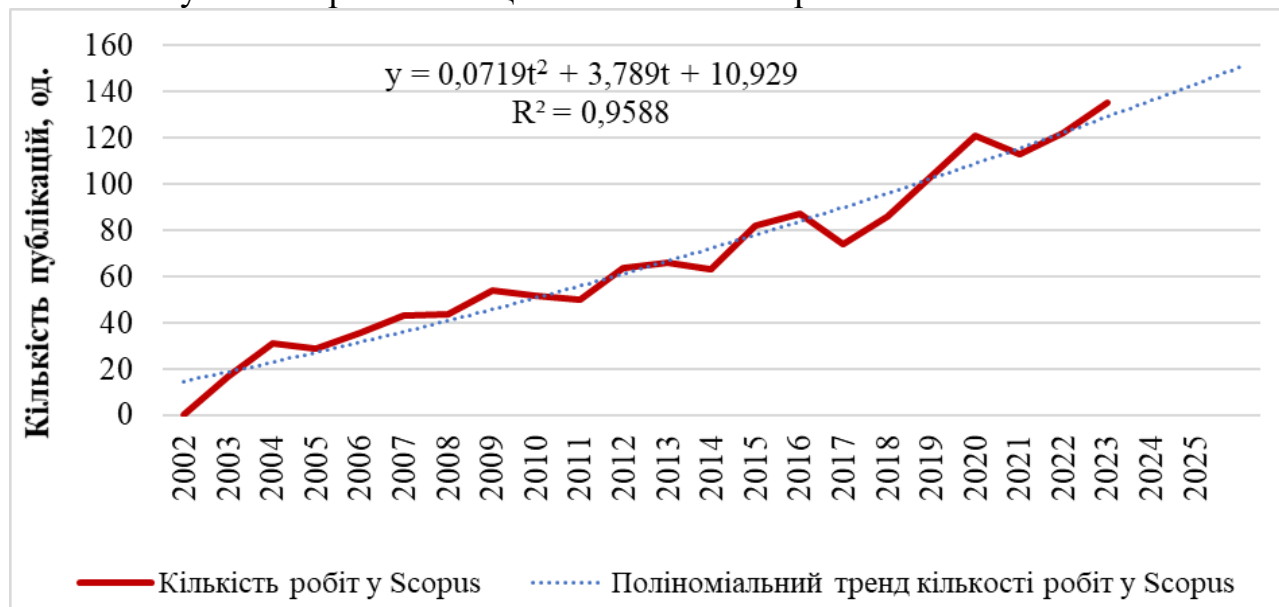


Рис. 1. Динаміка кількості проіндексованих у Scopus публікацій, які містять терміни «soil pollution» або «soil contamination» у назві статей

Джерело: побудували автори на основі даних бази Scopus.

Аналіз провідних організацій світу за кількістю проіндексованих у Scopus публікацій, які містять у назві терміни «soil pollution» або «soil contamination», свідчить, що найбільше досліджень і, відповідно, публікацій профінансували Китайська академія наук та Національний фонд природничих наук Китаю. Попри те, що китайські наукові організації є світовими лідерами за фінансуванням досліджень із забруднення ґрунтів, до числа ТОП-5 учених світу за кількістю публікацій із цього питання, проіндексованих у Scopus, належать європейські вчені: J. Wyszowska, (24 роботи), J. Kucharski (19), J. Bech (12), A. Borowik (12), M. Wyszowski (9). Лідером рейтингу є польська професорка J. Wyszowska, до сфери наукових інтересів якої належить біохімія ґрунту,

екологічна мікробіологія, охорона довкілля в сільському господарстві.

У подальшому нами обмежено сферу бібліометричного аналізу за такими критеріями: (1) сфера пошуку – назва, анотація, ключові слова; (2) пошуковий запит – «soil contamination»; (3) за типом документа – лише статті; (4) за сферою (галуззю) дослідження – (а) business, management and accounting, (б) economics, econometrics and finance, (в) social sciences; (5) часовий період – 1972–2022 рр. Установлено, що комплексу зазначених критеріїв відповідає 368 статей, дані яких використано для бібліометричного аналізу за допомогою програми VOSviewer. У результаті дослідження побудовано бібліометричну карту найуживаніших термінів у публікаціях щодо забруднення ґрунтів (рис. 2), яка включає 114 ключових слів, що використовуються не менше п'яти разів, об'єднаних у сім тематично споріднених кластерів.

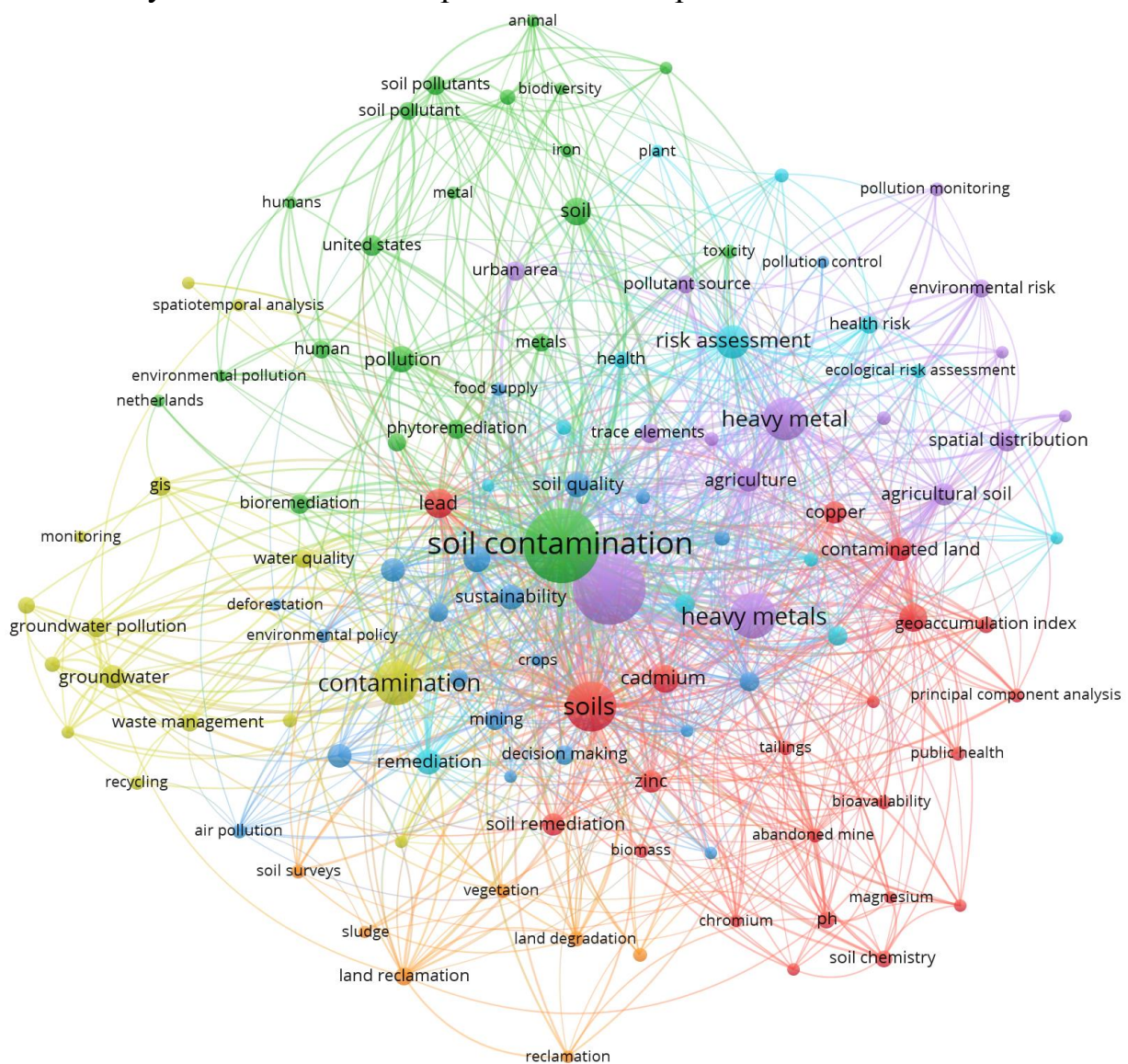


Рис. 2. Бібліометрична карта найуживаніших термінів у публікаціях щодо забруднення ґрунтів (які містять фразу «soil contamination» у назві, анотації та ключових словах), 1972–2022 рр.

Джерело: побудували автори за допомогою VOSviewer на основі даних бази Scopus.

Результати кластеризації дали змогу вирізнити основні напрями досліджень за кожним із кластерів на основі найуживаніших термінів:

- кластер 1 – червоний (включає 22 слова, серед яких – soils, concentration (composition), contaminated land, soil remediation, lead), спрямований на вивчення концентрації в ґрунтах різних забруднювачів, зокрема свинцю, рекультивації забруднених ґрунтів і земель;

- кластер 2 – зелений (включає 21 слово, серед яких – soil contamination, soil, pollution, phytoremediation, soil pollutants), концентрується на дослідженні забруднення ґрунту, забруднювачів ґрунту і фіторемерації;

- кластер 3 – синій (включає 21 слово, серед яких – soil quality, land use, sustainability, sustainable development, agricultural land), фокусується на вивченні питань якості ґрунтів, сільськогосподарських угідь, землекористування, стійкості, сталого розвитку;

- кластер 4 – жовтий (включає 15 слів, серед яких – contamination, groundwater, groundwater pollution, water quality, waste management), характеризується дослідженнями щодо взаємозв'язків забруднення ґрунтів і підземних вод, забруднення підземних вод, якості води, управління відходами;

- кластер 5 – фіолетовий (включає 15 слів, серед яких – soil pollution, heavy metals, agricultural soil, agriculture, spatial distribution), охоплює питання забруднення сільськогосподарських ґрунтів важкими металами, просторового розподілу забруднення ґрунтів у сільському господарстві;

- кластер 6 – блакитний (включає 13 слів, серед яких – risk assessment, remediation, bioaccumulation, health risk, contaminated soils), об'єднує дослідження щодо оцінювання ризиків, зокрема для здоров'я людей, біоаккумуляції, відновлення забруднених ґрунтів;

- кластер 7 – помаранчевий (включає 7 слів, серед яких – land degradation, land reclamation, sludge, soil organic matter, soil surveys), сконцентрований на дослідженні забруднення ґрунту крізь призму ґрунтової органічної речовини, деградації земель і рекультивації забруднених земель.

Отже, незважаючи на обмеження під час аналізу лише роботами, віднесеними до економічних і соціальних наук, маємо підстави констатувати міждисциплінарний характер досліджень щодо забруднення ґрунтів як у цілому, так і в розрізі сформованих кластерів. Зазначене підтверджують результати бібліометричного аналізу хронології використання термінів (рис. 3).

Зокрема, виявлено тенденцію щодо зростання кількості досліджень, сфокусованих на вивченні факторів і джерел забруднення ґрунтів важкими металами, просторовому розподілу забруднення й оцінюванні екологічних ризиків від забруднення ґрунтів передусім для здоров'я людей. Однак питання економічного оцінювання наслідків забруднення ґрунтів у системі сталого управління землями дотепер не знайшли належного наукового обґрунтування в проаналізованих публікаціях.

Комбінований пошук у назві, анотації та ключових словах одночасно за двома термінами «soil pollution» + «sustainable land management», а також «soil

contamination» + «sustainable land management» дав змогу виявити менше 10 робіт у світі (згідно з базою Scopus), у яких ці питання розглянуто в певному взаємозв'язку [3–11].

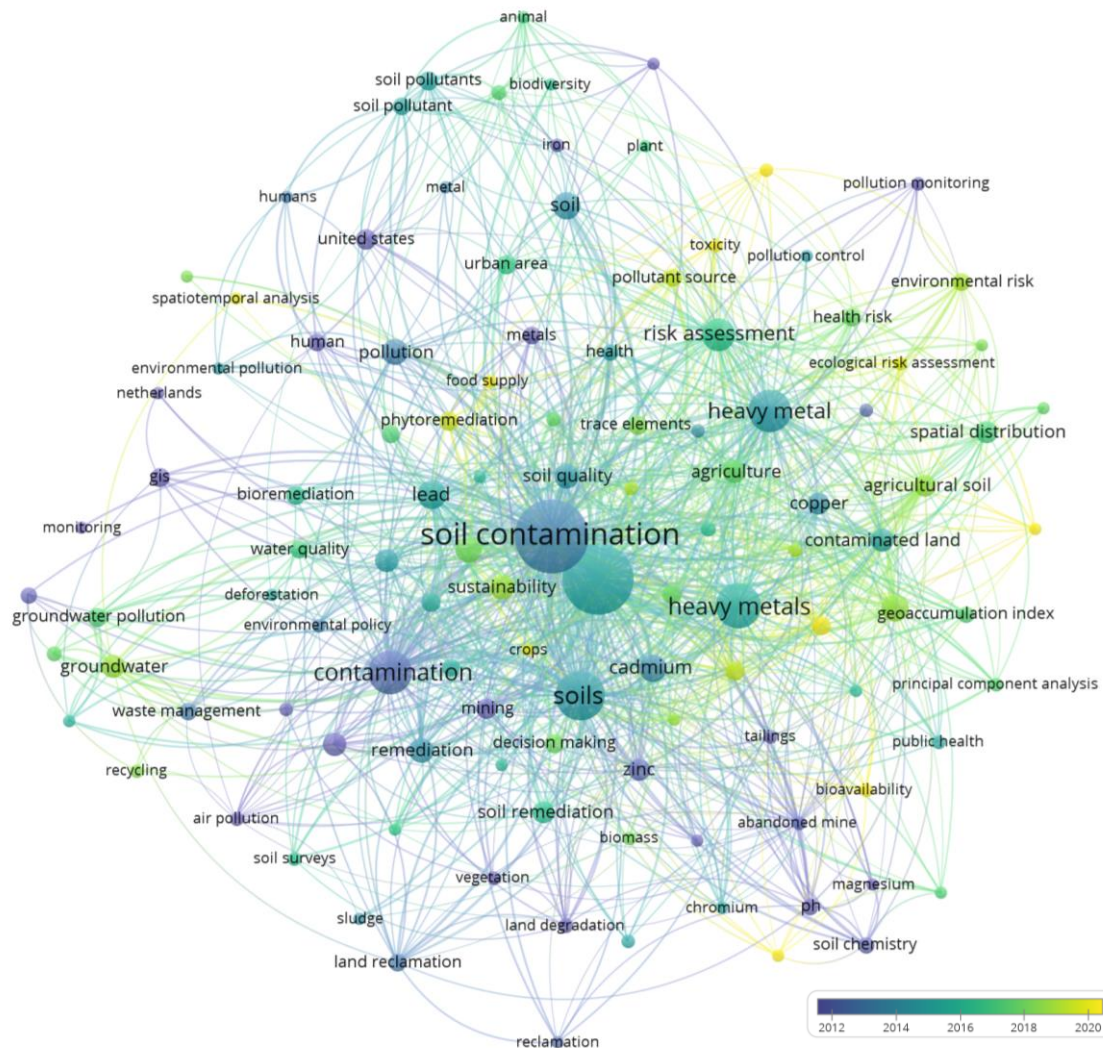


Рис. 3. Бібліометрична карта хронології використання термінів у публікаціях щодо забруднення ґрунтів (які містять фразу «soil contamination» у назві, анотації та ключових словах), 1972–2022 рр.

Джерело: побудували автори за допомогою VOSviewer на основі даних бази Scopus.

У фокусі цих досліджень перебувають питання оцінювання ризиків забруднення ґрунту [3]; пріоритетності сталих технологій для очищення ґрунтів, забруднених нафтопродуктами [4]; визначення корисних ефектів від мінімізації обробітку ґрунту і використання «зелених» органічних добрив за впливом на якість ґрунту й стабілізацію органічного вуглецю [5]; обґрунтування сталості як нового імперативу відновлення забруднених земель і розроблення інтегрованої основи для оцінювання сталості й ухвалення рішень [6]; нове розуміння впливу окремих промислових галузей на екосистеми, зокрема на екосистемні послуги ґрунтів [7]; установлення компромісів між витратами та вигодами різних методів екстракції не лише з позиції прогнозування біодоступності, але й з погляду аналізу економічних (вартість

вилучення) і практичних (таких як час вилучення) заходів та адаптації інформації про біодоступність забруднювальних речовин для підтримки оцінки ризиків на забруднених земельних ділянках [8]; включення біодоступності в процес прийняття рішень щодо забруднених земель і розроблення стратегій їх відновлення на міждисциплінарній основі [9]; природні й антропогенні фактори управління, які впливають на концентрацію кадмію в ґрунтах під час вирощування окремих сільгоспкультур [10–11].

Серед останніх робіт, опублікованих у журналах, що належать у тому числі до економічних наук, слід відзначити такі: просторовий розподіл й оцінка ризику для здоров'я забруднення ґрунту важкими металами [12]; неоднорідний вплив забруднення ґрунту на ціни сільськогосподарських угідь на північному сході Бельгії [13]; інтенсивність забруднення ґрунту токсичними речовинами залежно від ступеня його змитості [14]; перспективи сталого виробництва безпечних харчових продуктів для населення, кількість якого зростає, на основі посівів сої в умовах стресу від забруднення ґрунту [15]. Цікавим з позиції нашого дослідження є те, що L. Peeters зі співавторами, використовуючи порогову специфікацію гедонічної моделі ціноутворення, знайшли докази U-подібної моделі оцінки, де забруднення ґрунту кадмієм має негативний і значний вплив на ціни лише в середньому діапазоні розподілу, оскільки концентрація кадмію вища за нормативний стандарт для сільськогосподарських угідь. Їхні результати також свідчать про те, що різноманітний вплив забруднення ґрунту на ціну може бути безпосередньо пов'язаний із різноманітністю зручностей, які надають сільськогосподарські угіддя [13].

Незважаючи на високу публікаційну активність, у проаналізованих працях закордонних учених відображено лише окремі агроекономічні аспекти забруднення ґрунтів. Схожого висновку дійшов португальський учений за результатами вивчення взаємозв'язків між темами забруднення ґрунту й економіки сільського господарства в науковій літературі, урахувавши доступні на платформі Web of Science дослідження [16]. Проаналізовану літературу він згрупував у три блоки: дослідження, пов'язані з вивченням проблеми, про яку йдеться, переваги (вигоди) і втрати [16].

Аналіз останніх публікацій свідчить, що українські вчені досліджували такі питання: закордонний досвід еколого-економічної оцінки забруднених ґрунтів земельних ділянок [17]; концепція використання техногенно забруднених ґрунтів [18]; картографічна методика визначення площ забруднення ґрунтів важкими металами [19]; геохімічні й антропогенні фактори мінливості вмісту важких металів (на прикладі міді) у ґрунтах і продукції в Україні [20]; мінімізація забруднення ґрунту в результаті застосування капсульованих мінеральних добрив [21].

Глобальні оцінки показують, що до 2030 р. використання хімічних речовин різко зросте. З огляду на поточний стан ґрунтових ресурсів і тенденції суспільного розвитку та споживання хімічних речовин здається очевидним, що забруднення ґрунту є і буде однією з найбільших загроз для довкілля та

здоров'я людини в найближчі десятиліття. Однак не тільки оцінка забруднення ґрунту й оцінка ризику є серйозною проблемою, але й його контроль та відновлення становлять одну з головних проблем людства [22]. В епоху великого попиту на інструменти підтримки прийняття рішень для науковців стає дедалі актуальнішим розробити надійну методологію, яка б сприяла сталому управлінню забрудненими землями, а для політиків – прийняти ці розробки [9]. Погоджуємося з тим, що прогрес у напрямі сталого управління землями вимагає застосування ширшого портфоліо інструментів підтримки прийняття рішень, які покращують оцінку забруднених земель [8]. Тож здійснене нами дослідження є логічним продовженням циклу наукових праць [23–25] із цієї тематики.

Мета статті. Метою цієї роботи є висвітлення результатів економічного оцінювання наслідків забруднення ґрунтів важкими металами (на прикладі рухомих форм свинцю та кадмію) в системі сталого управління землями в аграрному секторі України.

Виклад основного матеріалу дослідження. На першому етапі для визначення впливу показників за часткою забруднення площі с.-г. угідь рухомими формами свинцю та кадмію на ефективність використання земель виконано статистичне групування. На другому етапі здійснено економетричне моделювання для побудови стохастичних моделей впливу забруднення ґрунтів важкими металами на нормативну грошову оцінку ріллі й ефективність використання земель (в оцінці за виробництвом валової продукції сільського господарства, у тому числі рослинництва на 1 га с.-г. угідь) у розрізі областей України. Інформаційною основою для групування та економетричного моделювання є дані про забруднення ґрунтів на землях сільгосппризначення в розрізі областей України за результатами X туру агрохімічного обстеження земель [26; 27] і дані Державної служби статистики України за 2019 р. [28–32]. Обробку інформації й статистичну оцінку економетричних моделей здійснено за допомогою програми STATISTICA і мови програмування R, математичні обчислення функціональних залежностей виконано в пакеті ПЗ Wolfram Mathematica.

Формування системи сталого управління землями в аграрному секторі України, як і оцінка ефективності її функціонування, безпосередньо пов'язано з оцінкою масштабів наслідків через наявні деградаційні процеси, у тому числі – забруднення ґрунтів важкими металами. Економічні резерви – це саме ті ключові компоненти, невід'ємна складова частина ефективного сталого управління ґрунтовими ресурсами, якими зрештою можливо об'єктивно оцінити зусилля з пошуку варіантів виходу з небажаного становища або запобігти йому. Їх розглядаємо в тісному поєднанні з інвестиційно-інноваційними ресурсами, спрямованими на виправлення такої ситуації, з граничним розумінням суб'єктом управління очікуваних кінцевих результатів від упровадження різноманітних заходів у сфері ремедіації ґрунтів і земель. Зазначимо, що в цьому випадку суб'єктами виступають різноманітні інституції, як приватні, так і державні, що в цілому по-різному можуть співвідноситися із

самим об'єктом, але так чи інакше вони є стейкхолдерами в цьому процесі [24, с. 190]. Зведені дані для групування за основними показниками оцінювань залежно від забруднення ґрунтів рухомими формами свинцю та кадмію наведено в табл. 1–2.

Таблиця 1

Групування показників за часткою територій, забруднених рухомими формами свинцю, у загальній площі с.-г. угідь в Україні (згідно з даними X туру агрохімічного обстеження земель)

Частка площі с.-г. угідь, забруднених свинцем, у загальній площі с.-г. угідь, %	Кількість областей	Частка забрудненої площі с.-г. угідь за вмістом свинцю у ґрунті, %					Середньозважений уміст свинцю в ґрунті, мг/кг	НГО ріллі та перелогів станом на 01.01.2020 р., грн/га	ВП у постійних цінах 2016 р. на 1 га с.-г. угідь за видами, грн	
		I. Відсутній (<0,8 мг/кг)	II. Нижче середнього (до 2,3 мг/кг)	III. Середній (2,3–3,1 мг/кг)	IV. Вище середнього (понад 3,1 мг/кг)	V. Забруднено – усього			сільського господарства (усі категорії господарств)	рослинництва (усі категорії господарств)
Менше 15,0	6	36,8	3,68	0,13	0,06	3,87	1,44	26705	20155	15168
15,1–30,0	5	25,7	19,68	2,33	2,42	24,43	1,62	29650	20026	15070
30,1–50,0	8	9,8	29,05	6,04	3,87	38,96	1,90	26462	17290	13293
Понад 50,0	3	4,3	50,57	3,34	2,06	55,97	1,36	27693	18124	13991
Усього	22	17,8	19,05	3,010	1,87	23,93	1,70	27421	18807	14304

Примітка. НГО – нормативна грошова оцінка земель; ВП – валова продукція.

Джерело: авторські розрахунки.

Згідно з проведеним групуванням територій за часткою площі сільськогосподарських угідь, забруднених досліджуваними важкими металами, виявлено, що вартісні показники оцінювання збитків (втрат) проявляють певну тенденцію до зниження, проте абсолютного впливу ступеня забруднення в розрізі виділених груп не спостерігається. Зокрема, за високого рівня забруднення свинцем у групах із часткою таких земель до 50 % площі сільгоспугідь констатовано низхідний тренд вартості валової продукції як рослинництва, так і всієї продукції сільського господарства. При цьому різкий перехід, очевидно, відбувається за площі забруднення понад 30 %. Такі ж зміни характерні і для нормативної грошової оцінки ріллі та перелогів. Однак якщо величина валової продукції за обома вимірами (рослинництва і в цілому) у першій групі з часткою забрудненої площі до 15 % була вищою за будь-які інші (наступні) групи, то за НГО вона майже порівнялася з групою від 30,1 до 50 % і досягла найвищого рівня в групі, де частка забруднення становила понад 50 %. Ще гірша ситуація проявляється у випадку забруднення рухомими формами кадмію (табл. 2).

Усі ці умови породжують гіпотези як явного, так і більш абстрактного характеру щодо недосконалості самого механізму формування величини НГО

ріллі, оскільки в обох випадках, стосовно обох досліджуваних забрудників, валова продукція краще віддзеркалювала вплив саме рівня забруднення ґрунту. За високої частки забруднених територій не завжди виявляється зниження валової продукції, у такому разі потрібно враховувати й інтенсивність самого забруднення.

Таблиця 2

Групування показників за часткою території, забруднених рухомими формами кадмію, у загальній площі с.-г. угідь в Україні (згідно з даними X туру агрохімічного обстеження земель)

Частка площі с.-г. угідь, забруднених кадмієм, у загальній площі с.-г. угідь, %	Кількість областей	Частка забрудненої площі с.-г. угідь за вмістом кадмію у ґрунті, %					Середньозважений вміст кадмію в ґрунті, мг/кг	НГО ріллі та перелогів станом на 01.01.2020 р., грн/га	ВП у постійних цінах 2016 р. на 1 га с.-г. угідь за видами, грн	
		I. Відсутній (<0,1 мг/кг)	II. Нижче середнього (до 0,5 мг/кг)	III. Середній (0,50–0,99 мг/кг)	IV. Вище середнього (понад 1,0 мг/кг)	V. Забруднено – усього			сільського господарства (усі категорії господарств)	рослинництва (усі категорії господарств)
Менше 15,0	7	40,0	2,80	0,019	0,001	2,820	0,19	25948	19864	15084
15,1–30,0	5	20,4	26,03	0,044	0,018	26,092	0,19	28891	17294	13791
30,1–50,0	7	16,8	30,46	2,655	0,134	33,249	0,23	27726	19123	14023
Понад 50,0	3	4,5	55,55	0,201	0,008	55,759	0,17	27693	18127	13991
Усього	22	20,8	20,43	0,421	0,018	20,869	0,19	27421	18807	14304

Джерело: авторські розрахунки.

Рівень безпосереднього вмісту (концентрації) металу в ґрунті, як правило, сягає найбільшої позначки в третій групі, що має питому вагу забрудненої площі від 30,1 до 50%. Поряд із цим невідпрацьованою і нечуттєвою залишається величина НГО, особливо до забруднення кадмієм. Значення НГО є найменшим у першій групі з найменшою питою вагою площ забруднення порівняно з усіма іншими. У цьому випадку тип забрудника не мав істотного впливу. Наприклад, групування за величиною забруднення свинцем показує, що значення НГО в першій групі (до 15% забрудненої площі) з умістом 1,44 мг/кг ґрунту є майже однаковим з величиною цього показника в третій групі (від 30,1 до 50%) з умістом 1,9 мг/кг, що явно перевищує середній рівень з-поміж усіх груп. При цьому валова продукція в постійних цінах 2016 р., особливо за рослинництвом, адекватно змінюється, відображаючи негативний вплив як площі поширення, так і рівня концентрації (вмісту) забрудника.

Негативний вплив від забруднення ґрунтів важкими металами доволі різноманітний. Але дослідження літературних джерел та наявних пропозицій учених із цієї проблеми засвідчує, що немає єдиного погляду на

концептуальний підхід до забезпечення ефективності управління відновленням родючості ґрунтів, забруднених важкими металами. Слід зазначити, що більш істотним чинником все ж таки виявляється недостатнє теоретико-методичне обґрунтування підходів щодо оцінки економічних наслідків від перебільшення вмісту важких металів. Відтак, незважаючи на певні обмеження на формування статистичних вибірок, необхідно дати якомога повнішу оцінку таких збитків. Ця теза чітко передбачає комплексне оцінювання збитків (втрат, зокрема безповоротних) і виявлення, що найголовніше, подальших економічних резервів, які є по суті ефектом та/або очікуваним результатом від здійснення заходів зі зменшення забрудненості важкими металами ґрунтів України. Крім того, оскільки земля виступає не лише оборотним капіталом, а в сільському господарстві – й основним, нами заплановано більш широке моделювання збитків від забруднення важкими металами (ВМ).

У табл. 3 наведено різні варіанти регресії (стохастичних моделей), за якими вартість збитків розраховано для двох випадків, а саме – для випадків забруднення ґрунтів рухомими формами свинцю та кадмію.

Кожний забруднювач оцінювали за сімома варіантами регресій, таким чином, у табл. 3 наведено 14 варіантів. Зазначимо, що відбору показників і специфікації рівнянь регресії передували глибокий та детальний математичний і статистичний аналіз вибірок, для цього використано кореляційний, дисперсійний, варіаційний види обробки первинних даних, які піддано ретельному обґрунтуванню на достовірність і відповідність розподілу випадкових чисел нормальному закону розподілу як за параметричними, так і за непараметричними підходами здійснення оцінювань. Для кінцевої специфікації стохастичних моделей і виявлення найбільш істотних взаємозв'язків факторних ознак обчислено часткові коефіцієнти кореляції. Загальна кількість факторних ознак (проаналізованих вибірок) становить 69. Основні характеристики економетричних і статистичних оцінок наведено в роботі [24, с. 249–274].

Під час здійснення відбору стохастичних (регресійних) моделей виконано детальний аналіз на відповідність нормальному закону розподілу статистичних (вибіркових) величин, на підставі чого виявлено, що доцільно не окремо розглядати внутрішні групи, класифікуючи їх за відмінностями в питомій вазі площ забруднення важкими металами, а включити в цілому всі групи, на які поширено забруднення понад природний фон.

Так, усі тестові критерії на прийняття нульової гіпотези щодо нормального закону розподілу відібраних величин проявляє питома вага для всієї площі забруднення за рухомими формами свинцю, але стосовно кадмію відзначимо, що жодна з груп, крім загальної, не задовольнила хоча б найменше, як група за всією площею забруднення [24, с. 262–264]. Про доцільність вибору саме цього показника і включення його в подальше економетричне моделювання свідчить проведений розвідковий статистичний аналіз згідно з іншими непараметричними методами перевірки на прийнятність (відповідність)

нульової гіпотези щодо нормального розподілу цієї вибірки. Згідно з результатами одержаних величин відповідно до Z-тесту Колмагорова-Смірнова та χ^2 розподілу вибірок за двома важкими металами, підтверджено необхідність прийняти сформульовані критерії за нульової гіпотези про достовірність розподілу вибірок нормальному закону розподілу, числова характеристика за предикторами та висновок про прийняття або відхилення нульової гіпотези наведені в роботі [24, с. 265–267].

Таблиця 3

Варіанти рівнянь регресії (стохастичних моделей) з дослідження впливу забруднення ґрунтів рухомими формами свинцю та кадмію в Україні за даними X туру агрохімічного обстеження земель

Варіант регресії (стохастичної моделі) за вмістом рухомих форм свинцю в ґрунті	Набір показників (екзогенних факторів), включених до регресії ($X_{1j}; X_{2j}$)	Результативна ознака (ендогенний фактор) регресії (Y_{ij})	Варіант регресії (стохастичної моделі) за вмістом рухомих форм кадмію в ґрунті	Набір показників (екзогенних факторів), включених до регресії ($X_{1j}; X_{2j}$)	Результативна ознака (ендогенний фактор) регресії (Y_{ij})
1.1	1. Забруднено – усього ($X_{1,5}$), % 2. Середньозважений вміст ($X_{2,6}$), мг/кг	НГО ріллі та перелогів ($Y_{1,13}$), грн/га	2.1	1. Забруднено – усього ($X_{1,11}$), % 2. Середньозважений вміст ($X_{2,12}$), мг/кг	НГО ріллі та перелогів ($Y_{2,13}$), грн/га
1.2	1. Забруднено – усього ($X_{1,5}$), % 2. ВП – усього ($X_{2,14}$), грн/га	НГО ріллі та перелогів ($Y_{1,13}$), грн/га	2.2	1. Забруднено – усього ($X_{1,11}$), % 2. ВП – усього ($X_{2,14}$), грн/га	НГО ріллі та перелогів ($Y_{2,13}$), грн/га
1.3	1. Забруднено – усього ($X_{1,5}$), % 2. ВП – рослинництва ($X_{2,15}$), грн/га	НГО ріллі та перелогів ($Y_{1,13}$), грн/га	2.3	1. Забруднено – усього ($X_{1,11}$), % 2. ВП – рослинництва ($X_{2,15}$), грн/га	НГО ріллі та перелогів ($Y_{2,13}$), грн/га
1.4	1. Середньозважений показник ($X_{1,6}$), % 2. ВП – усього ($X_{2,14}$), грн/га	НГО ріллі та перелогів ($Y_{1,13}$), грн/га	2.4	1. Середньозважений показник ($X_{1,12}$), % 2. ВП – усього ($X_{2,14}$), грн/га	НГО ріллі та перелогів ($Y_{2,13}$), грн/га
1.5	1. Середньозважений показник ($X_{1,6}$), % 2. ВП – рослинництва ($X_{2,15}$), грн/га	НГО ріллі та перелогів ($Y_{1,13}$), грн/га	2.5	1. Середньозважений показник ($X_{1,12}$), % 2. ВП – рослинництва ($X_{2,15}$), грн/га	НГО ріллі та перелогів ($Y_{2,13}$), грн/га
1.6	1. Забруднено – усього ($X_{1,5}$), % 2. Середньозважений уміст ($X_{2,6}$), мг/кг	ВП – усього ($Y_{1,14}$), грн/га	2.6	1. Забруднено – усього ($X_{1,11}$), % 2. Середньозважений уміст ($X_{2,12}$), мг/кг	ВП – усього ($Y_{2,14}$), грн/га
1.7	1. Забруднено – усього ($X_{1,5}$), % 2. Середньозважений уміст ($X_{2,6}$), мг/кг	ВП – рослинництва ($Y_{1,15}$), грн/га	2.7	1. Забруднено – усього ($X_{1,11}$), % 2. Середньозважений уміст ($X_{2,12}$), мг/кг	ВП – рослинництва ($Y_{2,15}$), грн/га

Джерело: авторські розрахунки.

Крім того, додаткова перевірка за однорідністю вибірок відповідно до середніх значень у випадку відсутності відомостей про математичне сподівання та дисперсію генеральної вибірки доводить, що ці предиктори за відповідними вибірками теж приймають нульову гіпотезу [24, с. 268–271]. Основою для відбору конкретних факторів у стохастичні моделі слугували часткові коефіцієнти кореляції при фіксації предикторів та їхнього значення достовірності [24, с. 272–274].

Основним типом регресії (моделі) виступає двофакторна квадратична функція, загальний вигляд рівняння регресії подано як запис (1), табл. 4 і 5:

$$\hat{Y}_{ij} = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 X_{1j} + \hat{a}_2 X_{2j} + \hat{a}_3 X_{1j}^2 + \hat{a}_4 X_{1j} X_{2j} + \hat{a}_5 X_{2j}^2, \quad (1)$$

де \hat{Y}_{ij} – оцінене значення i -го порядку в моделі та j -го номера в загальному списку факторів;

$\hat{a}_{0,\dots,5}$ – оцінювальні коефіцієнти регресії за відповідним фактором (екзогенною змінною);

X_{ij} – екзогенний (пояснювальний) фактор при i -му порядку в моделі та j -му номері в загальному списку факторів.

Таблиця 4

**Статистична оцінка здобутих характеристик регресії (моделей)
за варіантами забруднення ґрунту рухомими формами свинцю в Україні**

Показник	Варіанти регресії (стохастичні моделі)						
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
1. Коефіцієнт множинної кореляції (r)	0,466	0,487	0,469	0,446	0,535	0,612	0,598
2. Коефіцієнт детермінації (R ²)	0,217	0,237	0,220	0,199	0,286	0,374	0,358
3. F-критерій розподілу Фішера-Снедекора	176,86	181,51	177,49	172,79	194,19	74,21	96,56
4. p-рівень при достовірності 95 % за F-критерієм розподілу	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
5. χ^2 розподілу за алгоритмом Фаррара-Глобера ¹⁾	0,18	0,78	0,48	5,57	7,70	0,18	0,18
6. Середня похибка апроксимації (MAPE – Mean Absolute Percent Error), %	10,7	10,2	10,4	10,6	9,6	17,0	14,3
7. Скореговане значення середньої похибки апроксимації, %	10,2	9,8	10,1	10,3	9,3	16,2	13,6

Примітка. ¹⁾Критичне значення χ^2 -розподілу при $\alpha = 0,01$ і степені вільності $df = 1/2 m(m-1) = 1$, де m – кількість пояснювальних змінних, становить 6,63.

Джерело: авторські розрахунки.

Вибрані стохастичні моделі статистично адекватні, що підтверджують високі значення F -критерію Фішера-Снедекора, а також критерій p -value (рівень), що свідчить про достовірність оцінки моделей за ймовірності 0,95. Незважаючи на відбір найбільш істотних факторів за стохастичними моделями, величина детермінації залишається недостатньо вичерпною, щоб можна було

говорити про повноту такого врахування. Зокрема, найбільше пояснення у варіації ряду характерно для моделей 1.6 і 1.7 за свинцем, а для кадмію аналогічними є теж ці набори факторів, що досягається за стохастичними моделями 2.6 і 2.7.

Перевірку на мультиколінеарність не пройшла єдина модель – 1.5, що видно з табл. 4. Згідно з показником середньої похибки апроксимації всі моделі мають добру та відмінну якість, де остання характеризує моделі 1.5, 2.2, 2.3, а враховуючи скореговане значення, додаємо ще й моделі 1.2 і 2.1.

Таблиця 5

**Статистична оцінка здобутих характеристик регресії (моделей)
за варіантами забруднення ґрунту рухомими формами кадмію в Україні**

Показник	Варіанти регресії (стохастичні моделі)						
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7
1. Коефіцієнт множинної кореляції (r)	0,564	0,533	0,528	0,404	0,441	0,658	0,615
2. Коефіцієнт детермінації (R ²)	0,318	0,284	0,279	0,163	0,194	0,433	0,379
3. F-критерій розподілу Фішера-Снедекора	203,35	193,65	192,39	165,39	171,81	82,24	99,87
4. p-рівень при достовірності 95 % за F-критерієм розподілу	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
5. χ^2 розподілу за алгоритмом Фаррара-Глобера ¹⁾	0,22	0,51	0,78	1,82	5,67	0,22	0,22
6. Середня похибка апроксимації (MAPE – Mean Absolute Percent Error), %	10,2	9,6	9,8	11,1	10,5	16,3	12,9
7. Скореговане значення середньої похибки апроксимації, %	9,7	9,3	9,6	10,9	10,3	15,2	12,6

Примітка. ¹⁾Критичне значення χ^2 -розподілу при $\alpha = 0,01$ і степені вільності $df = 1/2 m(m-1) = 1$, де m – кількість пояснювальних змінних, становить 6,63.

Джерело: авторські розрахунки.

Ключовий набір статистичних оцінок для стохастичних моделей за відповідними показниками, у тому числі перевірку нульової гіпотези на однорідність частотного розподілу значень вибірок, наведено в табл. 6–7.

Лінійне відхилення залишків за стохастичною моделлю 1.1, тобто для НГО, становить 2803 грн/га, що перевищує цей показник для моделі 1.7, тим самим підтверджує більший розмах НГО, ніж за валовою продукцією рослинництва. Хоча слід звернути увагу, що останній показник має більшу величину варіації, ніж перший. Така ситуація притаманна й варіанту з економетричними моделями, якими описано забруднення ґрунтів кадмієм (табл. 7). За показником середнього квадрата похибки вимірювання в моделях зі свинцем значення для 1.1 перевищено у двох випадках, коли для моделі 2.1 є більшими, крім єдиної моделі 2.7.

Згідно з критеріями статистичної оцінки частотного розподілу величин за вибірками, жодна з моделей як для свинцевого, так і для кадмієвого забруднення ґрунтів не виявилася характерною початкової величині (близько

нуля), а тому в усіх випадках (серед моделей) нульова гіпотеза про відсутність відмінностей не приймається (відхиляється).

Таблиця 6

**Статистична оцінка здобутої результативної (ендогенної) ознаки
за варіантами моделей забруднення ґрунту рухомими формами свинцю
в Україні**

Показник	Варіанти регресії (стохастичні моделі)						
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
1. MAE (Mean Absolute Error), грн/га	2803	2691	2780	2823	2536	3045	1950
3. SSE (Sum Squared Error)	250456052	244133059	249580110	256264928	228412951	285772452	126249857
4. MSE (Mean Squared Error)	11384368	11096961	11344553	11648407	10382407	12989652	5738627
5. RMSE (Root Mean Squared Error), грн/га	3374	3331	3368	3413	3222	3604	2396
6. χ^2 -distribution $\{y_i \hat{y}_i\}$	9163,65	9052,88	9206,81	9420,67	8260,34	15165,66	8785,43
7. p-level	<<0,05	<<0,05	<<0,05	<<0,05	<<0,05	<<0,05	<<0,05
8. Но: $F(\{y_i \hat{y}_i\})=0$ (за відповідністю частот)	-	-	-	-	-	-	-
9. MAPE (Mean Absolute Percent Error), %	10,7	10,2	10,4	10,6	9,6	17,0	14,3
10. $V(\{y_i \hat{y}_i\})$, %	12,3	12,1	12,3	12,4	11,8	19,2	16,7

Джерело: авторські розрахунки.

Умовою оптимального вибору стохастичних моделей за показниками забруднення ґрунтів України важкими металами слугують критерії мінімізації квадратів залишків, і навпаки, їх наявність свідчить про неповноту врахування факторів та/або особливості специфікації самих моделей. Наприклад, за даними табл. 6–7 видно, що суми квадратів похибки моделей є досить близькими між собою як у розрізі моделей, так і між варіантами забрудників. Однак хоча моделі 1.7 і 2.7 близькі між собою за величиною цього показника, вони суттєво відрізняються від інших моделей.

Аналогічні відмінності між стохастичними моделями є характерними з огляду на середній квадрат похибки, оскільки для них однакова кількість вибірових даних. Отже, за проаналізованими критеріями статистичної оцінки стохастичних моделей усі вони набувають достатніх значень для того, щоб можна було використовувати їх для моделювання процесів, пов'язаних із забрудненням ґрунтів свинцем і кадмієм.

Для підтвердження однорідності генерального розподілу емпіричних і теоретичних даних стохастичних моделей забруднення свинцем і кадмієм

ґрунтів України проведено перевірку на двовибірковому попарному тесті Вілкоксона, результати розрахунку наведено в табл. 8.

Таблиця 7

**Статистична оцінка здобутої результативної (ендогенної) ознаки
за варіантами моделей забруднення ґрунту рухомими формами кадмію
в Україні**

Показник	Варіанти регресії (стохастичні моделі)						
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7
1. MAE (Mean Absolute Error), грн/га	2671	2549	2629	2985	2823	2865	1796
3. SSE (Sum Squared Error)	218247146	229032948	230520925	267556129	257699545	258745453	122177390
4. MSE (Mean Squared Error)	9920324	10410586	10478221	12161644	11713619	11761156	5553517
5. RMSE (Root Mean Squared Error), грн/га	3150	3227	3237	3487	3423	3429	2357
6. χ^2 -distribution $\{y_i \hat{y}_i\}$	8048,54	8555,56	8540,21	9966,37	9544,21	14034,81	8481,62
7. p-level	<<0,05	<<0,05	<<0,05	<<0,05	<<0,05	<<0,05	<<0,05
8. $H_0: F(\{y_i \hat{y}_i\})=0$ (за відповідністю частот)	-	-	-	-	-	-	-
9. MAPE (Mean Absolute Percent Error), %	10,2	9,6	9,8	11,1	10,5	16,3	12,9
10. $V(\{y_i \hat{y}_i\})$, %	11,5	11,8	11,8	12,7	12,5	18,2	16,5

Джерело: авторські розрахунки.

Порівняння розрахункових даних T -статистики з критичним значенням доводить, що для всіх вибраних стохастичних моделей задовольняється умова нульової гіпотези. Таким чином, приймається твердження згідно з останньою, що для всіх стохастичних моделей характерна однорідність генерального розподілу між вибірковими даними та даними, одержаними відповідно до моделей (теоретичними).

З даних табл. 8 також випливає, що показник Z -статистики нормального розподілу має незначну абсолютну величину, що на підставі обчисленого значення достовірності за p -value (рівень) для цього показника (критерію) суттєво перевищує 0,05. Отже, цей критерій не є значущим, що тим самим показує на прийняття у всіх варіантах моделей сформульованої нульової гіпотези про наявність однорідності попарних величин за одержаними емпіричними і теоретичними даними цих стохастичних моделей. При цьому слід констатувати досить високий рівень критерію ймовірнісної оцінки, яка перевищує 0,95 для стохастичних моделей забруднення свинцем –1.5 і 1.7, а за забрудненням кадмієм виявлено лише для 2.6.

Двовибірковий попарний тест Вілкоксона з перевірки нульової гіпотези про однорідність генерального розподілу емпіричних і теоретичних даних регресії (стохастичних моделей) забруднення свинцем та кадмієм ґрунтів України

Варіант регресії (стохастична модель)	T-статистика*	Z-статистика нормального розподілу	p-value	Ho: $Z(y_i y_t) = 0$
<i>За свинцем</i>				
1.1	122	0,146	0,884	+
1.2	121	0,179	0,858	+
1.3	121	0,179	0,858	+
1.4	124	0,081	0,935	+
1.5	126	0,016	0,987	+
1.6	121	0,179	0,858	+
1.7	125	0,049	0,961	+
<i>За кадмієм</i>				
2.1	123	0,114	0,909	+
2.2	119	0,244	0,808	+
2.3	120	0,211	0,833	+
2.4	122	0,146	0,884	+
2.5	124	0,081	0,935	+
2.6	126	0,016	0,987	+
2.7	122	0,146	0,884	+

Примітка. *Критичне значення T-статистики при $N = 22$ та $p = 0,05$ становить 75.

Джерело: авторські розрахунки.

Розроблені стохастичні моделі, які описують різні варіанти економічних наслідків через забруднення свинцем і кадмієм у ґрунтах України, мають універсальне порівняння між собою за окремими факторами завдяки обчисленню такого показника, як еластичність (табл. 9). При цьому серед усіх стохастичних моделей вони як за одноманітними факторними (екзогенними) ознаками, так і відмінними їх різновидами достатньою мірою відрізняються.

Згідно з параметрами (коефіцієнтами) одержаних рівнянь регресії було обчислено значення показника еластичності для кожного з екзогенних (пояснювальних) факторів (ознак), які ввійшли до відповідних моделей. А саме – за сімома варіантами моделей та за двома випадками забруднення ґрунтів: свинцем та кадмієм. Еластичність у % приросту (зменшення) залежної ознаки від зміни пояснювальної на 1 %, а також оцінка можливих варіантів оптимізації вхідних параметрів моделі розкривають суттєвий економічний резерв змін параметрів моделей, відображений у відсотках (табл. 9).

Згідно з моделлю 1.1, зменшення до прийнятних норм забрудненості свинцем ґрунтів України дозволить підвищити НГО ріллі та перелогів на 5,7 % від середнього рівня, а моделі 1.6 і 1.7 указують на те, що резерв (потенціал) збільшення валової продукції сільського господарства та рослинництва в постійних цінах 2016 р. з розрахунку на 1 га с.-г. угідь (усі категорії

господарств) відповідно становить 29,7 і 24,4 %.

Таблиця 9

Еластичність факторних ознак та очікуваний вплив на економічний резерв від їх оптимізації в розрізі варіантів регресії (стохастичних моделей) за граничною зміною рівня забруднення ґрунтів свинцем і кадмієм в Україні

Варіант регресії (стохастична модель)	Еластичність ендогенної змінної у % за впливом		Економічний резерв збільшення (зменшення) від оптимізації екзогенної змінної за еластичністю (+, -), %		Сукупний економічний резерв змін (+, -), %
	X _{1j}	X _{2j}	X _{1j}	X _{2j}	
<i>За свинцем</i>					
1.1	-0,035	-0,042	3,5	2,2	5,7
1.2	-0,018	0,076	1,8	2,3	4,1
1.3	-0,00066	0,233	0,1	5,7	5,8
1.4	0,0348	0,125	-1,8	3,7	1,9
1.5	0,071	0,287	-3,6	7,0	3,4
1.6	-0,088	-0,408	8,8	20,9	29,7
1.7	-0,049	-0,381	4,9	19,5	24,4
<i>За кадмієм</i>					
2.1	0,019	-0,124	-1,9	6,2	4,3
2.2	0,031	0,160	-3,1	5,2	2,1
2.3	0,046	0,243	-4,6	6,2	1,6
2.4	0,118	0,287	-5,9	9,2	3,3
2.5	0,073	0,304	-3,7	7,8	4,1
2.6	-0,061	-0,522	6,1	26,1	32,2
2.7	-0,057	-0,396	5,7	19,8	25,5

Примітка. До розрахунку прийнято зменшення рівня забруднення ґрунтів ВМ (X_{2j}) до граничного значення І групи, за якої забруднення вважається неістотним (природний фон).

Джерело: авторські розрахунки.

За варіантом, пов'язаним із забрудненням ґрунтів кадмієм (моделі 2.6 і 2.7), резерв виявився дещо більшим, ніж у попередньому випадку, становлячи відповідно 32,2 і 25,5 %. При цьому в разі подолання забрудненості кадмієм очікуване збільшення НГО ріллі становить 4,3 % (модель 2.1). Варіант підвищення НГО ріллі за свинцевого впливу має найбільший очікуваний резерв у 5,8 % (модель 1.3), але у випадку подальшого (потенційного) зростання продукції рослинництва, де вартість економічних резервів наведено в табл. 10–11.

Проте слід зазначити, що співвідношення економічних резервів між факторними ознаками є неоднорідним і може в одному випадку мати більший вплив (внесок), ніж в іншому. Зокрема, серед стохастичних моделей щодо забруднення ґрунтів свинцем найбільший вплив на формування НГО ріллі та перелогів має площа поширення забруднень – 3,5 % порівняно з величиною вмісту цього важкого металу в ґрунті, яка становить 2,2 %, що тим самим явно підкреслює протиріччя з одержаними результатами згідно з групуванням

земель за площами їх забруднення свинцем, що наведено в табл. 1. І навпаки, у варіанті з кадмієм модель 2.1 доводить відсутність такого протиріччя, пов'язаного з практичними числовими розбіжностями показників з даними табл. 2, оскільки економічний резерв при зменшенні площі забруднення кадмієм зменшується на 1,9 %.

Таблиця 10

Очікувані абсолютні зміни вартості економічного резерву згідно з оптимізацією екзогенних факторів (відповідно до граничної зміни вмісту рухомих форм ВМ до природного фону) у розрізі варіантів регресії (моделей) залежно від забруднення ґрунтів свинцем та кадмієм в Україні

Варіант регресії (стохастична модель)	Абсолютна зміна вартості економічного резерву з розрахунку на 1 га с.-г. угідь (за всіма категоріями господарств) за екзогенної змінної (+,-), грн		Загальний економічний резерв (+,-), грн/га
	X_{1j}	X_{2j}	
<i>За свинцем</i>			
1.1	960	603	1563
1.2	494	631	1125
1.3	27	1563	1590
1.4	-494	1015	521
1.5	-987	1919	932
1.6	1655	3931	5586
1.7	701	2789	3490
<i>За кадмієм</i>			
2.1	-521	1700	1179
2.2	-850	1426	576
2.3	-1261	1700	439
2.4	-1618	2523	905
2.5	-1015	2139	1124
2.6	1147	4909	6056
2.7	815	2832	3647

Примітка. До розрахунку прийнято зменшення рівня забруднення ґрунтів ВМ (X_{2j}) до граничного значення І групи, за якої забруднення вважається неістотним (природний фон).

Джерело: авторські розрахунки.

Тому два цих порівняння мають більше спільного, ніж протилежного, між собою. І якщо зменшення площі забруднення кадмієм викликає подальше звуження економічного резерву зростання (збільшення) розміру НГО ріллі та перелогів, то стосовно ВП сільського господарства і рослинництва навпаки, резерв підвищення їх величини залежить від подальшого зменшення площі забруднення кадмієм. Такі розбіжності за кадмієм пов'язані з тим, що сам підхід до НГО земель (ріллі), очевидно, не враховує цього виду забруднення, тобто не одержаний згідно з емпіричними даними, пов'язаними із забрудненням ґрунтів важкими металами.

Отже, проведено розрахунки економічної оцінки умовно завданих збитків (шкоди) за такими показниками, як НГО ріллі та перелогів, а також вартості валової продукції в постійних цінах 2016 р. як у цілому для сільського

господарства, так і конкретно для рослинництва. При цьому повний економічний резерв відображає спроможність зменшення наявного (досягнутого) рівня забруднення важкими металами ґрунтів до припустимого його рівня, який є безпечним, що методично (рекомендаційно) приймається з огляду на природний фон. Ці розрахунки резервів наведено в табл. 10. Оцінка оптимізації негативних наслідків від забруднення свинцем і кадмієм ґрунтів України розкриває можливість використати додаткові резерви в сільському господарстві та в цілому в економіці країни, збільшивши очікувану величину НГО ріллі та перелогів як основного засобу виробництва. Зокрема, повнота використання можливостей завдяки мінімізації свинцевого забруднення дозволить збільшити НГО ріллі на 1563 грн/га і дещо більше, якщо розглядати через зростання ВП рослинництва, що становить 1590 грн/га, а виробництво продукції рослинництва сягатиме 2789 грн на 1 га с.-г. угідь. До речі, ефект у цілому по сільському господарству тут більший, що є логічним з огляду на взаємозв'язок показників (параметрів моделі та їхньої економічної сутності).

Таблиця 11

Очікувані абсолютні зміни вартості економічного резерву згідно з оптимізацією екзогенних факторів (відповідно до граничної зміни вмісту рухомих форм ВМ до величини ГДК) у розрізі варіантів регресії (моделей) залежно від забруднення ґрунтів свинцем та кадмієм в Україні

Варіант регресії (стохастична модель)	Абсолютна зміна вартості економічного резерву з розрахунку на 1 га с.-г. угідь (за всіма категоріями господарств) за екзогенної змінної (+,-), грн		Загальний економічний резерв (+,-), грн/га
	X _{1j}	X _{2j}	
<i>За свинцем</i>			
1.1	960	-247	713
1.2	494	0	494
1.3	27	-219	-192
1.4	219	0	219
1.5	439	-274	165
1.6	1655	-1674	-19
1.7	701	-1187	-486
<i>За кадмієм</i>			
2.1	-521	-8501	-9022
2.2	-850	-5457	-6307
2.3	-1261	-6225	-7486
2.4	8089	-9789	-1700
2.5	5018	-7788	-2770
2.6	1147	-24543	-23396
2.7	815	-14161	-13346

Примітка. До розрахунку прийнято зменшення рівня забруднення ґрунтів ВМ (X_{2j}) до граничного значення за величиною ГДК, за якого забруднення вважається критичним.

Джерело: авторські розрахунки.

Досить наближеними є прирости ВП рослинництва у зв'язку з

оптимізацією параметрів забрудненості ґрунтів як свинцем (модель 1.7), так і кадмієм (модель 2.7). Завдяки подоланню (ремедіації ґрунтів) негативного впливу кадмію умовний економічний ефект, відображений у прирості вартості ВП рослинництва, становитиме 3647 грн/га, а приріст НГО ріллі збільшиться на 1179 грн/га, але все ж таки буде меншим порівняно з варіантом зі свинцем. Крім того, забруднення ґрунтів і свинцем, і кадмієм виявляє досить вагомий приріст економічного ефекту й формує потребу (необхідність) щодо шляхів подальшого вирішення цієї проблеми.

Іншим є умовний економічний ефект за скорочення забруднення ґрунтів важкими металами до певної критичної межі, якщо резерви обраховувати, відштовхуючись від точки відліку, яку прийнято на рівні гранично допустимої концентрації (ГДК) для конкретного забруднювача. Такі розрахунки наведено в табл. 11. Оскільки середнє значення вмісту рухомих форм свинцю і кадмію є меншим за ГДК, то економічний резерв за цією факторною ознакою відсутній, особливо це можна спостерігати за вагомими від'ємними величинами в розрізі стохастичних моделей щодо забруднення ґрунтів кадмієм. Тобто усереднені значення рівнів концентрації в ґрунтах України таких важких металів, як свинець та кадмій у цілому вказують на відсутність економічних резервів зменшення збитків (шкоди), підкреслюємо, одночасно за всіма групами, а не в окремих випадках, коли порівнюються рівні, що досягають ГДК, або вищі за нього. Цей підхід реалізовано в оцінці економічних втрат (збитків) за стохастичними моделями та порівняно з традиційним підходом (табл. 12).

Методику оцінювання вартості втрат (збитків) у зв'язку зі зниженням урожайності сільськогосподарських культур, що запропонована румунськими вченими С. Răuță та S. Cârstea згідно з градацією ґрунтів за ступенем їхнього забруднення ВМ, було апробовано за статистичними даними 2019 р. У результаті виявлено варіативність збитків, де в середньому недооодержання ВП рослинництва в постійних цінах 2016 р. через забруднення свинцем понад рівень ГДК становить 4372 грн/га, а максимальний – 5561 грн/га.

При цьому економічний збиток за кадмієм виявився меншим, а згідно зі стохастичною моделлю 2.7 цей збиток (втрати) неістотний, він становить 583 грн/га. Тобто перевищення величини ГДК за рухомими формами кадмію в ґрунтах України оцінюється лише в 583 грн з розрахунку на 1 га с.-г. угідь, коли водночас середній рівень за традиційної методики оцінки втрат (недооодержання) урожаю сягає 2729 грн/га в групах, за якими рівень забруднення кадмієм перевищує величину ГДК, а максимально можливі збитки становлять 3756 грн/га.

Отже, отримані дані свідчать, що перевищення ГДК за кадмієм викликає не такий істотний економічний збиток, як це обчислюється за прямої оцінки втрат (недооодержання) врожаїв сільськогосподарських культур. У випадку із забрудненням ґрунтів свинцем понад рівень ГДК такі збитки відрізняються менше, ніж за попередньої ситуації, але, як виявлено, не перевищують рівня усереднених втрат (збитків) і є меншими на 1007 грн з розрахунку на 1 га

сільгоспугідь.

Умовні економічні збитки через втрати врожаю, викликані забрудненням ґрунтів рухомими формами свинцю в Україні, у середньому можуть становити 8854 млн грн, а максимально – 11260 млн грн. Проте з урахуванням аналогічних вихідних умов для порівняння нового (новаційного) підходу за стохастичної моделі такі умовні (очікувані) збитки (економічні втрати) можуть становити 6814 млн грн, або на 2040 і 4446 млн грн менше, ніж за середнього та максимального значень, одержаних згідно з оцінками, обчисленими за методикою С. Răuță та S. Cârstea.

Таблиця 12

Оцінка величини очікуваних щорічних економічних втрат (збитків) ВП рослинництва в постійних цінах 2016 р. з розрахунку на 1 га с.-г. угідь та в цілому на всю площу забруднення важкими металами ґрунтів України (у групах понад рівень ГДК) за варіантами забруднювачів та їх абсолютні відхилення порівняно з методикою зниження врожайності сільськогосподарських культур (С. Răuță, S. Cârstea [33])

Показник	Оцінка економічних втрат (збитків) згідно з регресією (моделлю) за варіантом забруднення ВМ		Умовні економічні втрати (збитки) через зниження врожайності від забруднення ВМ (за методикою С. Răuță, S. Cârstea) ¹⁾		Абсолютна зміна (відхилення, +, -) значень регресії (моделі) до методики С. Răuță, S. Cârstea в розрізі варіантів забруднення ВМ	
	свинцем (1.7)	кадмієм (2.7)	свинцем	кадмієм	свинцем	кадмієм
1. ВП рослинництва в постійних цінах 2016 р. з розрахунку на 1 га с.-г. угідь, грн ²⁾	3365	583	4372	2729	-1007	-2146
			5561	3756	-2196	-3173
2. Загальна вартість на всю площу забруднення ВМ ґрунтів, млн грн	6814,0	106,2	8854,0	497,4	-2040,0	-391,2
			11260,0	684,5	-4446,0	-578,3

Примітки. ¹⁾ У верхній частині наведено величини за середнього рівня зниження врожайності сільськогосподарських культур, а в нижній – за максимально допустимого значення.

²⁾ За граничної зміни вмісту рухомих форм ВМ у групах ґрунтів понад ГДК.

Джерело: авторські розрахунки.

Очікувані збитки (втрати) згідно із запропонованою стохастичною моделлю 2.7, за умови перевищення ГДК за кадмієм, у цілому становлять 106,2 млн грн, через що явно поступаються величині за традиційного методичного підходу, коли оцінюється виключно зменшення врожайності сільськогосподарських культур. Такі зміни відповідно до середнього та максимального значень становлять 391,2 і 578,3 млн грн (див. табл. 12). Відзначимо, що такі розбіжності зі стохастичними моделями пов'язані зі специфікою проведення обчислень, коли до уваги беруться лише відсічні

позначки, як це має місце з ГДК, а не обирається повне зменшення величини забруднення до природного фону [24, с. 206].

Отже, у результаті здійсненого економетричного моделювання економічних резервів та оцінки наслідків (збитків) від забруднення ґрунтів важкими металами (на прикладі рухомих форм свинцю та кадмію) в регіонах України розроблено 14 стохастичних моделей, які можуть бути використані в системі сталого управління забрудненими землями.

Нами вперше розроблено економетричні моделі, що дозволило здійснити кількісну оцінку впливу забруднення ґрунтів рухомими формами свинцю та кадмію на формування ефективності використання земель і нормативну грошову оцінку ріллі. Набули дальшого розвитку положення про формування системи сталого управління землями в аграрному секторі з урахуванням результатів економічного оцінювання наслідків забруднення ґрунтів. Це дослідження заповнює прогалини, виявлені в результаті бібліометричного й кластерного аналізу, а також сприяє кращому розумінню економічних резервів сталого управління землями в аграрному секторі України.

Результати нашого дослідження є певним внеском на національному та регіональному рівні в реалізацію глобального порядку денного дій, визначених на Глобальному симпозіумі із забруднення ґрунту [22], у частині кращого розуміння економічних резервів сталого управління землями на основі збору наукових фактів й уточнення інформації про економічні наслідки забруднення ґрунтів рухомими формами свинцю та кадмію в аграрному секторі України, що має спонукати до впровадження заходів для запобігання та зменшення забруднення ґрунтів і ремедіації забруднених важкими металами ґрунтів.

Економічну оцінку наслідків забруднення ґрунтів можна вважати першим етапом формування системи сталого управління забрудненими землями, наступні етапи мають передбачати розроблення та планування заходів з ремедіації, організування, мотивування та контролювання дій щодо їх реалізації на місцях для запобігання та зменшення забруднення ґрунту та рекультивації забруднених ґрунтів забруднених земельних ділянок [23].

Вибираючи можливу стратегію відновлення забруднених ґрунтів, слід ураховувати ступінь забруднення, цілі очищення, характеристики ділянки, економічну ефективність і придатність для населення [34]. Методи відновлення забрудненого ґрунту часто є дорогими й технічно складними, і для розроблення економічно ефективних та екологічно безпечних підходів необхідні постійні інновації [22]. Вважаємо, що здобуті нами результати й узагальнені висновки можуть бути корисними під час розроблення економічно ефективних інноваційних методів сталого управління забрудненими ґрунтами для зменшення ризику для довкілля та здоров'я людини.

Загалом дослідники підкреслюють важливість розгляду широкого спектра як природних, так і антропогенних факторів, які впливають на концентрацію свинцю та кадмію в ґрунтах [12]. Управління цими факторами має ґрунтуватися на кращих агроекологічних практиках та сприятти ефективному і сталому

виробництву продукції рослинництва шляхом поліпшення планування та регулювання через сівозміни, диверсифікації культур, сорти, агротехніку, застосування добрив, сидеральні культури, циркулярну економіку, інкорпорацію поживних залишків, мінімізацію методів обробки ґрунту, інтегровану боротьбу зі шкідниками та хворобами [12; 16]. Слід також наголосити на важливості управління поживними речовинами для пом'якшення забруднення ґрунту, акцентуючи на тому, що здоров'я ґрунтів є ключовим не лише для продуктивності сільського господарства, але й для всіх екосистемних послуг [35]. За належного управління поживними речовинами їх надходження в сільськогосподарські ґрунти сприяє здоров'ю ґрунту та запобігає його деградації. При неправильному управлінні та невідповідному застосуванні мінеральні чи органічні джерела поживних речовин можуть стати забруднювачами як у ґрунтах, так й у воді та повітрі. Тому управлінські рішення мають бути спрямовані на реалізацію прийнятих у світі принципів 4R Nutrient Stewardship, які гарантують, що правильне джерело поживних речовин вносять у потрібний час, у потрібному місці та в потрібному обсязі [35].

Застосовувані сільськогосподарські практики можуть спричиняти забруднення ґрунту або позитивно впливати на його якість. Тому слід брати до уваги у зворотному зв'язку між забрудненням ґрунту й економікою сільського господарства такі питання, як аграрна політика, сприйняття суб'єктами аграрного бізнесу, залучення зацікавлених сторін, багатофункціональність [16].

Протягом останнього десятиліття регулювальні органи спрямовували спільні зусилля на раціоналізацію політики стосовно забруднених земель, що базується на врахуванні концепції оцінювання ризику [8]. Одним зі складників такої політики (концепції) в аграрному секторі може бути оцінювання ризику недоотримання економічного ефекту (одержання збитку) через забруднення ґрунтів із використанням розроблених економетричних моделей.

З огляду на активізацію зеленого руху в США і сталого руху в Європі щодо відновлення забруднених земель вважаємо обґрунтованим твердження, що в Україні відновлення забруднених ґрунтів і земель має базуватися на принципах сталого управління ґрунтовими ресурсами. Ця пропозиція впливає з результатів власних емпіричних досліджень, а також кореспондує з міркуваннями закордонних учених стосовно того, що є, принаймні, три джерела (групи факторів), спрямовані на посилення мотивів і стимулів до розширення масштабів застосування практик сталого управління забрудненими землями [6]: (1) посилення розпізнавання вторинних впливів на довкілля (наприклад, викиди парникових газів, забруднення повітря, споживання енергії та продукування відходів) від операцій з відновлення забруднених ґрунтів; (2) попит зацікавлених сторін на економічно стійке відновлення ґрунтів і «зелені» практики; (3) інституційний тиск (наприклад, соціальні норми та державна політика), що сприяють сталим практикам (наприклад, відновлювана енергія, перероблення відходів). Крім того, D. Ноу та A. Al-Tabbaa наголошують на тому, що зростання вагомості концепції «сталого ремедіації» є критичним

пунктом, що послугує в перспективі основою для встановлення й застосування нових норм і стандартів, що матиме важливі наслідки для регуляторів, власників, консультантів, підрядників і постачальників технологій [6]. Про значущість і актуальність порушеного питання додатково свідчить той факт, що в Китаї у 2018 р. ухвалено Закон про забруднення ґрунтів, що надало правового статусу цій проблемі у світлі створення стабільної та процвітаючої екологічної цивілізації [36].

Водночас виконане нами дослідження, як і його результати й можливості їх практичного застосування, характеризуються певними обмеженнями:

(1) обмеження щодо методології дослідження полягає в імовірнісному (а не прямому) оцінюванні наслідків забруднення ґрунтів сільськогосподарських угідь за допомогою методів економетричного моделювання. При цьому в ролі одного з результативних показників взято валову продукцію сільського господарства з розрахунку на 1 га с.-г. угідь, на величину якого впливає ціла система чинників (організаційно-економічних, техніко-технологічних, природно-кліматичних та ін.), що для цілей цього дослідження до уваги не брали. Крім того, ми досліджували забруднення ґрунтів лише двома забруднювачами – рухомими формами свинцю та кадмію. Отже, отримані результати можуть бути використані лише під час сталого управління ґрунтами сільгоспугідь, що забруднені вказаними важкими металами, для досягнення окремих цілей щодо нейтральної деградації земель;

(2) обмеження щодо доступності даних і вибірки досліджуваних об'єктів у цьому випадку є тісно взаємопов'язаними, оскільки як інформаційну базу використано саме наявні в публічному (вільному) доступі дані про забруднення ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення в розрізі областей України за результатами X туру агрохімічного обстеження земель. Тобто наші дослідження не враховують дані XI туру агрохімічного обстеження, узагальнення й оприлюднення яких очікується найближчим часом і може послугувати основою для майбутніх досліджень. Здобуті результати можуть бути використані на національному й регіональному рівнях сталого управління землями, проте на локальному рівні (адміністративні райони, територіальні громади, аграрні підприємства) є потреба в проведенні додаткових досліджень, результати й рекомендації за якими будуть більш точними й адресними з урахуванням ситуаційних особливостей;

(3) обмеження щодо (не)врахування сучасних факторів і наслідків забруднення ґрунтів, спричинених розв'язаною рф повномасштабною війною. У цьому дослідженні не враховано забруднення ґрунтів унаслідок збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану [25], однак це не зменшує цінності здобутих результатів і можливості їх практичного використання під час сталого управління забрудненими ґрунтами, а відкриває можливості для майбутніх досліджень, у тому числі щодо економетричного моделювання збитків, завданих збройною агресією землям і ґрунтам унаслідок їх забруднення.

Визначені обмеження цієї роботи є підставою для подальшої наукової

дискусії щодо економічного оцінювання наслідків забруднення ґрунтів і своєрідним мотивом для продовження досліджень, спрямованих на розроблення кращих сталих (більш екологічних та ефективних) методів управління й технологій відновлення забруднених важкими металами ґрунтів з урахуванням ключових принципів циркулярної економіки.

Висновки. Виконане дослідження заповнює прогалини, виявлені в результаті бібліометричного й кластерного аналізу, а також сприяє кращому розумінню економічних резервів сталого управління забрудненими землями в аграрному секторі України. У результаті дослідження на основі даних бази Scopus побудовано бібліометричні карти інтенсивності й хронології використання та взаємозв'язків найуживаніших термінів у публікаціях щодо забруднення ґрунтів; виокремлено й схарактеризовано сім тематично споріднених кластерів, які відображають основні напрями досліджень у світі.

На основі проведеного економетричного моделювання вперше розроблено стохастичні моделі (регресійні рівняння), які охоплюють два блоки досліджень за варіантами забруднення ґрунтів України рухомими формами свинцю (перший) і кадмію (другий), що дозволило здійснити кількісну оцінку впливу забруднення ґрунтів вказаними важкими металами на формування ефективності використання земель і нормативну грошову оцінку землі. При цьому кожний набір нараховує по сім різновидів цих моделей, а розрахунок величини економічних збитків здійснено за втратами валової продукції сільського господарства та рослинництва, а також за нормативною грошовою оцінкою ріллі й перелогів. Набули дальшого розвитку положення про формування системи сталого управління землями в аграрному секторі з урахуванням результатів економічного оцінювання наслідків забруднення ґрунтів.

Виявлено, що повні економічні резерви від скорочення забруднення ґрунтів рухомими формами свинцю та кадмію до природного рівня за валовою продукцією рослинництва становлять 24,4 і 25,5 % відповідно. Стосовно величини нормативної грошової оцінки ріллі визначено, що такі резерви умовно сягають за розрізних моделей відповідно 5,7 і 4,3 %. При цьому економічні збитки понад ГДК за свинцем і кадмієм в Україні щорічно становлять 6814,0 і 106,2 млн грн відповідно. Отже, побудовані моделі створюють аналітичні передумови для формування системи сталого управління забрудненими землями й визначення еколого-економічної ефективності ремедіації забруднених важкими металами ґрунтів на макрорівні з урахуванням запобігання/мінімізації можливих втрат (збитків).

Установлено, що зменшення до прийнятних норм забрудненості свинцем ґрунтів України дозволить підвищити нормативну грошову оцінку ріллі на 3,2 % від середнього рівня, а резерв збільшення валової продукції сільського господарства та рослинництва в постійних цінах 2016 р. з розрахунку на 1 га с.-г. угідь відповідно становить 23,4 і 20,9 %. У разі подолання забрудненості кадмієм очікуване збільшення нормативної грошової оцінки ріллі дорівнює 5,7 %, а резерв валової продукції сільського господарства та рослинництва з

розрахунку на 1 га с.-г. угідь відповідно становить 27,6 і 21,2 %.

Ключові результати дослідження можуть бути використані для: (i) удосконалення ґрунтоохоронної політики держави в частині сталого управління забрудненими ґрунтами в аграрному секторі; (ii) оцінювання та прогнозування впливу забруднення ґрунтів важкими металами на ефективність використання земель на регіональному рівні; (iii) оцінювання ефективності ремедіації забруднених важкими металами ґрунтів на макрорівні з урахуванням запобігання і/або мінімізації можливих збитків.

До числа перспективних напрямів досліджень належать такі: економічне оцінювання наслідків забруднення ґрунтів і розроблення рекомендацій щодо сталого управління забрудненими ґрунтами на локальному рівні (адміністративні райони, територіальні громади, аграрні підприємства); економетричне моделювання збитків, завданих збройною агресією землям і ґрунтам унаслідок їх забруднення та інших видів деградації; економічне обґрунтування практик сталого управління землями в умовах повоєнного відновлення й інноваційних технологій ремедіації ґрунтів із використанням місцевих сировинних ресурсів і вироблених на їх основі ґрунтополіпшувачів на засадах ключових принципів циркулярної економіки.

Подяка. Публікація містить деякі результати досліджень, проведених 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.

Список використаних джерел

1. Global Assessment of Soil Pollution: report. Rome: FAO, UNEP, 2021. 846 p. <https://doi.org/10.4060/cb4894en>.
2. Eugenio N. R., Montanarella L., McLaughlin M., Vargas R. Environment Pollution journal – Special Issue: global status of soil pollution. *Environmental Pollution*. 2020. 115231. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115231>.
3. Abd-Elmabod S. K., Ali R. R., Anaya-Romero M., De La Rosa D. Evaluating soil contamination risks by using MicroLEIS DSS in EI-Fayoum province, Egypt. *2010 2nd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering: Paper presented at the ICBEE 2010*, (Cairo, 2–4 November 2010). Cairo: IEEE, 2010. Pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICBEE.2010.5651591>.
4. Fetanat A., Tayebi M. Sustainability prioritization of technologies for cleaning up soils polluted with oil and petroleum products: a decision support system under complex spherical fuzzy environment. *Chemosphere*. 2022. Vol. 308. Part 3. 136328. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136328>.
5. Garcia-Franco N., Albaladejo J., Almagro M., Martínez-Mena M. Beneficial effects of reduced tillage and green manure on soil aggregation and stabilization of organic carbon in a Mediterranean agroecosystem. *Soil and Tillage Research*. 2015. Vol. 153. Pp. 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.05.010>.
6. Hou D., Al-Tabbaa A. Sustainability: a new imperative in contaminated land remediation. *Environmental Science and Policy*. 2014. Vol. 39. Pp. 25–34.

<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.02.003>.

7. Jacquet J., Benizri E., Echevarria G., Sirguy C. New insights on glass industry wasteland ecosystems. *Environmental Pollution*. 2022. Vol. 315. 120431. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120431>.

8. Latawiec A. E., Reid B. J. Beyond contaminated land assessment: on costs and benefits of bioaccessibility prediction. *Environment International*. 2009. Vol. 35. Is. 6. Pp. 911–919. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.03.011>.

9. Latawiec A. E., Swindell A. L., Simmons P., Reid B. J. Bringing bioavailability into contaminated land decision making: the way forward? *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2011. Vol. 41. Is. 1. Pp. 52–77. <https://doi.org/10.1080/00102200802641780>.

10. Li C., Zhang C., Yu T., Liu X. et al. Annual net input fluxes of cadmium in paddy soils in karst and non-karst areas of Guangxi, China. *Journal of Geochemical Exploration*. 2022. Vol. 241. 107072. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2022.107072>.

11. Scaccabarozzi D., Castillo L., Aromatisi A., Milne L. et al. Soil, site, and management factors affecting cadmium concentrations in cacao-growing soils. *Agronomy*. 2020. Vol. 10. Is. 6. 806. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060806>.

12. Adedeji O. H., Olayinka O. O., Tope-Ajayi O. O. Spatial distribution and health risk assessment of soil pollution by heavy metals in Ijebu-Ode, Nigeria. *Journal of Health & Pollution*. 2019. Vol. 9. Is. 22. 190601. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-9.22.190601>.

13. Peeters L., Schreurs E., Van Passel S. Heterogeneous impact of soil contamination on farmland prices in the Belgian Campine region: evidence from unconditional quantile regressions. *Environmental and Resource Economics*. 2017. Vol. 66. Is. 1. Pp. 135–168. <https://doi.org/10.1007/s10640-015-9945-6>.

14. Tkachuk O., Verhelis V. Intensity of soil pollution by toxic substances depending on the degree of its washout. *Scientific Horizons*. 2021. Vol. 24. No. 3. Pp. 52–57. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(3\).2021.52-57](https://doi.org/10.48077/scihor.24(3).2021.52-57).

15. Zhan J., Twardowska I., Wang S., Wei S. et al. Prospective sustainable production of safe food for growing population based on the soybean (*glycine max L. merr.*) crops under cd soil contamination stress. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 212. Pp. 22–36. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.287>.

16. Martinho V. J. P. D. Exploring the topics of soil pollution and agricultural economics: highlighting good practices. *Agriculture*. 2020. Vol. 10. No. 1. 24. <https://doi.org/10.3390/agriculture10010024>.

17. Самохвалова В. Л., Мандрика О. В., Фатєєв А. І. Закордонний досвід еколого-економічної оцінки забруднених ґрунтів земельних ділянок. *Раціональне використання ґрунтових ресурсів і відтворення родючості ґрунтів: організаційно-економічні, екологічні й нормативно-правові аспекти*: кол. моногр.; за ред. акад. НААН С. А. Балюка, чл.-кор. АЕНУ А. В. Кучера. Харків: Смугаста типографія, 2015. С. 404–418.

18. Фатєєв А. І., Самохвалова В. Л. Концепція використання техногенно забруднених ґрунтів. Харків: Стильна типографія, 2018. 57 с.

19. Dmytruk Y., Cherlinka V. Cartographic technique for determining areas of soil contamination by heavy metals. *International Journal of Environmental Studies*. 2022. <https://doi.org/10.1080/00207233.2022.2147708>.

20. Semenov D. O., Fatjejev A. I., Smirnova K. B., Shemet A. M. et al. Geochemical and anthropogenic factors of variability of heavy metals content in the soils and crops of Ukraine at the example of copper. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019. Vol. 191. 527. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7622-x>.

21. Vakal S. V., Yanovska A. O., Vakal V. S., Artyukhov A. Y. et al. Minimization of soil pollution as a result of the use of encapsulated mineral fertilizers. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22. Is. 1. Pp. 221–230. <https://doi.org/10.12911/22998993/128965>.

22. Eugenio N. R., Naidu R., Colombo C. M. Global approaches to assessing, monitoring, mapping, and remedying soil pollution. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2020. Vol. 192. 601. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08537-2>.

23. Kucher A. Sustainable soil management in the formation of competitiveness of agricultural enterprises: monograph. Plovdiv: Academic Publishing House «Talent», 2019. 444 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19554.07366>.

24. Кучер А. В., Улько Є. М., Анісімова О. В. Науково-методологічні засади визначення економічної ефективності 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. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34421.29920>.

25. Кучер А. Методика оцінювання збитків, завданих збройною агресією земельному фонду та ґрунтам: проблеми та напрями вдосконалення. *Journal of Innovations and Sustainability*. 2022. Vol. 6. No. 2. 10. <https://doi.org/10.51599/is.2022.06.02.10>.

26. Наукові дослідження з моніторингу та обстеження сільськогосподарських угідь України за результатами X туру (2011–2015 рр.); За ред. І. П. Яцука. Київ: ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», 2018. 64 с.

27. Періодична доповідь про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення України за результатами X туру (2011–2015 рр.) агрохімічного обстеження земель; за ред. І. П. Яцука. Київ: ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», 2020. 208 с.

28. Рослинництво України за 2019 рік: стат. збірник; за ред. О. Прокопенка. Київ: Державна служба статистики України, 2020. 183 с. URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2020/zb/04/zb_rosl_2019.pdf.

29. Сільське господарство України за 2019 рік: стат. щорічник; за ред. О. Прокопенка. Київ: Державна служба статистики України, 2020. 230 с. URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2020/zb/09/zb_sg_Ukr_2019.pdf.

30. Статистичний щорічник України за 2019 рік; за ред. І. Є. Вернера. Київ: Державна служба статистики України, 2020. 465 с. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2020/zb/11/zb_yearbook_2019.pdf.

31. Витрати підприємств на виробництво продукції сільськогосподарського

господарства у 2019 році: стат. бюлетень. Київ: Державна служба статистики України, 2020. 17 с. URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/sg/vytr_na%20ver_sg_prod/arch_vytr_na%20ver_sg_prod_u.htm.

32. Реалізація продукції сільського господарства підприємствами та господарствами населення у 2019 році: стат. бюлетень. Київ: Державна служба статистики України, 2020. 43 с. URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2019/sg/rpsg/arh_rpsg2019_u.html.

33. Răuță C., Cârstea S. Prevenirea și combaterea poluării solului, București: editura Ceres, 1983. 238 p.

34. Khan S., Naushad M., Lima E. C., Zhang S. et al. Global soil pollution by toxic elements: current status and future perspectives on the risk assessment and remediation strategies – a review. *Journal of Hazardous Materials*. 2021. Vol. 417. 126039. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126039>.

35. Bruulsema T. Managing nutrients to mitigate soil pollution. *Environmental Pollution*. 2018. Vol. 243. Pp. 1602–1605. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.132>.

36. Poderati G. Analysis of China's legislation on soil contamination in the light of the realization of an ecological civilization. *Ecocycles*. 2022. Vol. 8. No. 1. Pp. 8–15. <https://doi.org/10.19040/ecocycles.v8i1.215>.

References

1. FAO & UNEP (2021). *Global Assessment of Soil Pollution*. Report. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb4894en>.

2. Eugenio, N. R., Montanarella, L., McLaughlin, M., & Vargas, R. (2020). Environment Pollution journal – Special Issue: global status of soil pollution. *Environmental Pollution*, 115231. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115231>.

3. Abd-Elmabod, S. K., Ali, R. R., Anaya-Romero, M., & De La Rosa, D. (2010). Evaluating soil contamination risks by using MicroLEIS DSS in EI-Fayoum province, Egypt. *2010 2nd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering*. Cairo, IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICBEE.2010.5651591>.

4. Fetanat, A., & Tayebi, M. (2022). Sustainability prioritization of technologies for cleaning up soils polluted with oil and petroleum products: a decision support system under complex spherical fuzzy environment. *Chemosphere*, 308, 3, 136328. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136328>.

5. Garcia-Franco, N., Albaladejo, J., Almagro, M., & Martínez-Mena, M. (2015). Beneficial effects of reduced tillage and green manure on soil aggregation and stabilization of organic carbon in a Mediterranean agroecosystem. *Soil and Tillage Research*, 153, 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.05.010>.

6. Hou, D., & Al-Tabbaa, A. (2014). Sustainability: a new imperative in contaminated land remediation. *Environmental Science and Policy*, 39, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.02.003>.

7. Jacquet, J., Benizri, E., Echevarria, G., & Sirguy, C. (2022). New insights on glass industry wasteland ecosystems. *Environmental Pollution*, 315, 120431. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120431>.

8. Latawiec, A. E., & Reid, B. J. (2009). Beyond contaminated land assessment: On costs and benefits of bioaccessibility prediction. *Environment International*, 35(6), 911–919. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.03.011>.

9. Latawiec, A. E., Swindell, A. L., Simmons, P., & Reid, B. J. (2011). Bringing bioavailability into contaminated land decision making: the way forward? *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(1), 52–77. <https://doi.org/10.1080/00102200802641780>.

10. Li, C., Zhang, C., Yu, T., Liu, X., Xia, X., Hou, Q., ... & Wang, L. (2022). Annual net input fluxes of cadmium in paddy soils in karst and non-karst areas of Guangxi, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 241, 107072. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2022.107072>.

11. Scaccabarozzi, D., Castillo, L., Aromatisi, A., Milne, L., Búllon Castillo A., & Muñoz-Rojas, M. (2020). Soil, site, and management factors affecting cadmium concentrations in cacao-growing soils. *Agronomy*, 10(6), 806. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060806>.

12. Adedeji, O. H., Olayinka, O. O., & Tope-Ajayi, O. O. (2019). Spatial distribution and health risk assessment of soil pollution by heavy metals in Ijebu-Ode, Nigeria. *Journal of Health & Pollution*, 9(22), 190601. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-9.22.190601>.

13. Peeters, L., Schreurs, E., & Van Passel, S. (2017). Heterogeneous impact of soil contamination on farmland prices in the Belgian Campine region: evidence from unconditional quantile regressions. *Environmental and Resource Economics*, 66(1), 135–168. <https://doi.org/10.1007/s10640-015-9945-6>.

14. Tkachuk, O., & Verhelis, V. (2021). Intensity of soil pollution by toxic substances depending on the degree of its washout. *Scientific Horizons*, 24(3), 52–57. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(3\).2021.52-57](https://doi.org/10.48077/scihor.24(3).2021.52-57).

15. Zhan, J., Twardowska, I., Wang, S., Wei, S., Chen, Y., & Ljupco, M. (2019). Prospective sustainable production of safe food for growing population based on the soybean (*Glycine max* L. Merr.) crops under Cd soil contamination stress. *Journal of Cleaner Production*, 212, 22–36. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.287>.

16. Martinho, V. J. P. D. (2020). Exploring the topics of soil pollution and agricultural economics: highlighting good practices. *Agriculture*, 10(1), 24. <https://doi.org/10.3390/agriculture10010024>.

17. Samokhvalova, V. L., Mandryka, A. V., & Fateev, A. I. (2015). *Zakordonnyi dosvid ekoloho-ekonomichnoi otsinky zabrudnennykh gruntiv zemelnykh dilianok* [Foreign experience of ecological and economic assessment of land contaminated soils]. In S. A. Baliuk, A. V. Kucher (Eds.), *Rational use of soil resources and soil fertility restoration: organizational, economic, ecological and legal aspects*. Kharkiv, Smuhasta typohrafiya.

18. Fateev, A. I., & Samokhvalova, V. L. (2018). *Kontseptsiia vykorystannia*

tekhnohenno zabrudnennykh gruntiv [The concept of using technogenically polluted soils]. Kharkiv, Styl'na typohrafiya.

19. Dmytruk, Y., & Cherlinka, V. (2022). Cartographic technique for determining areas of soil contamination by heavy metals. *International Journal of Environmental Studies*. <https://doi.org/10.1080/00207233.2022.2147708>.

20. Semenov, D. O., Fat'jejev, A. I., Smirnova, K. B., Shemet, A. M., Lykova, O. A., Tyutyunnyk, N. V., & Pogromska, I. A. (2019). Geochemical and anthropogenic factors of variability of heavy metals content in the soils and crops of Ukraine at the example of copper. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 527. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7622-x>.

21. Vakal, S. V., Yanovska, A. O., Vakal, V. S., Artyukhov, A. Y., Shkola, V. Y., Yarova, T. Y., & Malovanyy, M. S. (2021). Minimization of soil pollution as a result of the use of encapsulated mineral fertilizers. *Journal of Ecological Engineering*, 22(1), 221–230. <https://doi.org/10.12911/22998993/128965>.

22. Eugenio, N. R., Naidu, R., & Colombo, C. M. (2020). Global approaches to assessing, monitoring, mapping, and remedying soil pollution. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 601. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08537-2>.

23. Kucher, A. (2019). Sustainable soil management in the formation of competitiveness of agricultural enterprises. Plovdiv, Academic Publishing House "Talent". <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19554.07366>.

24. Kucher, A. V., Ulko, Ye. M. & Anisimova, O. V. (2021). *Naukovo-metodolohichni zasady vyznachennia ekonomichnoi efektyvnosti zastosuvannia innovatsii u sferi okhorony y ratsionalnoho 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]. Kharkiv, Publisher Brovin. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34421.29920>.

25. Kucher, A. (2022). Methodology for assessing damages and losses caused by the armed aggression to the land fund and soils: problems and directions of improvement. *Journal of Innovations and Sustainability*, 6(2), 10. <https://doi.org/10.51599/is.2022.06.02.10>.

26. Yatsuk, I. P. (Ed.) (2018). *Naukovi doslidzhennia z monitorynhu ta obstezhennia silskohospodarskykh uhid Ukrainy za rezultatamy X turu (2011–2015 rr.)* [Scientific studies on the monitoring and survey of agricultural lands of Ukraine according to the results of the X round (2011–2015)]. Kyiv, SI "Institute of soils protection of Ukraine".

27. Yatsuk, I. P. (Ed.) (2020). *Periodychna dopovid pro stan gruntiv na zemliakh silskohospodarskoho pryznachennia Ukrainy za rezultatamy X turu (2011–2015 rr.) ahrokhimichnoho obstezhennia zemel* [Periodic report on the condition of soils on the agricultural lands of Ukraine according to the results of the X round (2011–2015) of the agrochemical land survey]. Kyiv, SI "Institute of soils protection of Ukraine".

28. State Statistics Service of Ukraine (2020). *Crop production of Ukraine 2019*. Available at: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2020/zb/04/zb_rosl_2019.pdf.

29. State Statistics Service of Ukraine (2020). *Agriculture of Ukraine*. Available at: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2020/zb/09/zb_sg_Ukr_2019.pdf.

30. State Statistics Service of Ukraine (2020). *Statistical yearbook of Ukraine 2019*. Available at: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2020/zb/11/zb_yearbook_2019.pdf.

31. State Statistics Service of Ukraine (2020). *Costs of agricultural production in enterprises in 2019*. Available at: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/sg/vytr_na%20ver_sg_prod/arch_vytr_na%20ver_sg_prod_u.htm.

32. State Statistics Service of Ukraine (2020). *Sale of agricultural products by enterprises and households in 2019*. Available at: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2019/sg/rpsg/arh_rpsg2019_u.html.

33. Răuță, C., & Cârstea, S. (1983). Preventing and combating soil pollution. Bucharest, Ceres publishing house.

34. Khan, S., Naushad, M., Lima, E. C., Zhang, S., Shaheen, S. M., & Rinklebe, J. (2021). Global soil pollution by toxic elements: current status and future perspectives on the risk assessment and remediation strategies – a review. *Journal of Hazardous Materials*, 417, 126039. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126039>.

35. Bruulsema, T. (2018). Managing nutrients to mitigate soil pollution. *Environmental Pollution*, 243, 1602–1605. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.132>.

36. Poderati, G. (2022). Analysis of China's legislation on soil contamination in the light of the realization of an ecological civilization. *Ecocycles*, 8(1), 8–15. <https://doi.org/10.19040/ecocycles.v8i1.215>.

Citation:

Стиль – ДСТУ:

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. Vol. 8. No. 4. Pp. 266–300. <https://doi.org/10.51599/are.2021.08.04.12>.

Style – APA:

Ulko, Ye., Moskalenko, A., Kucher, A., Pavlenko, O., & Serbov, M. (2022). Economic evaluation of the consequences of soil pollution in the system of sustainable land management. *Agricultural and Resource Economics*, 8(4), 266–300. <https://doi.org/10.51599/are.2022.08.04.12>.