

УДК 631.417.1:551

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.134.46>

## ПЕРСПЕКТИВИ ВУГЛЕЦЕВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ДЛЯ ПОМ'ЯКШЕННЯ НАСЛІДКІВ ЗМІНИ КЛІМАТУ

**Тараненко А.О.** – к.с.-г.н.,

доцент кафедри екології, збалансованого природокористування  
та захисту довкілля,

Полтавський державний аграрний університет

**Тараненко С.В.** – к.с.-г.н.,

доцент кафедри землеробства та агрохімії імені В.І. Сазанова,

Полтавський державний аграрний університет

**Богдарьова Д.В.** – студентка II курсу магістратури,

Навчально-науковий інститут аеротехнологій, селекції та екології

Полтавського державного аграрного університету

Зміна клімату є світовою проблемою та деякі кліматичні тенденції вже є незворотними. Антропогенні чинники зміни клімату спричиняють чимало погодних та кліматичних аномалій у кожному регіоні світу. Спостерігаються зміни в усій кліматичній системі Землі. Вплив людини на екосистеми призвів до підвищення температури навколишнього середовища безпрецедентними темпами. Різне та стійке скорочення викидів вуглекислого газу ( $CO_2$ ) та інших парникових газів може швидко поліпшити якість повітря, а через 20–30 років глобальна температура навколишнього середовища може стабілізуватися. Вуглецеве землеробство може мати значний потенціал для пом'якшення наслідків зміни клімату, адже за даними FAO, сільське господарство спричиняє 24% глобальних викидів парникових газів. Вуглецеве землеробство передбачає розробку різноманітних природних методів ведення землекористування. Викиди парникових газів від використання орних земель залежать від втрат органічного вуглецю ґрунтом через більш інтенсивну сільськогосподарську практику та зменшення використання органічних добрив. Втрата органічного вуглецю ґрунту зумовлена негативним балансом між надходженням азоту та вуглецю. Враховуючи актуальність вирішення питання пом'якшення наслідків зміни клімату та значний внесок сільського господарства у загальну кількість викидів парникових газів завданням дослідження стало оцінка та аналіз потенціалу низки агрономічних практик щодо збільшення видалення вуглецю або зменшення викидів парникових газів, дослідження можливостей, проблем, супутніх переваг та ризиків їх застосування. За проведеними оцінками загальний додатковий потенціал зменшення викидів вуглецевого сільського господарства оцінюється на рівні 101–444 Мт  $CO_2$ -е на рік, що еквівалентно близько 3–12% загальної кількості річних викидів парникових газів та 26% річних викидів парникових газів від ведення сільськогосподарської діяльності. Тому, необхідним є розробка нових підходів до систем землеробства та управління ґрунтом, щоб зменшити велику кількість  $CO_2$  у навколишньому середовищі та одночасно покращити ефективність використання земельних ресурсів та якість ґрунту.

**Ключові слова:** зміна клімату, парникові гази, вуглецеве землеробство, органічна речовина, управління якістю ґрунту.

### **Taranenko A.O., Taranenko S.V., Bohdarova D.V. Prospects of carbon farming for climate change mitigation**

Climate change is a global problem and some climate trends are already irreversible. Anthropogenic drivers of climate change are causing many weather and climate anomalies in all regions of the world. Changes are being observed throughout the Earth's climate system. Human impact on ecosystems has led to an unprecedented rise in temperature. Sharp and sustained reductions in emissions of carbon dioxide ( $CO_2$ ) and other greenhouse gases can rapidly improve air quality and stabilize global temperatures within 20–30 years. Carbon farming can have significant potential to mitigate climate change, as agriculture is responsible for 24% of global greenhouse gas emissions, according to FAO. Carbon farming involves the development of various natural methods of land management. Greenhouse gas emissions from agricultural land

*use depend on soil organic carbon losses due to more intensive agricultural practices and reduced use of organic fertilizers. The loss of soil organic carbon is caused by a negative balance between nitrogen and carbon inputs. Given the urgency of mitigating the effects of climate change and the significant contribution of agriculture to total greenhouse gas emissions, the aim of the study was to assess and analyze the potential of a range of agronomic practices to increase carbon removal or reduce greenhouse gas emissions, research opportunities, problems, associated benefits and risks of their application. According to the assessments, the total additional carbon mitigation potential of agriculture is estimated to be 101–444 Mt CO<sub>2</sub>-e per year, which represents about 3–12% of total annual greenhouse gas emissions and 26% of annual greenhouse gas emissions from agricultural activities. It is therefore necessary to develop new approaches to farming systems and soil management to reduce the amount of CO<sub>2</sub> in the environment while improving land use efficiency and soil quality.*

**Key words:** *climate change, greenhouse gases emission, carbon farming, soil organic matter, soil quality management.*

**Постановка проблеми.** Вуглецеве сільське господарство це ефективна стратегія для сталого виробництва продуктів харчування та інших супутніх продуктів. Вона передбачає розробку різноманітних природних методів землеробства та товарної продукції одночасно. За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації (FAO), сільське господарство, лісове господарство та інші методи землекористування спричиняють 24% глобальних викидів парникових газів, а загальні глобальні викиди від тваринництва становлять 7,1 гігатонни CO<sub>2</sub>-еквівалента на рік, що становить 14,5% загальних антропогенних викидів парникових газів.

Останніми роками вуглецеве землеробство привертає широку увагу у контексті управління викидами у досягненні кліматичної нейтральності. Вуглецеве землеробство зосереджується на контролі накопиченими обсягами викидів вуглецю та парникових газів на локальному рівні (рівні сільськогосподарського виробника) з метою пом'якшення зміни клімату. Вуглецеве землеробство передбачає управління земельними ресурсами, тваринницьким господарством, усіма накопиченнями вуглецю в ґрунтах, рослинності, а також потоками вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), метану (CH<sub>4</sub>), та азоту (N<sub>2</sub>O) [1].

У зв'язку з цим необхідним є розробка нових підходів до систем землеробства та управління ґрунтом, щоб впоратися з великою кількістю CO<sub>2</sub> у навколишньому середовищі, одночасно покращуючи ефективність використання земельних ресурсів та якість ґрунту. Різні способи господарювання впливають на кількість органічної речовини в ґрунті, її склад та вологостримувальну здатність [2]. Однак, одночасне задоволення людських потреб і захист природних ресурсів є ключовими для ефективних стратегій планування. Оцінка якості ґрунту дає можливість дослідити механізми управління ґрунтом, щоб скористатися перевагами його властивостей. Тому, необхідним є визначення чинників, що впливають на здоров'я ґрунту. Серед них важливе значення має органічна речовина ґрунту, яка є критично важливою у здійсненні екосистемних функцій ґрунту [3]. Органічна речовина ґрунту є основним накопичувачем вуглецю, збільшує вологостримувальну здатність і зміцнюють структуру ґрунту, що сприяє підвищенню продуктивності сільського господарства, зменшення випадків посухи та хвороб [4]. Тому, сільськогосподарська діяльність, яка сприяє накопиченню органічної речовини в ґрунті, є необхідною для обмеження надходження CO<sub>2</sub> у навколишнє середовище.

Діяльність, пов'язана з управлінням ґрунтом, є важливою для збереження та відновлення вуглецю в ґрунті. Але багато сільськогосподарських земель, мають значний дефіцит вуглецю через процеси деградації ґрунту [5]. Тому, мають бути вжиті всі можливі заходи для стимулювання екологічно стійких методів ведення землеробства для збереження вуглецю в ґрунті. Важливим заходом є впровадження

екологічної політики, спрямованої на збереження низького рівня вуглецевого сліду. На додаток до традиційного обробітку ґрунту, терасування та систем без мульчування, рекомендується використовувати інші системи, такі як біодобрива, No-till та рослинної мульчі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Міжнародні законодавчі дії вказують на зростаючу роль сільського господарства та землекористування в досягненні цілей пом'якшення клімату, збільшення цільових показників абсорбції парникових газів на 2026–2030 роки та прагнення до кліматично нейтрального сільського господарства, землекористування та лісового сектору до 2035 року.

Зміна клімату є широкомасштабною, швидкою та інтенсивною, і деякі кліматичні тенденції вже є незворотними. Антропогенні чинники зміни клімату спричинюють чимало погодних та кліматичних аномалій у кожному регіоні світу. Спостерігаються зміни в усій кліматичній системі Землі: в атмосфері, в океанах, льодових покривах, на суші. Багато з цих змін є безпрецедентними та відбуваються вже нині, а деякі можуть стати незворотними у найближчому чи віддаленому майбутньому (наприклад підвищення рівня моря). Але, як зазначається в останньому звіті Міжурядової групи з питань зміни клімату [6], наявні можливості для обмеження зміну клімату. Різде та стійке скорочення викидів вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) та інших парникових газів спроможне швидко поліпшити якість повітря, а через 20–30 років глобальна температура може стабілізуватися. Відповідно досліджень [6], вплив людини підвищував температуру клімату безпрецедентними темпами. Так, у 2019 р. концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері були вищими, ніж будь-коли за щонайменше 2 млн років, а концентрації метану та оксиду азоту були вищими, ніж будь-коли за останні 800 тис. років.

Вуглецеве землеробство може мати значний потенціал для пом'якшення наслідків клімату, однак існує значна наукова невизначеність щодо масштабу потенціалу. Це вимагає ретельної розробки політики. Потрібна вдосконалена наукова база для розробки політики. Постає необхідність проведення досліджень, які використовують інтегрований, загальносистемний підхід, враховуючи взаємодію між різними варіантами вуглецевого землеробства, бар'єри для впровадження, взаємодію зі змінами в моделях споживання та вплив на інші екологічні та соціально-економічні цілі.

Вуглецеве землеробство може принести додаткові переваги сільськогосподарським виробникам та суспільству. Методи ведення сільського господарства, які працюють із природними процесами, можуть принести користь для біорізноманіття, водного середовища, здоров'я ґрунту та добробуту тварин. Виробники також можуть отримати вигоду від підвищення продуктивності, зниження витрат і підвищення стійкості виробництва.

**Постановка завдання.** Враховуючи актуальність вирішення питання пом'якшення наслідків зміни клімату та значний внесок сільського господарства у загальну кількість викидів парникових газів завданням дослідження стало оцінка та аналіз потенціалу низки агрономічних практик щодо збільшення видалення вуглецю або зменшення викидів парникових газів, дослідження можливостей, проблем, супутніх переваг та ризиків їх застосування.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Вуглецеве землеробство включає низку агрономічних практик – зміни землекористування, а також інші технологічні рішення. Такі методи, як покривні культури, покращені сівозміни, відновлення торфовищ або розширення систем агролісомеліорації, покладаються на природні процеси в агроекосистемах і працюють із ними. З одного боку, вони можуть

зменшити сільськогосподарське виробництво, оскільки вони можуть спричинити зниження інтенсивності виробництва на гектар або вилучення землі. З іншого боку, вони можуть принести багато додаткових переваг для навколишнього середовища та сталого розвитку сільського господарства. Крім того, вони можуть підвищити стійкість до впливу клімату, таким чином сприяючи підвищенню стабільності врожайності та приносячи користь сільськогосподарському бізнесу завдяки більш ефективному використанню поживних речовин для сільськогосподарських культур, а також диверсифікації сільськогосподарських культур.

В Україні 29% від загального обсягу викидів парникових газів припадає на сільське господарство (Рис. 1).



Рис. 1. Обсяг викидів парникових газів від ведення сільського господарства в Україні [7]

Варіантами ведення вуглецевого сільського господарства може бути: підтримка та підвищення вмісту органічного вуглецю у ґрунті; управління поживними речовинами на орних землях і луках. Ці підкатегорії різняться за своїм потенціалом щодо збільшення видалення вуглецю або зменшення викидів парникових газів, але створюють різні можливості та проблеми з точки зору супутніх переваг, ризиків та витрат.

*Накопичення органічної речовини у ґрунтах.* Підтримка та накопичення органічної речовини ґрунту вимагає позитивного балансу надходження вуглецю та втрат вуглецю з ґрунтів. Це актуально для будь-якої системи землеробства та широкого спектру методів вирощування вуглецю. У цьому розділі зосереджено увагу на поглинанні органічної речовини ґрунту на орних землях та луках.

Найвищий потенціал підтримки та підвищення вмісту органічної речовини ґрунту мають: 1) покривні культури; 2) покращені сівозміни (наприклад, за рахунок включення бобових та інших азотфіксуючих культур); 3) утримання травостою без розорювання; 4) перетворення ріллі на пасовище; 5) органічне землеробство; 6) управління пасовищами та пасовищами (наприклад, шляхом оптимізації щільності поголов'я або оновлення пасовищ).

Потенціал поглинання органічної речовини ґрунту сільськогосподарськими угіддями ЄС коливається від 9 Мт CO<sub>2</sub>-екв/рік [8] до 58 Мт CO<sub>2</sub>-екв/рік до 70 Мт CO<sub>2</sub>-екв/рік [9]. Крім того зупинка втрати та відновлення органічної

речовини ґрунту є однаково важливими. Для луків та пасовищ ЄС потенціал поглинання вуглецю становить 27 Мт  $\text{CO}_2$ -е на рік [10]. Порівняно з іншими варіантами вуглецевого землеробства, потенціал пом'якшення поглинання органічної речовини ґрунту на орних землях і луках є більш обмеженим і невизначеним, а реальний потенціал пом'якшення може бути більш обмеженим [11]. На рівні локального виробника та ділянки потенціал секвестрації може суттєво відрізнятися через неоднорідність ґрунтів, кліматичні умови, існуючі рівні вмісту органічної речовини ґрунту та методи управління. Це може збільшити витрати та ускладнює оцінку можливого потенціалу. Глинисті ґрунти та ґрунти з нижчим вмістом органічної речовини ґрунту мають вищий потенціал пом'якшення. Потенціал пом'якшення обмежений ґрунтами, які досягають рівнів насичення органічної речовини ґрунту. Не досить дослідженим питанням є використання біовугілля як стратегії збільшення органічної речовини ґрунту у мінеральних ґрунтах. Чистий ефект біовугілля є дуже невизначеним, якщо взяти до уваги весь життєвий цикл і негативний вплив на здоров'я ґрунту та біорізноманіття через потенційні забруднювачі [12]. Ризики для навколишнього середовища може мати використання компосту, оскільки стандарти якості важко контролювати та існує ризик забруднення мікропластиком та іншими забрудненнями.

В Україні запаси органічної речовини ґрунту за основними типами ґрунтів змінюються в широких межах: гумус від 100 до 720 т/га, органічний вуглець від 60 до 420 т/га (табл. 1). Загальні запаси органічного вуглецю в ґрунтах України становлять близько 7 Гт [13].

Таблиця 1

### Характеристика органічної речовини різних типів ґрунтів

Тип ґрунту	Вміст органічної речовини в орному шарі, %	Запаси гумусу в профілі	Запаси ґрунтового органічного вуглецю в профілі
		т/га	
Чорноземи:			
звичайні	3,5–5,7	200–550	116–319
типові	2,5–6,0	300–600	174–368
південні	3,0–3,5	200–250	116–145
опідзолені	2,6–4,5	220–350	128–203
чорноземно-лучні ґрунти	3,0–7,2	360–720	209–418
Сірі лісові	1,3–3,5	100–230	58–133
Дерново-підзолисті	2,0–3,7	150–280	87–162

*Тривале розорювання ґрунтів та їх сільськогосподарське використання без достатнього внесення добрив призводить до значних утрат гумусу.*

Найбільші втрати гумусу в ґрунтах України відбулися в 60–80-х роках минулого століття через збільшення частки буряків цукрових і кукурудзи в сівозмінах. Дослідження свідчать про те, що втрати гумусу відбуваються на 43% ріллі зі швидкістю до 620 кг/га за рік (еквівалентно втратам ґрунтового органічного вуглецю 360 кг/га зарік) залежно від структури посівних площ, способів обробки ґрунту і норм внесення органічних добрив [13]. Зменшення вмісту гумусу відбувається переважно за рахунок таких чинників: високого рівня розораності катастрофічного

зменшення внесення в ґрунт органічних добрив (упродовж останніх 10-ти років вносять менше 1 т/га замість рекомендованих 8–14 т/га); незбалансованого використання мінеральних добрив: їх відсутність або занадто низькі чи високі норми; порушення структури посівних площ; вирощування монокультури, зменшення площ багаторічних трав і зернобобових культур; високої інтенсивності обробітку ґрунту.

Перевагами підтримки та збільшення вмісту органічної речовини ґрунту є покращення структури та родючості ґрунту, збільшення водоутримувальної здатності та загальної стійкості до впливу клімату [14]. Оптимальний вміст органічної речовини також зменшує ризик ущільнення та ерозії ґрунту. Управління органічною речовиною ґрунту слід розглядати як варіант адаптації через значні переваги для здоров'я ґрунту та його малодосліджений потенціал пом'якшення змін клімату [15].

*Управління поживними речовинами ґрунту на ріллі та луках.* В Україні викиди парникових газів від ведення рослинництва демонструють сталу тенденцію до зростання за рахунок збільшення використання мінеральних азотних добрив (Рис. 2). У 2018 році викиди вуглецю становили 33,5 млн. т. CO<sub>2</sub>-екв.

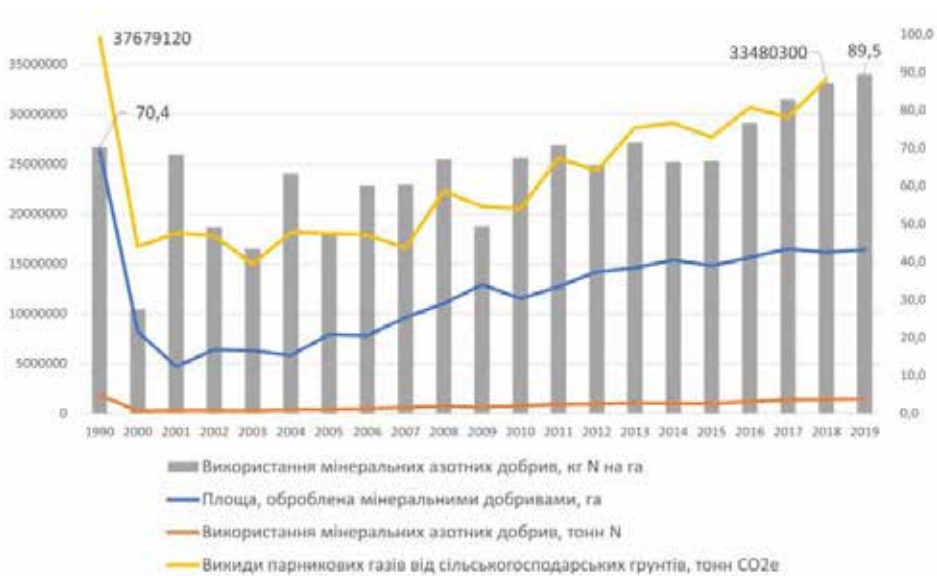


Рис. 2. Динаміка викидів парникових газів від використання сільськогосподарських ґрунтів [7]

Поряд з тим, викиди парникових газів є втратою органічного вуглецю ґрунту. У ґрунтах ріллі почали переважати процеси виділення вуглецю, порівняно із поглинанням. Так, у 2018 році обсяг викидів парникових газів перевищив обсяг поглинання вуглецю лісами. Тому, покращення якості ґрунтів має значний потенціал до скорочення викидів парникових газів та пом'якшення зміни клімату.

Управління поживними речовинами зосереджується на діяльності, яка дозволяє уникнути викидів N<sub>2</sub>O, які є результатом застосування добрив і поводження з гноєм. Ключовими стратегіями є вдосконалення планування поживних речовин

і покращення термінів внесення добрив, з метою уникнення надмірного внесення добрив. Вплив методів управління поживними речовинами може бути більш значним у поєднанні з такими агрономічними методами, як вирощування бобових культур, управління рештками/внесення залишків або включення тимчасових галявин/лугів у сівозмину.

Дослідження [14] оцінюють рентабельний потенціал пом'якшення наслідків у 19 Мт CO<sub>2</sub>/рік завдяки покращенню управління поживними речовинами. Їхні оцінки враховують пряме та непряме скорочення викидів N<sub>2</sub>O та CO<sub>2</sub> внаслідок зменшення виробництва добрив, а також інгібіторів нітрифікації. Щоб забезпечити абсолютне скорочення викидів, потрібен комплексний підхід до моніторингу загального використання добрив. Підвищення ефективності внесення добрив зменшує загальне внесення добрив і надмірне внесення добрив, а отже, вимивання азоту. Це, у свою чергу, захищає поверхневі та підземні води та зменшує витрати, пов'язані зі зниженням рівня нітратів у питній воді, а також негативний вплив евтрофікації. Підвищення продуктивності не призводить до зниження врожайності. Такі заходи є економічно ефективними для сільськогосподарських виробників, оскільки вони заощаджують витрати на вхідні ресурси.

Для підтримки здоров'я ґрунту та водоутримуючої здатності підвищення ефективності використання синтетичних добрив слід поєднувати із заходами, які покращують здоров'я ґрунту, такими як покращення сівозмін, покривних культур, включення тимчасових луків та запобігання ущільненню ґрунту.

**Висновки і пропозиції.** В Україні за даними Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів загальні викиди парникових газів у 2019 році склали 332,2 млн. т CO<sub>2</sub>-екв., у 2018 році їх кількість збільшилися на 2,5% або на 8,5 тис. т CO<sub>2</sub>-екв. Тоді як на рівні ЄС загальна кількість викидів парникових газів у 2019 році становила 3637 Мт CO<sub>2</sub> [14]. Викиди парникових газів від сектору сільського господарства в Україні у 2017 році склали 38,9 Мт CO<sub>2</sub>-екв. (у тому числі від використання ріллі 70,0%).

Викиди парникових газів від використання орних земель залежать від втрат органічного вуглецю ґрунтом через більш інтенсивну сільськогосподарську практику та зменшення використання органічних добрив. Втрата органічного вуглецю ґрунту зумовлена негативним балансом між надходженням азоту та вуглецю.

За проведеними оцінками загальний додатковий потенціал зменшення викидів вуглецевого сільського господарства оцінюється на рівні 101–444 Мт CO<sub>2</sub>-е на рік. Це еквівалентно приблизно 3–12% загальних річних викидів парникових газів. Це означає, що вуглецеве сільське господарство може компенсувати 26% річних сільськогосподарських викидів. Однак, потребує підтвердження фактичний потенціал вуглецевого сільського господарства.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. COWI, Ecologic Institute and IEEP (2021a): Technical Guidance Handbook – setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU Report to the European Commission, DG Climate Action, under Contract. COWI, Kongens Lyngby. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/10acfd66-a740-11eb-9585-01aa75ed71a1/language-en>
2. El-Ramady H.R. Integrated nutrient management and postharvest of crops. *Sustainable Agriculture Reviews*. 2014. V 13. pp. 163–274.
3. Garbach K., Milder J.C., Montenegro M., Karp D.S., DeClerck F.A.J. Biodiversity and ecosystem services in agroecosystems. *Encyclopedia of agriculture and food systemstem*. 2014. V 2. P. 21–40.

4. Wezel A., Casagrande M., Celette F., Vian J.-F., Ferrer A., Peigné J. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for sustainable development*. 2014. V 34. pp. 1–20.
  5. Vincent-Caboud L., Peigné J., Casagrande M., Silva E.M. Overview of organic cover crop-based No-Tillage technique in Europe: farmers' practices and research challenges. *Agriculture*. 2017. V 7. P. 42.
  6. Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2409 p. [https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_FullReport.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf)
  7. Микола Шлапак. Технології скорочення викидів парникових газів у секторі сільського господарства. Джерело: <https://www.slideshare.net/MykolaShlapak/ss-245114402>
  8. Frank S., E. Schmid P. Havlík et al. The dynamic soil organic carbon mitigation potential of European cropland. *Global Environmental Change*. 2015. V. 35. pp. 269–278.
  9. Lugato, E, F. Bampa, P. Panagos et al. (2014): Potential carbon sequestration of European arable soils estimated by modelling a comprehensive set of management practices. *Global change biology*, 20 (11), 3557–3567.
  10. Roe S., Streck C., Beach R., Busch J., Chapman M., Daioglou V., Deppermann A., Doelman J. et al. Land-based measures to mitigate climate change: Potential and feasibility by country. *Glob Change Biology*. 2021. V 27. pp. 6025–6058.
  11. Batjes N. H. Technologically achievable soil organic carbon sequestration in world croplands and grasslands. *Land Degradation and Development*. 2019. V.30 (1). pp. 25–32.
  12. Jeffery S., Abalos D., Prodana M., Bastos A.C., van Groenigen J.W., Hungate B.A., Verheijen F. Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. 2017. *Environmental Research Letters*. V 12. P. 053001.
  13. Балюк С.А., Медведєв В.В., Кучер А.В., Соловей В.Б., Левін А.Я., Колмаз Ю.Т. Управління органічним вуглецем ґрунту в контексті продовольчої безпеки й змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2017. С. 11–18.
  14. EEA: Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2019 and inventory report 2021: European Environmental Agency, Copenhagen. 2021. [https://www.eea.europa.eu/ds\\_resolveuid/f454ae4c825646b2a15497b17a71dbf0](https://www.eea.europa.eu/ds_resolveuid/f454ae4c825646b2a15497b17a71dbf0)
  15. Бережняк С.М., Наумовська О.І., Бережняк М.Ф. Деградаційні процеси в ґрунтах України та їх негативні наслідки для довкілля. *Біологічні системи: теорія та інновації*. 2022. Vol. 13. № 3–4.
-