

УДК 631.417.1:631.433.3

© 2022

ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДХОДІВ І СТРАТЕГІЧНИХ НАПРЯМІВ ЩОДО СЕКВЕСТРАЦІЇ Й ЗБІЛЬШЕННЯ ОРГАНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ В ҐРУНТАХ ЗОНИ ПОЛІССЯ

*С.М. Рижук¹, Г.М. Кочик², А.О. Мельничук³,
Г.А. Кучер⁴, О.І.Савчук⁵*

¹ доктор сільськогосподарських наук, академік

^{2,3,5} кандидати сільськогосподарських наук

Інститут сільського господарства Полісся НААН

Київське шосе, 131, м. Житомир, 10007, Україна

e-mail: ¹isgp_zt@ukr.net, ²isgp.kor 21@gmail.com, ³andriy_melnychuk@ukr.net,

⁵grunt17isgp@gmail.com

Надійшла 01.02.2022

Мета. Наукове обґрунтування зональних підходів і напрямів управління органічним вуглецем у ґрунтах зони Полісся та пошук шляхів його секвестрації, відновлення родючості ґрунтів і зменшення продукування вуглецевої кислоти в атмосферу, які будуть взяті за основу для формування ключових систем вуглецевого землеробства на цій території. **Методи.** Системний підхід, науковий аналіз інформації, порівняння, теоретичне і практичне узагальнення, абстрактно-логічний. **Результати.** Проаналізовано проблеми щодо відновлення запасів гумусу в низькородючих дерново-підзолистих ґрунтах зони Полісся, збереження їхнього еколого-енергетичного потенціалу. Висвітлено можливості і доцільність управління органічним вуглецем на регіональному рівні та його секвестрацією в ґрунтах зони Полісся. Розглянуто наукові підходи і стратегічні напрями щодо відтворення, поглинання та утримання органічного вуглецю в дерново-підзолистих ґрунтах для забезпечення нейтральної деградації земель. Запропоновано основні шляхи розвитку вуглецевого землеробства на регіональному рівні для досягнення стабілізації органічного вуглецю в ґрунтах зони Полісся та його подальше збільшення. **Висновки.** Поглинання і утримання вуглецю в резервуарі ґрунтів забезпечується через відповідні зональні системи землеробства, які регулюють ґрунтову родючість. Вирішується це завдання впорядкуванням орних земель, запровадженням низьковуглецевого їх використання з лісо-відновленням, стимулюванням розвитку тваринництва, зокрема створенням сіножатей і пасовищ, збільшенням виробництва та застосуванням оптимальних доз органічних і мінеральних добрив, у тому числі вторинної органічної сировини і місцевих природних ресурсів. А також зміною структури посівних площ зі зменшенням просапних культур, збільшенням частки багаторічних трав, включенням бобових і покривних та сидеральних культур до сівозмін, підвищенням урожайності сільськогосподарських культур, впровадженням технологій мінімального обробітку ґрунту. У разі застосування протидеградаційних заходів, агротехнологій окультурювання ґрунтів і залучення всіх відновлювальних органічних ресурсів досягається позитивний баланс гумусу,

що є обов'язковою умовою зменшення емісійних втрат вуглецю, відновлення і підвищенням родючості ґрунтів та продуктивності агроценозів.

Ключові слова: гумус, мінералізація, гуміфікація, ґрунтовий органічний вуглець, родючість.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202205-03>

Одним із важливих завдань сьогодення є зменшення концентрації парникових газів в атмосфері і передусім CO₂. В умовах глобальних і регіональних змін клімату важливим джерелом парникових газів, з якого вони надходять в атмосферу, є ґрунт [1, 2]. Вуглекислий газ із ґрунту постійно потрапляє в атмосферу (парниковий ефект, або дихання ґрунту), що є причиною втрати вуглецю ґрунтами, який переважно сконцентрований в органічній речовині [3]. Продуктування вуглецевої кислоти в приземний шар впливає на глобальний клімат і є негативним екологічним явищем [4, 5].

У Національному кадастрі антропогенних викидів парникових газів зазначено, що найбільші втрати CO₂ відзначено з ріллі [6]. За оцінками експертів, в атмосфері міститься 860 Гт вуглецю, ґрунті — 1500–2400, у рослинній біомасі суходолу — 450–650 Гт [3]. Дихання ґрунту в середньому становить 20–30% від усього об'єму загальних потоків вуглекислого газу, що надходить в атмосферу [7].

Основним завданням землеробства є збереження ґрунтового органічного вуглецю внаслідок взаємодії динамічних процесів фотосинтезу, розкладання органічної речовини та дихання ґрунту [8]. Темпи та ступінь насичення ґрунту органічним вуглецем залежать не лише від кількості та якості органічної речовини в ґрунтах, а й швидкості її закріплення. Пов'язано це з тим, що в ґрунтах одночасно відбуваються 2 процеси, які пов'язані з трансформацією органічної речовини і проходять у протилежних напрямках — мінералізація (розкладання) і гуміфікація (синтез гумусних речовин). У природних умовах ці процеси перебувають у рівновазі, і ґрунт характеризується певним умістом органічної речовини, що майже не змінюється впродовж довготривалого часу [9].

З одного боку, ґрунт може діяти як поглинач вуглецю. Під час розкладання мікро-

організмами вуглецеві сполуки «консервуються» в ґрунті, перетворюючись на ґрунтовий гумус, який є резервуаром органічного вуглецю. Цей процес отримав назву — секвестрація вуглецю в ґрунті [10]. Загальновізнаний метод секвестрації вуглецю заснований на самовідновленні ресурсів і полягає в невтручанні в природні процеси [11]. З іншого боку, під впливом антропогенних факторів і негативних процесів інтенсифікації ґрунти втрачають лабільну органічну речовину, оскільки природна і відносна рівновага цих процесів розбалансовується, а вуглець у вигляді CO₂ повертається з ґрунтів до атмосфери. Наслідком цього є виснаження ґрунтів, зменшення в них умісту органічного вуглецю та посилення глобальних змін клімату [4, 9, 10]. Щорічні викиди CO₂ в атмосферу залежать від типу лісорослинних умов, ґрунту, способів обробітку, систем удобрення та інших чинників [12].

Науково-практична значущість проблеми полягає в тому, що ґрунт має бути ефективним поглиначем, а не джерелом парникових газів. За умови раціонального використання землі і застосування відповідних землеробських технологій орні землі здатні до секвестрації значної частини втрат вуглецю з ґрунту. Згідно з експертною думкою науковців секвестрація вуглецю буде тим ефективнішою, чим вищий відносний уміст стабільної органічної речовини в ґрунті [8, 12]. Управління процесами кругообігу та секвестрації вуглецю в ґрунті є ключовою ланкою в розв'язанні проблеми, аспектом якої є подолання деградації ґрунтів і пом'якшення наслідків кліматичних змін. Тому актуальність досліджень пов'язана з необхідністю пошуку шляхів стратегічного управління ґрунтовим органічним вуглецем, оскільки накопичення його в ґрунті сприятиме зменшенню викидів парникових газів в атмосферу і забезпечить збільшення в них умісту та запасів гумусу, що є важливою

перспективою одержання високоякісної конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції, збереження родючості ґрунту.

Науково-прикладним аспектам управління ґрунтовим органічним вуглецем приділяють увагу зарубіжні та українські вчені [13–16]. Світовий досвід роз'язання цієї проблеми свідчить про те, що орні ґрунти США мають здатність секвеструвати 4000–6000 Мт вуглецю, зокрема завдяки застосуванню ґрунтоощадних технологій — 75–208 Мт за рік [7]. Антропогенні викиди CO₂ в атмосферу внаслідок негативних змін землекористування оцінено в 1,6 Гт С щороку. У світі є чимало прикладів щодо роботи фермерів США, Канади та Європи, які практикують вуглецеве сільське господарство, — роблять усе, щоб зберегти органічні речовини в ґрунті, які продукують з атмосфери вуглець. Важливим є долучення до міжнародного досвіду, тому цій проблемі в Україні також приділяється увага, бо внаслідок нераціонального використання земель насичення ріллі органічним вуглецем зменшується порівняно з розвиненими країнами. На першому етапі ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» за підтримки ФАО/ГП сформовано детальні бази даних умісту загального органічного вуглецю в ґрунтах, розроблено національну цифрову карту його запасів, яка є складовою глобальної карти ґрунтового органічного вуглецю.

Планування ефективних заходів щодо ґрунтової секвестрації вуглецю в межах конкретної території можливе лише з урахуванням сучасних ґрунтово-кліматичних умов. Нині немає узагальнювальних наукових напрацювань, присвячених регіональним проблемам щодо розробки і впровадження методів сталого управління органічним вуглецем ґрунту. Недостатньо рекомендацій щодо управління ґрунтовим органічним вуглецем, особливо в зоні Полісся, оскільки більшість досліджень із цієї проблеми фокусуються на чорноземній зоні.

З огляду на зазначене виникла необхідність обґрунтування ефективності загальноприйнятих, адаптивних підходів, сучасних стратегічних напрямів і розроблення першочергових заходів щодо збільшення обсягів поглинання та утримання вуглецю

в низькородючих дерново-підзолистих ґрунтах зони Полісся. Це допоможе побудувати сталу модель господарювання на цій території, яка буде спрямована на регулювання надходження потоків вуглекислого газу в атмосферу, збереження й відтворення родючості ґрунтів.

Мета досліджень — науково обґрунтувати зональні підходи і напрями управління органічним вуглецем у ґрунтах зони Полісся та пошук шляхів його секвестрації, відновлення, підвищення родючості ґрунтів і зменшення продукування вуглецевої кислоти в атмосфері, які будуть взяті за основу для формування ключових систем вуглецевого землеробства на цій території.

Матеріали і методи досліджень. Методологічною базою наукових досліджень є загальні методи досліджень: системний підхід, науковий аналіз інформації, теоретичне і практичне узагальнення, порівняння, абстрактно-логічний для формулювання висновків. Експериментальною основою були власні спостереження за зміною гумусного стану в ґрунтах зони Полісся. Дослідження проводили на основі опрацювання наукової літератури і узагальнення результатів досліджень, отриманих у довгострокових дослідіах Інституту сільського господарства Полісся НААН, які були основою для формування ключових систем вуглецевого землеробства на цій території. Ґрунтовий покрив території представлений дерново-підзолистими ґрунтами, найбільше поширеними в зоні Полісся.

Результати досліджень. Нині в Україні немає спеціалізованої системи моніторингу ґрунтового органічного вуглецю. Згідно з чинним законодавством в Україні тривалий час проводять агрохімічне обстеження сільськогосподарських земель. Для оцінки стану ґрунтів визначають 20 показників, включаючи дані про усереднений уміст гумусу, який розглядається не лише як інтегральний показник і гарант родючості, а й як важливе джерело запасів органічного вуглецю. Секвестрація вуглецю в ґрунтах і продукування вуглекислого газу залежать від умісту в них запасів гумусу. Гумус у середньому містить 58% органічного вуглецю, тому терміни «гумус» та «органічний вуглець ґрунту» є взаємозамінними,

а для їхнього взаємного перерахунку використовують коефіцієнт 1,724 (фактор Ван Беммелена) [1].

Уміст загального гумусу в ґрунтах України залежить від зональності ґрунтоутворення (генезису), типу та гранулометричного складу ґрунтів і кліматичних умов. Він є одним з індикаторів оцінювання та контролю поширення площ деградованих земель. Насичення органічним вуглецем залежить від фізико-хімічних властивостей ґрунту, які неоднакові в ґрунтах різних типів. Тому в різних типах ґрунтів уміст загального гумусу в орному шарі змінюється з 1,0 до 6,5% [17]. Агрохімічне обстеження ґрунтів (2010 р.) свідчить про те, що впродовж останніх десятиріч відбувалося поступове зниження вмісту гумусу, загалом по країні і в природно-кліматичних зонах (рис. 1).

Найменше гумусу міститься у верхньому шарі ґрунтів Полісся. Це ґрунти піщаного й супіщаного гранулометричного складу. За результатами X туру (останнього) агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення (2011–2015 рр.) в орному шарі дерново-підзолистих ґрунтів його питома частка становила 0,7–2,0%, або 21–56 т/га проти 250–350 т/га у чорноземних типах. Установлено, що запаси органічного вуглецю в дерново-підзолистих ґрунтах Полісся також широко варіюють залежно від виду, гранулометричного складу та ступеня гідроморфності. Середньозважені запаси в шарі 0–20 см — 34,1–41,9 т/га

[18]. Параметри фактичного і оптимального вмісту гумусу в ґрунтах різних зон України наведено в табл. 1. За даними автора [12], оптимальні значення вмісту гумусу в дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах мають становити 1,6–1,8%.

У сучасних умовах господарювання і нераціонального використання ґрунтів та екологічно незбалансованого землеробства процес дегуміфікації набув загрозливого характеру. Щороку втрати гумусу в дерново-підзолистих ґрунтах становлять 0,5–0,8 т/га, що для такої категорії ґрунтів надзвичайно багато. Це пов'язано насамперед з тим, що внаслідок занепаду тваринницької галузі рівень застосування органічних добрив зменшився до 0,7 т/га орної землі, що призвело до формування дефіцитного балансу гумусних речовин у поліських ґрунтах і загрожує зниженню їхньої ефективної родючості. Особливо значний дефіцит гумусу (майже 9 ц/га) спостерігається в сівозмінах із високим насиченням просапними культурами. Недостатній рівень гумусу в ґрунтах є причиною отримання низьких урожаїв.

У зв'язку з негативними тенденціями дегуміфікації ґрунтів ставиться завдання припинення зниження вмісту гумусу в ґрунтах Полісся та його стабілізація з подальшим переходом до секвестрації органічного вуглецю в ґрунтового профілі. Для досягнення цієї мети слід реалізувати низку заходів організаційного і технологічного характеру, які гарантують відтворення органічної

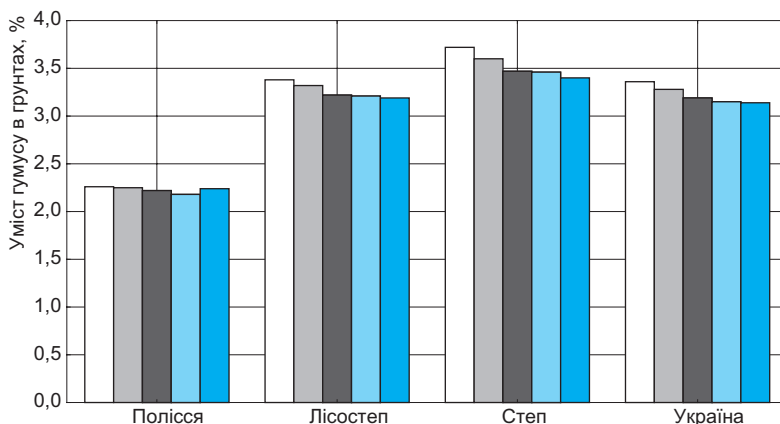


Рис. 1. Динаміка вмісту гумусу в ґрунтах України за роками: □ — 1990; ▒ — 1995; ■ — 2000; ▒ — 2005; ■ — 2010

речовини ґрунту та відновлення оптимального гумусного стану.

Сучасні підходи щодо управління ґрунтовим органічним вуглецем передбачають 2 основні напрями, спрямовані на секвестрацію його в ґрунтах зони Полісся. *Перший* напрям регулювання балансу гумусу спрямований на запобігання втрат органічної речовини з ґрунтів завдяки застосуванню способів, які зменшують мінералізацію органічної речовини (уповільнюють процеси її розкладання). *Другий* напрям спрямований на збільшення надходження свіжої органічної речовини до ґрунтів сільськогосподарських угідь.

Збільшення органічного вуглецю в ґрунті досягається передусім поліпшенням практики ведення землеробства та окультурення ґрунтів. На часі створення умов для ефективнішої гуміфікації органічних матеріалів (збільшення утворення гумусу), що надходять у ґрунт через впровадження на регіональному рівні гумусоощадних технологій сільськогосподарського виробництва. Вони забезпечать збереження та накопичення вуглецю в ґрунтах, поліпшають його стан загалом, підвищують виробництво сільськогосподарської продукції і пом'якшують наслідки змін клімату.

Що стосується першого напрямку, то зазначену проблему мають вирішувати шляхом зменшення втрат гумусу через запровадження низьковуглецевого використання земель сільськогосподарського призначення.

Суть цього напрямку полягає в тому, що продукування і секвестрація вуглецю ґрунтом залежить передусім від вибраної стратегії землекористування. Передумовою підвищення вмісту гумусу в ґрунтовому покриві орних земель і сільськогосподарських угідь є екологічно обґрунтована організація території угідь, особливо найбільш цінної складової — ріллі [19]. Оптимізація і вдосконалення структури земельних угідь має відбуватися застосуванням адаптивно-ландшафтного способу землекористування, який є важливим механізмом управління земельними ресурсами на регіональному рівні [20]. Потрібно послабити наслідки і стабільність розвитку кон'юнктурного ринкового землекористування через впровадження заходів агроекологічного спрямування.

1. Фактичний та оптимальний рівні вмісту загального гумусу в ґрунтах різних зон України (за даними ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»)

Зона	Уміст гумусу, %		
	фактичний	оптимальний	різниця
Степ	3,5	4,3	0,8
Лісостеп	3,3	4,3	1,0
Полісся	1,9	2,6	0,7
По Україні	3,1	4,0	0,9

В умовах незбалансованого землекористування чимало ґрунтів деградовано, знеструктурено, забруднено радіонуклідами і вважати їх надалі цінними було б помилкою. Інтенсивне знеліснення з подальшим формуванням на місці зрубів вторинних малопродуктивних екосистем призводить до різкого зменшення інтенсивності фотосинтезу на регіональному рівні і спричиняє підвищення викидів вуглецю з ґрунту в атмосферу. Високий уміст лабільної органічної речовини переважно спостерігається в сільськогосподарських ґрунтах і є дещо нижчим у ґрунтах лісових, де він приурочений до верхньої приповерхневої частини ґрунтового профілю. Тому оптимізація земельних угідь пов'язана з обмеженням інтенсивності використання екологічно небезпечних схилівих земель, деградованих і малопродуктивних ґрунтів. Гранично можлива розораність сільськогосподарських угідь має бути не більше 50% сівозмінного масиву. Наскільки зменшується площа ріллі, настільки знижується екологічне навантаження на навколишнє середовище, оскільки луки і ліс є кліматостабілізуючими факторами. Дослідженнями встановлено, що в зоні Полісся екологічно оптимізована структура сільськогосподарських угідь з урахуванням площ, забруднених радіонуклідами (науково обґрунтована екологічна норма), має відповідати такому співвідношенню: рілля — 37%, сіножаті — 45, пасовища 17% [20]. Ідеальною є ситуація, коли на 1 га ріллі припадає 1,6 га природних кормових угідь та 3,5 га лісу. За такої структури сільськогосподарських угідь високопродуктивне використання ґрунтового-екологічного

потенціалу поліської зони можливе тоді, коли пріоритет буде надано галузі тваринництва. Структурну модель формування адаптивно-ландшафтної системи землеробства на регіональному рівні наведено на рис. 2. Впровадження науково-організаційних заasad землеустрою, зокрема принципів його практичної реалізації, формує механізм відтворення та збереження родючості ґрунту.

Другий напрям, спрямований на збільшення надходження органічної речовини до ґрунтів сільськогосподарських угідь, забезпечується завдяки зниженню інтенсивності рільництва, що досягається мінімізацією обробітку ґрунту на основі безполицевих знарядь.

В інтенсивному землеробстві за вирощування сільськогосподарських культур найефективнішими мають стати технології із застосуванням мінімального обробітку, які забезпечують істотне підвищення родючості ґрунтів. Мінімізація обробітку ґрунтів зони Полісся вже почалася, і в майбутньому ця тенденція лише посилюватиметься. За проведення систематичної оранки вміст вуглецю в ораному шарі ґрунту зменшується в середньому на 2000 кг/га порівняно з технологією без оранки, оскільки

за інтенсивного обробітку ґрунту активізуються процеси мінералізації органічних речовин. Під час глибокої оранки плуг вивертає назвні поклади вуглецю, який у разі реакції з атмосферним киснем окиснюється. Так і утворюється горезвісний CO_2 — стимулятор глобальних проблем. За постійного застосування безполицевих способів основного обробітку ґрунту вміст гумусу підвищується на 10–15% порівняно з оранкою завдяки зниженню процесів мінералізації органічної речовини післяжнивних залишків. Дослідженнями встановлено, що напруженість гумусного балансу зростає на фоні оранки порівняно з безполицевими способами основного обробітку ґрунту. Щороку темпи гуміфікації за оранки вищі і становлять 0,09 т/га, за безполицевих способів обробітку нижчі — 0,24–0,26 т/га. На користь застосування мінімального обробітку ґрунту з використанням знарядь безполицевого типу свідчить його ґрунтозахисний ефект за рахунок наявності післяжнивних залишків на поверхні.

Найбільший потенціал для секвестрації (акумуляції) вуглецю в ґрунтах — застосування органічних добрив у комплексі з мінеральними і хімічними меліорантами.



Рис. 2. Структурна модель формування адаптивно-ландшафтної системи землеробства на регіональному рівні

Органічні добрива є основою окультурювання ґрунтів і відтворення ґрунтового вуглецю та провідним фактором сталого розвитку екологічно збалансованих систем землеробства. Вважається, що 10-та частина внесеного гною трансформується в гумус, тобто з 10 т гною утворюється 1 т гумусу. Оптимальною разовою нормою органічних добрив для забезпечення найвищого коефіцієнта гуміфікації одиниці добрива є 30–40 т/га (еквівалент гною великої рогатої худоби напівперепрілого підстилкового на соломяній підстилці) з оптимальною глибиною заробки 10–15 см. У зоні Полісся для досягнення бездефіцитного або позитивного балансу гумусу слід уносити 14 т/га сівозмінної площі органічних добрив і не менше 150 кг д. р. мінеральних [21]. Щоб уносити таку кількість органічних добрив, потрібно мати 60–100 гол. великої рогатої худоби на 100 га ріллі.

Згідно з розрахунками застосування в зоні Полісся всього обсягу гною тварин та посліду птиці (30,7 млн т) у перерахунку на підстилковий гній забезпечує удобрення сільськогосподарських угідь традиційними органічними добривами 1,9 т/га. Це свідчить про дефіцит традиційних органічних добрив на цій території, і за таких умов зростає роль залучення іншої органічної сировини різного походження для поповнення запасів гумусу.

Найбільшого потенціалу для секвестрації (акумуляції) вуглецю в ґрунтах досягають завдяки застосуванню органічних добрив у комплексі з мінеральними. За поєднання використання органічних і мінеральних добрив у рекомендованих дозах коефіцієнти гуміфікації збільшуються на 10%. Найоптимальнішою системою удобрення культур у сівозміні є така, коли на 1 т підстилкового гною вноситься 7–12 кг мінеральних добрив. Мінеральна система удобрення з переважанням азотних туків без залучення органічної речовини створює небезпеку додаткової мінералізації органічної речовини ґрунту. Це шлях до пришвидшеної дегуміфікації ґрунтового покриву: поступово руйнується органічна складова ґрунту — зменшується вміст гумусу і погіршується його якість (посилюється його фульватизація), що призводить до

зниження ефективної родючості ґрунтів. Оптимальна збалансованість поживних речовин має відповідати такому співвідношенню — 1,0:0,8:1,0. Дослідженнями встановлено, що за систематичного (3 ротації зерно-просапної сівозміни) внесення органічних добрив — 7,8 т гною та мінеральних у дозі $N_{57}P_{63}K_{70}$ кг д. р на 1 га сівозмінної площі забезпечується стабільність гумусного стану з тенденцією до накопичення гумусу з 1,02 до 1,14–1,31%. За такої системи удобрення запаси гумусу в орному шарі ґрунту (0–20 см) збільшуються порівняно з вихідними на 2,3–7,1 т/га (11,8–28,4%), продуктивність культур зростає в 1,5–1,7 раза (60,3–67%).

Стабілізувальне значення в гумусоутворенні і підвищенні коефіцієнтів використання поживних речовин із добрив у 1,5 раза має вапнування. Тому для поліпшення родючості ґрунтів і закріплення гумусу у верхній частині слід підтримувати оптимальну реакцію ґрунтового розчину, застосовуючи хімічні меліоранти. Доцільно запроваджувати технологію локального окультурювання або проводити «підтримувальне» вапнування, спрямоване на гальмування процесів підкислення ґрунтів. За цією технологією на 1 га вносять не 5–6 т вапна, а лише 1,0–1,5 т.

Підвищення акумуляції органічної речовини в ґрунті (секвестрації вуглецю) можливе за умови запровадження науково обґрунтованих екологічно збалансованих сівозмін і оптимізації структури посівних площ, які компенсують негативний вплив інтенсивного виробництва рослинницької продукції.

Саме в сівозмінах закладається можливість запобігання деградації і підвищення родючості ґрунту, особливо зі значним відсотком багаторічних трав, зокрема бобових (конюшини, люцерни, лядвенцю рогатого), які є стабілізувальною основою. Їх частка в структурі посівних площ має становити 25–40% [22]. Вирощування їх зменшує залежність рослинництва від промислових форм добрив, зокрема азотних — до 50%, фосфорних — 20, калійних — 25%. У структурі посівів рекомендується, щоб конюшина займала не менше 20–25%, оскільки за 2-річний період вегетації ця культура накопичує близько 5–6 т/га кореневих залишків,

які є значним резервом поповнення ґрунту органічною речовиною (для порівняння — зернові залишають 3–4 т/га кореневих залишків).

Вирощування сільськогосподарських культур у сівозмінах супроводжується мінералізацією гумусу, інтенсивність якої залежить від біологічних властивостей рослин. Установлено, що в середньому за рік гумусу під багаторічними травами мінералізується 0,2–0,3 т/га, однорічними травами — 0,8–1,1, кукурудзою — 1,3–1,5, картоплею — 1,6–1,8, коренеплодами — 1,8–2,1 т/га. Тобто насиченість сівозмін просапними культурами з одночасним зменшенням площ під бобовими посилює процеси мінералізації гумусу.

На землях, які перебувають в інтенсивному обробітку, потрібно докорінно змінити структуру посівних площ у сівозмінах щодо збільшення посівних площ багаторічних трав і оптимізації співвідношення просапних і суцільного посіву культур. Структура сівозмін має бути такою, щоб за наявних можливостей виробництва та внесення органічних добрив і природних джерел постанання органічної речовини компенсувалося витратами гумусу і підтримувалася рівновага в кругообігу вуглецю. Подальше нарощування валових зборів зерна в зоні Полісся має відбуватися не за рахунок експлуатації природної родючості ґрунтів, а через підвищення врожайності польових культур.

Згідно з традиційним підходом вирощування культур, які залишають більше біомаси (коренів і післяжнивних залишків), сприяє насиченню ґрунту вуглецем. Різноманітні рослинні угруповання з кореневими системами, що різняться за розміром і структурою коріння, розвивають міцну мережу ґрунтових пор, які дуже важливі для зберігання та захисту вуглецю.

Важливим резервом для простого відтворення родючості ґрунтів (стабілізації гумусного стану) є надходження в ґрунт органічних речовин за рахунок побічної продукції культурних рослин.

Останніми роками підтримувати ефективну родючість ґрунтів традиційним способом, тобто внесенням гною, нереально. Тому виникла потреба в переорієнтації і залученні альтернативно-відновлюваних ресурсів

органічної речовини. Значним ресурсом для відновлення балансу гумусу в орних ґрунтах є побічна продукція сільськогосподарських культур, яка є незамінним матеріалом для ґрунтоутворення. За гумусним еквівалентом 37 ц соломи відповідають 100 ц підстилкового гною або 270 ц зеленого добрива. Великий вплив має внесення мінеральних добрив (особливо азотних) разом із побічною продукцією, коефіцієнт гуміфікації при цьому збільшується на 23–25%. Є дані про те, що 1 т соломи зернових колосових і кукурудзи забезпечує 0,2 т гумусу. У кожній тонні соломи міститься 35–40 кг вуглецю і значна кількість мікроелементів. Велике значення для відтворення гумусу і родючості мають сільськогосподарські культури, які залишають різну кількість післяжнивних залишків, що заорюються для утворення органічної речовини. Культури різняться розміром і структурою коріння й по-різному впливають на ґрунтові пори, в яких накопичується вуглець. Із рослинних залишків сільськогосподарських культур відтворюється певна кількість гумусу (табл. 2). Згідно з розрахунками заорювання в зоні Полісся всього обсягу наявної нетоварної частини врожаю основних сільськогосподарських культур (27 млн т) у перерахунку на підстилковий гній становить 2,8 т/га [24].

Для збереження гумусу в ґрунтах слід запобігати випалюванню рослинності та її залишків на полях, передусім стерні і соломи.

Сільськогосподарські випалювання — істотне джерело «чорного вуглецю» в атмосфері. Відзначають ймовірні збитки від знищення й переродження (трансформації) органічної речовини ґрунту під впливом високих температур під час горіння рослинних залишків. Підраховано, що під час згорання 40–50 ц соломи і стерні з 1 га втрачається 20–25 кг азоту і 1500–1700 кг вуглецю.

Важливим напрямом відновлення родючості ґрунтів є поповнення післяжнивних елементів за рахунок упродовження посівів сидеральних культур.

Поширення культури сидерації є ґрунтоохоронним заходом. Сидерати, які забезпечують 200–300 ц/га зеленої маси, утворюють перегній, еквівалентний 8–12 т/га гною, тобто приблизно 4% від зеленої маси.

2. Кількість гумусу, який відтворюється в ґрунті з післяжнивно-коренових залишків на 1 га посіву на рік

Культура	Кількість	
	рослинних залишків (суха речовина), т/га	гумусу, що утворюється, кг/га
Буряк цукровий	3–6	450–900
Картопля	0,5	Дуже мало
Пшениця (солому вивозили)	2–4	200–600
Ячмінь (солому вивозили)	1–2	150–300
Кукурудза (стебла заорювали)	5	750
Солома пшениці	4	400
Люцерна 2-го року життя	5–8	500–800
Трави 3-го року життя	16–18	750–900
Біла гірчиця на зелене добриво	3	3
Ріпак	1–1,5	200

Доцільним є поєднанням сидерації із заоранням у ґрунт соломи та високої стерні. Результати досліджень свідчать про те, що за використання в сівзміні соломи і сидерата надходження гумусу зростає на 0,7–1,4 ц на 1 га сівзміної площі, за рахунок гною — на 5,7–6,0 ц. Використання побічної продукції рослин і сидератів створює умови для зменшення норм мінеральних добрив на 30–50% без зниження продуктивності ріллі.

Збільшення надходження органічної речовини до ґрунтів можливе за рахунок інших додаткових джерел органічної речовини (торфу, сапропелі і різних компостів).

З урахуванням дефіциту традиційних органічних добрив потрібно залучати такі джерела органічної речовини, як торф, сапропелі, органічні відходи переробної промисловості, комунального господарства тощо. Органічні відходи є джерелом вуглецевмісних сполук та елементів живлення рослин після проведення відповідних технологічних рішень.

Застосування торфу призупиняє дегуміфікацію ґрунтів і оптимізує вміст органічного вуглецю в ґрунтах. Унесення торфу на поля в чистому вигляді недоцільне, оскільки економічно він себе не виправдовує. Найефективнішим способом приготування торфового добрива є різні компости на його основі. З 1 т торфової підстилки утворюється 6 т гною. Важливу роль у відтворенні родючості ґрунтів відіграє сапропель (про-

дукт очищення озер і водоймищ). Добуті озерні відклади — це ще не добрива. Високоєфективним добривом вони стають лише після підвищення їхньої біологічної активності, яка відбувається в процесі висушування, провітрювання, проморожування і компостування. У поліській зоні переважають сапропелі, в яких міститься 71–77% органічної речовини.

Зв'язування атмосферного вуглецю в ґрунті може забезпечити розвиток органічного сільськогосподарського виробництва та біологічного землеробства.

Більшість способів ведення вуглецевого сільського господарства — це відомі органічні методи. У системах органічного землеробства підвищується запас стабільного вуглецю в поверхневому шарі ґрунту і забезпечується його секвестрація. Узагальнення даних польових дослідів показали, що за умов органічного землеробства запаси органічного вуглецю в ґрунтах на 3,5 т/га більші, ніж за неорганічного землеробства (традиційного). Найсприятливіші умови для гумусоутворення створюються в біологічному землеробстві із застосуванням елементів біологізації [23]. Гумусний стан за альтернативного землеробства стабільніший, ніж за традиційного.

Можна стверджувати, що відновлення запасів гумусу в ґрунтах зони Полісся є одним із головних завдань землеробства.

Розвиток відновлюваного вуглецевого землеробства в зоні Полісся потребує переосмислення і передбачає зміни сільськогосподарських практик ведення сільського господарства, принципів господарювання для усунення негативних тенденцій з метою поліпшення якості ґрунту, стабілізації рівня вуглецю і його подальшого збільшення та зменшення викидів парникових газів. Це забезпечується через науково обґрунтовані системи землеробства, які регулюють ґрунтову родючість. Завдяки застосуванню гумусоощадних землеробських технологій, особливо екологічного спрямування, забезпечується зменшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері і збільшується накопичення в ґрунтах запасів гумусу. Із залученням усіх джерел органічної сировини для поповнення запасів гумусу (органічного вуглецю) можна досягти його позитивного балансу в ґрунтах сільгоспугідь і лише на такій основі створюється високопродуктивне і стабільне вуглецеве землеробство (табл. 3). Нині і в перспективі є можливість, навіть за відсутності виробництва гною, вносити в ґрунт 10 т/га органіки завдяки застосуванню альтернативно-відновлюваних ресурсів органічної речовини [24]. Вихід відновлюваних органічних ресурсів у зоні Полісся за науково обґрунтованого їх регулювання вселяє надію на одержання високої продуктивності і відтворення потенційної родючості ґрунтів.

Передумовою ефективної ґрунтової секвестрації вуглецю і сталого ведення сільського господарства в зоні Полісся є прогнозування стану ґрунту за різних впливів у близькій і далекій перспективах. Наукове обґрунтування напрямів і адаптивних підхо-

дів до секвестрації та збереження вуглецю в ґрунтах зони Полісся дало можливість побудувати сталу модель господарювання із запропонованими способами відтворення гумусу, які максимально упереджують і зменшують майбутні негативні наслідки кон'юнктурно-ринкового землекористування. Тенденція розвитку вуглецевого землеробства характеризується створенням умов для стабільного управління станом ґрунтів. На рис. 3 зображено системи вуглецевого землеробства на регіональному рівні, їх складові елементи та стратегічні напрями й шляхи стабілізації потенційних можливостей органічного вуглецю в ґрунтах зони Полісся. Запропоновані адаптивні підходи і стратегічні напрями дадуть можливість ухвалювати більш умотивовані управлінські рішення щодо ґрунту як засобу виробництва і як резервуару вуглецю. Це забезпечить можливість нарощування штучної родючості за одночасного збереження та відтворення природної родючості. Підвищення продуктивності ґрунтів забезпечить збільшення виробництва сільськогосподарської продукції і пом'якшить наслідки змін клімату. Для ґрунтів із низьким початковим запасом вуглецю та в перші 20 років після впровадження відповідних заходів на ґрунтах можна досягти високих коефіцієнтів секвестрації ними вуглецю. Слід зазначити, що землі, які досягли рівноваги, не можуть надалі збільшувати секвестрацію вуглецю.

Система заходів щодо досягнення нейтрального рівня деградації має передбачати:

- ефективне правове регулювання, спрямоване на стимулювання товаровиробників до збереження й відтворення гумусу в ґрунтах;

3. Прогнозний баланс гумусу в ґрунтах України (за даними фахівців ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»)

Джерело органічної сировини	Прогнозний баланс гумусу
Фактичний баланс гумусу за внесення 0,4–0,5 т/га органічних добрив на 1 га посівної площі без унесення нетоварної частини врожаю, т/га	–1,22
Баланс гумусу в разі заробки в ґрунт усієї нетоварної частини врожаю з розрахунку 3,4 т/га, т/га	–0,14
Баланс гумусу в разі заробки в ґрунт усієї нетоварної частини врожаю (з розрахунку 3,4 т/га) та внесення органічних добрив (з розрахунку 2,5 т/га), т/га	0,17
Баланс гумусу в разі залучення всієї органічної сировини (гній, послід, нетоварна продукція рослинництва, сапропель, торф із розрахунку 8,3 т/га), т/га	0,65

ФОРМУВАННЯ СИСТЕМ ВУГЛЕЦЕВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА В ЗОНІ ПОЛІССЯ

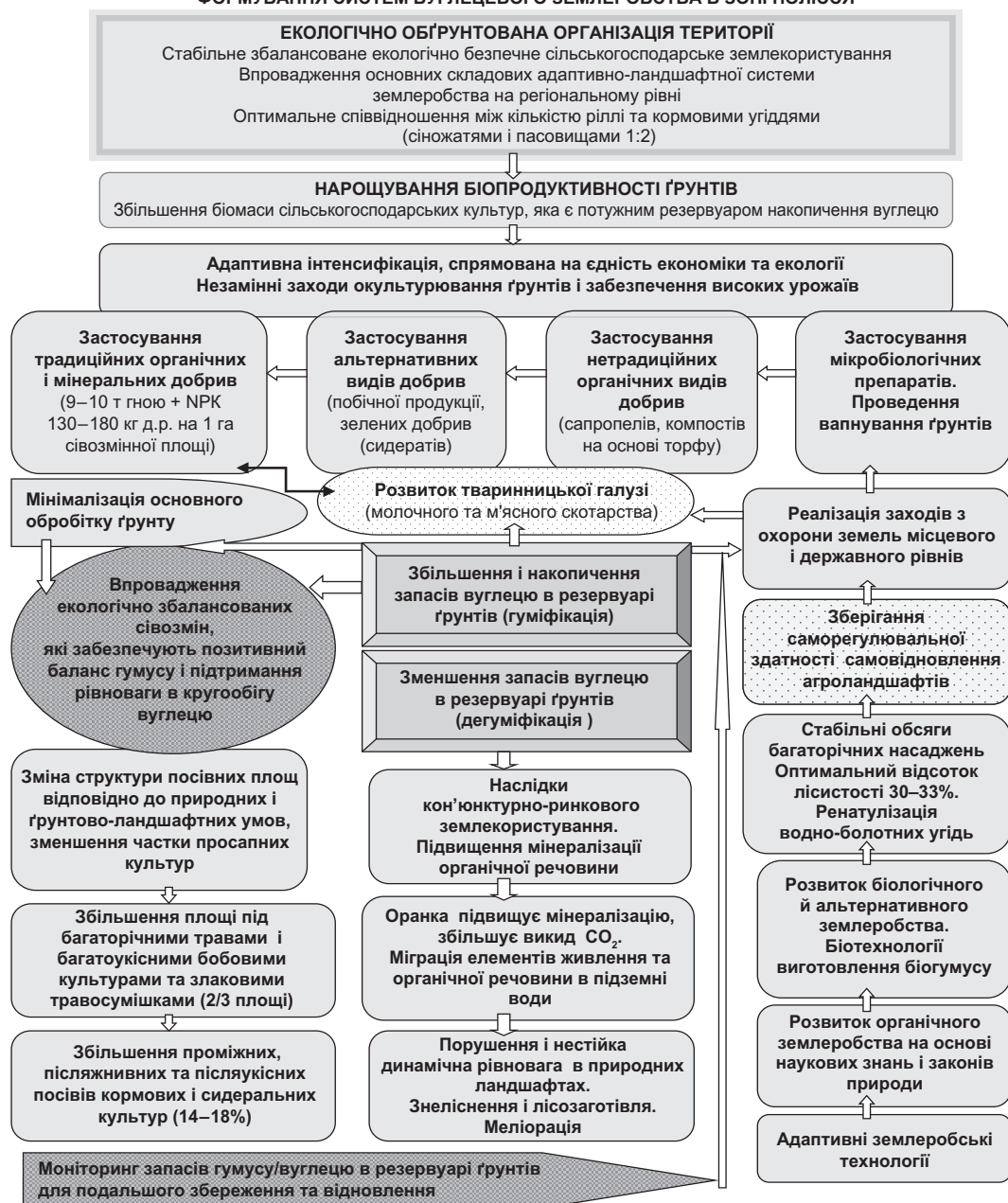


Рис. 3. Схема стратегічних напрямів потенційних можливостей збільшення та акумуляції органічного вуглецю в ґрунтах зони Полісся

- закріплення передової практики управління ґрунтовим органічним вуглецем у стандартах і технологічних регламентах;
- надійний моніторинг ґрунтового орга-

нічного вуглецю, доступність даних щодо його вмісту, динаміки та просторового розподілу в ґрунтовому покриві на рівні господарства, району, області та України загалом.

Висновки

В умовах сучасного ринку земельні ресурси в поліських регіонах зазнають великих антропогенних навантажень і деградують досить високими темпами. Така загрозлива ситуація пояснюється тим, що впродовж останніх років домінує незбалансована дефіцитна система землеробства з поступовим збідненням ґрунтового-ресурсного потенціалу та погіршенням екологічного стану ґрунтів. Як наслідок, ґрунти втрачають значну частину гумусу, який є резервуаром вуглецю. Зберігати й надалі такий підхід до родючості неприпустимо, ситуація потребує зміни принципів господарювання і негайного впровадження заходів, спрямованих на збереження родючості та призупинення деградації ґрунтів. За результатами досліджень дійшли висновку, що орні землі здатні до секвестрації (акумуляції) значної частини втраченого вуглецю з ґрунту за умови їх раціонального використання і застосування відповідних землеробських гумусоощадних технологій, спрямованих на підвищення вмісту органічної речовини в ґрунтах,

збереження ґрунтового вуглецю та запобігання втрат гумусу. Нині найважливішими факторами поповнення ґрунту органічною речовиною є запровадження заходів агроекологічного спрямування, особливо прогресивних методів землекористування з низьковуглецевим використанням земель сільськогосподарського призначення. Вони передбачають гармонізацію їхніх екологічних функцій та адаптивних агротехнологій окультурення ґрунтів через застосування протидеградаційних заходів, оптимізацію типів сівозмін і асортименту культур, удосконалені системи удобрення та обробітку з оптимізацією циклів поживних речовин та їхнього постачання для рослинництва, завдяки яким забезпечується в ґрунтах безвід'ємний баланс вуглецю. Управління сільськогосподарськими землями, орієнтоване на підвищення рівня секвестрації вуглецю в ґрунті, не лише знижує його викид в атмосферу, а й зменшує деградацію ґрунтів, а згодом і підвищує їхню родючість і стійкість аграрного виробництва в зоні Полісся.

Ryzhuk S.¹, Kochyk G.², Melnychuk A.³, Kucher G.⁴, Savchuk O.⁵

Polissia Institute of Agriculture of NAAS, 131 Kyivske shose, Zhytomyr, 10007, Ukraine; e-mail: ¹isgpo_zt@ukr.net, ²isgp.kor21@gmail.com, ³andriy_melnychuk@ukr.net, ⁵grunt17isgp@gmail.com

Justification of approaches and strategic directions for sequestration and increase of organic carbon in soils of Polissya zone

Goal. To scientifically substantiate zonal approaches and directions of organic carbon management in the soils of the Polissya zone and search for ways of its sequestration, restoration of soil fertility, and reduction of carbonic acid production in the atmosphere, which will be taken as a basis for the formation of key carbon farming systems in this area. **Methods.** System approach, scientific analysis of information, comparison, theoretical and practical generalization, abstract-logical. **Results.** Problems of restoration of humus reserves in low-yielding sod-podzolic soils of the Polissya zone, and preservation of their ecological and energy potential are analyzed. The possibilities and expediency of organic carbon management at the regional level and its sequestration in the soils of the Polissya zone are

highlighted. Scientific approaches and strategic directions for the reproduction, absorption, and retention of organic carbon in sod-podzolic soils to ensure neutral land degradation are considered. The main ways of development of carbon agriculture at the regional level to achieve the stabilization of organic carbon in the soils of the Polissya zone and its further increase are proposed. **Conclusions.** Carbon uptake and retention in the soil reservoir are ensured through appropriate zonal farming systems that regulate soil fertility. This problem is solved by arranging arable land, introducing low-carbon use with reforestation, stimulating livestock development, including the creation of hayfields and pastures, increasing production, and applying optimal doses of organic and mineral fertilizers, including secondary organic raw materials and local natural resources. As well as changing the structure of sown areas with a reduction of row crops, increasing the share of perennial grasses, the inclusion of legumes and cover and green crops in crop rotations, increasing crop yields, and introducing technologies of minimal tillage. With the application of anti-degradation measures, agro-technologies of soil cultivation, and involvement of all renewable organic resources, a positive

balance of humus is achieved, which is a prerequisite for reducing carbon emissions, restoring and increasing soil fertility and productivity of agrocenoses.

Key words: humus, mineralization, humification, soil organic carbon, fertility.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202205-03>

Бібліографія

1. Бедернічек Т.Ю. Вуглець, ґрунт і парникові гази. Чернівці: Друк Арт, 2021. Вип. 23. 32 с.
2. Lal R. Sequestering atmospheric carbon dioxide. *Critical Reviews in Plant Science*. 2009. V. 28. Is. 3. P. 90–96. doi: 10.1080/07352680902782711
3. Злобін Ю.Л. Основи екології. Київ: Лібра, 1996. 246 с.
4. Лялько В.І., Єлістратова Л.О., Кульбіда М.І. та ін. Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2015. № 6. С. 33–63.
5. Бедернічек Т.Ю. Резервуари і потоки карбону у наземних екосистемах України (за матеріалами наукового повідомлення на засіданні Президії НАН України 9 листопада 2016 р.). *Вісник НАН України*. 2017. № 1. С. 98–106. doi: 10.15407/visn 2017.01.098
6. Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов в Украине за 1990–2010 гг. Киев, 2012. 729 с.
7. Lal R., Kimble L.M., Follett R.F. Потенциал обрабатываемых земель США по секвестрации углерода и смягчению парникового эффекта. 1998. 128 с.
8. Семенов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. Москва: ГЕОС, 2015. 233 с.
9. Кудеяров В.Н. Современное состояние углеродного баланса и предельная способность почв к поглощению углерода на территории России. *Почвоведение*. 2015. № 9. С. 1049–1060.
10. Козут Б.М., Семенов В.М. Оценка насыщенности почвы органическим углеродом. *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*. 2020. Вип. 102. С. 103–124. doi: 10.19047/0136-1694-2020-102-103-124
11. Лал Р. Управление углеродом у сельско-хозяйственных ґрунтах. Стратегии пом'якшення та адаптації до глобальних змін. 2007. № 12 (2). P. 303–322. doi: 10.1007/s11027-006-9036-7
12. Мазур Г.А. Відтворення і регулювання родючості легких ґрунтів: монографія. Київ: Аграрна наука, 2008. 308 с.
13. Saskia D., Keesstra, Johan Bouma et al. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *Soil*. 2016. V. 2. Is. 2. P. 111–128. doi: 10.5194/soil-2-111-2016
14. Baliuk S.A., Kucher A.V. Spatial features of the soil cover as the basis for sustainable soil management. *Ukrainian Geographical Journal*. 2019. № 3. P. 3–14. doi: 10.15407/ugz2019.03.003 [In Ukrainian]
15. Craswell E.T., Craswell E.T., Lefroy R.D. The role and function of organic matter in tropical soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2001. doi: 10.1023/A:1013656024633
16. Кучер А.В. Еколого-економічні аспекти розвитку низьковуглецевого сільськогосподарського землекористування. Харків: Смуґаста типографія, 2015. 68 с.
17. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України. Центр Держродючості, ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського. Київ: НубіП, 2010. 50 с.
18. Трофименко П.І., Трофименко Н.В., Зубова О.В., Карась І.Ф. Запаси органічного вуглецю у дерново-підзолистих орних ґрунтах Полісся України. *Вісник ЖНАЕУ*. 2016. № 15 (53) Т. 1. С. 46–52.
19. Березницька М.В., Карасва Н.В. Формування стратегічних напрямів переходу до низьковуглецевого розвитку України на основі експертної оцінки. *Економічний вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2014. № 11. С. 39–46.
20. Бовсуновський А.М., Савчук О.І., Нагулевич Л.І., Мельничук А.О. Рациональне використання ґрунтового покриву Житомирського Полісся на засадах адаптивно-ландшафтного землекористування. *Вісник Харківського НАУ*. 2008. № 4. С. 132.
21. Балюк С.А., Греков В.О., Лісовий М.В., Комариста А.В. Розрахунок балансу гумусу і живих речовин у землеробстві України на різних рівнях управління. Харків: ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», 2011. 28 с.
22. Камінський В.Ф. Сівозміна як основа стало землекористування та продовольчої безпеки України. *Зб. наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2015. Вип. 2. С. 3–15.
23. Кисель В.И. Биологическое земледелие в Украине: проблемы и перспективы. Харьков: Штриф, 2000. 162 с.
24. Скрильник Є.В., Гетманенко В.А., Кутова А.М., Москаленко В.П. Потенційні ресурси та підходи до управління органічною сировиною України для поповнення запасів гумусу в ґрунтах. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2021. Вип. 2. doi: 10.31521/2313-092X/2021-2(110)-6