

## СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ

УДК 631.86:631.895:631.879

DOI: 10.31521/2313-092X/2021-2(110)-6

### ПОТЕНЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ ОРГАНІЧНОЮ СИРОВИНОЮ УКРАЇНИ ДЛЯ ПОПОВНЕННЯ ЗАПАСІВ ГУМУСУ В ҐРУНТАХ

**Є. В. Скрильник**, доктор сільськогосподарських наук

ORCID ID: 0000-0002-8642-8547

**В. А. Гетманенко**, кандидат сільськогосподарських наук

ORCID ID: 0000-0001-9021-3373

**А. М. Кутова**, кандидат сільськогосподарських наук

ORCID ID: 0000-0003-2680-566X

**В. П. Москаленко**

ННЦ “Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського”

*Проаналізовано наявні ресурси органічної сировини для поповнення запасів органічного вуглецю ґрунтів у різних ґрунтово-кліматичних зонах України. Розраховано орієнтовну забезпеченість органічними добривами областей України за різних сценаріїв. Наведено характеристику потенційних ресурсів органічної сировини природного походження та органічних відходів з позиції гумусоутворювання. Запропоновано підходи до управління органічними матеріалами для підвищення ефективності акумуляції гумусу в ґрунтах.*

**Ключові слова:** органічна сировина, гумус, зональна забезпеченість, підходи до управління ресурсами.

**Постановка проблеми.** У XXI ст. на передній план висувуються проблеми глобальних змін природного середовища та клімату, дефіциту продовольства і енергії, втрати біорізноманіття та стійкості екосистем. Проблема розбалансування біогеохімічних циклів вуглецю в результаті інтенсивного або нераціонального сільського господарства є часткою глобальних змін природного середовища. Органічна речовина ґрунту (ОРГ) відіграє важливу роль у вирішенні проблем стійкості агроекосистем, деградації ґрунтів та отриманні екологічно чистої продукції. За період 1850-2005 рр. внаслідок ерозії втрачено  $74 \pm 18$  Pg вуглецю, з яких 79-85% припадає на сільськогосподарські угіддя та пасовища (Nairal et al, 2018). Згідно з Регіональною оцінкою змін ґрунтів в Європі та Євразії (FAO, 2015), втрата гумусу спостерігається на 23-70% площі сільськогосподарських угідь. За даними Lal (2010), орні ґрунти містять на 25-75% менше органічного вуглецю ніж їх аналоги в природних екосистемах. Управління процесами кругообігу та секвестрації вуглецю в ґрунті є ключовою ланкою у вирішенні таких актуальних проблем загальносвітового масштабу, як подолання деградації ґрунтів та пом'якшення кліматичних змін (FAO, 2017).

Розробка і впровадження методів сталого управління органічним вуглецем ґрунту надзвичайно важливі для охорони ґрунтів України. Країна приєдналася до Конвенції ООН із боротьби з опустелюванням, в якій прийняла добровільне національне зобов'язання до 2030 року збільшити вміст органічного вуглецю в ґрунтах як мінімум на 0,1%. Збільшення запасів ОРГ покращує екологічні властивості ґрунту, включаючи збереження та відновлення ґрунтової біоти, оптимізує поживний режим та рівень зволоженості, тим самим підвищуючи довгострокову стійкість орних ґрунтів до деградації під впливом антропогенних факторів.

**Аналіз актуальних досліджень.** Зміни клімату, порушення стійкості екосистем, деградація ґрунтових ресурсів зумовили інтерес до вимірювання і кількісної оцінки змін запасів органічного вуглецю ґрунту в агроекосистемах з метою виявлення потенціалу секвестрації вуглецю орними ґрунтами. Секвестрація вуглецю ґрунтом є предметом цілого спектру досліджень у всьому світі. За дослідженнями Kell (2011) та Xiao (2015), збільшення вмісту органічної речовини в ґрунтах до глибини 2 метри на 5-15% дозволить знизити концентрацію CO<sub>2</sub> в атмосфері на 16-30%. Підраховано, що сумарний обсяг щорічного поглинання вуглекислого газу, включаючи

природну динаміку і застосування вуглець-зберігаючих технологій становить 23-28% від річних викидів в атмосферу в межах Росії (Іванов і Столбовой, 2019).

Здатність ґрунту стабілізувати та утримувати вуглець органічної речовини, що надійшов з органічними матеріалами, формує вуглець-секвестраційну ємність ґрунту. На секвестрацію вуглецю ґрунтовими ресурсами впливає комплекс взаємозв'язаних факторів (клімат, тип ґрунту, інтенсивність управління), які визначають накопичення вуглецю в ґрунті або його втрати (Luo et al, 2016). Здатність ґрунту утримувати вуглець контролюється не лише вмістом тонкодисперсних гранулометричних фракцій пилу і глини розміром <0,05 (0,02) мм (Когут і Семенов, 2020), але і ємністю катіонного обміну, мінеральним складом ґрунту та залежить від рівня зволоженості та температурного режиму (Кудеяров, 2015).

Секвестрація вуглецю залежить від рівня насиченості ґрунту вуглецем. Методи управління, що сприятимуть секвестрації в одному ґрунті, можуть бути неефективними для іншого, в якому вміст вуглецю наближається до стабільного рівня. Такий ґрунт буде накопичувати меншу кількість органічного вуглецю та з меншою швидкістю. Це має важливе значення для планування та розробки дій і методів сталого управління, які підтримують та збільшують запаси ОРГ. За результатами тривалих стаціонарних дослідів встановлено, що застосування органічних добрив сприяє підвищенню органічного вуглецю в ґрунті на 12-23% (Дегтярьов, 2011; Скрильник та ін., 2019; Кравченко, 2020). Середнє значення вмісту гумусу за довгострокового внесення гною нижче, ніж значення для короткострокового внесення, що свідчить про зниження темпів секвестрації органічного вуглецю по відношенню до емісії, оскільки загальний вміст гумусу наближається до рівноваги.

Значна увага дослідників приділена кількісній оцінці запасів вуглецю в ґрунтах, механізмам його стабілізації із застосуванням органічних матеріалів для збільшення запасів органічної речовини в ґрунті. Внесення органічної сировини з певним біохімічним складом врівноважують баланс між секвестрацією та емісією органічного вуглецю та є ефективним заходом для відновлення запасів ОРГ (Paustian, 2000; Seadi, 2012; Brassard, 2019). За умов застосування компостів із збільшеним вмістом гумінових кислот спостерігається повільна мінералізація азоту в ґрунтах, що покращує не тільки родючість ґрунту, але й умови гуміфікації органічних речовин (Скрильник та ін., 2018).

Кількісні та якісні перетворення складових пулів ОРГ з моменту їх біосинтезу до повної біологічної мінералізації тісно пов'язані зі специфічним процесом гуміфікації органічного субстрату ґрунту. Гуміфікація представляє собою процес біофізико-хімічної фіксації органічних речовин у формі стійких фракцій гумусових речовин, які захищають ОРГ від повної мінералізації (Орлов, 1985; Семенов і Когут, 2015). Під час розкладання органічної сировини мікроорганізмами ґрунту 70% органічного вуглецю втрачається в формі CO<sub>2</sub> за рахунок емісії, 20% перетворюється в гумінові сполуки і 10% трансформується в негумінові органічні сполуки та в мікробну біомасу (Семенов і Тулина, 2011; Соколов і др., 2018; Li et al., 2018).

Загальні методи управління, які можуть сприяти накопиченню вуглецю в ґрунтах, включають використання покривних культур, управління сівозмінами, внесення органічних добрив, більш ефективного управління заходами з обробітку ґрунту. Мінімізація втрат гумусу в ґрунтах може бути забезпечена впорядкуванням орних земель шляхом виведення з ріллі непридатних для розорювання угідь та консервації деградованих земель, впровадженням протиерозійних заходів, обов'язковим виключенням практик спалювання рослинності та її залишків на полях. Впровадження сільськогосподарських практик для підвищення вмісту ґрунтового вуглецю, залежить від комплексу факторів, пов'язаних з природними умовами (клімат, ґрунт), системою землекористування, а також залежить від соціального та культурного контексту (спеціалізація господарства, ринок та доступність засобів виробництва, субсидій, освіти фермерів та бажання змін) (Lorenz & Lal, 2018).

Методи підвищення акумуляції органічної речовини в ґрунті включають застосування науково-обґрунтованих систем удобрення, що сприятимуть надходженню значної кількості вуглецю і тривалому його перебуванню в ґрунті. Матеріальною основою відтворення ґрунтового вуглецю є органічні добрива, які водночас виступають провідним фактором сталого розвитку екологічно збалансованих систем землеробства, зокрема органічного. В системах органічного землеробства підвищується запас стабільного вуглецю в поверхневому шарі ґрунту (Blanco-Canqui et al., 2017), тим самим забезпечуючи його секвестрацію (Abdelrahman et al., 2020).

**Постановка завдання.** Оцінити забезпеченість ґрунтово-кліматичних зон України ресурсами органічної сировини для поповнення

запасів гумусу в ґрунтах та висвітлити підходи до управління з метою підвищення їх ефективності.

**Виклад основного матеріалу.** Антропогенне навантаження та втручання в природні процеси ґрунту порушує процес гумусонакопичення, що призводить до зміни співвідношення між синтезом та мінералізацією органічної речовини в ґрунті. Процеси дегуміфікації спричиняють погіршення агрономічних властивостей ґрунту і зниження родючості, що може позначитися на функціонуванні біосфери в цілому. Співставлення гумусованості ґрунтів України за часів Докучаєва (1882 р.) із сучасним станом свідчить, що втрати гумусу досягли рівня близько 20%.

Середньозважений показник вмісту гумусу в ґрунтах України за результатами X туру агрохімічної паспортизації земель (2011-2015 рр.) становить 3,16%. Це відображає позитивну тенденцію гумусованості ґрунтів порівняно з даними попереднього туру обстежень, за яким виявлено середній вміст гумусу на рівні 3,14%. Така тенденція пов'язана зі зростанням

надходження органічних речовин до ґрунту, в основному за рахунок рослинних решток та сидератів. Так, за останні п'ять років було внесено від 2,5-4,8 т/га соломи та 11,6-16,6 т/га сидератів щорічно. У розрізі ґрунтово-кліматичних зон найбільш істотне наявне підвищення вмісту гумусу в ґрунтах спостерігається в зоні Полісся – 4% (порівняно з 2006-2010 рр.), найменше в зоні Лісостепу – 0,6%.

Розвинений сектор рослинництва України щорічно генерує велику кількість нетоварної частини урожаю, яка у 2020 році перевищила 139 млн тонн (табл. 1). Нетоварна частина урожаю сільськогосподарських культур є джерелом відтворення органічної речовини в ґрунті, поживним та енергетичним субстратом для мікроорганізмів, продуцентом низькомолекулярних розчинних органічних сполук, які мають принципове значення для метаболізму ґрунту. Агрономічна ефективність застосування соломи як добрива доведена численними дослідженнями і практикою.

Таблиця 1

**Обсяги нетоварної частини урожаю основних сільськогосподарських культур у господарствах усіх категорій України (2020 р.), млн т**

Ґрунтово-кліматична зона	Пшениця та інші зернові	Кукурудза на зерно	Зерно-бобові	Соя	Ріпак	Соняшник	Всього
Полісся	13,5	8,2	0,1	2,1	1,3	2,6	27,8
Лісостеп	34	21,4	0,3	3,2	1,5	11,2	71,6
Степ	21,4	4,1	0,5	0,8	2,4	11,1	40,3
По Україні	68,9	33,7	0,9	6,1	5,2	24,9	139,7

Недоліком нетоварної частини урожаю сільськогосподарських культур є той факт, що органічні сполуки в їх складі хімічно стабільні та повільно розкладаються в ґрунті. За результатами тривалих стаціонарних дослідів ННЦ «Інститут землеробства НААН» застосування лише рослинних решток не компенсує втрати гумусу ґрунту внаслідок посиленої мінералізації, що призводить до втрат ОРГ на рівні 1,27 т/га (Літвінов, 2016). Специфічна особливість хімічного складу гною порівняно з кореневими та поживними рештками у тому, що в його складі містяться «готові» гумусові речовини (Кононова, 1968).

Загальною тенденцією за останні роки є зменшення об'ємів виробництва та застосування гною тварин. З 1985 року внесення гною великої рогатої худоби (ВРХ) в орні ґрунти зменшилося у 16 разів. Наразі, застосування органічних добрив за зонами України коливається в межах 0,13-1,20 т/га. Найбільшу кількість органічних добрив за останні п'ять років було внесено в зоні Полісся

(від 0,8 до 1,2 т/га), найменшу – в зоні Степу (від 0,13 до 0,25 т/га). Органічні добрива переважно застосовують під кормові культури, найменше – під посіви зернових (крім кукурудзи). За статистичними даними, у 2020 році гній вносили лише на 1,9% (0,8 млн га) сільськогосподарських угідь. З іншого боку, перехід сільського господарства на інтенсивний шлях розвитку призвів до появи потужних комплексів тваринництва та птахівництва зі стабільно високим виходом продукції. Порушення співвідношення кількості органічних відходів, що утворюється на фермах і комплексах тваринництва, та площі для їх внесення, недосконалість систем видалення та зберігання гною і посліду, недотримання строків і норм внесення органічних добрив несуть ризик забруднення довкілля біогенними елементами. Сумарний річний вихід гною та посліду в 2020 році у господарствах усіх категорій становить 106,2 млн тонн (табл. 2).

Таблиця 2

## Обсяги гною тварин у господарствах усіх категорій України, 2020 рік, млн т

Ґрунтово-кліматична зона	Гній ВРХ	Гній свиней	Гній овець	Послід птиці свійської всіх видів	Всього
Полісся	19,5	6,9	0,3	4,0	30,7
Лісостеп	28,7	9,9	0,3	11,7	50,6
Степ	13,8	6,4	0,6	4,1	24,9
По Україні	62,0	23,2	1,2	19,8	106,2

Згідно з розрахунками, застосування всього обсягу гною тварин та посліду птиці в перерахунку на підстилковий гній, за рівня виходу 2020 року, забезпечить удобрення сільськогосподарських угідь традиційними органічними добривами в дозі з розрахунку на суху речовину в зоні Полісся – 1,9 т/га, в зоні Лісостепу – 1,5 т/га, в зоні Степу – 0,5 т/га (табл. 3). У разі заорювання всього обсягу наявної

нетоварної частини урожаю основних сільськогосподарських культур за даними 2020 року внесення в зоні Полісся можливе в дозі 4,9 т/га, Лісостепу – 6,4 т/га, в зоні Степу – 3,4 т/га, що в перерахунку на підстилковий гній становить 2,8 т/га, 3,2 та 1,9 т сухої речовини на гектар посівної площі в зоні Полісся, Лісостепу та Степу України відповідно.

Таблиця 3

## Орієнтовна річна забезпеченість органічною сировиною для поповнення органічної речовини ґрунту в розрізі областей України

Ґрунтово-кліматична зона, область	Потенційний ресурс для внесення в ґрунт в перерахунку на підстилковий гній, т на гектар посівної площі									
	Нетоварна частина урожаю рослинництва		Гній тварин та послід птиці		Потенційний ресурс у разі залучення повного обсягу гною, нетоварної частини урожаю зернобобових, кукурудзи, соняшнику					
					частка залучення соломи зернових					
					80 %		60 %		40 %	
Полісся	11,0**	2,8***	7,5	1,9	16,9	4,2	15,2	3,8	13,5	3,4
Волинська	10,1	2,5	6,1	1,5	14,6	3,7	12,9	3,2	11,2	2,8
Житомирська	9,8	2,5	4,0	1,0	12,3	3,1	10,8	2,7	9,3	2,3
Закарпатська	8,7	2,2	18,4	4,6	25,9	6,5	24,7	6,2	23,4	5,9
Івано-Франківська	10,9	2,7	9,3	2,3	18,7	4,7	17,1	4,3	15,5	3,9
Львівська	10,6	2,7	6,7	1,7	15,9	4,0	14,4	3,6	12,9	3,2
Рівненська	10,7	2,7	5,3	1,3	14,5	3,6	12,9	3,2	11,3	2,8
Чернігівська	16,4	4,1	2,9	0,7	16,4	4,1	13,5	3,4	10,6	2,6
Лісостеп	12,8	3,2	4,7	1,2	15,4	4,2	13,3	3,8	11,2	3,4
Вінницька	11,1	2,8	5,8	1,5	15,0	3,8	13,1	3,3	11,2	2,8
Київська	10,9	2,7	5,6	1,4	14,6	3,7	12,8	3,2	10,9	2,7
Полтавська	13,3	3,3	3,0	0,8	14,1	3,5	11,9	3,0	9,6	2,4
Сумська	18,3	4,6	3,0	0,8	18,1	4,5	15,0	3,7	11,9	3,0
Тернопільська	14,5	3,6	4,5	1,1	16,7	4,2	14,4	3,6	12,1	3,0
Харківська	11,2	2,8	2,6	0,7	11,7	2,9	9,7	2,4	7,6	1,9
Хмельницька	15,7	3,9	4,9	1,2	18,1	4,5	15,7	3,9	13,2	3,3
Черкаська	9,4	2,4	5,5	1,4	13,3	3,3	11,7	2,9	10,1	2,5
Чернівецька	10,9	2,7	7,2	1,8	16,7	4,2	15,2	3,8	13,8	3,5
Степ	7,5	1,9	2,0	0,5	8,2	2,0	6,8	1,7	5,5	1,4
Луганська	6,7	1,7	1,3	1,7	6,8	1,7	5,5	1,4	4,3	1,1
Дніпропетровська	7,4	1,9	2,5	1,9	8,6	2,1	7,2	1,8	5,8	1,5
Донецька	8,0	2,0	2,3	2,0	8,8	2,2	7,4	1,8	5,9	1,5
Запорізька	7,4	1,9	1,5	1,9	7,6	1,9	6,3	1,6	5,0	1,2
Кіровоградська	6,9	1,7	1,5	1,7	7,3	1,8	6,1	1,5	4,9	1,2
Миколаївська	6,3	1,6	1,4	1,6	6,5	1,6	5,4	1,3	4,2	1,0
Одеська	5,1	1,3	2,3	1,3	6,5	1,6	5,5	1,4	4,6	1,1
Херсонська	9,2	2,3	1,7	2,3	9,5	2,4	8,0	2,0	6,5	1,6
По Україні	10,2	2,6	3,5	2,6	11,9	3,0	10,2	2,6	8,5	2,1

Примітка: \*З розрахунку на умовний стандарт – гній ВРХ підстилковий 75% вологості; \*\* на сиру речовину; \*\*\* на суху речовину

Прогнозне можливе внесення органічних добрив, враховуючи весь наявний вихід гною та нетоварної частини врожаю сільськогосподарських культур в Україні, становить для зони Полісся – 4,7 т сухої речовини в еквіваленті підстилкового гною на 1 га посівної площі, Лісостепу – 5,9 т/га, в зоні Степу – 2,5 т/га. В той час, як норма для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу, залежно від ґрунтово-кліматичної зони, має становити від 8 до 14 т/га.

Потенційний річний ресурс органічної сировини для внесення в ґрунти України за сценарієм застосування всього обсягу гною, нетоварної частини врожаю зернобобових, кукурудзи на зерно та соняшнику із залученням 40% річного обсягу соломи зернових, варіює від 1,4 т/га у Степу до 3,4 т/га у зоні Лісостепу та Полісся України (в еквіваленті сухої речовини підстилкового гною на гектар посівної площі). У разі залучення 60% річного обсягу соломи зернових, додатково до гною та нетоварної частини врожаю інших культур, доза внесення може досягати 2,6 т/га. Максимальне внесення органічної сировини (у разі заорювання 80% річного обсягу соломи зернових) за рівня виходу 2020 року в Україні може становити 3 т на 1 га посівної площі в еквіваленті сухої речовини підстилкового гною.

У зв'язку з дефіцитом традиційних органічних добрив значно зростає роль залучення органічної сировини різного походження для поповнення запасів гумусу. Сапропель, леонардіт, відходи переробної промисловості (осади стічних вод (ОСВ), біовугілля, відходи біогазових установок (БГУ) є альтернативними джерелами надходження органічної речовини в ґрунт та сировини для виробництва органічних добрив.

Родовища сапропелю в Україні мають загальні запаси 97 млн тонн, та зосереджені переважно у Волинській області. Середня продуктивність місцевих озер становить понад 1 тис. тонн з гектару. Масова частка сухої речовини сапропелю становить 14-15%, вміст органічної речовини варіює від 15 до 95% маси сухої речовини із вмістом органічного вуглецю 35-38% (рис. 1).

Запаси вугілля в Україні складають майже 117 млрд тонн, з яких частка бурого вугілля становить 6-8% (7,1-9,4 млрд т). Окислене буре вугілля (леонардіт) застосовують у сільськогосподарському виробництві як сировину для отримання гуматів. Органічна речовина леонардіту містить від 37,4 до 48,5% вуглецю на суху речовину, вміст гумусових речовин 76-96% від вмісту загального вуглецю.

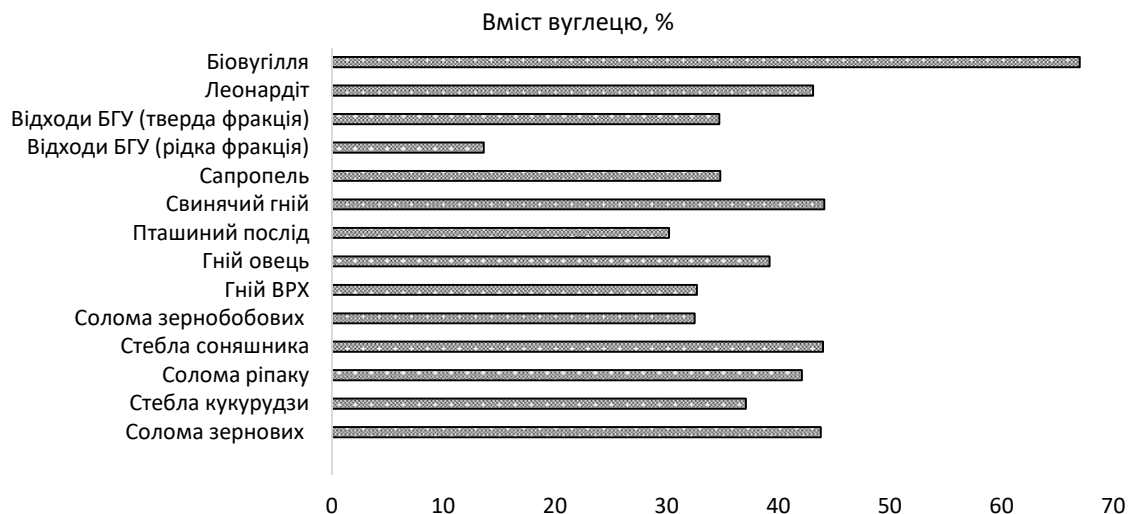


Рис. 1. Середній вміст загального вуглецю в органічній сировині різного походження

Біовугілля (biochar) належить до органічної сировини з високим вмістом вуглецю (64-70%). За оптимального піролізу біовугілля зберігає більше 50% вуглецю, що міститься у вихідній біомасі (Brassard et al., 2019). Через стійкість до розкладання мікроорганізмами за внесення в ґрунт, що може займати тисячі років, уповільнюється вивільнення органічного вуглецю у вигляді CO<sub>2</sub> (Woolf et al., 2018).

Ресурсом для поповнення органічної речовини ґрунту можуть розглядатися різноманітні органічні відходи, які входять до структури відходів усіх регіонів. В Україні з 3 млн т ОСВ лише 3-5% застосовують у сільському господарстві. В той час як утилізація ОСВ у сільському господарстві є поширеною практикою в Португалії – 87% від обсягу ОСВ, Іспанії – 65%, Великій Британії – 69% та США – 47% (Seiple et

al., 2017; Шквірко та ін., 2019). Оскільки пряма утилізація ОСВ несе за собою великі екологічні ризики, за наявності підвищених концентрацій важких металів, у світі вважають більш раціональним застосування компостів з цих відходів з метою забезпечення санітарно-гігієнічних норм кінцевого продукту. За анаеробних технологій переробки органічної сировини для енергетичних потреб формуються відходи, які відзначаються екологічністю (Тарасов и др., 2018) та достатньо високим вмістом органічного вуглецю (від 11,5 до 33,5%).

Органічним добривом вважається готовий для внесення у ґрунт продукт, який відповідає визначеним вимогам (не містить збудників хвороб, життєздатного насіння бур'янів, токсичних речовин та важких металів вище гранично допустимої концентрації (ГДК), має оптимальну реакцію середовища тощо). Ефективне застосування органічних добрив повинно базуватись на виключенні забруднення поверхневих та підземних вод, ґрунтів, транслокації нітратів у сільськогосподарську продукцію.

Системне вирішення проблеми виробництва та застосування добрив на основі органічних відходів пов'язано з необхідністю розробки нормативно-правової бази та розширенням досліджень щодо розробки адаптивних технологій їх переробки, які відповідають екологічним вимогам та сучасним ринковим відношенням товаровиробників. Залучення органічної сировини різного походження до виробництва органічних та органо-мінеральних добрив (ОМД) є перспективним способом насичення орних ґрунтів органічним вуглецем. Виробництво ОМД пролонгованої дії на основі відходів тваринництва та птахівництва, які поступово вивільняють поживні речовини під час взаємодії з ґрунтом впродовж вегетаційного періоду рослин, є одним з раціональних шляхів зменшення негативного впливу відходів на навколишнє середовище (ґрунти, ґрунтові та поверхневі води тощо).

Процеси перетворення органічної сировини у ґрунті багато в чому залежать від її складу. Компостування соломи, гною, посліду та інших джерел органічної сировини змінює якість кінцевого продукту. Органічна речовина зрілих компостів представляє особливу цінність для потенційного гумусоутворення в ґрунтах оскільки містить стійкі до розкладання гумусові речовини, що характеризуються високою молекулярною масою (Biala, 2011). Виробництво компостів на основі відходів органічного походження має значне природоохоронне значення, адже дозволяє безпечно утилізувати

відходи та максимально залучити до біологічного кругообігу біогенні елементи.

Для регулювання гумусового стану орних ґрунтів необхідно управляти кількістю та якістю надходження вуглецевих сполук та, що не менш важливо, процесами їх трансформації у ґрунті. Встановлено, що на коефіцієнти гуміфікації органічних добрив значно впливає норма їх внесення. Зі збільшенням норм гною проти рекомендованих посилюється мінералізація органічної речовини з одночасним зниженням інтенсивності гумусоутворення. Тільки за рівномірного розподілу в масі ґрунту органічних речовин гною можна досягти найбільшого виходу новоутвореного гумусу. Однозначний вплив на гуміфікацію виявляє глибина внесення органічних добрив, у разі їх загортання на глибину 20-30 см коефіцієнт гуміфікації збільшується до 60%. Після сумісного застосування гною, за рекомендованими зональними нормами, і мінеральних добрив коефіцієнти гуміфікації збільшуються на 10%. Проте сподіватися на таке збільшення ступеня гуміфікації можна лише після внесення мінеральних добрив разом зі свіжим солом'яним або напівперепрілим гноем. Внесення мінеральних добрив з готовим компостом, перепрілим гноем або перегноем не підвищує цей коефіцієнт. В ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» розроблено узагальнені нормативи гуміфікації органічної сировини, які для гною дорівнюють 30%, для нетоварної частини зернобобових культур – 25%, кукурудзи, соняшнику – 17%, соломи зернових – 15%. Нормативи розроблено для ґрунтів важкого гранулометричного складу. Для середньосуглинкових ґрунтів подані нормативи зменшуються на 10%, легкосуглинкових – на 20%, супіщаних – на 50%, глинисто-піщаних – на 85%.

Темпи та ступінь насичення ґрунту органічним вуглецем залежать не тільки від кількості та якості органічної сировини, але й від швидкості закріплення органічних речовин. Насичення органічним вуглецем залежить від фізико-хімічних властивостей, які не ідентичні у ґрунтах різних типів. Внаслідок чого реальні розміри секвестрації можливі лише до визначеного рівня, який відповідає межі насичення ґрунту органічним вуглецем, вище якої надходження свіжої органічної речовини не приводить до збільшення вуглецю.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Систематичне застосування органічних матеріалів у землеробстві сприятиме зменшенню розбалансування біогеохімічних циклів вуглецю та підвищенню стійкості

агроценозів. Розрахунок орієнтовної забезпеченості різних ґрунтово-кліматичних зон України традиційними органічними добривами показав дефіцит наявного обсягу утворення гною та нетоварної частини врожаю основних сільськогосподарських культур для поповнення ґрунтів органічною речовиною. Навіть максимальне залучення цих матеріалів не забезпечує рекомендовані зональні норми внесення в ґрунт. За сценарієм застосування всього обсягу гною, нетоварної частини врожаю зерно-бобових культур, кукурудзи та соняшнику, та із залученням 40% річного обсягу соломи зернових, прогнозована доза внесення органічних добрив в середньому по Україні досягає 2 т/га (в еквіваленті сухої речовини підстилкового гною на гектар посівної площі).

У контексті поповнення запасів органічного вуглецю в ґрунтах України, враховуючи дефіцит традиційних органічних добрив, значно зростає роль залучення органічної сировини різного походження (сапропель, леонардит, органічні відходи переробної промисловості, комунального господарства тощо). Органічні відходи характеризуються можливістю переробки та ліквідації термічними методами для енергетичних потреб. Однак їх пропонується розглядати насамперед як джерело вуглецевмісних сполук та елементів живлення рослин після проведення відповідних технологічних рішень.

Для здійснення спрямованої науково-обґрунтованої оптимізації гумусового стану ґрунтів необхідно контролювати якість органічних добрив, враховуючи характеристику органічної складової, що є важливим фактором впливу на процеси мінералізації-гуміфікації вуглецю у ґрунті. Перспективним вважається впровадження технологій біоконверсії органічних матеріалів, у процесі якої субстрат зазнає суттєвої трансформації з утворенням гуміфікованого продукту. Не менш важливо регулювати процеси перетворення

органічних матеріалів у ґрунті. В орних ґрунтах для інтенсифікації процесів гумусоутворення важливо керувати внесенням органічних добрив шляхом більш глибокого розміщення (>20 см) та сполучення з мінеральними добривами.

Залучення до виробництва добрив сировинних ресурсів органічного походження, впровадження технологій переробки для поліпшення їх меліоративних властивостей, дотримання рекомендованих доз, способів внесення та оптимального співвідношення між органічними і мінеральними добривами у конкретних сівозмінах і ґрунтово-кліматичних умовах дозволить підвищити ефективність застосування добрив для поповнення ґрунтового органічного вуглецю. Виважений зональний науково-методичний підхід до управління органічною сировиною в контексті підвищення вмісту вуглецю в ґрунті сприятиме збереженню родючості ґрунтів України, раціональному природокористуванню та охороні довкілля.

Сучасними задачами вивчення органічної речовини ґрунту є розкриття механізмів хімічних (біофізико-хімічних) процесів гуміфікації органічних матеріалів, розробка більш ефективних показників гумусового стану та складу, а також створення та розвитку технологій управління органічним вуглецем. Впровадження новітніх технологій підвищення вмісту органічного вуглецю у ґрунті, для яких, на сьогодні, існують технологічні та економічні бар'єри, матиме значний потенціал для секвестрації вуглецю у ґрунті в довгостроковій перспективі, у разі поглиблення досліджень та наявності економічних стимулів.

Враховуючи важливість показника вмісту органічної речовини для діагностики змін гумусового стану під час проведення моніторингу ґрунтів, необхідно провести широке обговорення питань потреби та методу перерахунку органічного вуглецю в гумус з метою оптимізації роботи агрохімічної служби України та створення інформативної бази даних якісного стану ґрунтів.

### Список використаних джерел:

1. Вплив систем удобрення на органічну речовину та агрохімічні показники чорнозему типового / Є.В. Скрильник та ін. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2019. № 88 С. 74-78. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-10>.
2. Дегтярьов В.В. Гумус чорноземів Лісостепу і Степу України: монографія. Харків: Майдан, 2011. 359 с.
3. Когут Б.М., Семенов В.М. Оценка насыщенности почвы органическим углеродом. *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*. 2020. Вып. 102. С. 103-124. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-103-124
4. Кононова М. М. Процессы превращения органического вещества и их связь с плодородием почвы. *Почвоведение*. 1968. № 8. С. 17 – 27.
5. Кравченко Ю.С. Відтворення родючості чорноземів України за ґрунтозахисного землеробства. *Агробіологія*. 2020. № 1. С. 67-75. DOI: 10.33245/2310-9270-2020-157-1-67-79.
6. Кудеяров В.Н. Современное состояние углеродного баланса и предельная способность почв к поглощению углерода на территории России. *Почвоведение*. 2015. № 9. С. 1049-1060.
7. Літвінов Д.В. Короткоротаційні сівозміни у сучасних системах землеробства. *Посібник українського хлібороба*. 2016. Том 1. С. 218-221.
8. Орлов Д.С. Химия почв. Москва: МГУ, 1985. 376 с.
9. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. Москва: ГЕОС, 2015. 233 с.

10. Семенов В.М., Тулина А.С. Сравнительная характеристика минерализуемого пула органического вещества в почвах природных и сельскохозяйственных экосистем. *Агрехимия*. 2011. № 12. С. 53-63.
11. Скрильчик Є.В., Гетманенко В.А., Кутова А.М. Сільськогосподарські відходи як ресурс для відновлення вуглецевого балансу в ґрунтах України. *Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології*: збірка матеріалів Національного форуму 22-23 лист. 2018 р. Київ: Центр екологічної освіти та інформації, 2018. С. 79-80.
12. Тарасов С.И., Ковалев Д.А., Караева Ю.В. Применение эффлюента биогазовой установки в качестве удобрения для органического земледелия. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. № 1. С. 91-97.
13. Шквірко О.М., Тимчук І.С., Мальований М.С. Адаптація світового досвіду утилізації осадів стічних вод до екологічних умов України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019, т. 29. № 2. С. 82-87. DOI: <https://doi.org/10.15421/40290216>
14. Экологические и фитосанитарные функции почвенного органического вещества (проблемно-аналитический обзор) / М.С. Соколов и др. *Агрехимия*. 2018. № 5. С. 79–96.
15. Biala J. The benefits of using compost for mitigating climate change. Department of Environment, Climate Change and Water NSW (New South Wales). Sydney South, Australia. 2011.
16. Brassard P., Godbout S., Lévesque V. Biochar for soil amendment. *Char and Carbon Materials Derived from Biomass*. 2019. P. 109-146. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814893-8.00004-3>.
17. Changes in labile fractions of soil organic matter during the conversion to organic farming / H. Abdelrahman et al. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2020. Vol. 20. P. 1019-1028. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00189-y>
18. Does organic farming accumulate carbon in deeper soil profiles in the long term? / H. Blanco-Canqui et al. *Geoderma*. 2017. Vol. 288. P. 213-221. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.031>
19. FAO and ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy. 2015. URL: <http://www.fao.org/documents/card>.
20. Global soil organic carbon removal by water erosion under climate change and land use change during AD 1850-2005 / V. Naipal et. al. *Biogeosciences*. 2018. Vol. 15. P.4459-4480.
21. Kell D.B. Breeding crop plants with deep roots: their role in sustainable C, nutrient and water sequestration. *Annals of Botany*. 2011. №108. P. 407-418.
22. Lal R. Managing Soils and Ecosystems for Mitigating Anthropogenic Carbon Emissions and Advancing Global Food Security. *Bio Science*. 2010. Vol. 60. P. 708-721. DOI: 10.1525/bio.2010.60.9.8.
23. Lorenz K., Lal R. Importance of Soils of Agroecosystems for Climate Change Policy. *Carbon Sequestration in Agricultural Ecosystems*. 2018. P. 357-386.
24. Management option for reducing CO<sub>2</sub> emissions from agricultural soils. / K. Paustian et al. *Biogeochemistry*. 2000. Vol. 48. P. 147-163.
25. Seadi T.A., Lukehurst C.T. Quality management of digestate from biogas plants used as fertilizer. *IEA Bioenergy*. 2012. Vol. 3. P.38-42.
26. Seiple T.E., Coleman A.M., Skaggs R.L. Municipal wastewater sludge as a sustainable bioresource in the United States. *Journal of Environmental Management*. 2017. Vol. 197. P. 673-680. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.032>.
27. Li J. et al. Soil labile organic carbon fractions and soil organic carbon stocks as affected by long-term organic and mineral fertilization regimes in the North China Plain. *Soil and Tillage Research*. 2018. Vol. 175. P. 281-290. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.08.008>
28. Unlocking the Potential of Soil Organic Carbon - Outcome Document of the Global Symposium on Soil Organic Carbon, 21-23 March 2017. Rome: FAO, 2017. P. 36. <http://www.fao.org/3/i7268e/i7268e.pdf>
29. Woolf D., Solomon D, Lehmann J. Land restoration in food security programs: synergies with climate change mitigation. *Climate Policy*. 2018. P. 1260-1270. DOI: <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1427537>
30. Xiao C. Soil Organic Carbon Storage (Sequestration) Principles and Management. Potential Role for Recycled Organic Materials in Agricultural Soils of Washington State. Waste 2 Resources Program Washington State Department of Ecology Olympia, Washington, 2015. 90 p.

**Е. В. Скрыльчик, В. А. Гетманенко, А. Н. Кутовая, В.П. Москаленко. Потенциальные ресурсы и подходы к управлению органическим сырьем Украины для пополнения запасов гумуса в почвах**

*Проанализированы имеющиеся ресурсы органического сырья для пополнения запасов органического углерода почв в различных почвенно-климатических зонах Украины. Рассчитана ориентировочная обеспеченность органическими удобрениями областей Украины, исходя из различных сценариев. Приведена характеристика потенциальных ресурсов органического сырья природного происхождения и органических отходов с позиции гумусообразования. Предложены подходы к управлению органическими материалами для повышения эффективности аккумуляции гумуса в почвах.*

**Ключевые слова:** органическое сырье, гумус, зональная обеспеченность, подходы к управлению ресурсами.



Ie. Skrylnyk, V. Hetmanenko, A. Kutova, V. Moskalenko **Potential resources of organic raw materials in Ukraine and the approaches to their management for increasing soil organic carbon stocks**

*The available resources of organic raw materials for replenishment of organic carbon in soils in various soil and climatic zones of Ukraine have been analyzed. The approximate supply of organic fertilizers to the regions of Ukraine has been calculated, based on various scenarios. The characteristics of potential resources of organic raw materials of natural origin and organic waste from the standpoint of humus formation are given. Approaches to the management of organic materials are proposed to improve the efficiency of humus accumulation in soils.*

**Keywords:** *organic raw materials, humus, zonal sufficiency, approaches to resource management*