

УДК 338.43.02(477):339

О. І. Трембіцька,

к. с.-г. н., доцент, доцент кафедри ґрунтознавства і землеробства,

Поліський національний університет

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1152-0215>

С. В. Богдан,

здобувач ступеня магістра з агрономії, Поліський національний університет

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3249-7096>

DOI: 10.32702/2306-6792.2023.21.89

РЕГЕНЕРАТИВНЕ СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

O. Trembitska,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department
of Soil Science and Agriculture, Polissia National University

S. Bohdan,

Postgraduate student, Polissia National University

REGENERATIVE AGRICULTURE IN ENSURING ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC SECURITY

У статті досліджено сутність та концептуальний зміст регенеративного сільського господарства у забезпеченні еколого-економічної безпеки. Досліджено основні елементи моделі регенеративного сільського господарства, а саме: секвестрація вуглецю, надземне біорізноманіття, підземне біорізноманіття. Сформовано рекомендації для успішного впровадження моделі регенеративного сільського господарства у вітчизняну практику. Обґрунтовано, що регенеративне сільське господарство узгоджується з формами агроекології, які практикують фермери, які піклуються про продовольчий суверенітет у всьому світі. Вибір методів ведення сільського господарства, які створюють регенеративні системи, може збільшити запаси вуглецю в ґрунті, зменшити викиди парникових газів, зберегти врожайність, покращити утримання води та здоров'я рослин, підвищити прибутковість ферми та відродити традиційні сільсько-господарські спільноти, одночасно забезпечуючи біорізноманіття та стійкість екосистемних груп.

The article examines the essence and conceptual content of regenerative agriculture in ensuring environmental and economic security. Regenerative agriculture is the philosophy behind a set of agricultural practices aimed at reversing the depletion of natural resources caused by industrial agriculture. Soil depletion due to irrational land use, over-cultivation of land, climate change, chemical pollution — these factors cause land degradation and a rapid decline in their fertility. Regenerative agriculture is aimed at creating healthy soil for many years, increasing biodiversity, restoring the balance in ecosystems and mitigating the consequences of climate change. The main task of regenerative agriculture is to obtain healthy plant products at the expense of natural soil fertility, thereby reducing the carbon footprint that affects climate change, through the application of natural fertilizers that can be produced on site or other material that can be decomposed on site, or when this plant material is digested and left behind by grazing animals. Regenerative agriculture helps fight climate change, because when carbon is grown or returned to the soil due to crop rotation, cover crops, and zero-tillage practices, it allows to increase the content of organic matter in the soil, plants grow with a stronger root system, become stronger, healthy, having the ability to resist diseases and pests. The main elements of the model of regenerative agriculture were studied, namely: carbon sequestration, above-ground biodiversity, underground biodiversity. Recommendations for the successful introduction of the regenerative agriculture model into domestic practice have been formulated. Regenerative agriculture is argued to be consistent with forms of agroecology practiced

by farmers concerned with food sovereignty around the world. Choosing agricultural practices that create regenerative systems can increase soil carbon stocks, reduce greenhouse gas emissions, preserve crop yields, improve water retention and plant health, increase farm profitability, and revitalize traditional farming communities while ensuring biodiversity and ecosystem resilience groups.

Ключові слова: сільське господарство, еколого-економічна безпека, регенеративне сільське господарство, агроєкосистеми, біорізноманіття.

Key words: agriculture, ecological and economic security, regenerative agriculture, agroecosystems, biodiversity.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Як відомо, сільське господарство чинить значний вплив на навколишнє середовище. Даний вплив пов'язаний приблизно з однією третьою світового землекористування та є ключовим чинником змін у землекористуванні в усьому світі. Виробництво харчових продуктів також пов'язане з приблизно 15% світових викидів парникових газів. Водночас очікується, що глобальні потреби в продуктах харчування зростуть як наслідок збільшення як чисельності населення, так і попиту на душу населення. У відповідь на ці різноманітні впливи багато сільгоспвиробників шукають більш сталі методи здійснення діяльності. Регенеративне сільське господарство було запропоновано в якості альтернативного способу сільськогосподарського виробництва, який може мати менший або навіть мінімальний екологічний та/або соціальний вплив. Різні науковці та практики висувують низку тверджень щодо потенціалу регенеративного сільського господарства для підвищення сталості виробництва продуктів харчування, включно з можливістю того, що регенеративне сільське господарство може стати частиною стратегії пом'якшення кліматичних змін. Панують окремі думки, що регенеративне сільське господарство має в основі намір покращити здоров'я ґрунту або відновити сильно деградований ґрунт, що симбіотично покращує якість води, рослинності та продуктивність землі. Дослідники в даній сфері оцінюють, що регенеративне землеробство може зменшити або поглинати 14,5—22 гігатонни CO₂ до 2050 року [1]. Більш сміливі заяви включають те, що регенеративне сільське господарство має потенціал відвернути неминучу зміну клімату і можливість секвеструвати понад 100% поточних річних викидів CO₂ за допомогою переходу на широкодоступні та недорогі органічні методи управління. Водночас деякі практики залишаються більш обережними щодо потенціалу регенеративного сільського господарства для досягнення цілей сталого розвитку.

Останнім часом регенеративне сільське господарство привернуло значну увагу виробників, роздрібних торговців, дослідників і споживачів, а також політиків і ЗМІ. Інтерес до регенеративного сільського господарства охоплює державний, приватний і некомерційний сектори. У державному секторі уряди на міжнародному та місцевому рівнях вивчають можливості для відновлюваного сільського господарства для внеску в плани дій щодо зміни клімату. У міжнародному спеціальному звіті "Зміна клімату та земля" Міжурядової групи експертів зі зміни клімату регенеративне сільське господарство визначено як "практику сталого управління земельними ресурсами", зосереджено на екологічних функціях, які "можуть бути ефективними у створенні стійкості агроєкосистем" [2]. Враховуючи поширення ідей впровадження моделі регенеративного сільського господарства у практику сільгоспвиробників розглянемо сутність цієї моделі, дослідимо та проаналізуємо успішні кейси міжнародних компаній та здійснимо оцінку відповідності, можливостей та обмежень імплементації моделі регенеративного сільського господарства у вітчизняну сільськогосподарську практику в Україні.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У вітчизняному науковому середовищі питання регенеративного сільського господарства та його впливу на еколого-економічну безпеку належним чином не досліджувались. Значну поширеність у науковому колі дана тематика віднайшла у зарубіжній дослідницькій практиці, результати чого представлені у працях [1—11].

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою статті є дослідження сутності та концептуального змісту регенеративного сільського господарства у забезпеченні еколого-економічної безпеки.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Регенеративне сільське господарство — це системний підхід до землеробства, який забезпечує здоров'я ґрунту шляхом підтримання рівня біорізноманіття над землею та під землею для повернення вуглецю і поживних речовин назад у ґрунт.

Біорізноманіття є основною рушійною силою поглинання вуглецю в ґрунті та фактором багатьох інших переваг для ферм та екосистем. Органічний вуглець ґрунту та органічна речовина ґрунту, в якій він міститься, життєво важливі для росту рослин, опосередкування агрегації ґрунту, температури, інфільтрації та утримання води і забезпечення кругообігу поживних речовин. Органічна речовина ґрунту також сприяє екосистемним функціям: зменшує ерозію, фільтрує забруднюючі речовини та забезпечує середовище існування та їжу для різноманітних видів.

Без достатньої кількості органічної речовини ґрунт не може підтримувати життя мікробів або життя рослин без величезної кількості ресурсів. Дві третини звичайних ґрунтів під посіви були виснажені до менш ніж двох відсотків органічної речовини, що обмежує врожайність і вимагає внесення хімічних добрив. Іншими словами, це — виробництво їжі на життєзабезпеченні, з ігноруванням величезного потенціалу для створення здорової їжі шляхом оздоровлення землі. Але є інший спосіб. Як визначив в 1942 році Й.І. Родейл, засновник органічного руху в Америці:

Здоровий ґрунт = Здорова їжа = Здорові люди

Завдяки регенеративному сільському господарству можна відновити посіви та пасовища, відновити органічну речовину ґрунту, а життя в ґрунті знову буде процвітати. Хоча регенеративне сільське господарство має бути заснованим на місцевості, індивідуальним системним підходом, існують певні взаємопов'язані практики, які є частиною більшості регенеративних систем.

Ці практики самі по собі не означають регенерацію, вони є початковою, а не кінцевою точкою в технології регенеративного землеробства. Як мінімум регенеративні сільськогосподарські методи, які сприяють поглинанню вуглецю в ґрунті, включають:

- урізноманітнення сівозмін;
- висадження покривних культур, сидератів і багаторічних насаджень;
- зберігання рослинних решток;
- використання природних джерел добрив, таких як компост;
- використання добре керованого випасу та/або інтеграції сільськогосподарських культур і худоби;
- зменшення частоти і глибини обробітку ґрунту;

— виключення синтетичних хімікатів.

Регенеративне сільське господарство зосереджено на результатах і практиках, які забезпечують результати: ці взаємопов'язані практики підтримують життя ґрунту та мінімізують ерозію, зберігаючи біомасу з різноманітних живих і мертвих коренів, пагонів і мікробів, які працюють синергетично, щоб поглинати вуглець. Хоча більшість практик, які забезпечують поглинання вуглецю в ґрунті, пов'язані з системами регенеративного землеробства, вони є "найкращими методами управління", які можна адаптувати до будь-якого типу ферми. Однак підтримувати життя в ґрунті не так просто, як просто додати одну практику; синергія взаємопов'язаних практик у загальній системі є ключем до біорізноманіття, яке поглинає вуглець у ґрунті.

Отже, основними елементами моделі регенеративного сільського господарства є секвестрація вуглецю, надземне біорізноманіття, біорізноманіття під землею. Розглянемо детальніше кожен із елементів моделі.

Секвестрація вуглецю ґрунтом означає максимальне видалення вуглекислого газу з атмосфери та мінімізацію втрат вуглецю ґрунтом. Для того, щоб відбулося поглинання вуглецю в ґрунті, увесь поглинений органічний вуглець у ґрунті повинен походити з атмосферного вуглецевого резервуару та переноситися в органічну речовину ґрунту через рослини, рослинні залишки, мікробні залишки та інші органічні речовини [3]. Органічна речовина ґрунту, незважаючи на те, що вона дуже різноманітна, складається приблизно з 50% відсотків органічного вуглецю ґрунту [3].

Секвестрація вуглецю відбувається на основі таких процесів:

1. фотосинтез: під час фотосинтезу рослини перетворюють вуглекислий газ (газ) на цукор (молекули вуглеводів);

2. обмін поживних речовин: цей рослинний вуглець надходить у ґрунт у вигляді підстилки або корневих ексудатів. ґрунтові мікроорганізми (гриби та бактерії) живуть разом із корінням рослин і розкладають ці органічні сполуки. Під час розкладання виділяються поживні речовини (азот, фосфор, сірка тощо), які підтримують ріст рослин;

3. вховування вуглецю: мікробна некробіомаса (мертва мікробна біомаса) може зберігатися в органо-мінеральних асоціаціях або мікроагрегатах. Цей фізично захищений стабільний вуглець переважно мікробного походження;

4. відновлення рівноваги: збільшення кількості мікроорганізмів у ґрунті допомагає відновити рівновагу вуглецю, що призводить до здоровішого ґрунту, здорової їжі та здоровішої планети.

Біорізноманіття під землею. Життя в ґрунті є надзвичайно складним і складається з великої кількості мікроскопічних бактерій, грибів, найпростіших і нематод, а також мезо— і макрофауни, як-от членистоногі, дощові черв'яки, веснянки, павуки та комахи. Всього в одній чайній ложці здорового ґрунту є мільярди цих організмів. Ґрунтова спільнота створює накопичувачі вуглецю через свою взаємодію під землею з фізичною структурою ґрунту, живим корінням і органічною речовиною, що розкладається, і над землею з рослинами, тваринами, погодою, людьми та їхньою практикою землеробства.

На чисельність і склад ґрунтового життя сильно впливає система землеробства. Щоб використовувати поглинання вуглецю в ґрунті та його додаткові переваги, фермери обирають взаємозв'язані стратегії управління, які збільшують біорізноманіття над землею та під землею. Систематичний огляд понад 50 міжнародних досліджень виявив майже на 60% більше біомаси від ґрунтових мікроорганізмів у органічно керованих фермерських системах порівняно зі звичайними [4]. Життя ґрунту в органічних системах також було більш ніж на 80% активніше, ніж у звичайних системах [4]. Це не дивно, оскільки більшість органічних систем і всі регенеративні системи побудовані на взаємопов'язаних практиках, призначених для збільшення біорізноманіття та підтримки здоров'я ґрунту.

Останні дослідження підкреслюють переважачу роль ґрунтових мікробів у формуванні запасів вуглецю в ґрунті. Всупереч попереднім думкам, це не непокірний рослинний матеріал, який зберігається і створює довгострокові запаси вуглецю в ґрунті, натомість це мікроби, які переробляють цей рослинний матеріал, найбільш відповідальні за поглинання вуглецю в ґрунті [5]. Стабільний вуглець ґрунту утворюється переважно мікробною некромасою (мертвою біомасою), зв'язаною з мінералами (мулом і глиною) у ґрунті.

Тривале зберігання вуглецю залежить від захисту вуглецю, отриманого мікробами, від розкладання. Цей захист відбувається в ґрунтових порах із певним діапазоном розмірів 30-150 мікрометрів, які створюються корінням із різноманітних полікультур, а не з монокультур [5].

Це означає, що для забезпечення зберігання вуглецю в ґрунті фермери повинні зосередитися на заохоченні різноманітних надходжень вуглецю для створення пористих структур і живлення ґрунтових мікробів, і те, і інше досягається за допомогою різноманітних коренів рослин. Ці корені допомагають мікробам будувати біомасу, яка стає некромасою-мінеральними амальгамами, які накопичують вуглець у дуже тривалі періоди часу [5].

Підживлення життя в ґрунті для заохочення біорізноманіття означає управління фермою так,

щоб у землі було живе коріння протягом якомога більшої частини року. Коріння сприяє здоров'ю ґрунту, безпосередньо живлячи мікроби своїми ексудатами, включаючи цукри, амінокислоти та органічні кислоти, створюючи правильну структуру ґрунту для захисту вуглецю, а також співпрацюючи з мікоризними грибами для зберігання вуглецю та кругообігу поживних речовин [5].

Фермери також повинні керувати ефективністю використання мікробного вуглецю, застосовуючи високоякісні рослинні ресурси. При обробці рослинних ресурсів мікроби одночасно використовують вуглець для росту та підтримки. Ефективність використання вуглецю — це частка надходження вуглецю, яку мікроби засвоюють, відносно вуглецю, втраченого або виведеного із системи у вигляді вуглекислого газу [6]. Ґрунт має консервативне співвідношення вуглецю до азоту приблизно 10:1. Це означає, що для поглинання вуглецю в ґрунті кожні 10 одиниць вуглецю потребують однієї одиниці азоту. Це пояснює, чому високі надходження вуглецю, незрозуміло інтуїтивно, не пов'язані з пропорційним збільшенням вуглецю в ґрунті. Застосування різноманітних, але низькоякісних (високе співвідношення C:N) матеріалів (наприклад, велика частка тирси або деревної стружки) або покривних культур (наприклад, лише зернових) призводить до низької ефективності використання вуглецю, що спричиняє більші пропорційні втрати вуглецю. Ці надходження високого співвідношення вуглецю до азоту також піддають мікроби стресу, що призводить до видобутку азоту з існуючої органічної речовини ґрунту. Щоб уникнути цього, фермери повинні включати високоякісні (з низьким вмістом C:N) вхідні матеріали, такі як бобові покривні культури та гній, рослинний компост або черв'яковий компост, які є більш ефективними у створенні вуглецю.

Рослини покладаються на доступні поживні речовини, які надає ґрунт. Цей цикл поживних речовин залежить від швидкого обороту вуглецевої речовини мікробами, що призводить до утворення твердих органічних речовин, які не зберігають вуглець протягом тривалого часу [6]. Управління сільськогосподарським ґрунтом для збільшення біорізноманіття та кількості життя в ґрунті під землею призводить до накопичення органічної речовини, яка зберігає вуглець на короткий і довгостроковий період. Обидва типи органічної речовини необхідні для належного функціонування екосистеми, утримання та кругообігу поживних речовин, а також виробництва їжі.

Коли компост замінює синтетичний азот, рослини відрощують більше коренів. Зменшення втрат азоту добрив є життєво важливим. Менше половини з 109 мільйонів метричних тон азотних

добрив на основі викопного палива, які використовуються щороку, засвоюються сільськогосподарськими культурами, решта або вимивається в ґрунтові води, створюючи морські мертві зони, або втрачається у вигляді сильних викидів парникових газів закису азоту [7]. Крім того, промислове виробництво азотних добрив безпосередньо спричиняє два-три відсотки всіх глобальних викидів парникових газів; а підкислення сільськогосподарських ґрунтів за рахунок синтетичного азоту також спричиняє ще два-три відсотки викидів [7].

Коли компост замінює синтетичний азот, рослини відрощують більше коренів, фіксуючи більше атмосферного вуглецю в процесі [7]. Встановлено, що покривні культури бобових вдвічі ефективніші у зберіганні органічного вуглецю в ґрунті, ніж азотні добрива [8].

Регенеративні системи можуть забезпечити азот, необхідний для поглинання вуглецю в ґрунті, включивши азотфіксуючі бобові та/або дерева в план ферми, що робить непотрібним штучне азотне добриво. Бобові культури, висаджені як покривні, фуражні або товарні культури в регенеративних системах, працюють з ризобіумом, ґрунтовою бактерією, щоб фіксувати атмосферний азот, який живить рослини та мікроорганізми.

Цей зв'язок фіксації азоту підтримує накопичення вуглецю, одночасно зменшуючи втрати азоту та шкоду навколишньому середовищу, яка виникає через синтетичні добрива [9]. Ектомікоризні гриби, ті, які найбільше пов'язані з деревами, співпрацюють з бактеріями, щоб контролювати кількість доступного азоту, підтримуючи баланс ґрунту, який пригнічує дихання вуглецю та збільшує накопичення вуглецю в ґрунті [9]. Фермери можуть стимулювати фіксацію атмосферного азоту шляхом інокуляції бобових або деревних культур азотфіксуючими бактеріями ризобіями або ектомікоризними грибами.

Надземне біорізноманіття. Велика кількість біорізноманіття над землею призводить до кращого здоров'я ґрунту та поглинання вуглецю в ґрунті під землею [10].

Відсутність життя над землею — "голий ґрунт" — заважає фотосинтезу та сприяє ерозії. Втрата ґрунту через вітер і дощ знижує продуктивність сільського господарства та зводить нанівець будь-яку надію перевести сільське господарство з кліматичної проблеми на кліматичне рішення. Іншою ознакою погано розробленої системи є монокультура — один вид культур, що вкриває величезний ландшафт. Монокультури та спрощені сівозміни вимагають хімічних речовин для боротьби з бур'янами, комахами та хворобами та для забезпечення родючості. Ці надходження руйнують біологію ґрунту та посилюють втрату вуглецю ґрунтом. Загалом системи, засновані

на принципах органічного менеджменту, сприяють біорізноманіттю. Нещодавні дослідження, які порівнювали понад 60 культур, вирощених у звичайних і органічних системах у всьому світі, показали, що органічні системи сприяли значно більшому біорізноманіттю, як у великій кількості, так і в видовому багатстві [10]. Будь-яка ферма, сертифікована органікою чи ні, може запозичити органічні моделі, щоб запровадити набір практик, які відновлюють життя в ґрунті, зосереджуючись на біорізноманітті над землею та під землею.

Лише дев'ять культур займають майже 70% сільськогосподарських угідь у всьому світі: цукрова тростина, кукурудза, рис, пшениця, картопля, соя, олійна пальма, цукровий буряк і маніок [10]. Ці культури часто вирощують у монокультурах або у вузьких товарних сівозмінах, як-от сівозміни кукурудза-соя. Вирощування лише одного чи двох видів сільськогосподарських культур робить ферму схильною до руйнування через спалахи шкідників або екстремальні погодні умови, які стають все більш поширеними з кліматичною кризою. Збільшення біорізноманіття над землею шляхом вирощування різноманітних культур у сівозміні, покривних культур, смугових культур, міжкультурних культур, багаторічних культур, а також інтеграції сільськогосподарських культур і худоби призводить до стійкості до таких потрясінь, одночасно сприяючи поглинанню вуглецю в ґрунті.

Покривні культури однаково важливі для великих і малих систем. Перехід у сівозміні від монокультури з паром до полікультури без пара збільшує біорізноманіття ґрунту та поглинає вуглець [8]. Наприклад, виявлено, що зміна сівозміни пшениця-пар на сівозміну пшениця-соняшник або пшениця-бобові значно збільшує запаси органічного вуглецю в ґрунті [8], а безперервна система ячменю більш ніж подвоює запаси вуглецю в ґрунті порівняно з системою ячмінь-пар [8]. Інтеграція посівних видів трав як покривних культур, живої мульчі або в сівозміні збільшує вуглець у ґрунті завдяки глибокій волокнистій кореневій системі цих багаторічних рослин [8]. І розширені сівозміни товарних культур, і впровадження покривних культур призводять до безперервного покриття, яке збільшує мікробну біомасу ґрунту та вуглець у ґрунті, забезпечуючи доступну енергію та кореневих господарів для бактерій і грибів.

Різноманітні культури також відіграють значну роль у поглинанні вуглецю ґрунтом, коли їх рослини та кореневі залишки зберігаються, а не видаляються чи спалюються [9]. Ці залишки підживлюють поживну мережу ґрунту, створюючи більш складні біохімічні структури, які служать попередниками утворення органічної речовини ґрунту [9]. Видалення решток основної то-

варної культури чи покривної культури стало звичним для виробництва біопалива, але така практика виснажує органічну речовину ґрунту [9]. Зберігання пожнивних решток у вигляді мульчі запобігає ерозії, пригнічує ріст бур'янів, пом'якшує температуру ґрунту, зменшує випаровування води з ґрунту, забезпечує органічну речовину, яку обертають дощові черв'яки, і захищає ґрунт від екстремальних погодних явищ.

Таким чином, відновлюване сільське господарство — це наукомісткий, системний підхід, заснований на екологічному мисленні. Воно не просто зводиться до кількох практик, натомість керується визначеними принципами та результатами. Навіть у органічних системах, які вирощують однакові культури та використовують той самий обробіток ґрунту, вибір методів управління, як-от тип покривних культур, частота та використання компосту, мають значний вплив на здоров'я ґрунту в довгостроковій перспективі. Дослідники, які протягом майже двадцяти років вивчали дев'ять різних систем овочівництва, деякі органічні, деякі звичайні, виявили, що лише одна з цих систем — органічна кукурудза, помідори, покривні культури та система гною — збільшила вміст органічного вуглецю в ґрунті вздовж повного профілю ґрунту.

Потенціал і швидкість поглинання вуглецю в ґрунті для будь-якої системи землеробства залежить від багатьох взаємодіючих факторів, включаючи: існуючий і історичний вміст органічного вуглецю в ґрунті, клімат і ландшафт, а також тривалість вегетаційного періоду.

Ця складність означає, що фермери можуть найкраще створювати регенеративні системи, коли вони опираються на базову екологічну грамотність для прийняття управлінських рішень для конкретного контексту ферми. Довші складніші сівозміни, включаючи покривні культури, багаторічні рослини та дерева, забезпечують існування різноманітних живих коренів у ґрунті протягом якомога більшої частини року — важливий принцип для регенеративного землеробства. Повторне запровадження тваринництва з високим рівнем догляду, збереження пожнивних залишків, зменшення обробітку ґрунту та додавання компостів або мікробних інокулянтів можуть ще більше покращити здоров'я ґрунту. Ці синергетичні практики поєднуються, щоб створити регенеративні системи, які сприяють біорізноманіттю над землею та під землею. Набір практик, які створюють відповідну систему для будь-якої окремої ферми, відрізнятиметься, але перелік регенеративних практик є широким і достатньо обґрунтованим, тому що кожна ферма може запровадити певні зміни в управлінні, які допоможуть перемістити сільське господарство від проблеми кліматичної кризи до частини рішення.

Усьому цивілізованому світові вкрай необхі-

дно скоротити викиди парникових газів в атмосферу, до цього світового тренду повинна доєднатися і аграрна спільнота України. Зрозуміло, що це вимагає рішучих політичних заходів, які можуть підтримати повну трансформацію енергетичного та транспортного секторів України. У той же час ми знаємо, що земний резервуар вуглецю є величезним резервуаром, який був осушений інтенсивною сільськогосподарською практикою. Поповнити цей резервуар можливо шляхом рекарбонізації ґрунтів ферм і пасовищ.

Саме фермери очолили революцію у відновлюваному сільському господарстві. І багатьом вітчизняним сільгоспвиробникам потрібно трохи більше, ніж знання, досвід і підтримка, щоб змінити практику. Масштабне звичайне промислове сільське господарство замкнене в системі, яка потребує не тільки волі фермера до змін. Це — система, побудована на високих капітальних витратах, власних вхідних ресурсах, насінні, цілеспрямовано розробленому для роботи лише в суворо контрольованих хімічних режимах, і в масштабах, що залежать не від гектарів, а від супутників, які геолокуються за милі. Великі капітальні витрати забезпечують виробництво недорогих товарних культур. Єдиний спосіб роботи цих систем — це екстерналізація витрат і самих масштабів у поєднанні з підтримкою державної сільськогосподарської політики та вкоріненими інтересами великих холдингів агробізнесу. Для рекарбонізації потрібно підтримувати регенерацію на локальному рівні.

Як вже було з'ясовано, у світовій практиці наявна велика кількість успішних кейсів впровадження моделі регенеративного сільського господарства. В Україні ж — зустрічаються поодинокі фрагментарні випадки. Зрозуміло, що в найбільшій перспективі урядовими документами та директивами ЄС передбачено забезпечення сталого розвитку сільського господарства та мінімізація його впливу на навколишнє середовище. А із вступом України в ЄС вітчизняний агробізнес вимушений буде відповідати визначеним вимогам і стандартам, зокрема у сфері регенеративного сільського господарства.

Які ж рекомендації можна сформулювати для успішного впровадження даної моделі у вітчизняну сільськогосподарську практику?

Парламенту України та профільному міністерству:

1) налагодити комунікацію та встановити тісний зв'язок із причінниками ідей регенеративного сільського господарства. Регенеративне сільське господарство — це рух, який очолює фермер і підтримує споживач в усьому світі, воно не має лобістської сили промислового агробізнесу. Слід надати пріоритет активній розбудові відносин із цим рухом. Навіть у малоімовірних місцях є люди, які працюють над тим, щоб зміни-

ти продовольчу систему з кліматичної проблеми на кліматичне рішення. Вони можуть бути регенеративними фермерами, покупцями природних продуктів харчування та кооперативами, організаціями сталого сільського господарства або навіть університетськими дослідниками. Слід підтримувати такі стосунки, які будуть інформувати про регенеративне сільське господарство на місцевому та глобальному рівнях.

2) забезпечити державну підтримку регенеративного, органічного та регенеративного органічного сільського господарства. Уряди та галузева політика, яка підтримує регенеративне сільське господарство, визнає та винагороджує фермерів за створення органічної речовини ґрунту. Ця політика найкраще зосереджена на підтримці та винагороді за позитивні результати. Існує широкий спектр політичних варіантів, від прямого розподілу витрат на покривні культури до сприяння взаємному навчанню фермерів, фінансування органічних досліджень, створення місцевих або регіональних рад щодо харчової політики та інтегрованих ландшафтних ініціатив тощо.

3) запобігти руйнуванню ґрунтів. Уряд можуть змінити політику, що руйнує ґрунт, різними способами. Почати варто із переосмислення субсидій і підтримки на основі сировинних товарів, страхування врожаю, державних програм закупівель, державного фінансування наукових досліджень із інтенсивним використанням хімікатів тощо.

4) створити орган сертифікації, стандартизації та маркування продукції регенеративного сільського господарства. Як-от, наприклад, успішний досвід функціонування відповідного органу Regenerative Organic Certification.

У свою чергу, перед вітчизняним фермером формуються такі виклики:

1) розвиток руху прибічників ідей регенеративного сільського господарства. Рух за регенеративне сільське господарство очолює фермер. Фермер також може створити місцеву чи регіональну групу для регенерації в ландшафтному масштабі, організувати альянс регенерації або заснувати і приєднатися до ради харчової політики, де різноманітні складові прокладають шлях до регенеративної системи харчування, адаптованої до місцевого контексту. Фермер, як учасник такого руху чи професійного об'єднання, може брати участь у законотворчому процесі.

2) проведення експериментів із впровадження окремих елементів моделі регенеративного сільського господарства та обмін досвідом. Як рух під керівництвом фермерів, експерименти на реальних фермах є критично важливими. Коли змінюються методи управління на основі того, що український фермер навчився робити, спостерігати та вимірювати зміни в

здоров'ї ґрунту та біорізноманітті, а потім ділитися цими результатами з іншими. Коли фермер експериментує, він може надати дані дослідникам і вести неформальні розмови з іншими фермерами, проводити дні поля, співпрацювати з дослідниками чи виступати на конференціях та інших зустрічах. Зокрема фермер може стати розробником політики та збільшити переваги для ферми, громади та ширшої продовольчої системи.

3) фіксація результатів впровадження елементів системи регенеративного сільського господарства. Регенеративні системи забезпечують широкий спектр корисних результатів, які цінує суспільство. Висока загальна продуктивність ферми, щільність поживних речовин, стійкість до аномальних погодних умов, екосистемні послуги, такі як зменшення стоку або використання добрив, а також створення робочих місць — лише деякі з них. Крім того, ферми можуть відстежувати накопичення органічної речовини в ґрунті, якщо послуги тестування доступні. Загалом 50% органічної речовини ґрунту становить органічний вуглець ґрунту. Для деяких регіонів тестування поглинання вуглецю в ґрунті може бути можливим у найближчому майбутньому за допомогою доступних датчиків ґрунту та інших точних вимірювань вуглецю в ґрунті. Існує також багато безкоштовних спостережень для визначення впливу на здоров'я ґрунту, пов'язаного зі змінами в управлінні, включаючи спостереження за біорізноманіттям, тести на агрегацію ґрунту та проникнення води. Можна отримати або створити картку здоров'я ґрунту, щоб записувати спостереження та відстежувати прогрес ферми.

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК

Таким чином, регенеративне сільське господарство узгоджується з формами агроєкології, які практикують фермери, які піклуються про продовольчий суверенітет у всьому світі. Вибір методів ведення сільського господарства, які створюють регенеративні системи, може збільшити запаси вуглецю в ґрунті, зменшити викиди парникових газів, зберегти врожайність, покращити утримання води та здоров'я рослин, підвищити прибутковість ферми та відродити традиційні сільськогосподарські спільноти, одночасно забезпечуючи біорізноманіття та стійкість екосистемних груп. Секвестрація вуглецю в ґрунті за допомогою регенеративного землеробства — це людський засіб боротьби з глобальним потеплінням, який вже готове до впровадження. Фермери вже ведуть еволюцію до регенеративних систем. Але українському фермеру потрібно масштабувати дану модель, щоб зробити регенерацію можливою.

Література:

1. Bodirsky B. L., Rolinski S., Biewald A., Weindl I., Popp A., Lotze-Campen H. Global food demand scenarios for the 21st century. PLoS ONE10, 2015. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0139201> (дата звернення: 23.07.2023).
2. Project Drawdown. Regenerative Annual Cropping. URL: <https://www.drawdown.org/solutions/regenerative-annual-cropping> (дата звернення: 23.07.2023).
3. Symnaczik Lori M., Mader S., Deyn P., Gatteringer G.D. Organic farming enhances soil microbial abundance and activity — A meta-analysis and meta-regression. PLOS ONE, 2017, vol.12. URL: doi:10.1371/journal.pone.0180442 (дата звернення: 23.07.2023).
4. Cotrufo M.F., Wallenstein M.D., Boot C.M., Denef K., Paul E. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? Global Change Biology 2013, vol. 19, pp. 988—995.
5. Liang C., Schimel J.P., Jastrow J.D. The importance of anabolism in microbial control over soil carbon storage. Nature Microbiology 2017, vol. 2, pp. 1—6.
6. Kravchenko A.N., Guber A.K., Razavi B.S., Koestel J., Quigley M.Y., Robertson G.P., Kuzyakov Y. Microbial spatial footprint as a driver of soil carbon stabilization. Nat Commun 2019, vol. 10, pp. 1—10.
7. Lavalley J.M., Soong J.L., Cotrufo M.F. Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. Global Change Biology 2020, vol. 26, pp. 261—273.
8. Canarini A., Kaiser C., Merchant A., Richter A., Wanek W. Root Exudation of Primary Metabolites: Mechanisms and Their Roles in Plant Responses to Environmental Stimuli. Front. Plant Sci. 2019, vol. 10. URL: doi:10.3389/fpls.2019.00157.
9. Kallenbach C.M., Wallenstein M.D., Schipanski M.E., Grandy A.S. Managing Agroecosystems for Soil Microbial Carbon Use Efficiency: Ecological Unknowns, Potential Outcomes, and a Path Forward. Front. Microbiol. 2019, vol. 10. URL: doi:10.3389/fmicb.2019.01146.
10. Nafziger E.D., Dunker R.E. Soil Organic Carbon Trends Over 100 Years in the Morrow Plots. Agronomy Journal, 2011, vol. 103, pp. 261—267.
11. Macdonald A.J. Rothamsted long-term experiments: Guide to the classical and other long-term experiments, datasets and sample archive; Rothamsted Research: Harpenden, UK, 2018.

References:

1. Bodirsky, B. L., Rolinski, S., Biewald, A., Weindl, I., Popp, A., and Lotze-Campen, H. (2015), "Global food demand scenarios for the 21st century", PLoS ONE, vol. 10: e01329201, available at: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0139201> (Accessed 23 Sep 2023).
2. Project Drawdown (2023), "Regenerative Annual Cropping", available at: <https://www.drawdown.org/solutions/regenerative-annual-cropping> (Accessed 23 Sep 2023).
3. Lori, M., Symnaczik, S., Mader, P., Deyn, G.D. and Gatteringer, A. (2017), "Organic farming enhances soil microbial abundance and activity-A meta analysis and meta-regression", PLOS ONE, vol. 12, e0180442
4. Cotrufo, M.F., Wallenstein, M.D., Boot, C.M., Denef, K. and Paul, E. (2013), "The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? ", Global Change Biology, vol. 19, pp. 988—995.
5. Liang, C., Schimel, J.P. and Jastrow, J.D. (2017). "The importance of anabolism in microbial control over soil carbon storage", Nature Microbiology, vol. 2, pp. 1—6.
6. Kravchenko, A.N., Guber, A.K., Razavi, B.S., Koestel, J., Quigley, M.Y., Robertson, G.P. and Kuzyakov, Y. (2019), "Microbial spatial footprint as a driver of soil carbon stabilization", Nat Commun, vol. 10, pp. 1—10.
7. Lavalley, J.M., Soong, J.L. and Cotrufo, M.F. (2020), "Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century", Global Change Biology, vol. 26, pp.261—273, doi:10.1111/gcb.14859.
8. Canarini, A., Kaiser, C., Merchant, A., Richter, A. and Wanek, W. (2019), "Root Exudation of Primary Metabolites: Mechanisms and Their Roles in Plant Responses to Environmental Stimuli. Front", Plant Sci., vol. 10.
9. Kallenbach, C.M., Wallenstein, M.D., Schipanski, M.E. and Grandy, A.S. (2019), "Managing Agroecosystems for Soil Microbial Carbon Use Efficiency: Ecological Unknowns, Potential Outcomes, and a Path Forward", Front. Microbiol, vol. 10.
10. Nafziger, E.D. and Dunker, R.E. (2011), "Soil Organic Carbon Trends Over 100 Years in the Morrow Plots", Agronomy Journal, vol. 103, pp. 261—267.
11. Macdonald, A.J. (2018), Rothamsted long-term experiments: Guide to the classical and other long-term experiments, datasets and sample archive, Rothamsted Research, Harpenden, UK.

Стаття надійшла до редакції 18.10.2023 р.