
МЕЛІОРАЦІЯ І РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТІВ

MELIORATION AND SOIL FERTILITY

УДК 631.51.01

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.134.42>

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ УПРАВЛІННЯ ЕМІСІЙНО-АСИМІЛЯЦІЙНИМ ПОТЕНЦІАЛОМ ҐРУНТІВ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ

Трофименко П.І. – д.с.-г.н., доцент,
професор кафедри геоінформатики,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

В роботі представлено методологічні засади управління емісійно-асиміляційним потенціалом ґрунтів, впровадження яких дозволить забезпечити раціональне використання ґрунтово-земельних ресурсів, мінімізувати втрати органічного вуглецю, уповільнити темпи зростання глобальної температури повітря та земної поверхні, концентрації в атмосфері біогенних парникових газів, в першу чергу CO₂, та стане запорукою сталого землекористування. Подано визначення поняття управління емісійно-асиміляційним потенціалом ґрунтів (ЕАВП), під яким слід розуміти здатність ґрунту забезпечувати стабільні, притаманні йому значення емісії і асиміляції CO₂, зберігати сталі обсяги нагромадження органічного вуглецю та дозволяють підтримувати їх протягом періоду, який обмежується відносно незмінними в часі параметрами абіотичних та інших зовнішніх чинників. Запропоновано управління ЕАВП здійснювати на основі 5-ти блоків: організаційного, економічного забезпечення, інформаційного, технологічного та нормативного забезпечення. Основними компонентами системи управління «емісійно-асиміляційним потенціалом ґрунтів» є наступні: цілісність, ємерджентність, взаємозалежність, синергізм, детермінованість системи, динамічність, оперативна актуалізованість системи та стабільність системи. Запропоновано здійснювати тривірневий моніторинг емісійно-асиміляційного потенціалу ґрунту, який дозволяє комплексно оцінити його стан здатність до формування емісійних потоків діоксиду вуглецю за зміни зовнішніх чинників природного і антропогенного походження. Перевагою означеного підходу є можливість прогнозування небезпеки підвищення обсягів непродуктивних втрат органічного вуглецю ґрунтом та визначення найбільш раціональних шляхів їх зниження. На основі інформації про емісійну активність ґрунтів запропоновано виділяти період з низькою інтенсивністю емісії CO₂, як рекреаційний період ґрунтів (РПП), в межах якого виділяти його осінню (I) та весняну (II) частини. Моделювання РПП забезпечить скорочення втрат органічного вуглецю та сприятиме встановленню оптимальних термінів проведення основного обороту ґрунтів.

Ключові слова: емісійно-асиміляційний потенціал, управління, ґрунти, стале землекористування.

Trofymenko P.I. Conceptual and methodological principles of management of the emission-assimilation potential of soils in the context of sustainable land use

The work presents the methodological principles of managing the emission and assimilation potential of soils, the implementation of which will ensure the rational use of soil and land resources, minimize the loss of organic carbon, slow down the rate of growth of the global temperature of the air and the earth's surface, the concentration of biogenic greenhouse gases in the atmosphere, primarily CO₂, and will become a guarantee of sustainable land use. The definition of the concept of management of the emission and assimilation potential of soils (MEAPS) is given, which should

be understood as the ability of the soil to provide stable values of emission and assimilation of CO₂ inherent to it, to preserve constant amounts of organic carbon accumulation and to allow maintaining them during a period limited by relatively constant parameters over time abiotic and other external factors. It is proposed to implement the management of the MEAPS on the basis of 5 blocks: organizational, economic support, informational, technological and regulatory support. The main components of the "soil emission and assimilation potential" management system are the following: integrity, emergency, interdependence, synergism, determinism of the system, dynamism, operational actualization of the system, and system stability. It is proposed to carry out three-level monitoring of the emission and assimilation potential of the soil, which allows for a comprehensive assessment of its condition and ability to form emission flows of carbon dioxide under changes in external factors of natural and anthropogenic origin. The advantage of this approach is the possibility of forecasting the danger of increasing the volume of unproductive losses of organic carbon in the soil and determining the most rational ways of reducing them. On the basis of information on the emission activity of soils, it is proposed to allocate a period with a low intensity of CO₂ emissions as a soil recreation period (RPS), within which to allocate its autumn (I) and spring (II) parts. Modeling of RPS will ensure the reduction of organic carbon losses and will contribute to the establishment of optimal terms for carrying out the main soil cultivation.

Key words: *emission and assimilation potential, management, soils, sustainable land use.*

Постановка проблеми. Як відомо, управління ґрунтово-земельними ресурсами і родючістю ґрунтів в Україні здійснюється органами влади та місцевого самоврядування на основі рекомендацій спеціалізованих наукових організацій та закладів [11]. В умовах підвищеного антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив та посилення розвитку деградаційних процесів в державі пріоритетним напрямком стабілізації сталого землекористування є концепція управління емісійно-асиміляційним потенціалом ґрунтів з метою запобігання та зниження обсягів втрат органічної речовини, підтримання екологічної стійкості агроландшафтів та їх адаптації до функціонування в умовах нестачі ґрунтової вологи.

Збалансовані обсяги емісії та секвестрація діоксиду вуглецю ґрунтами є важливою складовою управління ґрунтово-земельними ресурсами та основою функціонування екологічно зваженого землекористування. Масштаби зовнішніх навантажень на ґрунти, у першу чергу, антропогенного характеру, повинні узгоджуватися з їх спроможністю зберігати власний потенціал на певному екологічно визначеному рівні [11].

Стале використання ґрунтово-земельних ресурсів передбачає регулювання навантаження на ґрунти та встановлення динамічної рівноваги між величиною його навантаження на природне середовище та його здатністю до самовідновлення шляхом встановлення граничних значень потенціалу стійкості [3, 11].

Нині сталий розвиток сільськогосподарського виробництва ґрунтується на системному управлінні землекористуванням та трьох взаємопов'язаних принципах: економічний, соціальний та екологічно зважений до умов зовнішнього середовища. Поширеним терміном у практиці ведення господарства є «кліматично розумне» сільське господарство (climate-smart agriculture). Його функціонування передбачає три головних напрямки: підвищення продуктивності господарювання; адаптація та підвищення стійкості до кліматичних змін землекористування; скорочення викидів парникових газів [12]. За дослідженнями Frank S., Schmid E., Havlik P., Schneider U. A. and other (2015), секвестрація вуглецю в ґрунтах може компенсувати лише 7 % від загального обсягу викидів від сільського господарства в країнах Європи, або 10 % з урахуванням супутніх вигід від сектора рослинництва. За прогнозною оцінкою авторів викиди CO₂ із європейських орних земель можна скоротити на 40 % порівняно з 64 Мт CO₂ у 2010 р. – до близько 39 Мт CO₂

у 2050 р. за рахунок стабілізації стану ґрунтів після зміни характеру управління, сівозміни або землекористування [14].

З метою оптимізації роботи агропідприємств України у зв'язку з потеплінням деякі науковці пропонують комплекс стратегічних заходів з мінімізації розвитку деградаційних процесів та сприяння скороченню викидів парникових газів в результаті обробітку ґрунтів і збільшенню запасів вуглецю [13]: агрохімічний напрям (оптимізація органічного живлення рослин); технологічний напрям (ґрунтоохоронні, низьковуглецеві технології); організаційний напрям (оптимізація структури земельних угідь шляхом вилучення малопродуктивних); екологічний напрям (екологізація землекористування); економічний напрям (агро- та екологічне страхування).

Науково обґрунтоване управління емісійно-асиміляційним потенціалом ґрунтів, що функціонують у складі аграрних підприємств в трансформованих кліматичних умовах передбачає поступовий перехід до оптимальної моделі, яка б забезпечувала екологічну та соціальну стабільність агропромислового виробництва. Концептуальною основою сталого управління є системний підхід, основу якого складає дослідження об'єкта як цілісної сукупності взаємопов'язаних компонентів (елементів). Управлінське рішення є основним результатом процесу управління та важливим інструментом системного підходу [1, 2].

Саме тому дослідження питань удосконалення методів та засобів ведення невиснажливого господарювання у першу чергу шляхом раціонального використання ґрунтово-земельних ресурсів, є важливим стратегічним завданням нашої держави.

Постановка завдання. Зважаючи на вище зазначене, та враховуючи необхідність виконання Україною зобов'язань в межах діючої кліматичної угоди, обрана тема досліджень є виключно актуальною, а розроблення методологічних засад управління емісійно-асиміляційним потенціалом ґрунтів є важливою науково-практичною задачею. Дослідження передбачали розробку концептуальних та методологічних підходів щодо управління емісійно-асиміляційним вуглецевим потенціалом ґрунту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під емісійно-асиміляційним вуглецевим потенціалом ґрунту (ЕАВП) слід розуміти здатність ґрунту забезпечувати стабільні, притаманні йому значення емісії і асиміляції CO_2 , зберігати сталі обсяги нагромадження органічного вуглецю та дозволяють підтримувати їх протягом періоду, який обмежується відносно незмінними в часі параметрами абіотичних та інших зовнішніх чинників.

Отже, величину ЕАВП в тривалих часових інтервалах розвитку та функціонування більшості ґрунтових відмін слід розглядати як змінну та таку, що істотно залежить від глобальних процесів підвищення концентрації в атмосфері органічних парникових газів та температури повітря й земної поверхні.

У нашому розумінні стале управління емісійно-асиміляційним потенціалом ґрунтів повинно мати комплексний характер, що базується на інформаційному, організаційному, технологічному, економічному, нормативному забезпеченні, вчасному прийнятті зважених управлінських рішень, які спрямовані на оптимізацію вуглецевого балансу, як наслідок, на стабілізацію режимів функціонування ґрунту, зниження рівня деградації та підвищення рівня ґрунтової родючості. Воно базується на впровадженні процесів спеціального моніторингу, діагностики, оцінювання емісійно-асиміляційного статусу ґрунту, обрання просторово-диференційованих управлінських рішень відносно доцільних способів їх використання, оптимізації їх стану із застосуванням екосистемних підходів.

Основними компонентами системи управління «емісійно-асиміляційним потенціалом ґрунтів» є наступні: цілісність – ґрунти, сільськогосподарські культури та сукупність біотичних й абіотичних умов, в яких вони функціонують: глибина залягання підґрунтових вод, температура повітря, кількість опадів, умови рельєфу, концентрація біогенних газових сполук в приземному (надґрунтовому) шарі повітря; емерджентність – емісійно-асиміляційний потенціал ґрунтів не повинен визначатися лише на підставі оцінки стану окремих елементів, оскільки він є результатом виникнення між ними синергічних зв'язків, які забезпечують більш природній ефект функціонування системи; взаємозалежність та взаємний вплив між системою та зовнішнім середовищем. Зовнішні чинники (кліматичні умови, агротехнічні заходи, водна та хімічна меліорація) впливають на параметри балансу органічної речовини ґрунту, вмісту поживних макро- та мікроелементів та спричиняють зміну спрямованості процесів і режимів. Система еволюціонує під впливом компонентів зовнішнього середовища, але при цьому намагається зберегти свої властивості, що формують відносну стійкість та адаптивність її функціонування; синергізм – досліджуються зв'язки між компонентами системи, які притаманні відкритим системам, завдяки інтенсивному обміну речовинами та енергією з навколишнім середовищем із залученням її елементів до функціонуючих систем вищого рівня (біотичного та абіотичного колообігу окремих елементів). У випадку планування заходів з мінімізації викидів CO_2 з ґрунтів та підвищення секвестрації $\text{C}_{\text{орг}}$ (організаційні, агротехнічні та інші) перевагу слід надавати тим, які у комплексі забезпечують зростання ефективності комплексу заходів в цілому та сприяють досягненню тактичних цілей; детермінованість системи – компоненти системи мають чіткий характер спрямованості взаємозв'язків, що дозволяє відслідковувати причини й наслідки підсилення або послаблення емісійно-асиміляційного потенціалу ґрунту. Ця властивість допомагає оцінити вплив окремої складової емісійно-асиміляційного потенціалу ґрунтів в загальній системі сумарного впливу окремих чинників; динамічність – це якісний розвиток системи та її трансформація під впливом внутрішніх і зовнішніх чинників, тому необхідна постійне уточнююче корегування управлінських рішень, з огляду на агроекологічний стан ґрунту; оперативна актуалізованість системи – на основі врахування прямих і зворотних зв'язків: усі компоненти системи є взаємопов'язаними, зазнають впливу та трансформації. Тому розробка та обрання управлінських рішень повинно здійснюватися на актуалізованій (оновленій) базі даних про величину окремих емісійно формуючих складових; стабільність системи – характеризується безперебійністю її функціонування, стійкістю до впливу зовнішніх чинників;

Системний підхід як основа сталого емісійно-асиміляційним потенціалом ґрунтів в контексті сталого землекористування, ґрунтується на здійсненні моніторингу обігу органічної речовини у вигляді CO_2 на 3-х рівнях: емісія діоксиду вуглецю з земної поверхні, емісія та асиміляція CO_2 в системі ґрунт-атмосфера-рослина» та дослідження запасів двоокису вуглецю в ґрунтовому повітрі за профілем (рис. 1).

Тривірневий моніторинг емісійно-асиміляційного потенціалу ґрунту дозволяє комплексно оцінити його стан, здатність до формування емісійних потоків діоксиду вуглецю за зміни зовнішніх чинників природного і антропогенного походження та врахувати спроможність асиміляції сільськогосподарських культур в системі «ґрунт-атмосфера-рослина».

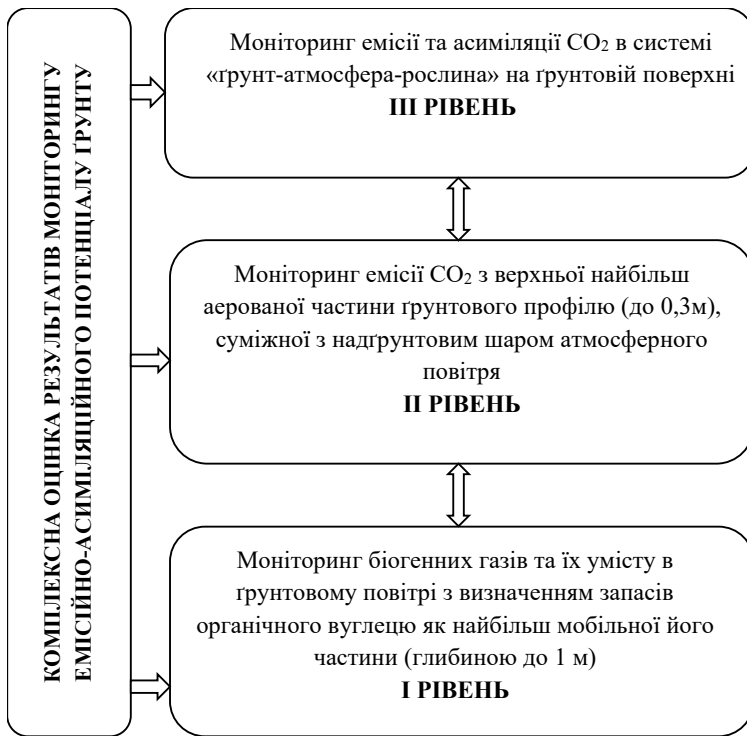


Рис. 1. Схема трирівневого моніторингу емісійно-асиміляційного потенціалу ґрунту

Перевагою означеного підходу є можливість прогнозування підвищення обсягів непродуктивних втрат органічного вуглецю ґрунтом та визначення найбільш раціональних шляхів їх зниження.

Системний підхід, як основа сталого управління, ґрунтується на наступних принципах:

- комплексності – орієнтований на цілісному дослідженні між окремими елементами системи, виявлення їхнього впливу на обсяги емісії CO_2 та секвестрації ґрунтом органічного вуглецю, розроблення диференційованих заходів щодо уповільнення втрат органічної речовини та підвищення родючості;

- узгодженості цілей – даний принцип демонструє, що цілі окремих елементів системи мають бути узгодженими між собою (взаємопов'язані, взаємозалежні) та зі стратегічними цілями всієї системи. До стратегічних цілей ми відносимо: збереження ґрунту, зниження рівня його деградації, забезпечення продовольчої безпеки; тактичних (охорона та підвищення родючості ґрунтів, стале землекористування) та оперативних (мінімізація непродуктивних втрат CO_2 ґрунтом, оптимізація складу земельних угідь з урахуванням наявності у їх складі ґрунтів з різним емісійно-асиміляційним статусом);

- безперервності процесу коригування цілей системи. Відповідно до нього система прийняття управлінських рішень, що базується на даних моніторингових досліджень, оцінці стану ґрунтів, вимагає періодичного коригування та має бути диференційованою, залежно від їх типу, приналежності до сільськогосподарського угіддя, кліматичних умов функціонування та рівня антропогенного

навантаження. У випадку погіршення параметрів вуглецевого балансу ґрунтів, розвитку деградаційних процесів система заходів має оперативно реагувати та на рівні управлінських рішень передбачити можливість оптимізації їхнього стану;

– достовірності інформації. Важливим чинником управління є наявність об'єктивної та точної інформації про обсяги емісії та асиміляції CO_2 , що базується на даних моніторингових досліджень та потребує періодичного оновлення. Якість управлінських рішень визначається оперативністю та об'єктивністю отриманих даних. Тому інформаційний блок є в системі сталого управління традиційно важливим і потребує періодичного оновлення технічних засобів та науково-методичної бази для його підтримки.

Розроблена нами система управління емісійно-асиміляційним потенціалом ґрунтів в контексті сталого землекористування містить такі складові блоки (рис. 2).

1. Інформаційний блок. Включає моніторинг, збір даних про емісійно-асиміляційний потенціал ґрунтів, сільськогосподарських культур, аналіз оперативної інформації, оцінювання стану ґрунтів, створення ґрунтово-інформаційних баз даних, картографічних матеріалів з можливим створенням регіональних інформаційних центрів для геоінформаційного забезпечення функціонування аграрних підприємств [15]. Цей блок складає основу системи сталого управління, оскільки є запорукою прийняття зважених управлінських рішень на базі оперативної, достовірної та комплексної інформації про їх стан;

2. Організаційний блок. Охоплює організацію та координацію органами виконавчої влади діяльності у сфері управління емісійно-асиміляційним потенціалом ґрунтів, організацію екологічнобезпечного функціонування агроландшафтів шляхом оптимізації структури земельних угідь, розробку заходів з дотримання рекреаційного періоду ґрунтів (РПП) землекористувачами та землевласниками [5].

3. Технологічний блок. Об'єднує комплекс заходів з мінімізації виділення CO_2 з ґрунтів агроландшафтів, який передбачає: розробку проектів впорядкування території угідь агропідприємствами з урахуванням вмісту органічної речовини та оптимізації структури посівних площ [6-9]; обґрунтування тривалості рекреаційного періоду залежно від переважаючого типу ґрунтів з визначенням найбільш доцільних часових інтервалів для проведення основного обробітку ґрунту; розробку комплексу агротехнологічних прийомів із застосуванням низьковуглецевих способів обробітку ґрунту, у першу чергу, дискування на глибину 8-10 см [4, 10], внесення достатньої кількості органічної речовини для максимального секвестрування $\text{C}_{\text{орг}}$.

Виділено період з низькою інтенсивністю емісії CO_2 (РПП), в межах якого виділено його осінню (I) та весняну (II) частини. Моделювання РПП та використання отриманої інформації під час виробництва рослинницької продукції, окрім скорочення втрат вуглецю, допомагає встановленню оптимальних термінів проведення основного обробітку ґрунтів, а також забезпечує їх стале функціонування [5].

Система удобрення ґрунту має бути враховувати потребу у добривах – забезпеченість ґрунту рухомими сполуками азоту, фосфору, калію та мікроелементами, а також забезпечувати бездефіцитний баланс гумусу.

Насичення сівозмін певними культурами повинно узгоджуватися зі здатністю ґрунтів забезпечувати оптимальні параметри реакції ґрунтового розчину (рН). З метою скорочення непродуктивних викидів CO_2 вапнування ґрунтів повинно здійснюватися лише за гострої необхідності.

4. Блок економічного забезпечення включає фінансування комплексу заходів з управління емісійно-асиміляційним потенціалом ґрунтів в контексті сталого

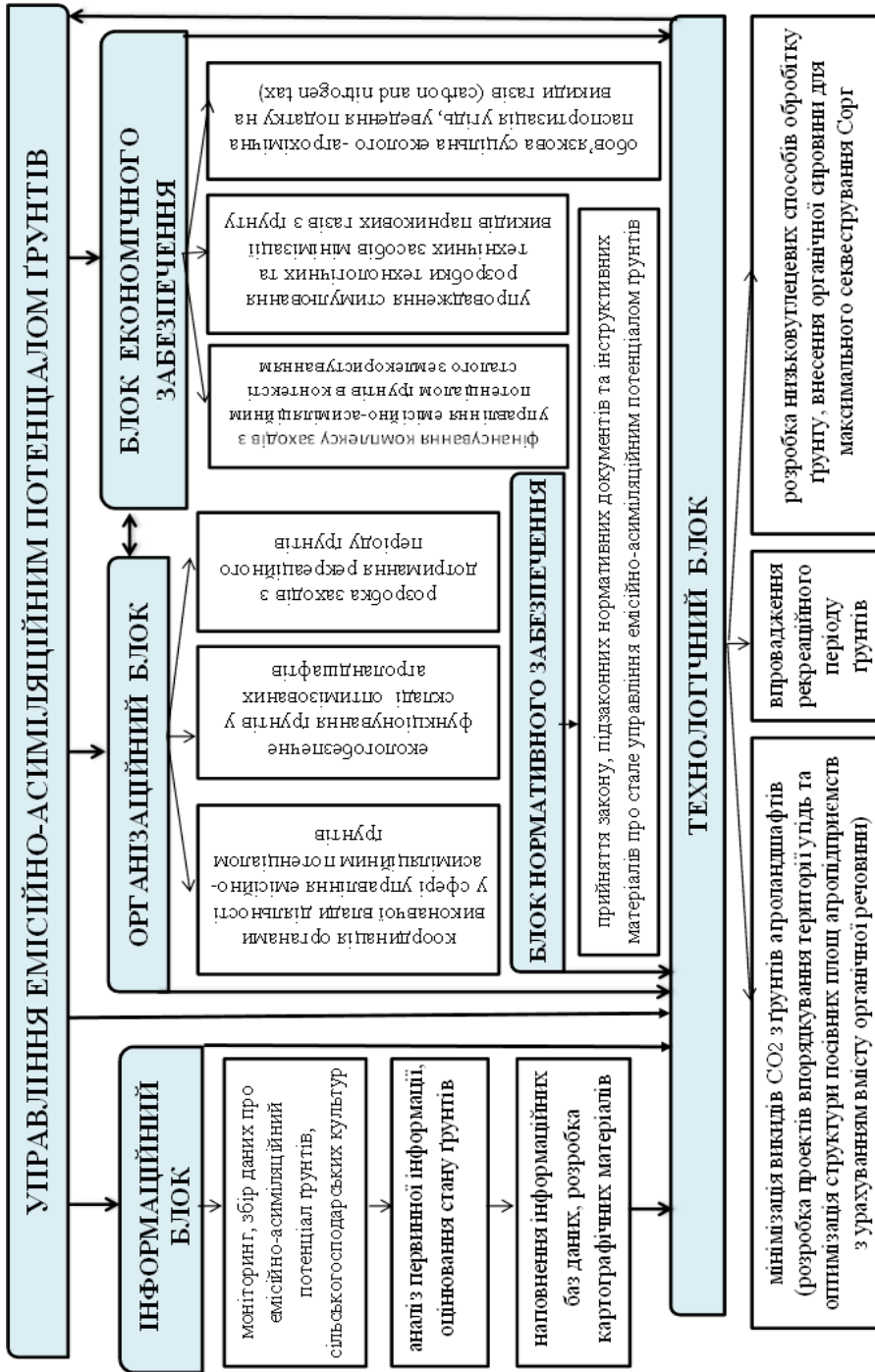


Рис. 2. Принципова схема управління емісійно-асиміляційним потенціалом ґрунту

землекористування; поступовий перехід до застосування механізмів стимулювання удосконалення агротехнологічних та технічних засобів вирощування рослинницької продукції виробниками з метою мінімізації викидів парникових газів з ґрунту та уведення відповідного податку на обсяги викидів на рівні агротехнологій (carbon and nitrogen tax); з метою уповільнення темпів втрат гумусу та загального зниження родючості ґрунтів запровадити поетапне (залежно від розміру підприємств) уведення обов'язкової суцільної еколого-агрохімічної паспортизації сільськогосподарських угідь з встановленням термінів періодичного контролю за вмістом органічного вуглецю.

5. Блок нормативно-правового забезпечення передбачає розроблення нормативної бази у галузі управління емісійно-асиміляційним потенціалом ґрунтів. Першочерговим є прийняття закону, підзаконних нормативних документів та інструктивних матеріалів про стале управління емісійно-асиміляційним потенціалом ґрунтів, який визначатиме правові, економічні, екологічні та соціальні аспекти використання ґрунтово-земельних ресурсів, збереження органічної речовини ґрунтів, родючості, основні принципи державної вуглецевої політики, вимоги щодо дотримання прийнятих оптимальних параметрів ведення екологічно зваженого господарства, розробка заходів захисту землевласників та землекористувачів від негативних природних та антропогенних впливів.

Висновки і пропозиції. Забезпечення нормативного забезпечення керування ЕАВПГ створює умови для забезпечення теоретичної, технологічної, технічної, правової складових стабільного та раціонального використання, захисту та екологічної адаптації ґрунтів до трансформації окремих компонентів біосфери, в першу чергу ґрунтів та атмосфери. Розроблення методологічних засад та впровадження управління емісійно-асиміляційним потенціалом ґрунтів в контексті сталого землекористування дозволить більш раціонально використовувати ґрунтово-земельні ресурси держави, мінімізувати негативний вплив наслідків глобального потепління на та уповільнити втрату ґрунтом органічного вуглецю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Добровільні принципи сталого менеджменту ґрунтових ресурсів (укр.). FAO and NSC ISSAR. 2019. Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management. Rome., P. 28.
2. Системний аналіз інформаційних процесів: навч. посіб. / В. М. Варенко та ін. Київ, 2013, 205 с.
3. Стратегія збалансованого використання, відтворення і управління ґрунтовими ресурсами: монографія / за наук. ред. С. А. Балюка, В. В. Медведєва. – К.: Аграрна наука, 2012. – 240 с.
4. Ткачук В. П., Трофименко П. І. Вміст гумусу за різного використання дерново-підзолистого супіщаного ґрунту та обсяги емісійних втрат CO₂. Наукові доповіді НУБіП України № № 2 (84), 2020, м. Київ. URL: <https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/13944/12100>.
5. Трофименко П. І., Журавльов В. П., Трофименко Н. В., Веремєнко С. І. Моделювання та агроекологічне обґрунтування рекреаційного періоду ґрунтів для забезпечення їх сталого функціонування. Вісн. Аграрної науки Причорномор'я. – 2019. – № 2 (102). – С. – С. 46-54.
6. Трофименко Н. В., Трофименко П. І., Карась І. Ф., Зубова О. В. Аналіз використання земельних ресурсів України сільськогосподарськими підприємствами. «Теоретичні та практичні аспекти наукових досліджень у сфері агротехнологій та землеустрою»: зб. тез наук. – практ. конференції за результатами наукових

досліджень співробітників агрономічного факультету – Житомир: Укрекобіокон, 2017. – С. 99–101, URL: <http://surl.li/nzgbv>, (Дата звернення: 10.10.2023).

7. Трофименко П.І., Карась І.Ф., Трофименко Н. В., Зубова О.В. Шляхи оптимізації структури земельного фонду України. Вісн. ЖНАЕУ. – 2016. – № 2(56), т. 1. – С. 71–77.

8. Трофименко Н.В., Трофименко П. І., Карась І. Ф., Зубова О. В. Моделювання структури посівних площ аграрних підприємств під час розробки проектів землеустрою у контексті збереження органічної речовини ґрунтів. Вісн. ЖНАЕУ. – 2016. – № 2 (57), т. 2, – С. 190–201.

9. Карась І., Трофименко Н.В., Трофименко П., Коткова Т. М., Зубова О. В. Аналіз продуктивності сільськогосподарських угідь Чуднівського району житомирської області з врахуванням придатності ґрунтово-земельних ресурсів. Вісн. ЛНАУ: Архітектура і будівництво. – 2018, № 2., С. 177-182., URL: http://visnuk.kl.com.ua/joom/images/archive/bud/19_2018/Arch-19-2018-37.pdf

10. Трофименко П.І., Ткачук В.П., Трофименко Н.В. Вплив систем обробітку та удобрення на інтенсивність емісії дерново – середньопідзолистого супіщаного ґрунту та асиміляції CO₂ сільськогосподарськими культурами в умовах Полісся. Вісн. Харківського нац. аграр. ун-ту ім. В. В. Докучаєва. – 2020. – № 1. – С. 22 – 31.

11. Основи управління родючістю ґрунтів: монографія / Р. С. Трускавецький та ін. Харків : ФОП Бровін О.В., 2016. 385 с.

12. Climate-Smart Agriculture (CSA) and Importance of Water Management. URL: <https://www.kisanhub.com/blog/climate-smart-agriculture-csa-and-importance-of-water-management> (Дата звернення: 10.10.2023).

13. Kucher A. Adaptation of agricultural land use to climate change. Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal. Vol. 3, No. 1, 2017, P. 119-138, URL: <https://www.are-journal.com/are/article/view/95>. (Дата звернення: 04.12.2023).

14. The dynamic soil organic carbon mitigation potential of European cropland / S. Frank, E. Schmid, P. Havlik, U. A. Schneider and other // Global Environmental Change. – 2015. – Vol. 35. – pp. 269-278. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.08.004>. (Дата звернення 10.10.2023).

15. Zatserkovnyi V.I., Trofimenko P.I., Zhukova M.V. Regional centers of protection and spatial data processing as a way to improve agriculture efficiency // XVIIth International Conference on Geoinformatics. Theoretical and Applied Aspects, 14-17 May 2018, Kyiv. URL: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57193445839>.