

Розрахунок балансу біогенних елементів у ґрунтах агроєкосистеми р. Рось

Ольга Ухань¹

к. геогр. н., зав. лабораторії регіональних гідрохімічних досліджень відділу гідрохімії,

¹ Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, Київ, Україна,

e-mail: ukhan_o@ukr.net, [id https://orcid.org/0000-0002-4856-7175](https://orcid.org/0000-0002-4856-7175);

Світлана Білецька¹

наук. співробітник,

e-mail: biletska@ukr.net, [id https://orcid.org/0000-0002-0190-4162](https://orcid.org/0000-0002-0190-4162);

Наталія Осадча¹

д. геогр. н., зав. відділу гідрохімії,

e-mail: nosad@uhmi.org.ua, [id https://orcid.org/0000-0001-6215-3246](https://orcid.org/0000-0001-6215-3246);

Юлія Лузовицька¹

к. геогр. н., ст. наук. співробітник,

e-mail: luzovitska@ukr.net, [id https://orcid.org/0000-0002-2052-0156](https://orcid.org/0000-0002-2052-0156);

Статтю присвячено визначенню балансу біогенних елементів у ґрунтах агроєкосистеми басейну р. Рось. Для розрахунків балансу використовували первинні дані статистичних управлінь Київської, Черкаської, Вінницької та Житомирської областей у розрізі адміністративних районів. Баланс нітрогену та фосфору у ґрунтах визначали як різницю між сумарним надходженням вказаних сполук (органічної та неорганічної форми) та їхнє вилучення з урожаєм сільськогосподарських культур. Надходження сполук нітрогену та фосфору мінеральної форми відбувається переважно за рахунок розвитку рослинництва. У басейні р. Рось до 85% від загальної площі рілля зайнято трьома домінуючими культурами: зерновими (50%), технічними (28%) та зернобобовими (22%). Найбільше надходження неорганічного нітрогену та фосфору зафіксовано у Вінницькій області. В цілому, у 2020 році спостерігалось зростання їх вмісту в ґрунтах у межах областей досліджуваного річкового басейну в середньому на 30% за рахунок збільшення обсягів використання мінеральних добрив. Зазначено, що у басейні р. Рось серед багатьох напрямків тваринництва саме птахівництво є основним джерелом навантаження органічними сполуками нітрогену та фосфору. В розрізі областей найбільше надходження сполук органічного нітрогену та фосфору спостерігалось для Київської та Черкаської областей через розташування в їх межах найбільших в Україні агрохолдингів – «Ясенсвіт» та «Наша Ряба». Проте величина надходження сполук органічного нітрогену та фосфору зменшилася у 2020 році на 35-40% внаслідок зменшення кількості поголів'я сільськогосподарських тварин і свійської птиці в агрохолдингах. Встановлено, що протягом досліджуваного періоду середньозважена величина балансу загального нітрогену характеризувалася надлишковим значенням внаслідок застосування технологій інтенсивного рослинництва. Зазначено, що основне навантаження відбувається за рахунок як мінеральної, так і органічної форми нітрогену. Баланс фосфору, натомість, відзначався дефіцитним станом за рахунок активного споживання рослинами та додатковою сорбцією ґрунтовими породами. Навантаження фосфором формується переважно за рахунок розвитку птахівництва. На відміну від нітрогену, основне навантаження формується за рахунок органічної форми фосфору.

Ключові слова: баланс фосфору, баланс нітрогену, навантаження біогенними елементами, рослинництво, тваринництво.

Як цитувати: Ухань Ольга, Білецька Світлана, Осадча Наталія, Лузовицька Юлія (2025). Розрахунок балансу біогенних елементів у ґрунтах агроєкосистеми р. Рось. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія», (62), 462-472. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-62-35>

In cites: Ukhan Olha, Byletska Svitlana, Osadcha Nataliia, Yuliia Luzovitska (2025). Calculation of nutrients balance in the soils of the Ros River agroecosystem. Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology, (62), 462-472. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-62-35> [in Ukrainian]

Вступ. Сільське господарство є базовим елементом агропромислового комплексу України. На його основі формується продовольча, економічна та екологічна безпека. Активний розвиток сільського господарства сприяє покращенню роботи технологічно пов'язаних галузей. У галузі землеробства України за організаційною структурою домінують сільськогосподарські підприємства та фермерські господарства - 69%. Майже удвічі менше оброблюваних земель припадає на господарства населення. Натомість, виробництва тваринницької галузі більшою мірою зосереджені у господарствах населення - 64% [1-2].

Загальна кількість добрив, що застосовуються до сільськогосподарських земель протягом року, безумовно, є важливим чинником при оцінці впливу сільського господарства на навколишнє середовище. З точки зору вірогідності впливу на якість води важливішим показником є валовий баланс поживних елементів, що утворився протягом року у верхньому шарі ґрунту. Він розраховується як різниця між кількістю поживних речовин, які входять у сільськогосподарську систему, і виходять з неї. Надлишок поживних елементів у ґрунті створює потенційних ризик їхнього вимивання під час формування водного стоку та надход-

ження у водні об'єкти, що може призвести до евтрофікації водойм [3, 4, 5]. Особливості застосування мінеральних добрив у значній мірі залежать від водного режиму та типології ґрунтів, кількості атмосферних опадів.

Високий рівень сільськогосподарського використання земель призводить до порушення екологічно збалансованого співвідношення між сільськогосподарськими угіддями, лісами та водоймами, що негативно впливає на стійкість агроландшафтів і зумовлює значне антропогенне навантаження на довкілля в цілому. Тривала нераціональна експлуатація земельних ресурсів, інтенсивна обробка ґрунтів, високий відсоток посівів просапних культур призводять до посилення деградаційних процесів у ґрунтах внаслідок інтенсивної ерозії [6, 7, 8].

Річка Рось - одна з найбільших приток в басейні р. Дніпро. Довжина річки 378,3 км, площа басейну - 12749 км². Басейн р. Рось розташований на правобережній Придніпровській височині на території двадцяти двох адміністративних районів чотирьох областей: Київської (49% від загальної площі басейну), Черкаської (20% території водозбору), Вінницької та Житомирської (16% та 15% відповідно). Річка Рось є однією з найбільш зарегульованих річок України [9, 10].

Географічне положення басейну р. Рось зумовлює її особливу роль у екомережі, як об'єднуючої ланки між окремими регіонами - зоною мішаних лісів та лісостепом України. Серед річкових басейнів Дніпра, територія водозбору р. Рось вирізняється високим рівнем освоєності та антропогенного навантаження, одним із провідних компонентів якого є інтенсивний розвиток сільського господарства. Зокрема, сільськогосподарські землі охоплюють 73% від загальної території басейну річки, серед яких 80% - посівні площі різних культур [11, 12]. Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва на території досліджуваного басейну тісно пов'язана з використанням агрохімічних засобів, які шляхом просочування та вимивання з ґрунтової товщі можуть призводити до забруднення вод сполуками нітрогену та фосфору [13, 14].

Висвітленню проблематики забруднення поверхневих вод біогенними елементами присвячено багато робіт вітчизняних науковців. У різні часи наукові праці В.К. Хільчевського, В.І. Пелешенка, Н.М. Осадчої висвітлювали питання умов формування кругообігу нітрогену та фосфору та їх надходження до поверхневих водних об'єктів. Вивченню особливостей навантаження зазначеними сполуками поверхневих вод присвячено наукові публікації [15, 16, 17].

Особлива увага щодо вивчення надходження біогенних елементів від точкових та дифузних

джерел у сучасний період приділяється за необхідності переходу державної системи моніторингу до європейських стандартів. Важливим результатом теоретичних та практичних досліджень стало розроблення методики розрахунку навантаження поверхневих вод біогенними елементами [18].

У публікаціях науковців [19, 20] стверджується, що сільськогосподарська діяльність є одним з головних чинників надходження сполук нітрогену та фосфору до ґрунтової системи, формування їх балансу та подальше надходження до поверхневих вод. Визначення гумусу в ґрунтах, лужногідролізованого нітрогену та рухомого фосфору детально описувалося вченими Тюрніним, Кононовою Бельчиковою, Корнфілдом, Чириковим та іншими. У методиках авторів [5, 10, 17] поширено твердження, що утворення біогенних сполук в ґрунтовому ценозі є позитивним чинником, що підвищує його поживну цінність і родючість.

Забруднення поверхневих вод безпосередньо р. Рось сполуками нітрогену та фосфору від дифузних джерел оглядово було представлено у [1, 11]. Рослинництво та тваринництво як вагомі джерела надходження біогенних елементів дифузного походження детально вивчалися науковцями Українського гідрометеорологічного інституту (УкрГМІ) під час роботи над документом "Розробка проекту плану управління річковим басейном басейну річки Дніпро в Україні: 1 фаза, крок 2 - Аналіз тиску та впливу, оцінка ризику, екологічні цілі для поверхневих водних об'єктів" у рамках програми Європейська спільна водна ініціатива плюс для країн Східного партнерства (EUWI+4), що фінансувалась ЄС.

Результати сучасних досліджень балансу нітрогену та фосфору у агроєкосистемі р. Рось **вперше** представлено саме у даній роботі.

Метою роботи було оцінити вплив сільськогосподарської діяльності на формування балансу біогенних елементів (сполук нітрогену та фосфору) в ґрунтах на території водозбору р. Рось в межах адміністративно-територіальних одиниць - областей та районів. Актуальність роботи полягає у розширенні знань щодо аналізу визначення особливостей та шляхів надходження біогенних елементів (реакційно здатних сполук нітрогену та фосфору) до агросистеми, процесів їх вимивання та подальшого надходження до водних об'єктів. Такі дослідження сприяють розробці заходів щодо попередження виникнення евтрофікації поверхневих вод, спричиненого надходженням нітратних сполук з сільськогосподарських джерел. Проведені дослідження розробляються у природоохоронних цілях, що може сприяти встановленню основних критеріїв при визначенні зон, уразливих до накопичення біогенних елементів

сільськогосподарського походження і подальшому визначенні потенційних ризиків забруднення поверхневих вод.

Методика дослідження. Джерелом інформації для визначення балансу біогенних речовин у ґрунтах (дані про кількість та типи тварин, посівні площі та урожайність культур, застосування мінеральних і органічних добрив) була річна звітність управління статистики чотирьох областей - Київської, Черкаської, Вінницької та Житомирської у розрізі найнижчої доступної просторової одиниці - адміністративного району [21, 22]. Роки дослідження - 2018 та 2020 рр.

Баланс нітрогену та фосфору у ґрунтах визначали як різницю між сумарним надходженням вказаних сполук із добривами та їхнє вилучення з урожаєм сільськогосподарських культур.

Так, *прибуткова частина* балансу розраховувалася за наступним рівнянням:

$$Input(N,P) = Mf(N,P) + Of(N,P) + N_{atm} + N_{ns} + N_{sf} \quad (1),$$

де Input(N,P) - прибуткова частина нітрогену та фосфору, що надійшла у ґрунт, кг/га;

Mf(N,P) - кількість нітрогену та фосфору, що надійшла з мінеральними добривами, кг/га;

Of(N,P) - кількість нітрогену та фосфору, що надійшла з органічними добривами, кг/га;

N_{atm} - надходження сполук нітрогену в ґрунт з атмосферними опадами, кг N/га;

N_{ns} - несимбіотичне надходження нітрогену, кг N/га;

N_{sf} - симбіотична фіксація нітрогену бобовими культурами або багаторічними травами, кг/га.

Під несимбіотичним надходженням сполук нітрогену мали на увазі його потенційну фіксацію вільноживучими мікроорганізмами в ґрунті [2, 20]. Симбіотична фіксація - це надходження атмосферного нітрогену в ґрунт внаслідок симбіозу бульбочкових бактерій із кореневою системою бобових культур чи багаторічних трав. Обсяг такої фіксації залежить від виду рослини та ґрунтово-кліматичних умов [5, 6, 12, 19].

У проведених обчисленнях відкориговано кількісні показники надходження нітрогену за рахунок симбіотичної фіксації с/г культурами - 0,33 кг N/га багаторічні трави і 0,94 кг N/га - бобові [12, 13] та несимбіотичної фіксації різними типами ґрунтів - сірими лісовими - $\geq 31,2$ кг N/га, чорноземами 35 кг N/га [12, 16].

Показники надходження нітрогену з атмосферними опадами застосували на основі їхньої регіоналізації за фізико-географічними зонами та обчислень на підставі даних моніторингу атмосферних опадів за період 2000-2020 рр.. Середня річна кількість опадів для зони мішаних лісів становила 606 мм, лісостепу - 571 мм, а кількість

нітрогену, що надходить з опадами в межах зазначених зон, становила 4,5 кг/га та 5,7 кг/га відповідно до робіт [5, 6, 8, 12].

Для обчислення надходження біогенних елементів з органічними добривами використовували дані про кількість та типи тварин. Коефіцієнти надходження біогенних елементів з гною свійських тварин та посліду свійських птахів запозичено із робіт [13, 19, 20]. Загальне надходження біогенних елементів з органічним добривом розраховували за рівнянням (2):

$$Of(N,P) = C/S_{total} \quad (2),$$

де Of(N,P) – кількість нітрогену та фосфору, що надходить з органічними добривами, кг/га;

C – вміст сполук нітрогену та фосфору в 1 т гною/пташиного посліду, кг;

S_{total} – загальна посівна площа, га.

Витратна частина балансу розраховувалась за наступним рівнянням:

$$Output(N,P) = (N,P)_h + N_{ev} + N_d + N_{ex} + P_{runoff} + P_{cum} \quad (3),$$

де Output(N; P) – витратна кількість нітрогену та фосфору з ґрунту, кг/га;

- $(N, P)_h$ – кількість нітрогену та фосфору, яка вилучається з ґрунту врожаєм сільськогосподарських культур, кг/га;

- N_{ev} - втрати нітрогену внаслідок випаровування NH_3 , кг/га;

- N_d - втрати нітрогену внаслідок денітрифікації, кг/га;

- N_{ex} – втрати нітрогену внаслідок вилугування NO_3 , кг/га.

- P_{runoff} - транспортування фосфору у складі поверхневого і дифузного стоку, кг/га;

- P_{cum} - кумулятивні втрати сполук фосфору, кг/га.

Споживання рослинам нітрогену та фосфору за рахунок вилучення з ґрунту врожаєм сільськогосподарських культур становить основну кількість витратної частини балансу і визначається за рівнянням:

$$N(P)_y = y * k(N/P) \quad (4),$$

де $N(P)_y$ – кількість нітрогену (фосфору), що вилучається з ґрунту врожаєм основних сільськогосподарських культур, кг/га;

- y - урожайність сільськогосподарської культури, ц/га;

- k(N/P) – коефіцієнт споживання з ґрунту сільськогосподарською культурою, кг/ц.

Коефіцієнти споживання поживних елементів рослинами залежать від цілого ряду чинників: біологічних особливостей культур, умов зволоження, типу ґрунту, ступеня забезпеченості сільськогосподарських культур рухомими формами поживних елементів, кліматичних умов, рівня

врожайності тощо [2, 6, 12]. Для наших розрахунків коефіцієнти споживання нітрогену та фосфору різними культурами запозичено з роботи [12]. Винос їх з ґрунту сільськогосподарськими культурами значною мірою залежить від їхнього вмісту в основній і побічній продукції врожаю. Показники врожайності отримано з офіційних статистичних даних [1-2].

Вихід нітрогену з ґрунту внаслідок процесів випаровування аміаку та процесів денітрифікації було оцінено за допомогою досліджень [15, 19-20]. Втрати нітрогену при потенційній міграції нітратів по ґрунтовому профілю - на основі досліджень [4, 7, 16].

Під кумулятивними втратами мали на увазі зменшення вмісту сполук фосфору внаслідок деградації ґрунтів через водну ерозію. Потенційні втрати фосфору з ґрунту внаслідок водної ерозії використовувались з досвіду у дослідженнях [15, 19], в яких встановлено залежність зростання емісії фосфору з території водозбору зі збільшенням частки оброблюваних сільськогосподарських земель. Внаслідок впливу водної ерозії до 94% фосфору транспортується у складі ерозійних часток і до 6% - у складі дифузного стоку [9, 14, 18, 20].

Дифузне надходження сполук фосфору з мінеральними добривами носить локальний характер, оскільки, такі мінеральні добрива, як суперфосфат, ортофосфат, амофос тощо, застосовують лише у залежності від технологічних вимог вирощування сільськогосподарських культур [11, 12].

Результуюче значення балансу розраховували за наступним рівнянням:

$$B(N;P)=Input(N;P)-Output(N;P)/\Sigma S, \quad (5),$$

де $B(N;P)$ - загальний баланс нітрогену, фосфору в ґрунті, кг/га;

- $Input(N;P)$ - прибуткова складова балансу сполук нітрогену та фосфору, кг/га;
- $Output(N;P)$ - витратна складова балансу сполук нітрогену та фосфору, кг/га;
- ΣS - загальна посівна площа у межах адміністративної одиниці (району), га.

Результати. Нітроген – один із найважливіших елементів живлення для рослин, він входить до складу білків та нуклеїнових кислот, ферментів, молекул хлорофілу. Вміст нітрогену в ґрунті на достатньому рівні забезпечує повноцінний ріст та розвиток рослини, тому є одним із основних показників родючості ґрунтів. Найбільше нітрогену міститься в чорноземах типових лісостепової зони України та у чорноземах звичайних північного степу, найменше – у дерново-слабопідзолистих і середньопідзолистих ґрунтах Полісся [1, 8, 9]. Близько 93-97 % нітрогену входить до складу гумусу, решта - це мінеральні сполуки, за рахунок яких відбувається живлення рослин. Мі-

неральний (неорганічний) нітроген в ґрунті представлений іонами амонію (NH_4^+) та нітрат-іонами (NO_3^-). Співвідношення неорганічного нітрогену до органічного приблизно становить 1/9 [18, 22].

Фосфор зустрічається в ґрунтах як в органічній формі, так і в неорганічній (мінеральній) формі, розчинність якої у ґрунті низька. Наявність фосфору для рослин є важливим чинником для стимуляції росту, підвищення продуктивності та прискорення зрілості. Вміст фосфору в рослинах, ґрунті, добривах прийнято виражати в перерахунку на його оксид P_2O_5 .

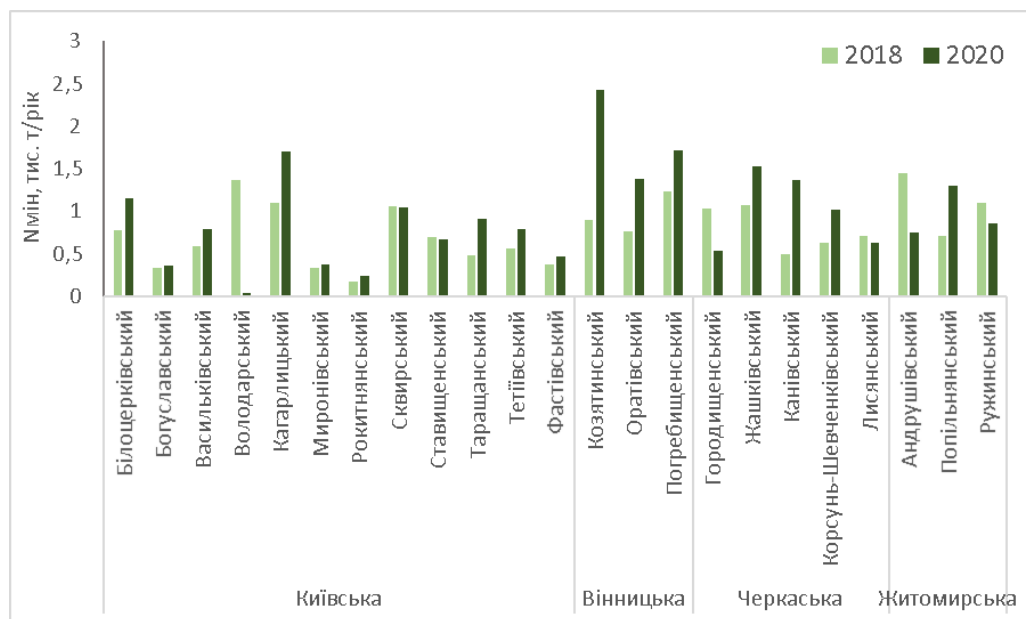
Рослинництво. У земельному фонді басейну р. Рось приблизно 990 тис. га займає рілля [1, 2, 13]. Серед областей у межах яких знаходиться басейн р. Рось, згідно проведеного аналізу, найбільша частка посівів сільськогосподарських культур (площею понад 390 тис. га) знаходилась у Київській обл.

На основі регіоналізації посівних площ басейну р. Рось проаналізовано дані державних статистичних спостережень за формою №29-СГ (річна) щодо площ та зборів сільськогосподарських культур за 2018 р. та 2020 р. [21]. Згідно з опрацьованою інформацією, до 85% від загальної площі ріллі було зайнято трьома домінуючими культурами: зерновими (50%), технічними (28%) та зернобобовими (22%), що підпорядковується сучасним тенденціям їх агрокліматичного зонування.

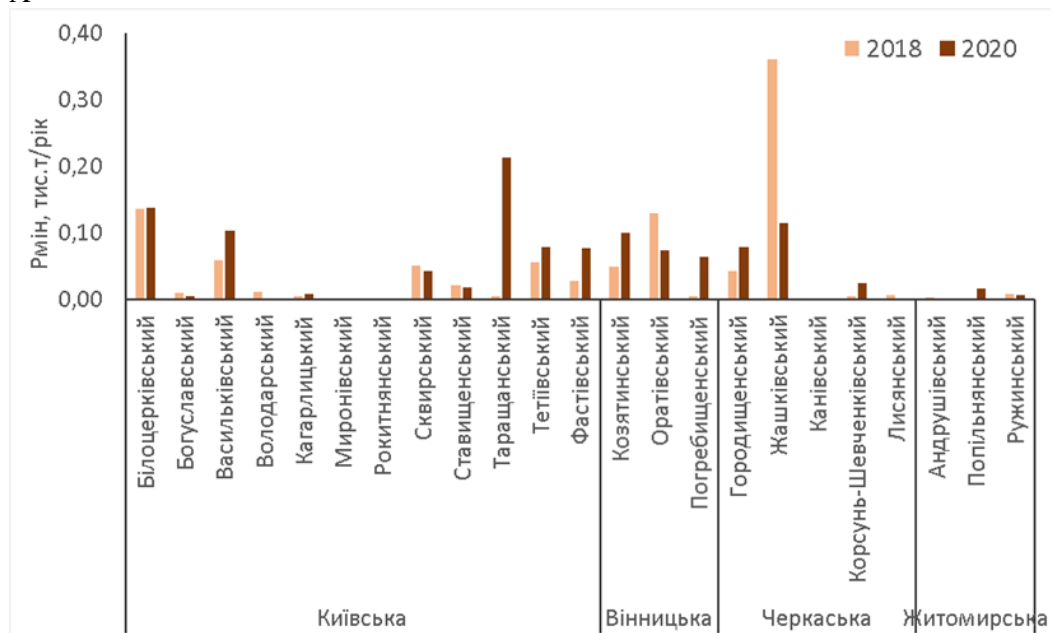
Найбільш поширеним серед різноманіття азотних добрив в межах басейну р. Рось є використання аміачної селітри. Аміачна селітра представляє собою амонійно-нітратне добриво, що містить азот у співвідношенні $NH_4:NO_3$ - 1:1 та містить 34 % нітрогену у складі. Для ґрунтів, насичених основами (чорноземи, сірі) аміачна селітра - одна з найкращих форм азотних добрив, бо не викликає підкислення ґрунтів, навіть при систематичному використанні. Згідно з аналізом статистичних даних середня норма застосування аміачної селітри на території басейну р. Рось у 2018 р. складала до 61 кг/га; у 2020 р. цей показник відчутно зріс і сягав 104 кг/га.

Для розуміння кількості азоту, що надходив до ґрунтової системи проведено перерахунок на чистий нітроген. На основі цих розрахунків встановлено, що до ґрунтової екосистеми водозбору р. Рось протягом 2018 року саме з таким видом мінеральних добрив, як аміачна селітра сумарно надходило до 18 тис. т/рік сполук N_{min} , у 2020 р. - понад 22 тис. т/рік сполук N_{min} . Територіальний розподіл надходження сполук нітрогену неорганічної форми в межах адміністративних районів для кожної з областей представлено на рис. 1А.

Як видно з рис.1А зростання вмісту сполук нітрогену внаслідок застосування мінеральних



А



Б (В)

Рис. 1. Надходження сполук нітрогену (А) та фосфору (Б) в межах адміністративних районів внаслідок застосування мінеральних добрив / Fig. 1. Inputs of nitrogen (A) and phosphorus (B) compounds within administrative districts due to the use of mineral fertilizers

добрив у агроєкосистемі р. Рось у 2020 р. було притаманне фактично кожному району, що найвірогідніше є результатом впровадження технології ведення інтенсивного рослинництва. Найбільше надходження було закономірно приурочене до районів із найбільшими посівними площами під зерновими та технічними сільськогосподарськими культурами - Козятинський р-н Вінницької обл. (з 0,9 до 2,5 тис. т/рік); Канівський район (з 0,5 до 1,4 тис. т/рік) Черкаської обл.

Фосфорні добрива вносили переважно у вигляді суперфосфату, який належить до групи розчинних у воді фосфатних добрив. Саме ця група добрив є найбільш поширеною у використанні.

Суперфосфат містить до 20% фосфору у вигляді оксиду P_2O_5 . Середня доза використання суперфосфату в межах досліджуваного річкового басейну становила 1 кг/га, а максимальна - понад 6 кг/га і спостерігалася у Городищенському р-ні Черкаської обл. та Таращанському р-ні Київської обл.

Територіальний розподіл надходження сполук мінерального фосфору представлено на рис. 1Б. За результатами аналізу, найбільше зростання надходження сполук фосфору з мінеральними добривами у 2020 році спостерігалася для Київської області. За сумарним значенням надходження сполук фосфору на території басейну р. Рось зросло з 0,4 у 2018 р. і до 0,7 тис. т/рік у 2020 р. Серед

представлених районів найбільше надходження зафіксовано у Таращанському районі (з 0,01 до 0,21 тис. т/рік).

Тваринництво. Проведений аналіз статистичних даних згідно статистичного бюлетеня «Виробництво продукції тваринництва» свідчить про те, що птахівництво в Україні є переважаючим серед решти видів діяльності - до 98% поміж інших галузей тваринництва. У басейні р. Рось саме птахівництво є основним джерелом навантаження органічними сполуками нітрогену та фосфору. Так, у 2018 р. його частка досягала 77% (відносно органічних сполук нітрогену) та 54% (відносно сполук фосфору).

Високі показники навантаження біогенними елементами у 2018 р. були притаманні районам, у межах яких розташовано крупні агрохолдинги. Зокрема, на території водозбору р. Рось у Канівському р-ні Черкаської обл. розташована філія підприємства одного з найбільших агрохолдингів Європи (філія Миронівської птахофабрики ТМ «Наша ряба»), що має загальну виробничу потужність комплексу 40500 гол/год. У Васильківському р-ні Київської обл. знаходиться птахокомплекс «Ясенвіт», який входить до п'ятірки найбільших виробників яєць у Європі та має чисельність несучок до 2,3 млн. голів. Можливий потенційний вихід органічних відходів від зазначених підприємств може сягати 15 т/га.

Проведені дослідження свідчать, що у 2018 та 2020 рр. із гною сільськогосподарських тварин і пташиного посліду утворювалось 24 та 19 кг/га органічних сполук нітрогену. За проведеними розрахунками, сумарна величина надходження сполук нітрогену з органічними добривами в межах басейну р. Рось становила 22 тис. т/рік у 2018 р. та 8 тис. т/рік у 2020 р. Територіальний розподіл надходження органічного нітрогену в межах адміністративних районів представлено на рис. 2А.

Як видно з представленого графіку, у 2020 р. суттєво зменшилася величина надходження сполук нітрогену у складі гною та пташиного посліду. Основними причинами зменшення обсягів виробництва продукції тваринництва, найвірогідніше, є скорочення чисельності поголів'я худоби та свійської птиці (тобто зниження валової продукції тваринництва). Максимальні показники надходження органічних сполук нітрогену у 2018 р. спостерігались у Васильківському р-ні Київської обл. (3,1 тис. т/рік) та Канівському р-ні Черкаської обл. (3,9 тис. т/рік), на територіях яких розташовано філії потужних агрохолдингів.

Що стосується надходження сполук фосфору із гноєм тварин та пташиним послідом, то сумарно його кількість в 2020 р. зменшилася для кожної з областей в межах басейну р. Рось (рис. 2Б).

Проведені дослідження свідчать, що у 2018

та 2020 рр. із гною сільськогосподарських тварин і пташиного посліду утворювалось 13,2 та 9,2 кг/га органічних сполук фосфору. Найменші показники зафіксовано у Андрушівському районі (Житомирська обл.) - 0,4-0,7 кг/га, найбільші - у Васильківському районі (Київська обл.) - 62-77 кг/га.

За проведеними розрахунками, сумарна величина надходження сполук фосфору з органічними добривами в межах басейну р. Рось становила 12 тис. т/рік у 2018 р. та 8 тис. т/рік у 2020 р. Максимальні показники - до 3 тис. т/рік спостерігались для Васильківського р-ну (2020 р.) та Канівського р-ну (2018 р.). Мінімальною величиною надходження сполук фосфору характеризувався Андрушівський р-н. - 0,02-0,04 тис. т/рік.

Найбільші зміни у розрізі областей спостерігались для Черкаської області (для Городищенського, Канівського та Жашківського р-нів) - сумарне надходження сполук органічного фосфору зменшилося майже вдвічі - з 5,3 у 2018 р. до 2,3 тис. т/рік у 2020 р. Основною причиною зазначених змін, на нашу думку, є зменшення поголів'я свійської птиці по області майже на 7 %.

Балансові розрахунки. Проведені розрахунки прибуткової частини балансу показали, що сукупне надходження сполук нітрогену в ґрунт дорівнювало 65 кг N/га для обох з досліджуваних років. Серед складових прибуткової частини балансу у 2018 році найбільша частка належала надходженню з органічними добривами - 24 кг N/га або 36% від загального надходження сполук нітрогену. Натомість, у 2020 році першість перейшла до мінеральних добрив - 22 кг N/га (34%). Несимбіотичне надходження сполук нітрогену не перевищувало 28%.

У витратній частині балансу найбільшу роль відігравало споживання нітрогену врожаєм сільськогосподарських культур (72%) та втрати на процеси випаровування аміаку (14%).

На основі узагальнення проведених розрахунків в межах областей встановлено, що на території водозбору р. Рось переважно формується надлишок нітрогену в ґрунті, який у 2018 р. дорівнював 2,2 кг N/га, в 2020 р. - 8 кг N/га (рис. 3А).

Разом з тим, відзначено широку варіабельність величин середньозваженого балансу нітрогену: від дефіциту на рівні -47 кг N/га в Андрушівському р-ні (Житомирська обл.) до надлишку у 63 кг N/га у Канівському р-ні (Черкаська обл.). Досить високі показники надлишку нітрогену пов'язані з місцевостями, де вносились найбільші дози азотних добрив.

Сукупне надходження сполук фосфору до ґрунтової системи дорівнювало 14 кг P/га в 2018 р. та 10 кг P/га в 2020 р. У прибутковій частині балансу надходження сполук фосфору з органіч-

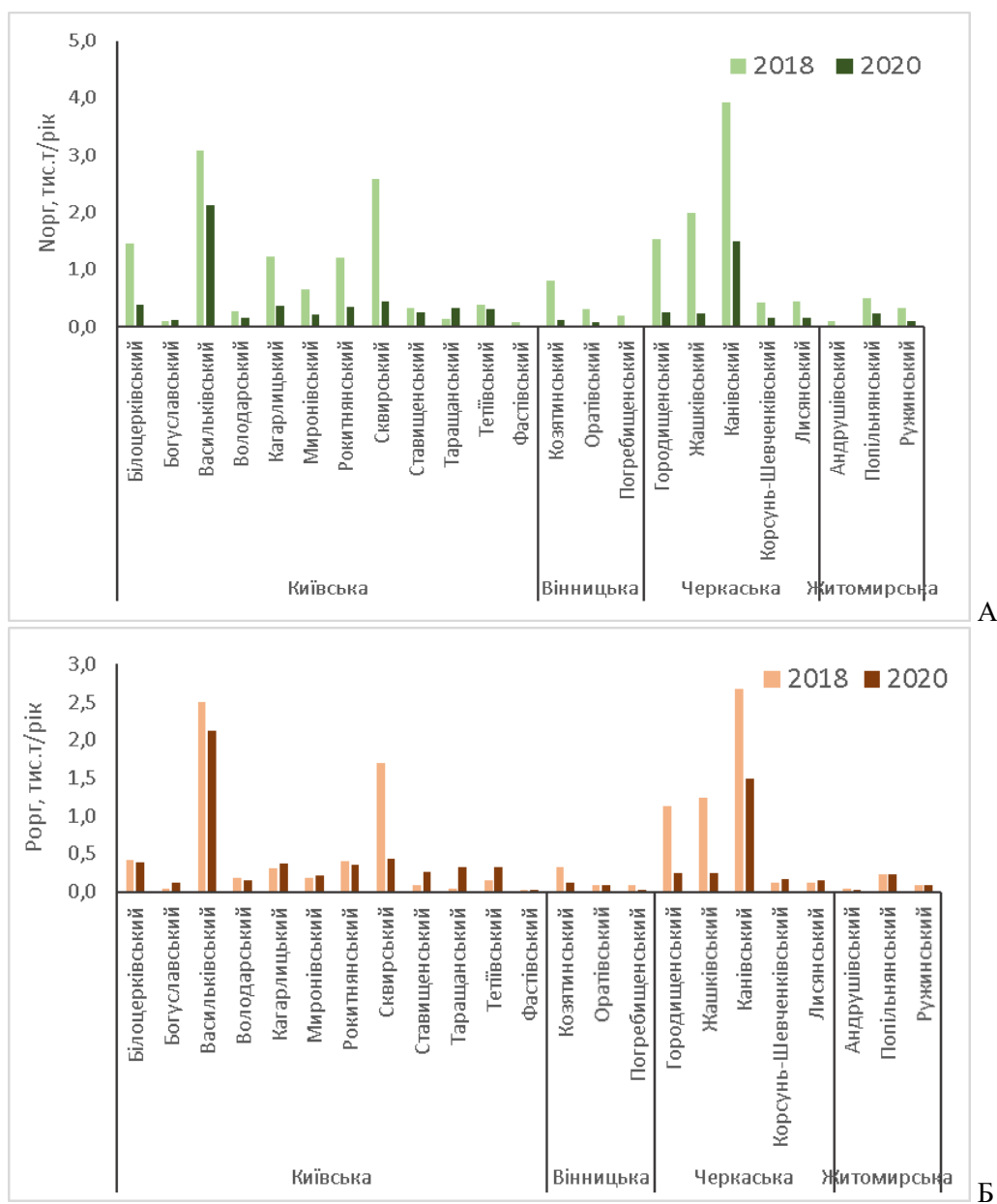


Рис. 2. Надходження сполук нітрогену (А) та фосфору (Б) у складі гною сільськогосподарських тварин та посліду птахів / Fig. 2. Inputs of nitrogen (A) and phosphorus (B) compounds with livestock and poultry manure

ними добривами зменшилося до 9,2 кг Р/га у 2020 р. у порівнянні з 13,2 кг Р/га у 2018 р. але при цьому все одно становило найбільшу частку - 89-94%. Находження сполук фосфору з мінеральними добривами не перевищувало 11%.

Найбільший відсоток у витратній частині балансу сполук фосфору зафіксовано для величини споживання врожаєм сільськогосподарських культур - до 94%. Кумулятивні втрати фосфору та винесення його сполук з поверхневим та дифузним стоком не перевищували 4%.

Відповідно до розрахунків середньозваженого балансу в межах областей на території басейну р. Рось спостерігався дефіцит на рівні -34 кг Р/га у 2018 р. та -22 кг Р/га в 2020 р. (рис. 3Б). У просторовому розподілі величин середньозваженого балансу сполук фосфору в ґрунтах

відзначалося їх коливання від дефіциту на рівні -54 кг Р/га (Корсунь-Шевченківський р-н Черкаської обл.) та -48 кг Р/га (Андрушівський р-н Житомирської обл.) до надлишку у 18 кг Р/га (Канівський р-н Черкаської обл.) та 28 кг Р/га (Васильківський р-н Київської обл.). Найбільші величини надлишку сполук фосфору приурочені до районів з великою кількістю свійських тварин і птиці (із середнім значенням $LSU \geq 60$ тис. од. тварин).

Дискусія і висновки. Внаслідок розрахунків, виконаних на основі статистичної інформації встановлено, що середньозважений баланс сполук нітрогену в ґрунтах басейну р. Рось за період досліджень характеризувався надлишком і в середньому становив 5,3 кг N/га. Баланс фосфору, натомість, характеризувався дефіцитним станом і за осередненим значенням дорівнював -28 кг Р/га.

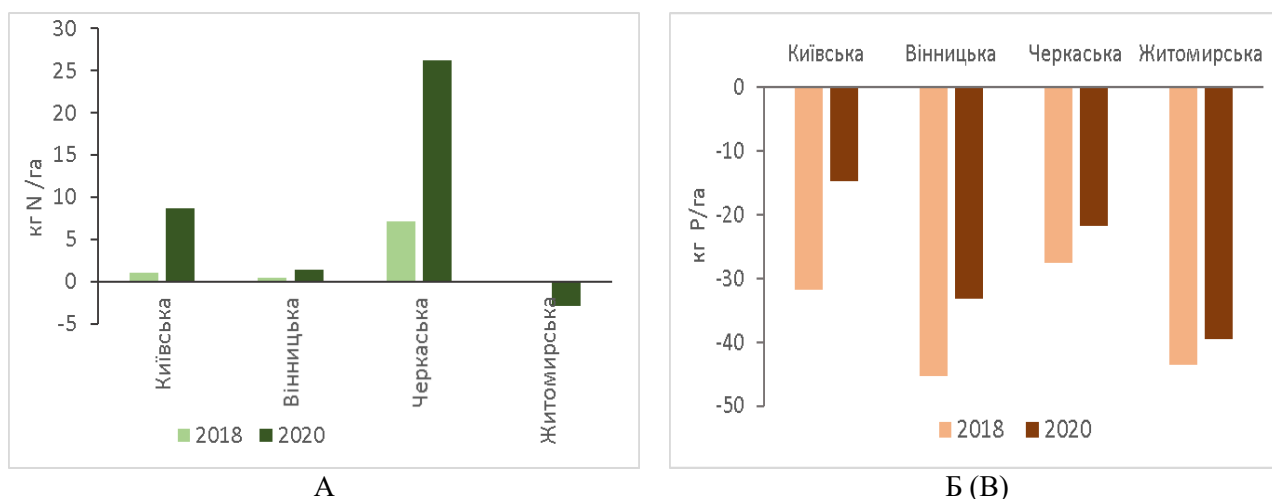


Рис. 3. Середньозважений баланс у ґрунті: А - сполук нітрогену, Б - сполук фосфору /
Fig. 3. Weighted average balance in soils of: А - nitrogen compounds, В - phosphorus compounds

На формування балансу нітрогену та фосфору в агроєкосистемі найбільше впливав обсяг урожаю сільськогосподарських культур.

Навантаження сполуками азоту формувалось за рахунок надходження як з органічними добривами (2018 р), так і з мінеральними (2020 р.). Найбільше утворення нітрогену органічного походження спостерігалось для Васильківського р-ні Київської обл. та Канівському р-ні Черкаської обл. (в середньому до 84 кг/га), на територіях яких розташовано філії потужних агрохолдингів. Максимальна доза внесення азотних добрив (87 кг N/га) у 2018 р. була зафіксована у Погребищенському р-ні Вінницької області. У 2020 р. найбільше азотних добрив (206 кг N/га) вносили у Козятинському р-ні Вінницької обл.

Навантаження сполуками фосфору переважно формувалось за рахунок розвитку птахівництва і становило 92% від загальної частки. Найбільше внесення сполук фосфору органічного по-

ходження - до 80 кг P/га - зафіксовано в Васильківському р-ні Київської обл. та Канівському р-ні Черкаської обл. у 2018 р. через розташування в їх межах найбільших в Україні агрохолдингів - «Ясенвіт» та «Наша Ряба».

Сільське господарство є базовим елементом агропромислового комплексу України. Високий рівень сільськогосподарського використання земель зумовлює значне антропогенне навантаження на довкілля. Зважаючи на це, для більш об'єктивного визначення зон, уразливих до накопичення біогенних елементів сільськогосподарського походження, відбір інформації та розрахунок балансу біогенних елементів у агроєкосистемі має відбуватись за кожний рік або не рідше, ніж як через рік. Враховуючи те, що їхні результати у значній мірі залежать від структури і потужності тваринницької галузі, врожайності сільськогосподарських культур та від норми застосування мінеральних добрив.

Список використаних джерел

1. Пелешенко В. І., Закревський Д. В., Хільчевський В. К. (1985). Вплив господарської діяльності на гідрохімічний режим і якість води р. Рось. Вісник Київ. ун-ту, Географія, 27, 37-44.
2. Господаренко Г.М. (2015). Агрохімія: підручник. К.: ТОВ «СІК ГРУП Україна».
3. Ухань О.О., Осадча Н.М. (2021). Оцінка антропогенного навантаження біогенними елементами та органічними речовинами у басейні р. Тетерів Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 1(59), 58-63. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.6>
4. Štefan Koco, Jozef Vilček, Stanislav Torma (2020). Nitrogen and phosphorus transport as a criterion for soil categorization, Soil Sci. Ann, 71(2), 174-181. <https://doi.org/10.37501/soilsa/123322>.
5. Gross Nitrogen Balances (2007). Handbook. OECD and EUROSTAT.
6. Яцук І.П. (2017). Наукові дослідження з моніторингу та обстеження сільськогосподарських угідь України: за результатами X туру (2011-2015 pp.). К.: Б.В.
7. J. Feng et al. (2021). Global patterns and associated drivers of priming effect in response to nutrient addition. Soil Biology and Biochemistry, 153:108118. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108118>.
8. Anderson and Downing, Jordan et al. (2006). Science of the Total Environment. 434 (2012), 101-109.
9. Білецька С.В., Осадча Н.М. (2014). Вплив фізико-географічних умов басейну р. Рось на надходження гумусових речовин у поверхневі води. Геополітика і екогеодинаміка регіонів, 371-377.
10. Білецька С.В., Осадча Н.М. (2012). Аналіз ґрунтового покриву басейну р. Рось та оцінка впливу на надходження гумусових речовин у річкову мережу. Наукові праці УкрНДГМІ, 262, 84-96.

11. Хільчевський В.К. (1996). Роль агрохімічних засобів у формуванні якості вод басейну Дніпра. К.: ВПЦ «Київський університет».
12. Балюк С. А., Греков В. О., Лісовий М. В., Комариста А. В. (2011). Розрахунок балансу гумусу і поживних речовин у землеробстві України на різних рівнях управління. Харків: КП "МД".
13. Корецька С.О. (2012). Економічний механізм розвитку агропромислової інтеграції. *Агросвіт*, 7, 15-24.
14. Білецька С.В., Осадча Н.М., Бончковський А.С. (2021). Методика розрахунку балансу біогенних елементів ґрунту. Матеріали конференції "Другого Всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду", 37-38.
15. Piwowar, A., Dzik, M. (2021). Water management in Poland in terms of reducing the emissions from agricultural sources-current status and challenges. *Cleaner Engineering and Technology*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100082>
16. Bojanowski D., Orlińska Woźniak P., Wilk P., Szalińska E. (2022). Estimation of nutrient loads with the use of mass balance and modelling approaches on the Welnia River catchment example (central Poland). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17270-4>.
17. Gaj, R., Budka, A., Antonkiewicz, J., Bak, K., Izychar, P. (2018). Effect of long-term slurry application on contents of available forms of soil macronutrients. *Soil Science Annual*, 2018, 69(3), 194-204, <https://doi.org/10.2478/ssa-2018-0020>.
18. Осадча Н.М., Лузовіцька Ю.А., Ухань О.О., Білецька С.В., Осипов В.В., Бончковський А.С., Набиванець Ю.Б., Осадчий В.І. (2022). Методика оцінки навантаження поверхневих водних об'єктів біогенними елементами. *Український географічний журнал*, 4 (120), 37-48, <https://doi.org/10.15407/ugz2022.04>
19. Szara, E., Sosulski, T., Szymanska, M. (2019). Impact of long-term liming on sandy soil phosphorus sorption properties. *Soil Science Annual*, 70(1), 13-20, <https://doi.org/10.2478/ssa-2019-0002>.
20. McDowell, R. W., Simpson, Z. P., Ausseil, A. G., Etheridge, Z. & Law, R. I (2021). The implications of lag times between nitrate leaching losses and riverine loads for water quality policy. *Sci. Rep.* 11, 1-14, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95302-1>.
21. Державна служба статистики. Рослинництво України. Статистичний збірник, 2018, 2020 pp.
22. Державна служба статистики. Тваринництво України. Статистичний збірник, 2018, 2020 pp.
23. Директива Ради 91/676/ЄС (від 12 грудня 1991 р.). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/987_002-91#Text

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Конфлікт інтересів: автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів

Calculation of nutrients balance in the soils of the Ros River agroecosystem

Olha Ukhan¹

PhD (Geography), Head of the Regional Hydrochemical Researches Laboratory
Hydrochemistry Department, ¹ Ukrainian Hydrometeorological Institute
of the State Emergency Service of Ukraine and
the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine;

Svitlana Byletska¹

Researcher;

Nataliia Osadcha¹

DSc (Geography), Head of the Hydrochemistry Department;

Luzovitska Yuliia¹

PhD (Geography), Senior Researcher

ABSTRACT

Introduction. The Ukrainian agricultural sector is dominated by farms and enterprises (69%), livestock productions are concentrated in households - 64%. The total amount of fertilizer applied to agricultural land over the year is an important factor in assessing the environmental impact of agriculture. Excessive nutrients in the soil pose a potential risk of leaching during the formation of water runoff and subsequent flow into the water body, which can lead to eutrophication of water bodies. Agricultural land in the Ros River catchment area covers 73% of the total territory of the river basin, of which 80% is sown with various crops.

Aim of the research is to assess the impact of agricultural activities on the formation of the nutrients (nitrogen and phosphorus compounds) balance in soils in the Ros River watershed within the administrative units such as regions (4 in total) and districts (23 in total).

Scientific novelty. The results of modern research on the balance of nitrogen and phosphorus in the Ros River agroecosystem are presented for the first time in this paper.

Practical value. The study is carried out for environmental purposes to establish basic criteria for identifying vulnerable areas to agricultural nutrient accumulation and to further identify potential risks of surface water pollution and develop measures to prevent water eutrophication.

Methods. The balance of nitrogen and phosphorus in soils was defined as the difference between the total supply them with fertilizers and their removal with crop yields. The income and expense sides of the balance sheet were calculated using special formulas. Calculations were made on the basis of statistical data on the number and types of animals, sown areas and crop yields, and the use of mineral and organic fertilizers for the periods of 2018 and 2020. Within the Ros River basin, data from the annual reports of the four oblasts statistical departments (Kyivska, Cherkaska, Vinnytska, and Zhytomyrska) by administrative districts were used.

Results and conclusions. The calculations based on statistical information revealed that the weighted average nitrogen balance in the soils of the Ros River basin during the study period was in excess and averaged 13 kg N/ha; the phosphorus balance, on the other hand, was characterized by a deficit state and was equal to -28 kg P/ha. The load of nitrogen compounds was formed due to the supply of both organic fertilizers (2018) and mineral fertilizers (2020). The largest formation of nitrogen of organic origin was observed in Vasylykiv district of Kyiv region and Kaniv district of Cherkasy region (up to 84 kg/ha on average), where branches of powerful agricultural holdings are located. The highest dose of nitrogen fertilizers (87 kg N/ha) in 2018 was recorded in Pohrebyshe district of Vinnytsia region. In 2020, the largest amount of nitrogen fertilizers (206 kg N/ha) was applied in Koziatyn district of Vinnytsia region. The load of phosphorus compounds was mainly formed due to the development of poultry farming and amounted to 92% of the total share. The highest intake of phosphorus compounds of organic origin (over 80 kg P/ha) was in Vasylykiv district of Kyivska region and Kanivskyi district of Cherkaska region due to the location of the largest agricultural holdings in Ukraine – “Yasensvit” and “Nasha Ryaba”.

Keywords: phosphorus balance, nitrogen balance, nutrient load, crop production, livestock production.

References

1. Peleshenko V. I., Zakrevskiy D. V., Khilchevskiy V. K. (1985). Influence of economic activity on the hydrochemical regime and water quality of the Ros River. *Bulletin of Kyiv University, Geography*, 27, 37-44. [In Ukrainian]
2. Hospodarenko H.M. (2015). *Agrochemistry: a textbook*. Kyiv, 376. [in Ukrainian]
3. Ukhan O.O., Osadcha N.M. (2021). Assessment of anthropogenic load of biogenic elements and organic substances in the Teteriv River basin. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 1(59), 58-63. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.6>. [in Ukrainian]
4. Štefan Koco, Jozef Vilček, Stanislav Torma (2020). Nitrogen and phosphorus transport as a criterion for soil categorization. *Soil Sci. Ann*, 71(2), 174-181. <https://doi.org/10.37501/soilsa/123322>.
5. Gross Nitrogen Balances. *Handbook*. OECD and EUROSTAT. 2007.
6. Yatsuk I.P. (2017). *Scientific studies on the monitoring and survey of agricultural lands of Ukraine: based on the results of the X round (2011-2015)*. K.: B.V. [in Ukrainian]
7. J. Feng et al. (2021). Global patterns and associated drivers of priming effect in response to nutrient addition. *Soil Biology and Biochemistry*, 153:108118, <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108118>
8. Anderson and Downing Jordan (2012). *Science of the Total Environment*. 434, 101–109.
9. Biletska S.V., Osadcha N.M. (2014). The influence of physiographic conditions of the Ros River basin on the flow of humic substances into surface waters. *Geopolitics and ecogeodynamics of regions*, 371-377. [in Ukrainian].
10. Biletska S.V., Osadcha N.M. (2012). Analysis of the soil cover of the basin of the Ros River and evaluation of the influence on the flow of humic substances into the river network. *Science works of UHMI*. Kyiv, 262, 84-96. [in Ukrainian]
11. Khilchevskiy V.K. (1996). *The role of agrochemicals in the formation of water quality in the Dnipro basin*. Kyiv: The Kyiv University Center. [In Ukrainian]
12. Baliuk S. A., Hrekov V. O., Lisovyi M. V., Komarysta A. V. (2011). Calculation of the balance of humus and nutrients in the agriculture of Ukraine at different levels of management. *Kharkiv*, 30. [in Ukrainian]
13. Koretska S.O. (2012). Economic mechanism for the development of agro-industrial integration. *Ahrosvit*, 7, 15-24. [In Ukrainian]
14. Biletska S.V., Osadcha N.M., Bonchkovskiy A.S. (2021). Methodology for calculating the balance of biogenic soil elements. *Materials of the conference “Second All-Ukrainian Hydrometeorological Congress”*, 37-38. [in Ukrainian].
15. Piwowski, A., Dzikuc, M. (2021). Water management in Poland in terms of reducing the emissions from agricultural sources-current status and challenges. *Cleaner Engineering and Technology*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100082>
16. Bojanowski D., Orlińska Woźniak P., Wilk P., Szalińska E. (2022). Estimation of nutrient loads with the use of mass balance and modelling approaches on the Welnia River catchment example (central Poland). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17270-4>.
17. Gaj, R., Budka, A., Antonkiewicz, J, Bak, K., Izychard, P. (2018). Effect of long-term slurry application on contents of available forms of soil macronutrients. *Soil Science Annual*, 2018, 69(3), 194-204, <https://doi.org/10.2478/ssa-2018-0020>.
18. Osadcha N.M., Luzovitska Y.A., Ukhan O.O., Biletska S.V., Osipov V.V., Bonchkovskiy A.S., Nabyvanets Y.B., Osadchyi V.I. (2022) Methodology for assessing the load of surface water bodies with nutrients. *Ukrainian Geographical Journal*, 4 (120), 37-48. <https://doi.org/10.15407/ugz2022.04> [in Ukrainian].

19. Szara, E., Sosulski, T., Szymanska, M. (2019). Impact of long-term liming on sandy soil phosphorus sorption properties. *Soil Science Annual*, 70(1), 13-20, <https://doi.org/10.2478/ssa-2019-0002>.
20. McDowell, R. W., Simpson, Z. P., Ausseil, A. G., Etheridge, Z. & Law, R. (2021). The implications of lag times between nitrate leaching losses and riverine loads for water quality policy. *Sci. Rep.* 11, 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95302-1>
21. State Statistics Service. *Vegetation of Ukraine. Statistical collection.* 2018, 2020. [in Ukrainian].
22. State Statistics Service. *Animal husbandry of Ukraine. Statistical collection.* 2018, 2020. [in Ukrainian].
23. Council Directive 91/676/EEC of December 12, 1991 on the protection of water against pollution from agricultural sources caused by nitrates. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/987_002-91#Text

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 26 December 2024

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest

Accepted 21 May 2025