

УДК: 631.527:631.526.5(477.51)

ОЦІНКА БАЛАНСУ БІОГЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПІВДЕННИХ РАЙОНІВ УКРАЇНИ З УРАХУВАННЯМ СУЧАСНИХ УМОВ ВИРОЩУВАННЯ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ

П.С. Нікітін, В. Г. Ільїна

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
вул. Всеволода Змієнка, 2, 65082, Одеса, Україна, agroecology87@gmail.com,
<https://orcid.org/0009-0004-5755-4116>, <https://orcid.org/0000-0001-5781-701X>

У роботі наведено результати комплексного оцінювання балансу біогенних елементів в агроєкосистемах Південного Степу України за сучасних умов вирощування ярого ячменю. Метою дослідження було встановлення закономірностей формування балансу азоту, фосфору та калію під впливом агрокліматичних змін, трансформації структури посівних площ та особливостей застосування мінеральних добрив упродовж 2015-2025 рр. на території Одеської, Миколаївської, Херсонської та Запорізької областей.

Для досягнення поставленої мети використано балансовий метод оцінювання біогенних елементів, статистичний аналіз даних щодо посівних площ, урожайності ярого ячменю та внесення мінеральних добрив, а також агрокліматичний аналіз із застосуванням гідротермічного коефіцієнта Селянінова та показника посушливості Д. І. Шашко. Проведено оцінювання просторово-часових змін агрокліматичних умов, динаміки структури посівних площ, особливостей використання добрив та співвідношення між надходженням, винесенням і втратами біогенних елементів.

Встановлено стійку тенденцію до скорочення площ вирощування ярого ячменю в усіх досліджуваних регіонах, найбільш виражену в Херсонській області. Виявлено посилення процесів аридизації клімату, що проявляється зниженням значень гідротермічного коефіцієнта та зростанням показника посушливості. Найбільш несприятливі умови вологозабезпечення сформувалися в Херсонській та Запорізькій областях, де поєднання дефіциту атмосферної вологи та високих температур обмежує ефективність використання поживних речовин рослинами.

Встановлено домінування азотних добрив у структурі удобрення за недостатнього використання фосфорних і калійних добрив. Виявлено суттєві регіональні відмінності у рівнях внесення добрив, а також тенденцію до їх скорочення в окремих регіонах після 2021 року. Результати балансових розрахунків свідчать, що в усіх досліджуваних областях питомий винос біогенних елементів урожаєм систематично перевищує їх надходження з добривами, що призводить до формування стійкого від'ємного балансу азоту, фосфору та калію.

Отримані результати свідчать про посилення ризиків виснаження ґрунтових ресурсів агроєкосистем Південного Степу України в умовах кліматичних змін та недостатньої компенсації винесення поживних речовин. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення систем удобрення, оцінювання екологічної стійкості агроландшафтів та прогнозування змін родючості ґрунтів у майбутньому.

Ключові слова: ярий ячмінь; баланс біогенних елементів; азот; фосфор; калій; гідротермічний коефіцієнт; посушливість; Південний Степ України.

1. ВСТУП

В умовах сучасних кліматичних змін територія Південного Степу України належить до регіонів із найбільш вираженими проявами аридизації, що супроводжується підвищенням температурного режиму, зростанням частоти посушливих явищ та погіршенням умов вологозабезпечення сільськогосподарських

культур. Посилення кліматичних ризиків суттєво впливає на функціонування агроєкосистем, ефективність використання поживних речовин і процеси відтворення родючості ґрунтів. За таких умов особливого значення набуває оцінювання балансу біогенних елементів як одного з основних індикаторів екологічної стійкості агроландшафтів та раціональності використання земельних ресурсів.

Ярий ячмінь (*Hordeum vulgare* L.) є однією з провідних зернових культур Південного Степу України, яка характеризується високою адаптивністю до умов регіону та важливим значенням у структурі зернового виробництва. Водночас продуктивність культури значною мірою визначається рівнем забезпеченості рослин вологою та поживними речовинами, а також ефективністю застосування добрив. У сучасних умовах скорочення посівних площ, трансформації структури землекористування та зміни агротехнологій питання підтримання збалансованого кругообігу біогенних елементів набуває особливої актуальності [1, 2].

Незважаючи на значну кількість наукових досліджень, присвячених особливостям живлення ярого ячменю та впливу агрокліматичних чинників та його продуктивність, питання комплексного оцінювання балансу азоту, фосфору та калію в умовах сучасних кліматичних трансформацій Південного Степу України залишається недостатньо вивченим. Особливо актуальним є встановлення взаємозв'язків між динамікою агрокліматичних показників, змінами структури посівних площ, рівнем застосування мінеральних добрив та процесами формування дефіциту біогенних елементів.

Важливість таких досліджень обумовлена необхідністю розроблення науково обґрунтованих підходів до управління поживним режимом ґрунтів, адаптації систем удобрення до сучасних кліматичних умов та забезпечення довгострокового збереження продуктивності агроєкосистем. Оцінювання балансу біогенних елементів дозволяє визначити рівень компенсації внесення поживних речовин урожаєм, виявити потенційні ризики виснаження ґрунтів та оцінити перспективи сталого використання земельних ресурсів.

Метою дослідження є оцінювання балансу біогенних елементів в агроєкосистемах Південного Степу України при вирощуванні ярого ячменю на основі аналізу агрокліматичних умов, динаміки посівних площ, особливостей застосування мінеральних добрив та інтенсивності внесення поживних речовин урожаєм.

Огляд літератури. Внесення елементів живлення з ґрунту визначають за їх кількістю, яка відчужена з урожаєм основної і нетоварної продукції з одиниці площі, а повернення елементів живлення в ґрунт – за їх кількістю, яка повертається з добривами, надходить із насінним матеріалом, опадами, в процесі фіксації молеку-

лярного азоту з атмосфери тощо [3].

Різниця між надходженням і відчуженням елементів живлення в ґрунті – це баланс елементів живлення. Сільськогосподарські культури характеризуються різною потребою в елементах живлення, різним їх винесенням із ґрунту з урожаєм. З ростом урожаїв збільшується споживання елементів живлення рослинами, тому чим вища запланована врожайність будь-якої культури, тим більше потрібно вносити добрив. Простежується прямий зв'язок між використанням добрив і врожайністю. Країни, які використовують малі норми добрив, мають також низьку врожайність сільськогосподарських культур. Проте слід враховувати, що врожаї від збільшення норм добрив підвищуються прямо пропорційно лише до певного рівня, за якого досягається найвища оплата одиниці добрив вирощеною сільськогосподарською продукцією [4].

Отже, основою застосування добрив має бути землеробський закон повернення. У ґрунт мають повертатися елементи живлення, які винесено з урожаєм. Проте цього недостатньо. У ґрунт мають також бути повернені й органічні речовини, що є енергетичним матеріалом для ґрунтових мікроорганізмів, які сприяють повторному використанню елементів живлення та збереженню агрофізичного стану ґрунту.

На практиці причин низької ефективності застосування добрив багато. Насамперед це незбалансованість елементів живлення у певному асортименті добрив, наявність значної кількості кислих ґрунтів, які потребують вапнування, застосування неякісних органічних добрив, нерівномірність внесення добрив, недостатнє технічне забезпечення, іноді низький рівень вмісту в ґрунті рухомих сполук мікроелементів, наявність факторів, які не піддаються або складно піддаються регулюванню – посуха, перезволоження, сонячна радіація та ін. [5].

Тому потрібно створити гнучку систему застосування сучасних технологій з урахуванням особливостей кожного сорту та поля. Вони потребують чіткої відповіді на питання живлення рослин: коли, де, як і в якій формі чи поєднанні застосовувати добрива [6].

В інтенсивному сільськогосподарському виробництві азотні добрива – основний засіб забезпечення рослин азотом. Однією з негативних властивостей цих добрив є їх висока рухомість. Отже, азот мінеральних добрив майже повністю витрачається у рік його внесення. Для підвищення ефективності азотних

добрих слід максимально знизити фізичні втрати азоту та запобігати виділенню в атмосферу його газоподібних сполук, що утворюються в процесі нітрифікації та денітрифікації [7].

На ефективність застосування азотних добрив значно впливають такі фактори: географічні закономірності їх дії; комплекс агрохімічних і меліоративних заходів, які застосовують у сівозміні або під певну культуру; технологія застосування азотних добрив, тобто строки, способи, форми і т. д.; удосконалення форм азотних добрив і застосування інгібіторів нітрифікації; використання найефективніших методів встановлення норм і доз азотних добрив.

Внесення підвищених норм азотних добрив, особливо на ранніх стадіях росту зернових культур, спричиняє вилягання рослин, зниження врожаю і погіршення умов їх збирання. Посилення азотного живлення зернових культур підвищує вміст у рослинах азоту, амінокислот і різних цукрів, що призводить до ушкодження їх попелицями, борошнистою росою та іржею. Тому для зернових, порівняно з іншими культурами, під час визначення норм азотних добрив потрібно ретельніше враховувати ґрунтові і погодні умови, дію попередників та інших агротехнічних факторів.

Упродовж вегетації сільськогосподарські культури мають різні періоди найбільш інтенсивного використання азоту. Тому залежно від біологічних особливостей культур і сортів наближення строків застосування азотних добрив до періоду активного засвоєння азоту рослинами є одним із засобів підвищення ефективності добрив. Цінність різних форм азотних добрив, внесених завчасно до початку використання азоту рослинами, однакова. Ефективність аміачних і нітратних добрив залежить від умов їх використання.

Особливу увагу приділяють підбору форм мінеральних добрив в умовах зрошення, де досить тяжко поєднувати оптимальні режими зрошення та удобрення. Нітратні й аміачно-нітратні азотні добрива вносять у рядки під час сівби в дозі 7-10 кг/га азоту, а також для підживлення (у разі потреби). Підживлення проводять у період найбільшої потреби рослин в азоті. Азотні добрива можна також вносити восени під час зяблевого обробітку ґрунту (за винятком районів з достатнім зволоженням і штучним зрошенням). Азот амонійних добрив добре вбирається ґрунтом, але у разі завчасного внесення за оптимальних умов зволоження і температури ґрунту відбувається його нітрифікація. Нітратний азот, що при цьому

утворюється, вимивається з орного шару ґрунту осінньо-зимовими опадами та зазнає денітрифікації.

Рідкі азотні добрива використовують для основного удобрення та підживлення. Найкраще їх вносити в ґрунт наприкінці березня – на початок травня. Амоній при цьому майже без втрат нітрифікується до кінця червня. За ефективністю рідкі азотні добрива рівноцінні твердим, але вони мають деякі переваги: дають змогу майже повністю механізувати всі роботи при їх застосуванні; вносити разом з мікроелементами, пестицидами, регуляторами росту, поєднувати внесення з іншими агротехнічними заходами, дотримуючись встановлених правил техніки безпеки і гігієни праці. Щоб запобігати газоподібним втратам аміаку, рідкі аміачні добрива вносять на достатню глибину, а амонійні та амідні після поверхневого розбризкування негайно загортають у ґрунт. Ефективним є також пізньоосіннє їх внесення, коли температура ґрунту знижується до 1-5°C і процеси нітрифікації пригнічуються. Більша частина азоту взимку зберігається в ґрунті у формі амонію, що зводить до мінімуму його втрати.

Ефективність азотних добрив можна також підвищити використанням інгібіторів нітрифікації і застосуванням тривалодіючих азотних добрив [8]. Ефективність азотних добрив знаходиться у протилежній залежності від запасів мінерального азоту в кореневмісному шарі ґрунту. Тому всі методи встановлення оптимальних норм азотних добрив, які нині використовують, зводяться до обліку вмісту мінерального азоту в ґрунті перед сівбою або у ранні фази росту й розвитку рослин. Значні труднощі для практичної діагностики мають дуже швидкі, порівняно з іншими елементами мінерального живлення рослин, зміни азотного режиму ґрунту в часі та в просторі.

Зазвичай, загальна кількість азоту (азот, що зберігся в зоні кореневої системи рослин після зими плюс азот, що утвориться в ґрунті під час росту рослин) недостатня для одержання високих урожаїв. Вважається, що через короткий сільськогосподарський сезон, тільки 25-40 % всього азоту, необхідного для формування високого врожаю культур, рослини беруть з ґрунту. Кількість доступного азоту в ґрунті значно впливає на кількість азоту, яку потрібно внести з добривами [9].

Фосфор – один із трьох основних елементів живлення. За об'ємами використання фосфорні добрива посідають друге місце після азотних.

Рослини засвоюють фосфору значно менше, ніж азоту, але він має надзвичайно важливу роль у їх житті. Вміст його в рослинах становить 0,5-1 % сухої речовини, зокрема, на мінеральні сполуки припадає близько 10-15 %, на органічні – 85-90 %. Співвідношення мінеральних і органічних сполук фосфору залежить від віку рослин і загального забезпечення їх фосфором. У молодих рослинах частка органічного фосфору значно більша, ніж у старих.

Мінеральні сполуки фосфору в рослинах представлені фосфатами кальцію, магнію, калію, амонію тощо. Накопичення їх у стеблах рослин є ознакою високої забезпеченості рослин фосфором. Органічні сполуки фосфору – це ефіри фосфорної кислоти. До них належать фосфатиди, фосфопротеїди, фітин, сахарофосфати, нуклеїнові кислоти, нуклеопротеїди, макроергічні та інші сполуки.

Найбільше фосфору міститься в репродуктивних органах, де його у 3-6 разів більше, ніж у вегетативних частинах рослин, що сприяє інтенсивному перебігу процесів синтезу органічних речовин. У насінні має бути достатній запас фосфору для формування кореневої системи, яка почне поглинати його з ґрунту. При цьому рослини краще засвоюють воду і поживні речовини з ґрунту, швидше формують надземну масу. Основну частину фосфору рослини використовують у початковій фазі росту й розвитку, створюючи відповідні його запаси.

Потім фосфор легко переміщується зі старих тканин у молоді, тобто відбувається його реутилізація. У разі підживлення рослин розчином солей фосфору через листки він переміщується в інші органи досить повільно і в невеликій кількості. Тому фосфорне живлення рослин треба забезпечувати через кореневу систему. Цим і пояснюють потребу внесення в рядки 10-15 кг/га д. р. легкорозчинних фосфорних добрив. Негативну дію нестачі фосфору в ранній період неможливо виправити достатнім його надходженням у наступні періоди росту. Рослини залишаються низькорослими, загальмованими у розвитку, пізніше цвітуть і дають низький урожай.

Це пов'язано з тим, що не відбувається поділ клітин унаслідок нестачі фосфору чи інших елементів живлення для утворення додаткового ядра. Отже, на відміну від рослин, які відчують нестачу азоту і мають при цьому скорочений цикл розвитку, рослини за нестачі фосфору фізіологічно молодші. Фосфор поліпшує їх водний режим і значно пом'якшує

дію на них посухи завдяки накопиченню у вузлах кущіння більшої кількості цукрів, сприяє перезимівлі озимих культур і багаторічних трав, підвищує стійкість рослин проти хвороб, зрівноважує дію азотних добрив.

Оптимальне фосфорне живлення рослин стимулює всі процеси, пов'язані із заплідненням квіток, зав'язуванням, формуванням і досяганням плодів. Надлишок фосфору призводить до передчасного розвитку та відмирання листового апарату, раннього досягання плодів, внаслідок чого рослини не встигають сформувати достатній урожай. Нестача фосфору виявляється у затримці росту й розвитку рослин – утворюються дрібні листки, запізнюється цвітіння і досягання плодів. Нижні листки набувають тьмяно-сірого або темно-зеленого відтінку. З часом вони скручуються і передчасно відмирають. Крім того, за нестачі фосфору внаслідок утворення антоціану нерідко виявляються червонуваті та фіолетові відтінки, насамперед на основних стеблах, у пазухах листків, на черешках. Більш виражені ознаки нестачі фосфору спостерігаються на старих і нижніх листках.

В умовах значного фосфорного дефіциту часто спостерігаються ознаки азотного голодування, що пояснюють зменшенням використання азоту для синтезу органічних сполук унаслідок нестачі фосфору. Тому ознаки азотного і фосфорного голодування досить часто збігаються. Фосфор позитивно впливає на підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Крім того, він сприяє формуванню високих харчових і технологічних якостей продукції. Оптимальне фосфорне живлення рослин збільшує частку товарної продукції в біологічному врожаї (зерна відносно соломи у зернових).

Проте надлишок фосфору також несприятливий для розвитку рослин. Так, вони містять багато мінеральних фосфатів, зокрема у вегетативних органах, прищивлюється їх вегетація, не встигає сформуватись високий урожай. За надлишку фосфору погіршується живлення рослин цинком, що призводить до захворювання плодів на розетковість.

Поряд з азотом і фосфором калій є основним елементом живлення рослин [10]. У рослинах він знаходиться в іонній формі, тому не входить до складу органічних сполук клітин. Він переважно зосереджений у цитоплазмі та вакуолях. Калій вимивається з рослин дощем, особливо зі старих листків. Молоді органи рослин містять його значно більше, ніж старі. У процесі росту й

розвитку рослин калій переміщується зі старих органів і тканин у молоді органи, що ростуть, де він використовується повторно.

Калій у рослинах бере активну участь у білковому і вуглеводному обміні, активує діяльність ферментів, регулює процеси відкривання і закривання продихів на листках, поглинання вологи кореневою системою, що сприяє раціональному й ефективному використанню води. Тому забезпеченість рослин калієм підвищує їх стійкість проти посухи та несприятливої дії високих і низьких температур.

Нестача калію гальмує деякі біохімічні процеси в рослині, що негативно впливає на обмін речовин. Спочатку молоді рослини жовкнуть, потім буріють і поступово відмирають. Відмирання старіших листків починається з верхівки, поширюється вниз по їх краях, а потім між жилками.

Характерною ознакою калійного голодування є "опіки" країв листків, дрібні іржаві плями на їх пластинках. Рослини в'януть, стебла стають ламкими, що спричинює вилягання зернових культур, гальмується розвиток репродуктивних органів, зерно формується щуплим і має погану схожість. За нестачі калію клітини ростуть нерівномірно, що викликає гофрованість, куполоподібне закручування листків. Менш чутливі – зернові культури, але за гострого його дефіциту вони погано кущаться, міжвузля стебел вкорочується, а листки, переважно нижні, в'януть навіть за достатньої вологості ґрунту. За надмірного калійного живлення рослин спочатку між жилками листків з'являється мозаїка блідих плям, які з часом буріють, і листки опадають. Крім того, за надлишку калію в ґрунті спостерігається магнієве голодування рослин [11, 12].

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Формування балансу біогенних елементів в агроєкосистемах є результатом складної взаємодії природних та антропогенних чинників, серед яких визначальне значення мають агрокліматичні умови, структура землекористування, рівень урожайності сільськогосподарських культур та особливості систем удобрення. В умовах сучасних кліматичних змін, що супроводжуються посиленням процесів аридизації на території Південного Степу України, оцінювання стану кругообігу поживних речовин набуває важливого значення для забезпечення екологічної стійкості агроєкосистем і

збереження родючості ґрунтів. Дослідження просторово-часових особливостей формування балансу біогенних елементів при вирощуванні ярого ячменю дозволяє виявити основні закономірності зміни поживного режиму ґрунтів та оцінити потенційні ризики їх деградації в умовах трансформації клімату та агровиробництва.

Дослідження виконано в межах агроєкологічного підходу до аналізу функціонування агроєкосистем Південного Степу України, який передбачає комплексне врахування взаємозв'язків між кліматичними умовами, структурою сільськогосподарського виробництва, рівнем агротехнологічного забезпечення та процесами трансформації поживного режиму ґрунтів. Особливу увагу приділено оцінюванню інтенсивності кругообігу біогенних елементів у посівах ярого ячменю (*Hordeum vulgare* L.) як однієї з провідних зернових культур регіону, що відіграє важливу роль у структурі виробництва зерна та забезпеченні продовольчої безпеки.

Об'єктом дослідження є процес формування балансу основних біогенних елементів – азоту, фосфору та калію – при вирощуванні ярого ячменю в умовах сучасних змін клімату. Територія дослідження охоплює Одеську, Миколаївську, Херсонську та Запорізьку області, які належать до зони Південного Степу України. Незважаючи на спільність природно-кліматичних умов, зазначені регіони характеризуються певними відмінностями у рівнях аридності клімату, структурі посівних площ, інтенсивності застосування мінеральних добрив та особливостях ведення сільськогосподарського виробництва. Саме ці регіональні особливості створюють передумови для проведення порівняльного аналізу закономірностей формування балансу біогенних елементів.

Для забезпечення репрезентативності результатів використано багаторічний часовий ряд даних за період 2015-2025 рр., що дозволяє врахувати як природну міжрічну мінливість агрокліматичних показників, так і зміни, пов'язані з трансформацією структури посівних площ, технологій вирощування культури та сучасними соціально-економічними умовами функціонування аграрного сектору. У межах дослідження проведено аналіз динаміки посівних площ ярого ячменю, агрокліматичних показників, структури застосування мінеральних добрив та співвідношення між надходженням, винесенням і втратами біогенних елементів.

Інформаційну основу дослідження становили статистичні дані щодо посівних площ ярого ячменю, його врожайності та обсягів внесення мінеральних добрив, агрометеорологічна інформація щодо температурного режиму, атмосферних опадів і дефіциту вологості повітря, а також довідкові нормативи винесення біогенних елементів урожаєм сільськогосподарських культур.

Гідротермічний коефіцієнт Селянінова визначали за формулою:

$$\Gamma TK = \frac{\sum P}{0.1 \sum T}, \quad (1)$$

де $\sum P$ – сума атмосферних опадів за період із середньодобовою температурою повітря понад 10°C , мм; $\sum T$ – сума середньодобових температур повітря понад 10°C .

Показник посушливості Д. І. Шашко визначали за формулою:

$$Md = \frac{\sum P}{\sum d}, \quad (2)$$

де $\sum P$ – сума атмосферних опадів за досліджуваний період, мм;

$\sum T$ – сума середньодобових дефіцитів тиску водяної пари, мб [13, 14, 15].

Питомий винос біогенів елементів із площі, зайнятої ярим ячменем, визначали за формулою:

$$R_i = \alpha_N k_i y_i + \alpha_P k_i y_i + \alpha_K k_i y_i, \quad (3)$$

де R_i – питомий винос біогенних елементів, кг/га; α_N , α_P , α_K – коефіцієнти винесення відповідно азоту, фосфору та калію; k_i – нормативний показник винесення біогенних елементів урожаєм, кг/т; y_i – фактична врожайність культури, т/га.

Для розрахунків використано нормативні коефіцієнти, рекомендовані для ярого ячменю при вирощуванні на чорноземах звичайних. Значення коефіцієнтів становили: $\alpha_N = 0,48$;

$\alpha_P = 0,12$; $\alpha_K = 0,41$.

Нормативний винос поживних речовин урожаєм ярого ячменю приймали на рівні 30,4 кг N, 11,4 кг P_2O_5 , 22,0 кг K_2O на 1 т продукції. Застосування зазначених нормативів забезпечило можливість уніфікованого порівняння балансових показників між регіонами дослідження.

Вхідну складову балансу біогенних елементів визначали за фактичними обсягами внесення мінеральних добрив.

Кількість біогенних елементів, що надходять до ґрунту з мінеральними добривами, визначали за формулою:

$$W_{ВНХ} = \sum_{j=1}^m \Phi_{M_j} W_{CP_j}, \quad (4)$$

де $W_{ВНХ}$ – кількість біогенних елементів, що надходять до ґрунту з мінеральними добривами, кг/рік; m – кількість видів добрив; Φ_{M_j} – фізична маса j -го виду добрив, т; W_{CP_j} – середній вміст діючої речовини в добриві j -го виду.

Фізичну масу добрив визначали за формулою:

$$\Phi_{M_j} = \sum_{j=1}^m S_j N_j, \quad (5)$$

де S_j – площа внесення добрива, га; N_j – норма внесення добрива, т/га.

Втрати біогенних елементів визначали за формулою:

$$\sum W_{ПОТ} = \sum_{j=1}^m W_{ВНХ_j} q_j. \quad (6)$$

де $W_{ПОТ}$ – втрати біогенних елементів, кг; q_j – частка втрат біогенних елементів унаслідок порушення технології внесення добрив; $W_{ВНХ}$ – кількість біогенних елементів, внесених із добривами j -го виду, кг/рік [16, 17].

Баланс біогенних елементів визначали шляхом порівняння їх надходження до агроєкосистеми з обсягами винесення урожаєм та втратами внаслідок технологічних і природних процесів. Додатні значення балансу свідчили про накопичення поживних речовин у ґрунті, тоді як від'ємні характеризували формування дефіцитного режиму живлення та поступове виснаження ґрунтових ресурсів. Отримані результати використано для оцінювання сучасного стану кругообігу біогенних елементів в агроєкосистемах Південного Степу України та визначення основних тенденцій його змін в умовах сучасних кліматичних трансформацій.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аналіз функціонування агроєкосистем Південного Степу України у період 2015-2025 рр. виконано з позицій системного підходу до оцінювання взаємодії агрокліматичних умов, структури землекористування та балансу основних біогенних елементів (N, P, K) у посівах ярого ячменю.

Оцінка просторово-часової трансформації посівних площ ярого ячменю (рис. 1) засвідчує стійку тенденцію до їх скорочення в усіх досліджуваних регіонах. *Дані 2022-2024 років наведені Держстатом з урахуванням обмежень воєнного стану та без повного охоплення тимчасово окупованих територій. **2025 –

попередні посівні площі під урожай 2025 року.

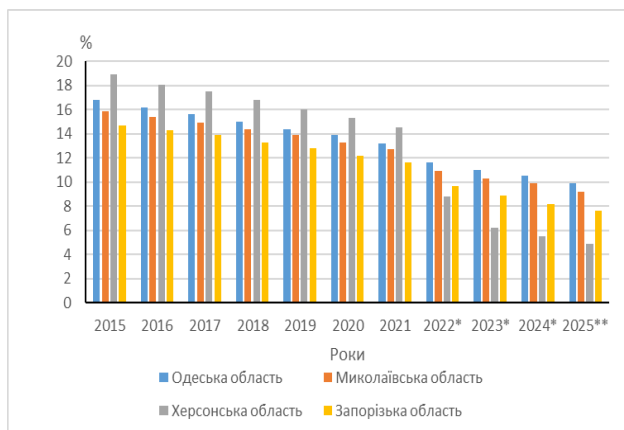


Рис. 1 – Регіональні особливості структури посівних площ ярого ячменю в умовах Південного Степу України

Fig. 1 – Regional characteristics of the distribution of spring barley acreage in the Southern Steppe of Ukraine

Результати аналізу динаміки посівних площ ярого ячменю свідчать про наявність довготривалої тенденції до скорочення площ вирощування культури в усіх досліджуваних областях. Встановлена тенденція є наслідком одночасного впливу економічних, агротехнологічних та кліматичних чинників, які визначають структуру сучасного землекористування в регіоні.

В Одеській та Миколаївській областях зменшення посівних площ відбувалося поступово, що може бути пов'язано зі зміною структури посівів на користь більш рентабельних культур, а також із необхідністю адаптації сільськогосподарського виробництва до дефіциту ґрунтової вологи. Незважаючи на скорочення площ вирощування, ярий ячмінь продовжує залишатися важливою складовою зернового клину регіону.

Найбільш суттєві зміни зафіксовані в Херсонській області. Починаючи з 2022 року спостерігається різке скорочення посівних площ, що пов'язано зі значними порушеннями функціонування аграрного сектору, обмеженням доступу до земельних ресурсів та руйнуванням елементів меліоративної інфраструктури. Внаслідок цього регіон втратив значну частину виробничого потенціалу щодо вирощування ярого ячменю.

У Запорізькій області також простежується стійке зменшення площ посіву культури, що супроводжується підвищенням ризиків нестабільного виробництва внаслідок посилення дефіциту вологи та зростання частоти несприятливих погодних явищ. Отримані

результати свідчать про трансформацію структури землекористування в межах Південного Степу України та необхідність врахування цих змін під час оцінювання балансу біогенних елементів.

Отримані результати свідчать (рис. 2-5), що протягом досліджуваного періоду агрокліматичні умови території Південного Степу України характеризувалися значною міжрічною мінливістю показників зволоження. Коливання значень гідротермічного коефіцієнта Селянінова та показника посушливості Д. І. Шашко відображають нестабільність співвідношення між тепловими ресурсами та атмосферним зволоженням, що безпосередньо впливає на ефективність функціонування агроєкосистем і формування врожайності ярого ячменю.

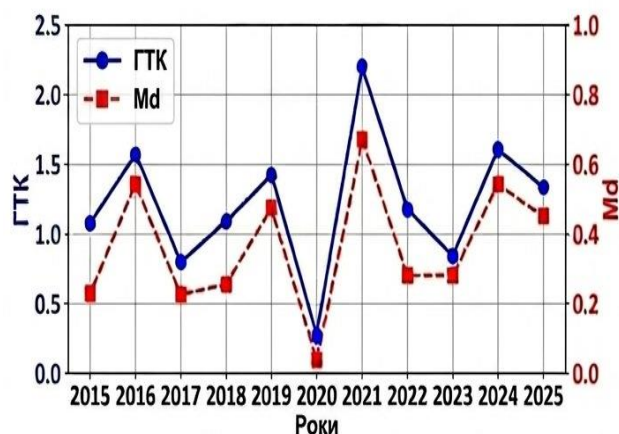


Рис. 2 – Динаміка гідротермічного коефіцієнта та показника посушливості в Одеській області

Fig. 2 – Dynamics of the Hydrothermal Coefficient and Aridity Index in Odessa region

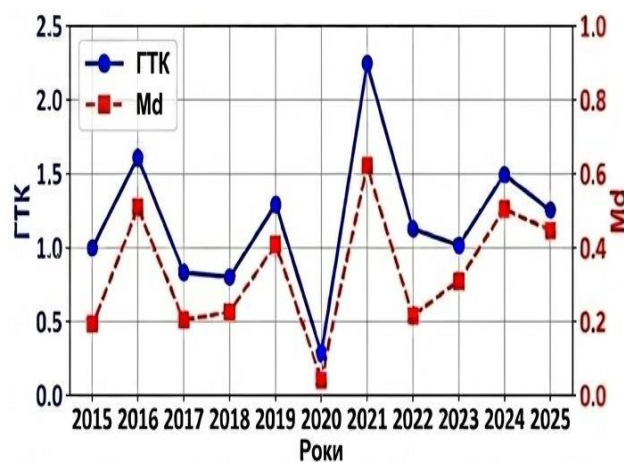


Рис. 3 – Динаміка гідротермічного коефіцієнта та показника посушливості в Миколаївській області

Fig. 3 – Dynamics of the Hydrothermal Coefficient and Aridity Index in Mykolaiv region

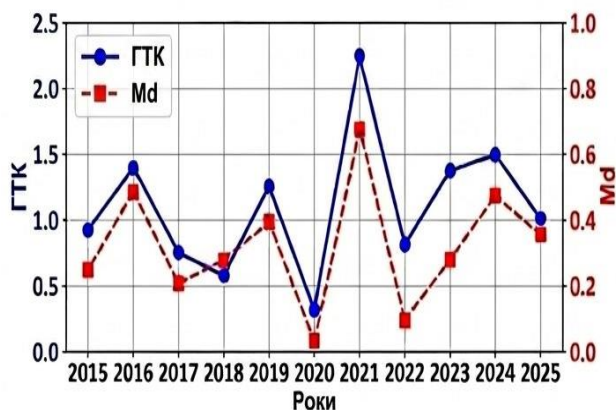


Рис. 4 – Динаміка гідротермічного коефіцієнта та показника посушливості в Херсонській області

Fig. 4 – Dynamics of the Hydrothermal Coefficient and Aridity Index in Kherson region

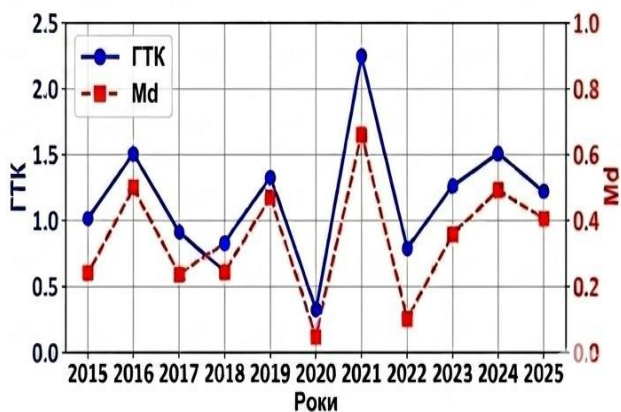


Рис. 5 – Динаміка гідротермічного коефіцієнта та показника посушливості в Запорізькій області

Fig. 5 – Dynamics of the Hydrothermal Coefficient and Aridity Index in Zaporizhzhia region

Для Одеської області характерною є відносно помірна варіабельність показників ГТК та Md порівняно з іншими регіонами дослідження. Незважаючи на окремі роки з дефіцитом атмосферної вологи, агрокліматичні умови залишалися відносно сприятливими для формування врожаю ярого ячменю. Разом із тим навіть у межах цього регіону спостерігається поступове збільшення частоти років із проявами посушливості, що узгоджується із сучасними тенденціями зміни клімату.

У Миколаївській області коливання показників вологозабезпечення мають більш виражений характер. Періоди недостатнього зволоження чергуються з відносно сприятливими роками, що створює нестабільні умови для формування продуктивності посівів. За таких умов ефективність використання поживних речовин значною мірою визначається особливостями погодних умов конкретного

вегетативного періоду.

Найбільш несприятлива ситуація спостерігається в Херсонській та Запорізькій областях. У цих регіонах упродовж більшості років дослідження фіксуються низькі значення гідротермічного коефіцієнта та підвищені значення показника посушливості. Такі умови свідчать про формування стійкого дефіциту продуктивної вологи, який суттєво обмежує інтенсивність ростових процесів та погіршує засвоєння елементів живлення.

Відомо, що за умови недостатнього зволоження знижується інтенсивність масоперенесення поживних речовин до кореневої системи, погіршується доступність фосфору, обмежується засвоєння азоту та зменшується ефективність використання калію. У результаті навіть за наявності достатньої кількості поживних речовин у ґрунті рослини не можуть повною мірою реалізувати свій продуктивний потенціал.

Таким чином, виявлені зміни агрокліматичних умов слід розглядати як один із ключових чинників формування сучасного балансу біогенних елементів у посівах ярого ячменю. Посилення аридності клімату створює додаткові обмеження для ефективного використання добрив та підвищує ризики виснаження поживного режиму ґрунтів у довгостроковій перспективі.

Аналіз багаторічної динаміки застосування мінеральних добрив (рис. 6-9) свідчить про наявність суттєвих регіональних відмінностей у рівнях агрохімічного забезпечення посівів ярого ячменю. В усіх досліджуваних областях переважають азотні добрива, що відображає прагнення товаровиробників забезпечити швидкий приріст урожайності шляхом інтенсифікації азотного живлення рослин.

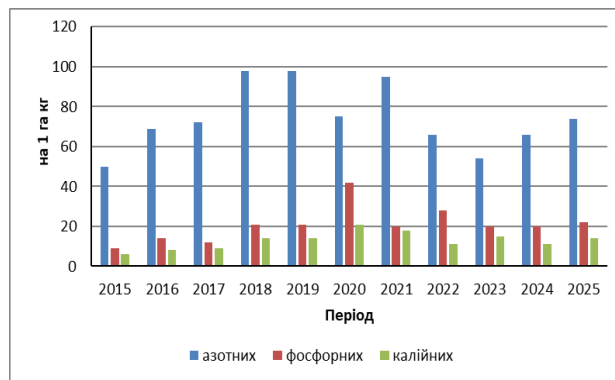


Рис. 6 – Внесення мінеральних добрив в Одеській області

Fig. 6 – Application of mineral fertilizers in Odesa region

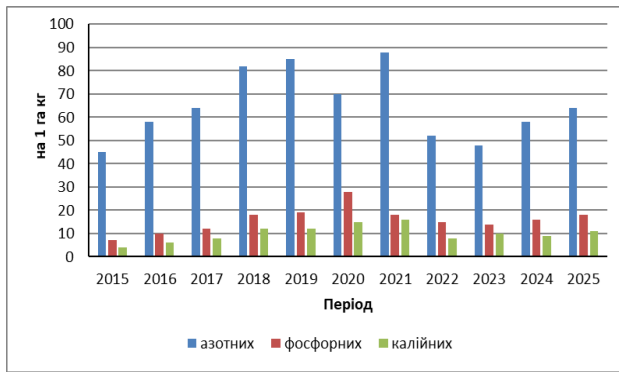


Рис. 7 - Внесення мінеральних добрив у Миколаївській області

Fig. 7 - Application of mineral fertilizers in Mykolaiv region

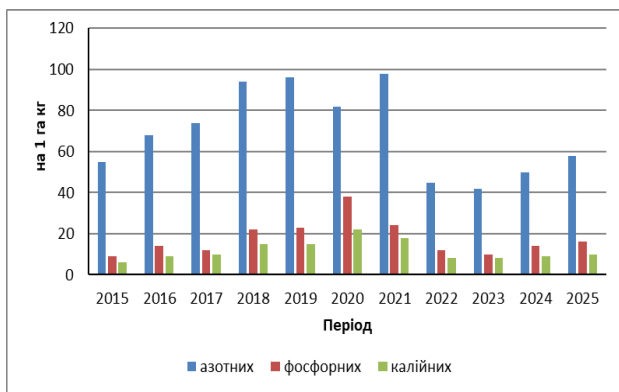


Рис. 8 – Внесення мінеральних добрив у Херсонській області

Fig. 8 – Application of mineral fertilizers in Kherson region

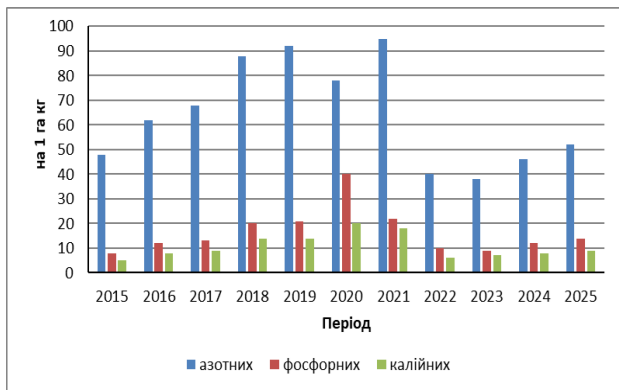


Рис. 9 – Внесення мінеральних добрив у Запорізькій області

Fig. 9 – Application of mineral fertilizers in Zaporizhzhia region

Разом із тим структура внесення добрив характеризується недостатнім рівнем використання фосфорних і особливо калійних добрив. Така ситуація є характерною для значної частини агроєкосистем України та призводить до поступового порушення оптимального співвідношення між основними елементами.

В Одеській області рівень застосування добрив залишається відносно стабільним, що певною мірою забезпечує підтримання продуктивності агроєкосистем. У Миколаївській області також спостерігається достатньо рівномірна динаміка внесення добрив, хоча загальні обсяги їх використання поступаються показникам окремих років досліджуваного періоду.

Для Херсонської області характерне різке скорочення внесення добрив після 2021 року. Зменшення інтенсивності агрохімічних заходів суттєво послаблює можливості компенсації винесення поживних речовин урожаєм та створює передумови для прискореного виснаження ґрунтовими ресурсами.

У Запорізькій області спостерігаються найнижчі показники застосування добрив серед усіх регіонів дослідження. Поєднання низького рівня удобрення та несприятливих агрокліматичних умов формує додаткові ризики зниження родючості ґрунтів і погіршення продуктивності агроєкосистем.

Важливо відзначити, що домінування азотних добрив за обмеженого внесення фосфору та калію може спричиняти порушення збалансованості живлення рослин. У таких умовах підвищується ймовірність формування прихованого дефіциту окремих елементів, знижується коефіцієнт використання поживних речовин і погіршується екологічна стійкість агроєкосистем.

Отримані результати свідчать про необхідність переходу до більш збалансованих систем удобрення, які забезпечуватимуть не лише короткострокове підвищення врожайності, а й довгострокове відтворення родючості ґрунтів.

Результати оцінювання балансу біогенних елементів (рис. 10-13) дозволяють більш повно охарактеризувати сучасний стан агроєкосистем Південного Степу України та визначити основні тенденції зміни їхнього поживного режиму.

Аналіз співвідношення між надходженням, винесенням і втратами поживних речовин свідчить про формування дефіцитного типу балансу в усіх без винятку регіонах дослідження.

Встановлено, що впродовж більшості років досліджуваного періоду величини питомого винесення біогенних елементів урожаєм перевищували їх надходження до агроєкосистем із мінеральними добривами. Така закономірність характерна як для азоту, так і для фосфору та калію, що свідчить про системний характер виснаження поживного режиму ґрунтів.

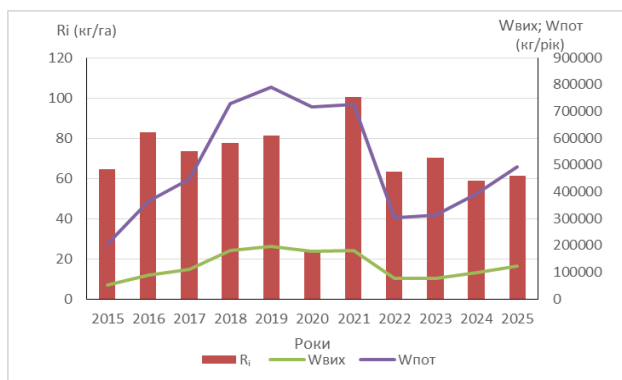


Рис. 10 – Динаміка питомого виносу, внесення та втрат біогенних елементів в Одеській області

Fig. 10 – Dynamics of specific removal, application, and losses of biogenic elements in Odesa region

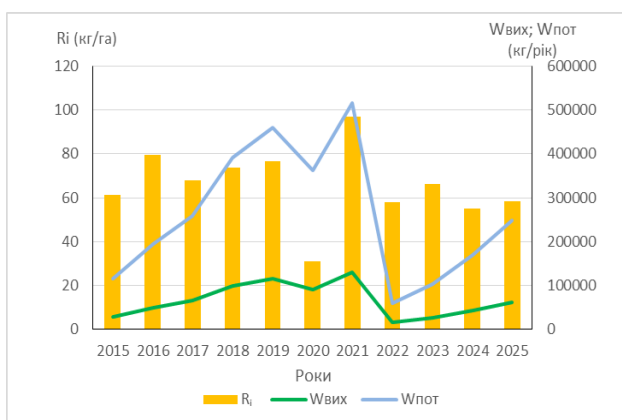


Рис. 11 – Динаміка питомого виносу, внесення та втрат біогенних елементів у Миколаївській області

Fig. 11 – Dynamics of specific removal, application, and losses of biogenic elements in Mykolaiv region

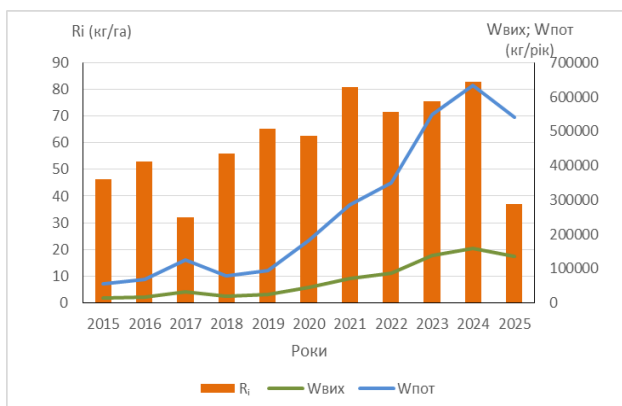


Рис. 12 – Динаміка питомого виносу, внесення та втрат біогенних елементів у Херсонській області

Fig. 12 – Dynamics of specific removal, application, and losses of biogenic elements in Kherson region

Особливої уваги заслуговує ситуація щодо азоту. Незважаючи на переважання азотних добрив у структурі удобрення, рівень компенсації виносу азоту залишається недостатнім. Додатковим фактором виступають

втрати азоту внаслідок процесів вимивання, денітрифікації та газоподібного виносу, які посилюються під впливом несприятливих погодних умов.

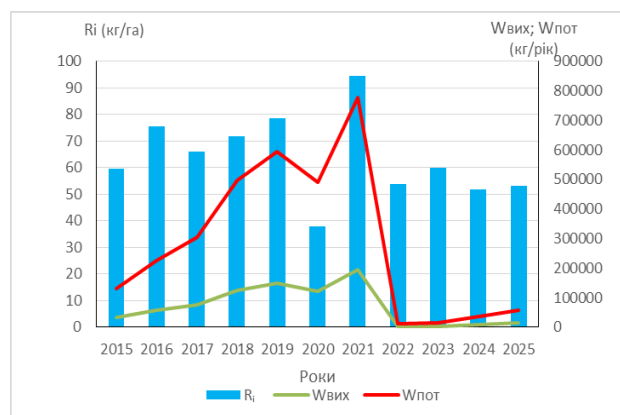


Рис. 13 – Динаміка питомого виносу, внесення та втрат біогенних елементів у Запорізькій області

Fig. 13 – Dynamics of specific removal, application, and losses of biogenic elements in Zaporizhzhia region

Для фосфору характерним є ще більш виражений дефіцит компенсації. Обмежене застосування фосфорних добрив у поєднанні з постійним виносом фосфору врожаєм поступово призводить до зменшення його запасів у ґрунті. У довгостроковій перспективі це зможе негативно позначитися на розвитку кореневої системи рослин та ефективності використання ними вологи.

Ситуація з калієм також викликає занепокоєння. Незважаючи на відносно нижчу інтенсивність його виносу порівняно з азотом, низькі обсяги застосування калійних добрив не забезпечують повноцінного відновлення втрат цього елемента. Це особливо важливо для умов Південного Степу України, де калій відіграє важливу роль у підвищенні посухостійкості рослин.

Порівняльний аналіз регіонів показав, що найбільш несприятлива ситуація склалася в Херсонській та Запорізькій областях. Саме тут спостерігається поєднання низьких рівнів удобрення, високої посушливості та значних ризиків деградації ґрунтових ресурсів. В Одеській та Миколаївській областях показники балансу є дещо кращими, проте також залишаються від'ємними протягом більшості років дослідження.

Отримані результати узгоджуються з сучасними науковими уявленнями щодо зростання асиметрії потоків поживних речовин в агроєкосистемах України та підтверджують наявність тенденцій до поступового виснаження

грунтового покриву. За відсутності компенсаційних заходів така ситуація може призвести до подальшого зниження продуктивності агроландшафтів та погіршення екологічної стійкості сільськогосподарського виробництва.

Таким чином, результати проведеного дослідження свідчать, що баланс біогенних елементів може розглядатися як інтегральний показник сучасного стану агроєкосистем Південного Степу України. Його використання дозволяє не лише оцінювати ефективність систем удобрення, але й прогнозувати можливі зміни родючості ґрунтів у майбутньому.

4. ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження виконано комплексне оцінювання особливостей формування балансу основних біогенних елементів (азоту, фосфору та калію) в агроєкосистемах Південного Степу України при вирощуванні ярого ячменю впродовж 2015-2025 рр. на основі аналізу агрокліматичних умов, структури посівних площ, рівня застосування мінеральних добрив та інтенсивності вношення поживних речовин урожаєм. Встановлено наявність стійкої тенденції до скорочення площ вирощування ярого ячменю в Херсонській області, де після 2021 року відбулося різке зменшення площ посіву культури. Виявлені зміни свідчать про трансформацію структури агровиробництва та посилення впливу зовнішніх чинників на функціонування агроєкосистем регіону. За результатами аналізу гідротермічного коефіцієнта Селянінова та показника посушливості Д. І. Шашко встановлено посилення процесів аридизації клімату на території Південного Степу України. Найбільш несприятливі умови вологозабезпечення сформувалися в Херсонській та Запорізькій областях, де впродовж досліджуваного періоду спостерігалися знижені значення гідротермічного коефіцієнта та підвищені значення показника посушливості. Встановлено, що дефіцит атмосферної вологи є одним із визначальних чинників зниження ефективності використання поживних речовин рослинами ярого ячменю.

Проведений аналіз структури застосування мінеральних добрив показав наявність дисбалансу в системах удобрення досліджуваних регіонів. В усіх областях домінували азотні добрива, тоді як обсяги вношення фосфорних і калійних добрив залишалися недостатніми для

забезпечення збалансованого відтворення поживного режиму ґрунтів. Найнижчі рівні удобрення встановлено в Запорізькій області, а найбільш суттєве скорочення вношення добрив після 2021 року спостерігалось в Херсонській області. Результати балансових розрахунків свідчать про формування стійкого від'ємного балансу азоту, фосфору та калію в усіх досліджуваних регіонах. Встановлено, що величини питомого вношення біогенних елементів урожаєм систематично перевищують їх надходження з мінеральними добривами, що призводить до поступового виснаження запасів поживних речовин у ґрунті. Найбільш критична ситуація характерна для Херсонської та Запорізької областей, де негативний вплив недостатнього удобрення посилюється несприятливими агрокліматичними умовами. Встановлено, що поєднання кліматичної аридизації, скорочення обсягів вношення добрив та недостатньої компенсації вношення поживних речовин формує довгострокові передумови для погіршення агрохімічного стану ґрунтів, зниження ефективності використання мінерального живлення та послаблення екологічної стійкості агроєкосистем Південного Степу України.

Отримані результати підтверджують необхідність удосконалення регіональних систем удобрення з урахуванням сучасних агрокліматичних умов, забезпечення збалансованого відтворення біогенних елементів у ґрунті та впровадження адаптаційних заходів, спрямованих на збереження родючості ґрунтів і підтримання стабільності функціонування агроєкосистем в умовах подальших кліматичних змін.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гирка А. Д., Ткаліч І. Д., Сидоренко Ю. Я., Бочевар О. В. Особливості формування зернової продукції ячменю ярого залежно від доз позакореневого підживлення і строків його проведення. *Зернові культури*. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0135>
2. Gamayunova V., Kasatkina T. Influence of spring barley nutrition optimization on grain quality formation in the Sothem Steppe of Ukraine. *Scientific horizons*. 2019. Vol. 22, No. 10. P. 3-12. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2019-83-10-3-12>
3. Pavlo Nikitin, Valentina Ilna. Studying the needs of barley for external environmental factors in the conditions of Southern Ukraine to justify reclamation. *Third International Scientific Conference GIRR 2025: Global Challenges Through the Prism of Rural Development in the Sector of Agriculture and Tourism* 9th May, 2025. Sabak, Serbia. (str. 75–82). <https://doi.org/10.46793/GIRR25.077N>

4. Pavlo Nikitin, Valentina Ilina. Modeling the impact of moisture on the uptake of biogenic elements by spring barley plants in the conditions of Southern Ukraine. *Third International Scientific Conference GIRR 2025: Global Challenges Through the Prism of Rural Development in the Sector of Agriculture and Tourism* 9th May, 2025. Sabak, Serbia. (str. 137-144). <https://doi.org/10.46793/GIRR25.140N>
5. Панфілова, А. В., Гамаюнова, В. В. The productivity of spring barley varieties and plant nutrition optimization in the Southern Steppe of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018, Vol. 14, No. 3, P. 310-315. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.3.2018.145304>
6. Baklanova T., Gamayunova V., Khonenko L. Spring barley grain yield when grown in the conditions of southern Ukraine with elements of biologization and preservation of soil fertility. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2026. Vol. 27, No. 2. P. 60-70. <https://doi.org/10.12912/27197050/216645>
7. Ceclan A., Simon A., Russu F., Bardas M., Chetan F., Popa A. The influence of nitrogen, and potassium fertilizers on spring barley production and harvest increase. *Life Science and Sustainable Development-Journal*. 2022. Vol. 3, No. 2, P. 60-66. <https://doi.org/10.58509/xcvm6b90>
8. Gamayunova V., Panfilova A., Baklanova T., Kuvshinova A., Kasatkina T., Nagirniy V. The increase of grain production in Ukrainian Steppe area by means of barley cultivation and its nutrition optimisation. *Scientific horizons*. 2020. 02(87). P. 15-23. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-15-23>
9. Karabach K. S., Berezhniak E. M. Influence of fertiliser systems with elements of biologisation and cultivation on the yield, economic and energy efficiency of spring barley. *Plant and Soil Science*. 2021. Vol. 12, No. 2. P. 61-68. <https://doi.org/10.31548/agr2021.02.0060>
10. Горобець М. В., Писаренко П. В., Чайка Т. О., Міщенко О. В., Крикунова В. Ю. Вплив регуляторів росту рослин на онтогенез сортів ячменю ярого. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 1. С. 106–115. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.12>
11. Medinets S., Oenema O., Spears B.M. et al. Nutrient asymmetry challenges the sustainability of Ukrainian agriculture. *Communications Earth & Environment*. 2025. Vol. 6, No. 645. P. 1-12. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02826-9>
12. Господаренко Г. М. Агрохімія: підручник. Київ: Аграрна освіта, 2013. – 406 с.
13. Польовий А. М. Сільськогосподарська метеорологія: підручник. Одеса: ТЕС, 2012. – 629 с.
14. Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням змін клімату. Київ: ТОВ «РІА» БЛПЦ, 2014. 18 с.
15. Польовий А. М., Овчарук В. А., Вольвач О. В., Кущенко Л. В., Толмачова А. В. Агрокліматична оцінка посушливості вегетаційного періоду в Причорноморській зоні надзвичайно низької водності. *Екологічні науки. Науково-практичний журнал*. 2021. Вип. 6(39), С. 158-165. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.27>
16. Полетаєва Л.М., Юрасов С.М., Ільїна В.Г. Моделювання та прогнозування стану довкілля: конспект лекцій. Одеса: Дніпропетровськ: «Економіка», 2005. – 179 с.
17. Полетаєва Л.М., Юрасов С.М., Ільїна В.Г., Чернякова О.І. та ін. Моделювання та прогнозування стану довкілля: збірник методичних вказівок до практичних робіт. Одеса: ОДЕКУ, 2006. 140 с.

REFERENCES

1. Hyrka, A.D., Tkalic, I.D., Sydorenko, Yu.Ya., Bochevar, O.V. (2020). Osoblyvosti formuvannya zernovoi produktsii yachmeniu yaroho zalezno vid doz pozakorenevoho pidzhyvlennia i strokiv yoho provedennia [Peculiarities of formation of spring barley grain production depending on the doses of foliar feeding and the timing of its implementation]. *Zernovi kultury*, 4(2), pp. 272–280. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0135> (in Ukr.)
2. Gamayunova, V., Kasatkina, T. (2019). Influence of spring barley nutrition optimization on grain quality formation in the Southern Steppe of Ukraine. *Scientific horizons*, 22(10), pp. 3-12. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2019-83-10-3-12>
3. Nikitin, P., Ilina, V. (2025). Studying the needs of barley for external environmental factors in the conditions of Southern Ukraine to justify reclamation. *Third International Scientific Conference GIRR 2025: Global Challenges Through the Prism of Rural Development in the Sector of Agriculture and Tourism*, Sabak, Serbia, pp. 75–82. <https://doi.org/10.46793/GIRR25.077N>
4. Nikitin, P., Ilina, V. (2025). Modeling the impact of moisture on the uptake of biogenic elements by spring barley plants in the conditions of Southern Ukraine. *Third International Scientific Conference GIRR 2025: Global Challenges Through the Prism of Rural Development in the Sector of Agriculture and Tourism*, Sabak, Serbia, pp. 137–144. <https://doi.org/10.46793/GIRR25.140N>
5. Panfilova, A.V., Gamayunova, V.V. (2018). The productivity of spring barley varieties and plant nutrition optimization in the Southern Steppe of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 14(3), pp. 310-315. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.3.2018.145304>
6. Baklanova, T., Gamayunova, V., Khonenko, L. (2026). Spring barley grain yield when grown in the conditions of southern Ukraine with elements of biologization and preservation of soil fertility. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 27(2), pp. 60-70. <https://doi.org/10.12912/27197050/216645>
7. Ceclan, A., Simon, A., Russu, F., Bardas, M., Chetan, F., Popa, A. (2022). The influence of nitrogen, and potassium fertilizers on spring barley production and harvest increase. *Life Science and Sustainable Development-Journal*, 3(2), pp. 60-66. <https://doi.org/10.58509/xcvm6b90>
8. Gamayunova, V. et al. (2020). The increase of grain production in Ukrainian Steppe area by means of barley cultivation and its nutrition optimisation. *Scientific horizons*, 02(87), pp. 15-23. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-15-23>
9. Karabach, K.S., Berezhniak, E.M. (2021). Influence of fertiliser systems with elements of biologisation and cultivation on the yield, economic and energy efficiency of spring barley. *Plant and Soil Science*, 12(2), pp. 61-68. <https://doi.org/10.31548/agr2021.02.0060>
10. Horobets, M.V. et al. (2021). Vplyv rehuliatoriv rost Horobets, M.V., Pysarenko, P.V., Chaika, T.O., Mishchenko, O.V., Krykunova, V.Yu. (2021). Vplyv rehuliatoriv rostu roslin na ontogenez sortiv yachmeniu yaroho [Influence of plant growth regulators on the ontogenesis of spring barley varieties]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 1, pp. 106–115. (in Ukr.) <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.12>
11. Medinets, S. et al. (2025). Nutrient asymmetry challenges the sustainability of Ukrainian agriculture. *Communications Earth & Environment*, 6(645), pp. 1-12.

- <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02826-9>
12. Hospodarenko, H.M. (2013). *Ahrokhimiia* [Agrochemistry]: pidruchnyk. Kyiv: Ahrarna osvita, 406 p. (in Ukr.)
 13. Polevoy, A.M. (2012). *Silskohospodarska meteorolohiia* [Agricultural meteorology]: pidruchnyk. Odesa: TES, 629 p. (in Ukr.)
 14. Adamenko, T.I. (2014). *Ahroklimatychne zonuvannia terytorii Ukrainy z vrakhuvanniam zmin klimatu* [Agroclimatic zoning of the territory of Ukraine taking into account climate change]. Kyiv: TOV «RIA» BLITS, 18 p. (in Ukr.)
 15. Polevoy, A.M., Ovcharuk, V.A., Volvach, O.V., Kushchenko, L.V., Tolmachova, A.V. (2021). *Ahroklimatychna otsinka posushlyvosti vehetatsiinoho periodu v Prychornomorskii zoni nadzvychaino nyzkoi vodnosti* [Agroclimatic assessment of drought during the growing season in the Black Sea zone of extremely low water availability]. *Ekolohichni nauky. Naukovo-praktychnyi zhurnal*, 6(39), pp. 158–165. (in Ukr.)
<https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.27>
 16. Poletaieva, L.M. et al. (2006). *Modeliuvannia ta prohnozuvannia stanu dovkillia: zbirnyk metodychnykh vkazivok do praktychnykh robit* [Modeling and forecasting the state of the environment: a collection of methodical instructions for practical work]. Odesa: ODEKU. 140 p. (in Ukr.)
 17. Poletaieva, L.M., Yurasov, S.M., Ilina, V.H. (2005). *Modeliuvannia ta prohnozuvannia stanu dovkillia: konspekt leksii* [Modeling and forecasting the state of the environment: lecture notes]. Odesa-Dnipropetrovsk: Ekonomika. 179 p. (in Ukr.)

ASSESSMENT OF THE BALANCE OF BIOGENIC ELEMENTS IN THE SOUTHERN REGIONS OF UKRAINE UNDER CURRENT CONDITIONS OF SPRING BARLEY CULTIVATION

P. S. Nikitin, V.G. Ilina

*Odesa I.I. Mechnikov National University,
2, V. Zmiienska Str., 65082 Odesa, Ukraine, agroecology87@gmail.com.
<https://orcid.org/0009-0004-5755-4116>, <https://orcid.org/0000-0001-5781-701X>*

The paper presents the results of a comprehensive assessment of the balance of biogenic elements in the agroecosystems of the Southern Steppe of Ukraine under current spring barley cultivation conditions. The aim of the study was to identify the patterns of nitrogen, phosphorus and potassium balance formation under the influence of agrometeorological changes, transformation of crop acreage structure and mineral fertilizer application during 2015–2025 within Odesa, Mykolaiv, Kherson and Zaporizhzhia regions.

The study was based on the balance method for assessing biogenic elements, statistical analysis of crop acreage, spring barley yield and fertilizer application data, as well as agrometeorological analysis using the Selyaninov hydrothermal coefficient and the D. I. Shashko aridity index. Spatial and temporal changes in agroclimatic conditions, dynamics of cultivated areas, fertilizer use patterns and the relationship between nutrient inputs, removal and losses were evaluated.

A persistent trend towards a reduction in spring barley acreage was identified in all studied regions, with the most pronounced decline observed in Kherson region. The results revealed an intensification of climate aridization manifested by decreasing hydrothermal coefficient values and increasing aridity index values. The most unfavorable moisture conditions were found in Kherson and Zaporizhzhia regions, where the combination of atmospheric moisture deficit and elevated temperatures limits the efficiency of nutrient uptake by plants.

The dominance of nitrogen fertilizers and insufficient application of phosphorus and potassium fertilizers were established. Significant regional differences in fertilizer use were identified, together with a decline in fertilizer application rates in some regions after 2021. The balance calculations demonstrated that nutrient removal by harvest consistently exceeded nutrient inputs from fertilizers, resulting in a stable negative balance of nitrogen, phosphorus and potassium throughout all studied regions.

The obtained results indicate increasing risks of soil resource depletion in the agroecosystems of the Southern Steppe of Ukraine under ongoing climate change and insufficient compensation of nutrient removal. The findings may be used for improving fertilization systems, assessing agroecosystem sustainability and forecasting future changes in soil fertility under further climatic transformations.

Keywords: spring barley; biogenic element balance; nitrogen; phosphorus; potassium; hydrothermal coefficient; aridity; Southern Steppe of Ukraine.

*Подання до редакції : 16. 02. 2026
Надходження остаточної версії : 20. 04. 2026
Публікація статті : 25. 05. 2026*