

УДК: 631.559:551.583(477.74)

АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА СУЧАСНИХ УМОВ ВИРОЩУВАННЯ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ З УРАХУВАННЯМ БІОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТА ЗМІН КЛІМАТУ В ОДЕСЬКІЙ ОБЛАСТІ

П. С. Нікітін, В. Г. Ільїна

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

Урожайність ярого ячменю, стан ґрунтового покриву та стабільність агровиробництва безпосередньо залежать від поєднання кліматичних умов і рівня біогенного навантаження. У статті досліджено основні методологічні засади аналізу та оцінки агрокліматичних факторів, що визначають оптимальні умови для вирощування ярого ячменю в Одеській області в умовах посилення кліматичних змін.

Погіршення агрометеорологічних показників, нерівномірність випадання опадів та висока мінливість температурного режиму відображають зростаючий антропогенний вплив на ґрунтово-рослинний комплекс, зумовлений інтенсивним землекористуванням, застосуванням мінеральних добрив, трансформацією земель та іншими видами господарської діяльності. У дослідженні представлено ключові показники, що використовуються для оцінки біогенного навантаження, динаміки продукційного процесу та адаптивних властивостей ярого ячменю.

До початку активізації кліматичних змін агроландшафти Одеської області зазнавали одного з найвищих рівнів антропогенного навантаження в межах Південного Степу України. Прогнозовані показники біогенного навантаження на ґрунтово-рослинний покрив на найближчі роки свідчать про стійку тенденцію його зростання для більшості агроекологічних характеристик регіону. Стосовно північних районів Одещини зростання навантаження очікується насамперед для азотного та водного режимів, а для приморських територій — для гумусового стану і структурних властивостей ґрунтів. У статті розглядаються основні групи факторів, що знижують продуктивність ярого ячменю та обмежують можливості оптимізації посівних площ під впливом кліматичних змін. Внаслідок підвищеного біогенного навантаження можливості стабільного використання ґрунтових ресурсів істотно зменшуються. Погіршення агрокліматичних умов та дефіцит вологи значно знижують продуктивний потенціал агроєкосистем.

Першочерговим завданням є визначення реальних потреб агровиробництва щодо раціональної структури посівів, збір та узагальнення даних про стан ґрунтово-рослинних систем, узгодження методів оцінки біогенного навантаження та проведення такої оцінки в межах регіону. Необхідно визначити шляхи переходу до адаптивних моделей управління агроєкосистемами Південного Степу України, враховуючи зниження продуктивності внаслідок як кліматичних змін, так і надмірного біогенного навантаження на ґрунтові ресурси.

Ключові слова: ярий ячмінь; біогенне навантаження; кліматичні зміни; оптимізація; агроєкосистема; родючість ґрунтів; Південний Степ України.

1. ВСТУП

Сучасний етап розвитку аграрного сектору України характеризується необхідністю функціонування в умовах глобальних кліматичних трансформацій, які створюють серйозні виклики для продовольчої безпеки держави. Особливої гостроти ця проблема набуває у зоні Південного Степу, зокрема в

Одеській області, яка традиційно є регіоном ризикового землеробства. Агрокліматичні умови останніми десятиліттями тут зазнають суттєвих змін у бік посилення аридизації: спостерігається стійке підвищення середньорічної температури повітря, зміщення строків випадіння опадів з критичних фаз вегетації, збільшення тривалості бездошових періодів та частоти екстремальних погодних явищ (посух, суховіїв, злив). Ці

тенденції призводять до дефіциту продуктивної вологи у ґрунті, підвищення сумарного випаровування та, як наслідок, погіршення умов росту і розвитку сільськогосподарських культур.

Ярий ячмінь посідає одне з провідних місць у структурі зернового клину Південного регіону, відіграючи стратегічну роль у забезпеченні продовольчих, кормових та технічних потреб. Завдяки відносно короткому вегетаційному періоду та здатності ефективно використовувати осінньо-зимові запаси вологи, ця культура традиційно вважалася страховою. Проте, в сучасних умовах жорсткого гідротермічного стресу, продуктивність ярого ячменю стає вкрай нестабільною і значною мірою залежить від лімітуючих факторів середовища, насамперед – вологозабезпеченості та рівня родючості ґрунту.

Поряд із кліматичними викликами, критичним фактором, що визначає стійкість агроєкосистем, є антропогенне навантаження. Намагання агровиробників компенсувати кліматично зумовлені втрати врожаю часто призводить до інтенсифікації технологій, зокрема, до незбалансованого застосування мінеральних добрив. Надмірне внесення азотовмісних сполук спричиняє підвищення біогенного навантаження на ґрунти. Це не лише не гарантує пропорційного приросту врожаю в посушливих умовах, але й призводить до негативних екологічних наслідків: накопичення нітратів у продукції та ґрунтових водах, пригнічення корисної ґрунтової біоти, порушення процесів гумусоутворення та прискорення деградації ґрунтового покриву.

Виникає очевидне протиріччя між необхідністю інтенсифікації виробництва ячменю та потребою в екологізації землекористування в умовах дефіциту вологи. Існуючі підходи до формування структури посівних площ та систем удобрення часто не враховують синергетичний ефект кліматичних змін та біогенного тиску. Сучасна стратегія агровиробництва має базуватися на принципах адаптивно-ландшафтного землеробства, ресурсоефективності та екологічної рівноваги. Це вимагає наукового переосмислення оптимальної частки ярого ячменю в сівоzmінах з урахуванням локальних ґрунтово-кліматичних особливостей та допустимого рівня агрохімічного навантаження.

Метою дослідження є наукове обґрунтування адаптації посівів ярого ячменю в агроландшафтах Одеської області з урахуванням динаміки кліматичних змін та рівня біогенного навантаження для підвищення еколого-

економічної ефективності землекористування.

Огляд літератури. Дослідження проведені в Україні показали, що в комплексі заходів, які забезпечують максимальну врожайність і високу якість зерна ярого ячменю, велике значення мають добрива. Ячмінь має слабо розвинену кореневу систему і тому добре реагує на внесення добрив. Приріст урожаю від мінеральних добрив становить 0,3-0,6 т/га, а може досягати 1,2-1,8 т/га [1, 2, 3, 4]. Добрива збільшують урожай ячменю завдяки збільшенню кількості продуктивних стебел на одиниці площі та маси зерен у колосі. Важливим є і те, що при внесенні добрив витрати води та створення одиниці сухої речовини зменшується на 20-35%. Встановлено, що на формування 1 тони зерна і відповідної соломи, ярий ячмінь витрачає в середньому 26 кг азоту, 11 кг фосфору, 24 кг калію [5]. За іншими даними ці втрати складають: азоту – 28 кг, фосфору – 10,7 кг, калію – 22 кг, кальцію – 3,4 кг, магнію – 4,4 кг [6].

Багато науковців зазначають, що найбільша потреба ячменю в азоті відмічається в період від початку кушіння та виходу рослин в трубку. При нестачі його в цей період ріст рослин гальмується, що порушується процес формування генеративних органів, що призводить до зниження врожаю, а надмірна кількість азоту призводить до переростання і вилягання рослин. Потреба рослин у фосфорі відмічається протягом всієї вегетації. Особливо важливо забезпечити ячмінь фосфором в ранній період вегетації шляхом внесення при сівбі в рядки P_{10-20} , що сприяє інтенсивному розвитку кореневої системи. Найбільша потреба ячменю в калії – в перший період його росту і розвитку [7, 8, 9].

Дуже важливо забезпечити поживними речовинами рослини до кушіння, коли формуються колоски. Добрива внесені після кушіння, на кількість продуктивних стебел не впливають, а позначаються на величині колосу [10].

На більшості ґрунтів Півдня України для ячменю перш за все не вистачає азоту і тому найбільші прибавки врожаю забезпечують азотні добрива, які підвищують його врожайність на 0,5-1,0 т/га. Поряд з урожайністю, азотні добрива значно підвищують і якість зерна – збільшується вміст білка, що має велике значення при вирощуванні ячменю на фуражні цілі. Приріст урожаю від фосфорних добрив значно менший і зазвичай становить 0,15-0,3 т/га. Внесення калійних добрив ефективно лише

на легких ґрунтах де вміст калію низький. Нестача одного з цих елементів або неправильне співвідношення їх знижує продуктивність рослин [2; 11; 12]. Оптимальна доза добрив на чорноземах Центрального й Північного Степу $N_{45}P_{30}K_{30}$ на каштанових ґрунтах Північного Степу $N_{45}P_{45}$ [13], в АР Крим $N_{30-45}P_{20-30}$ [14].

На дерново-підзолистому легкосуглинистому ґрунті оптимальною під ярий ячмінь є доза добрив $N_{100}P_{60}K_{90}$, яка забезпечує приріст врожаю зерна 2,28 т/га з вмістом білка 11,3% і окупністю 1 кг NPK 9 кг зерна [6].

Інститутом рослинництва Чехії встановлено, що отримання високого врожаю ячменю (біля 6 т/га) можливе за умови внесення фосфорними і калійними добривами [15]. За даними вчених Ротамстедської дослідної станції (Англія) оптимальна доза добрив в різні роки різна – 96, 79, 110 27 кг/га д.р. [16]. У більшості держав Західної Європи (Польща, Чехія, Словаччина, Німеччина, Данія) оптимальна доза добрив під ярий ячмінь знаходиться в межах $N_{60-100}P_{60}K_{60}$ [15, 17, 18, 19, 20, 21, 22].

Досліди Селекційно-генетичного інституту НААНУ показують, що сорти потребують різних доз добрив. Система живлення сорту значною мірою залежить від висоти рослин і стійкості до вилягання. Низькорослі сорти стійкі до вилягання можуть використовувати більші норми добрив, а високорослі на цих фонах вилягають і знижують урожай.

З. Б. Борисонік і А. Г. Мусатов узагальнили результати досліджень наукових установ зони Степу і наводять орієнтовні норми добрив для сортів: Донецький 6 і Донецький 8 – $N_{30-60}P_{30-40}K_{30-40}$; Чорноморець – $N_{60}P_{60}K_{40-60}$; Дніпровський 425 – $N_{60}P_{60}K_{40}$; Нутанс 244 і Ельгіна – $N_{40-80}P_{40-60}K_{30-60}$; Зерноградський 73 – $N_{40-60}P_{60}K_{30-40}$; Одеський 82 – $N_{40-60}P_{40-60}K_{40-60}$ [2]. За узагальненим даними сортодільниць України виявлена досить близька реакція сортів ярого ячменю на добрива.

Ефективність добрив значно залежить також від погодних умов. Дози добрив знаходяться у відповідній залежності від водного режиму ґрунту. Високі дози при нестачі вологи не тільки не корисні, але часто шкідливі. В посушливих районах за підвищених дох добрив весною при достатній вологості ґрунту рослини добре розвиваються, а при настанні посухи гинуть швидше, ніж слабо удобрені або неудобрені. Пояснюється це тим, що сильно розвинені рослини швидко витрачають вологу внаслідок чого підвищується концентрація солей, що згубно діє на рослини.

Отже, аналіз результатів досліджень реакції різних сортів на добрива свідчить, що важливими напрямом оптимізації удобрення ярого ячменю є врахування особливостей мінерального живлення різних сортів. На важливість врахування специфіки живлення сорту звертають увагу багато дослідників [2]. В науковій літературі з цього питання зазначається, що по виносу основних елементів живлення можна судити про потребу сорту в елементах живлення. Чим більший біологічний винос у сорту, ти більша у нього потреба в добривах. Тому сорти вимагають різного їх удобрення.

Проте слід відмітити, що в рекомендаціях з вирощування ярого ячменю в степовій зоні України норми добрив для сортів не вказані. Зазначається лише, що для одержання врожайності зерна ярого ячменю 3,0–4,0 т/га на ґрунтах із середньою забезпеченістю рухомими формами NPK добрива потрібно внести в нормі $N_{40-60}P_{40-60}K_{30-40}$ [23].

Дози добрив, що рекомендуються в даний час, при вирощуванні ярого ячменю на Півдні України – це середні результати польових дослідів з добривами за ряд років. Вони досить обґрунтовані, але не враховують вміст поживних речовин у ґрунті. Натомість поля дуже різняться за вмістом елементів живлення і внесення середніх рекомендованих норм добрив, призводить до не ефективного їх використання. Багато вчених дійшли висновку, що дози добрив на запланований урожай сільськогосподарських культур краще визначати розрахунковими методами з урахуванням вмісту поживних речовин у ґрунті. Це дозволяє раціональніше використовувати добрива і досягати більшої віддачі від їх застосування [24, 25].

До аналогічних висновків дійшли й інші вчені. Так, у дослідях проведених в Інституті землеробства південного регіону при внесенні рекомендованої дози добрив N_{60-30} і розрахункової – $N_{68-79}P_0K_0$ отримали практично однакові рівні врожаїв ячменю ярого, проте окупність одиниці внесених добрив була вищою на фоні розрахункової норми [26, 27].

В науковій літературі описано багато розрахункових методів визначення доз добрив для одержання запланованого врожаю, але найбільшого поширення набув балансовий метод. Цей метод враховує винос урожаєм поживних речовин з ґрунту, наявність елементів живлення в ґрунті, та коефіцієнти їх використання з ґрунту і добрив [28].

Набуває поширення також метод створений

за принципом відшкодування (повернення в ґрунт) з добривами виносу елементів живлення запланованим урожаєм, залежно від рівня їх вмісту в ґрунті та інші удосконалені методи. На думку ряду авторів розрахунок норм добрив за принципом відшкодування більш перспективний порівняно з розрахунками балансовим методом.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Експериментальні дослідження проводилися протягом 2024-2025 років у стаціонарних умовах на базі Метеорологічного польового центру експериментальних досліджень Одеського національного університету імені І. І. Мечникова (с. Чорноморка, Одеська область). Ця територія характеризується ґрунтовим покривом, представленим переважно чорноземами південними малогумусними, а також їх комплексами з південними залишково-солонцюватими різновидами, що є типовим для агроландшафтів Південного Степу України.

Моніторинг та оцінка агрометеорологічних умов вегетаційного періоду ярого ячменю здійснювалися комплексно за ключовими параметрами: температурним режимом повітря, кількістю та розподілом атмосферних опадів, а також динамікою продуктивної вологи у ґрунті. Інформаційна база формувалася на основі даних регулярних спостережень місцевої метеостанції, доповнених безпосередніми польовими вимірюваннями на дослідних ділянках. Такий підхід дозволив деталізувати вплив лімітуючих погодних факторів на ріст і розвиток культури у контрастні за гідротермічним режимом роки досліджень.

Програма польового експерименту передбачала проведення систематичних спостережень за формуванням посівів ярого ячменю у динаміці. Комплексний аналіз включав наступні групи вимірювань: морфометричні – визначення лінійного росту рослин (висота, довжина стебла) у основні фази онтогенезу; фенологічні – фіксація дат настання та тривалості міжфазних періодів розвитку культури; біометричні – оцінка елементів структури врожаю, зокрема визначення біологічної врожайності зерна та його якісних показників (наприклад, маси 1000 зерен).

Увесь масив отриманих експериментальних даних слугував основою для встановлення кількісних зв'язків між агрометеорологічними умовами, рівнем біогенного навантаження та кінцевою продуктивністю ярого ячменю, що є

необхідною передумовою для наукового обґрунтування оптимізації структури посівних площ у регіоні.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для комплексної оцінки ефективності вирощування ярого ячменю в умовах Одеської області було здійснено всебічне узагальнення матеріалів польових спостережень і вимірювань, спрямованих на аналізі взаємодії агрокліматичних умов, рівня біогенного навантаження та фізіолого-морфологічних властивостей рослин. Отримані результати дали змогу охарактеризувати динаміку розвитку культури на різних етапах вегетації, визначити основні чинники, що впливають на формування врожайності, а також оцінити стійкість агроєкосистеми до антропогенних і кліматичних навантажень.

Аналітичний блок дослідження охоплював порівняння морфометричних, фенологічних і біометричних характеристик рослинного покриву у зв'язку зі зміною температурного режиму, кількості опадів, вологості ґрунту та інтенсивності мінерального живлення. Це дозволило виявити закономірності формування продуктивності ярого ячменю в умовах зростаючої кліматичної мінливості та змін біогенних потоків. Установлені тенденції є важливими для розроблення обґрунтованих науково-практичних підходів до оптимізації структури посівних площ і збереження родючості ґрунту. Застосований підхід забезпечив системне розуміння взаємозв'язків між агрометеорологічними параметрами, станом ґрунту та продукційними властивостями рослин, що є ключовим у формуванні адаптивних моделей землеробства в умовах Південного Степу України. Це створює підґрунтя для підвищення екологічної стійкості агроландшафтів і мінімізації процесів змін клімату. Польовий експеримент проводився протягом 2024–2025 рр. На етапі 2024 року було відпрацьовано методику визначення основних біометричних параметрів рослинного покриву, включаючи вимірювання висоти рослин, довжини стебла, площі листової поверхні, густоти стояння та маси надземних органів. Паралельно уточнювалася програма експерименту, яка передбачала систематичні фенологічні спостереження, фіксацію морфометричних показників та оцінку структурних елементів продуктивності.

У дослідженні використовувався ярий ячмінь сорту «Аватар», районований у степовій зоні України. Сорт характеризується середнім періодом вегетації, стійкістю до посухи та здатністю формувати стабільний урожай під впливом мінливих агрокліматичних умов. Його вибір дозволив забезпечити репрезентативність отриманих даних та достовірно оцінити реакцію культури на біогенне навантаження і погодні умови в період вегетації.

У 2025 році була закладена експериментальна схема, яка включала контрольні та дослідні ділянки з диференційованими нормами мінерального живлення та варіантами посіву (контроль – без внесення добрив, дослідний – з внесенням азотних добрив). Площа досліджуваної ділянки становила 0,5 га; перед сівбою внесено аміачну селітру в нормі 10 кг. Рекомендована норма внесення азотних добрив під ярий ячмінь у агрокліматичних умовах Півдня України становить 20 кг/га. При цьому важливою умовою є внесення 90% норми під посів, тобто на початку розвитку рослини. Для отримання високих урожаїв дуже важливо, щоб рослини ярого ячменю були забезпечені поживними речовинами з самого початку свого розвитку, адже компенсувати їхню нестачу в подальшому буде неможливо [29]. В польовому дослідженні норма була свідомо зменшена, з ціллю отримання більш екологічно чистої продукції. Спостереження проводилися з моменту появи сходів до настання повної стиглості зерна. Додатково здійснювався регулярний облік агрометеорологічних показників; температури повітря, кількості опадів та вологості ґрунту. Отримані результати дають нам добрі сподівання про достатню ефективність внесення азотних добрив під ярий ячмінь в умовах Південного Степу України.

Фенологічні фази ярого ячменю у 2025 році характеризувалися такими термінами: посів – 2 квітня, сходи – 12 квітня, колосіння – 4 червня, воскова стиглість – 26 червня. Тривалість вегетаційного періоду становила 86 днів, що відповідає типовим для регіону умовам за відносно підвищеного температурного фону та помірного дефіциту вологи.

Програма польових досліджень передбачала виконання стандартних метеорологічних та агрометеорологічних спостережень, а також реєстрацію спеціальних біометричних показників. Визначення сухої маси рослин здійснювалося щодавно, починаючи з появи сходів. У чотирьох точках ділянки викопували по 10 рослин, підраховували кількість стебел

після кушіння та виходу у трубку, визначали продуктивні та потенційно продуктивні стебла, а також обчислювали загальний і продуктивний коефіцієнт кущистості. Після цього проводилися відбір рослинних проб: відокремлювалися корені, відмерла маса та живі органи. Здійснювали зважування загальної, живої та відмерлої маси, а отримані величини перераховували на 1 м² з урахуванням густоти стояння. Додатково проводився детальний структурний аналіз проб із поділом на фітоелементи: листки, стебла, корені та колоски.

Визначення відсотка сухої речовини у кожному елементі виконували за результатами висушування проб масою не менше 20 г до абсолютно сухого стану: протягом першої години при температурі 100-105 °С, надалі – при 70-80 °С до стабілізації маси (зміна не більше ніж 0,1 г). Вміст сухої речовини визначався як відношення сухої маси до сирової, а суха маса на одиницю площі – шляхом множення сирової маси на відповідний відсоток сухої речовини.

Експериментальні дані отримані шляхом декадного вимірювання біометричних показників на дослідній ділянці з двома основними варіантами: Контроль (К) – без внесення мінеральних добрив, та Дослідний (Д) – із застосуванням аміачної селітри перед сівбою як єдиного мінерального добрива. Аналіз динаміки накопичення сухої біомаси окремих органів ярого ячменю демонструє значний вплив азотного живлення на продукційний процес культури в умовах Південного Степу України.

Рисунок 1 ілюструє динаміку акумуляції сухої маси листової поверхні (m) г/м² ярого ячменю за варіантами контроль і дослідний. Листова маса є ключовим індикатором потенціалу фотосинтезу.

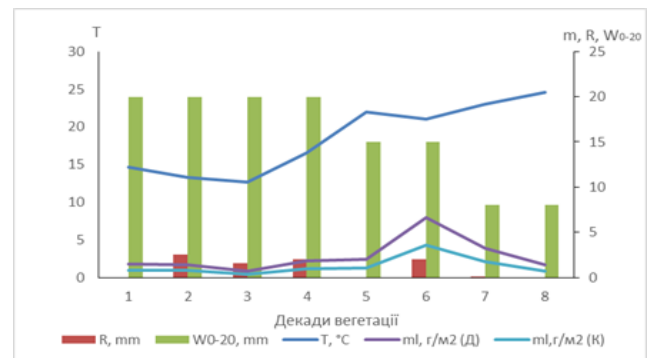


Рис. 1 – Динаміка накопичення сухої біомаси листя (ml)

Fig. 1 - Dynamics of dry biomass accumulation of leaves (ml)

Дослідний варіант продемонстрував значно

більш інтенсивне зростання листкової маси від фази сходів (12 квітня) до фази колосіння (4 червня) порівняно з контролем. Це є прямим наслідком стимулюючої дії азоту, внесеного з аміачною селітрою, на вегетативний розвиток. Пікове значення сухої маси листя у варіанті дослідний було істотно вищим і, як правило, досягалося пізніше або утримувалося довше, ніж у варіанта контроль, що вказує на більш тривалий період активної фотосинтетичної діяльності. У контрольному варіанті пік накопичення сухої маси листя був нижчим і наставав раніше, після чого спостерігалася швидка регресія біомаси. Це пояснюється швидким виснаженням ґрунтового азоту та прискореною сенесценцією (старінням) листя через дефіцит живлення.

Рисунок 2 відображає динаміку накопичення сухої біомаси стебел (m_s) г/м² за варіантами контроль і дослідний. Стебло виконує функцію механічної опори та резервуару поживних речовин.

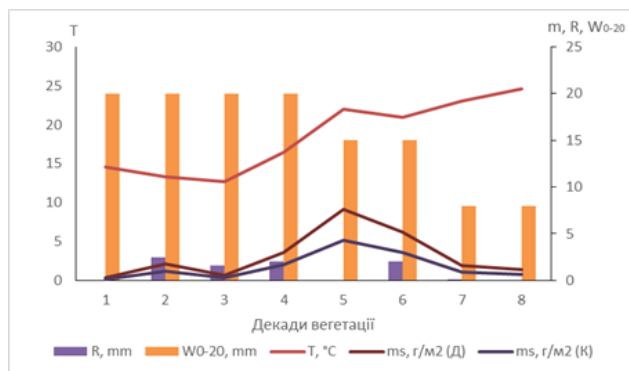


Рис. 2 - Динаміка накопичення сухої біомаси стебел (m_s)

Fig. 2 - Dynamics of dry biomass accumulation of stems (m_s)

У варіанті дослідний інтенсивність наростання сухої маси стебел була значно вищою у період виходу рослин у трубку (кінець травня – початок червня) порівняно з контрольним. Азот сприяє активному формуванню міжвузлів та росту стебел. Кінцева суха маса стебел у дослідному варіанті була переважно більшою до фази воскової стиглості (26 червня), що означає формування більшого резервуару пластичних речовин для подальшого наливу зерна. У контрольному варіанті накопичення стеблової маси було повільнішим та досягло нижчих абсолютних значень через обмежене азотне живлення, що призводило до меншої загальної біомаси рослини.

Рисунок 3 демонструє динамічні зміни сухої

біомаси кореневої системи (m_r) г/м² у двох варіантах. Коренева система критично важлива для поглинання вологи та живлення.

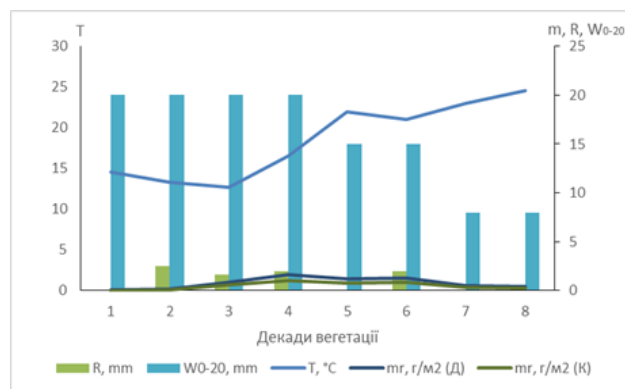


Рис. 3 - Динаміка накопичення сухої біомаси коренів (m_r)

Fig. 3 - Dynamics of dry biomass accumulation of roots (m_r)

Незважаючи на те, що азот переважно стимулює надземну частину, загальна абсолютна маса коренів у варіанті дослідний була вищою, оскільки для підтримки більшої вегетативної маси потрібна пропорційно більша коренева система. Проте, співвідношення корінь/пагін (Root/Shoot ratio) може бути вищим на ранніх фазах у контрольному варіанті, оскільки рослина, відсуваючи дефіцит поживних речовин, інвестує відносно більше ресурсів у розвиток коренів для їх пошуку. Найбільш інтенсивний приріст кореневої маси в обох варіантах припадає на ранні фази вегетації, але у варіанті дослідний цей приріст забезпечує краще водопоглинення в умовах Південного Степу України, що є перевагою для подальшої продуктивності.

Рисунок 4 ілюструє динаміку наростання сухої біомаси колоса (m_k) г/м², що безпосередньо відображає налив зерна і формування врожаю.

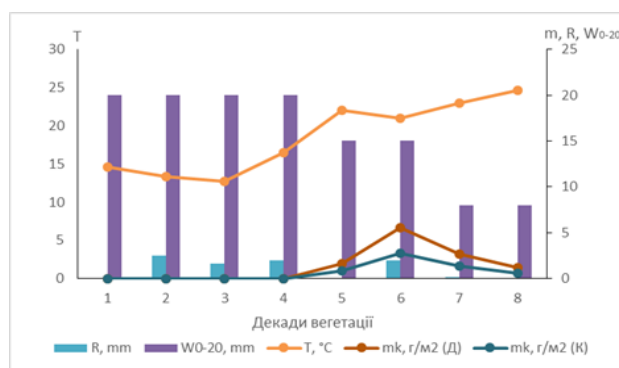


Рис. 4 - Динаміка накопичення сухої біомаси колоса (m_k)

Fig. 4 - Dynamics of dry biomass accumulation of the ear (m_k)

Накопичення сухої біомаси колоса починається після фази колосіння (4 червня) і продовжується до фази воскової стиглості (26 червня). Крива накопичення біомаси колоса у варіанті дослідному розташована значно вище та має крутіший нахил порівняно з контрольним.

Дослідний варіант забезпечив вищу кінцеву суху масу колоса (потенційну врожайність) та швидкість наливу зерна завдяки кращому азотному забезпеченню. Азот позитивно впливає на кількість зерен у колосі та їхню масу, а також на вміст білка.

У контрольному варіанті, через обмежену акумуляцію пластичних речовин у вегетативних органах (як видно з рис. 1 і 2), темп наливу зерна був нижчим, що призвело до значно меншої кінцевої маси колоса.

Таким чином, використання аміачної селітри (варіант дослідний) суттєво оптимізувало динаміку продукційного процесу ярого ячменю, забезпечивши значне збільшення накопичення біомаси всіх органів, особливо листя та колоса, порівняно з контролем.

4. ВИСНОВКИ

У дослідженні розглянуто актуальну проблему забезпечення стабільного виробництва ярого ячменю в умовах Південного Степу України, що ускладнюється посилення аридизації клімату та зростанням антропогенного навантаження на агроєкосистеми. Встановлено, що традиційні підходи до інтенсифікації землеробства через підвищення використання мінеральних добрив (зокрема азотних) в умовах дефіциту вологи часто не гарантують пропорційного приросту врожаю та призводять до негативних екологічних наслідків, створюючи надмірне біогенне навантаження на ґрунти.

Результати польового експерименту, проведеного протягом 2024-2025 років на чорноземах південних при вирощуванні сорту «Аватар», дозволили комплексно оцінити динаміку продукційного процесу культури за умов внесення азотного добрива. Аналіз морфометричних та біометричних показників засвідчив, що азотне живлення інтенсифікує накопичення вегетативної маси (листя та стебел) у першій половині вегетації.

Водночас дослідження виявило ризики однобічного азотного живлення. Встановлено, що за відсутності збалансованого внесення фосфору та калію можливе обмеження розвитку

кореневої системи, прискорення старіння листового апарату та лімітування кінцевої маси колоса, незважаючи на активний початковий ріст. Це підтверджує тезу про те, що існуючі системи удобрення часто не враховують синергетичний ефект кліматичних змін і біогенного тиску.

Отримані результати є науковим підґрунтям для переходу до адаптивних моделей управління агроєкосистемами. Вони доводять необхідність оптимізації норм добрив на основі розрахункових методів, що враховують реальний вміст поживних речовин у ґрунті, замість використання усереднених рекомендацій. Впровадження таких підходів дозволить підвищити еколого-економічну ефективність вирощування ярого ячменю, забезпечити раціональне використання ресурсів та збереження родючості ґрунтів Одеської області в умовах сучасних кліматичних змін.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Артем'єва К. С. Ефективність позакореневих підживлень рідкими органо- мінеральними добривами посівів ячменю ярого. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2015. Вип. 83. С. 110–113.
2. Використання мікроелементного препарату «Аватар» за вирощування ячменю ярого в польовій сівоzmіні / М. В. Тищенко та ін. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 3. С. 32–38.
3. Климишена Р. І., Гораш О. С. Агробіологічні особливості процесу вирощування ячменю ярого за диференційованих строків сівби на основі аналізу параметрів маси зернівки. *Аграрні інновації*. 2025. № 30. С. 94–98.
4. Кубрак Т. М., Мельник А. В. Роль добрив та регуляторів росту рослин за сучасної технології вирощування ячменю ярого в умовах лівобережного лісостепу України. *Bulletin of Sumy national agrarian university. the series: agronomy and biology*. 2023. Т. 53, № 3. С. 31–42.
5. Наукові підходи щодо екологізації технології вирощування ячменю ярого в умовах лівобережного лісостепу / М. В. Горобець та ін. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 4. С. 142–149.
6. Павлова Я. С. Об'ємна маса ґрунту залежно від попередників та його обробітку за вирощування ячменю ярого в Правобережному Лісостепу України. *Аграрні інновації*. 2025. № 30. С. 122–127.
7. Паламарчук В. Д., Колісник О. М. Вплив підживлення азотними добривами на елементи структури урожаю та продуктивність ячменю ярого. *Аграрні інновації*. 2023. № 20. С. 56–61.
8. Рожков А. О., Чернобай С. В. Вплив норм висіву та позакореневих підживлень на ефективність вирощування ячменю ярого сорту Докучаєвський 15. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2015. № 3. С. 44–49.
9. Семенова І. Г. Моделювання врожайності ярого ячменю в Україні з використанням супутникових вегетаційних індексів. *Наукові праці Українського науково-*

- дослідного гідрометеорологічного інституту. 2015. Вип. 267. С. 96–101.
10. Скидан В. О., Скидан М. С. Особливості реакції ячменю ярого сорту Водограй на агротехнічні прийоми вирощування в умовах південного степу України. *Plant breeding and seed production*. 2015. № 103. С. 224–230.
 11. Шляхи вдосконалення адаптивної технології вирощування ячменю ярого в посушливих умовах північного степу України / О. Вінюков та ін. *Theoretical and empirical scientific research: concept and trends*. 2025. С. 103–107.
 12. Gamayunova V., Kasatkina T. Perspective is that the particularity of the barley is vivid on the countryside. *Scientific horizons*. 2018. Vol. 70, no. 7-8. P. 131–138.
 13. Kamins'ka V., Buslaieva N. Productivity of spring barley depending on the weather conditions and the level of intensification of growing technology. *Visnyk agrarnoi nauky*. 2021. Vol. 99, no. 5. P. 30–37.
 14. Skrylnyk I., Artemyeva K. Energy evaluation of the effectiveness of liquid organic-mineral fertilizers in growing spring barley. *Visnik L'viv's'kogo nacional'nogo agrarnogo universitetu. agronomiia*. 2018. Vol. 22, no. 2. P. 127–130.
 15. The use of vermicompost and the biological preparation «Nanoverm» obtained from it for growing spring barley / V. Ivanov et al. *Visnyk agrarnoi nauky*. 2024. Vol. 102, no. 11. P. 11–17.
 16. Ефективність мінімізації обробітку ґрунту і застосування побічної продукції під ячмінь ярий в умовах західного лісостепу / В. М. Польовий та ін. *Bulletin national university of water and environmental engineering*. 2024. T. 1, № 101. С. 223–234.
 17. Вплив регуляторів росту рослин на онтогенез сортів ячменю ярого / М. В. Горобець та ін. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 1. С. 106–115.
 18. Зміна клімату та аридизація південного степу України / Р. А. Вожегова та ін. *Аграрні інновації*. 2021. № 7. С. 16–20.
 19. Короткова І. В., Горобець М. В., Чайка Т. О. Вплив стимуляторів росту на продуктивність сортів ячменю ярого. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 2. С. 20–30.
 20. Вплив різних видів мінерального живлення на ріст і розвиток ячменю ярого в зоні степу України / С. В. Маслійов та ін. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 4. С. 28–35.
 21. Іщенко В. А., Козелець Г. М., Губарев О. Д. Формування біометричних показників рослин та врожайності ячменю ярого залежно від позакореневих підживлень в умовах Північного Степу України. *Аграрні інновації*. 2024. № 21. С. 29–34.
 22. Чугрій Г. А. Визначення ефективності різних інтенсивних агротехнологій для сталого зерновиробництва ячменю ярого в умовах степу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 3. С. 18–26.
 23. Шляхи вдосконалення адаптивної технології вирощування ячменю ярого в посушливих умовах північного степу України / О. Вінюков та ін. *Theoretical and empirical scientific research: concept and trends*. 2025. С. 103–107.
 24. Гладкіх Є. Ю. Агроекологічні аспекти застосування мінеральних добрив у сільськогосподарському виробництві. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2015. Вип. 83. С. 36–41.
 25. Господаренко Г. М., Любич В. В., Мартинюк А. Т. Агрохімічні властивості ґрунту за тривалого застосування мінеральних добрив. *Аграрні інновації*. 2023. № 19. С. 34–38.
 26. Ефективність застосування водорозчинних добрив під основні сільськогосподарські культури за умов зміни клімату / Л. Д. Глушенко та ін. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2013. № 3. С. 89–92.
 27. Застосування добрив на органічній основі для вирощування екологічно чистих продуктів: thesis / А. О. Ільченко та ін. 2015. URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/40062> (дата звернення: 09.12.2025).
 28. Заєць С. О., Онуфран Л. І. Ячмінь ярий на півдні України: монографія. Херсон: ОЛДІ-ПЛІОС, Стереотип. вид., 2025. 164 с.
 29. Елементи удобрення ячменю ярого. URL: <https://propozitsiya.com/articles/ahrokhimiya-dobryva/elementy-udobrennya-yachmenyu-yaroho> (дата звернення: 03.12.2025).

REFERENCES

1. Artemieva, K.S. (2015). Efektyvnist pozakorenevnykh pidzhyvlen ridkymy orhano-mineralnymy dobyvamy posiviv yachmeniu yaroho [Effectiveness of foliar feeding of spring barley crops with liquid organic-mineral fertilizers]. *Ahrokhimiia i hruntoznavstvo*, 83, pp. 110–113. (in Ukr.)
2. Tyshchenko, M.V. et al. (2018). Vykorystannia mikroelementnoho preparatu «Avatar» za vyroshchuvannia yachmeniu yaroho v polioyii sizozmini [The use of the trace element preparation "Avatar" in growing spring barley in a field crop rotation]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 3, pp. 32–38. (in Ukr.)
3. Klymyshena, R.I., Horash, O.S. (2025). Ahrobiolohichni osoblyvosti protsesu vyroshchuvannia yachmeniu yaroho za dyferentsiiiovanykh strokiv sivby na osnovi analizu parametriv masy zemivky [Agrobiological features of the process of growing spring barley at differentiated sowing dates based on the analysis of grain weight parameters]. *Ahrarni innovatsii*, 30, pp. 94–98. (in Ukr.)
4. Kubrak, T.M., Melnyk, A.V. (2023). Rol dobyv ta rehuliatoriv rostu roslyn za suchasnoi tekhnolohii vyroshchuvannia yachmeniu yaroho v umovakh livoberezhnoho lisostepu Ukrainy [The role of fertilizers and plant growth regulators in modern technology of growing spring barley in the conditions of the left-bank forest-steppe of Ukraine]. *Bulletin of Sumy national agrarian university. the series: agronomy and biology*, 53 (3), pp. 31–42. (in Ukr.)
5. Horobets, M.V. et al. (2020). Naukovi pidkhody shchodo ekolohizatsii tekhnolohii vyroshchuvannia yachmeniu yaroho v umovakh livoberezhnoho lisostepu [Scientific approaches to the greening of spring barley cultivation technology in the conditions of the left-bank forest-steppe]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 4, pp. 142–149. (in Ukr.)
6. Pavlova, Ya.S. (2025). Obiemna masa hruntu zalezno vid poperednykiv ta yoho obrobтку za vyroshchuvannia yachmeniu yaroho v Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Bulk density of the soil depending on precursors and its tillage when growing spring barley in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Ahrarni innovatsii*, 30, pp. 122–127. (in Ukr.)
7. Palamarchuk, V.D., Kolisnyk, O.M. (2023). Vplyv pidzhyvlenia azotnymy dobyvamy na elementy struktury

- urozhaiu ta produktyvnist yachmeniu yaroho [The effect of nitrogen fertilization on the elements of crop structure and productivity of spring barley]. *Ahrarni innovatsii*, 20, pp. 56–61. (in Ukr.)
8. Rozhkov, A.O., Chernobai, S.V. (2015). Vplyv norm vysivu ta pozakorenykh pidzhyvlen na efektyvnist vyroshchuvannya yachmeniu yaroho sortu Dokuchaievskiy 15 [The influence of seeding rates and foliar feeding on the effectiveness of growing spring barley variety Dokuchaievskiy 15]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 3, pp. 44–49. (in Ukr.)
9. Semenova, I.H. (2015). Modeliuvannya vrozhaivosti yaroho yachmeniu v Ukraini z vykorystanniam suputnykovykh vehetatsiinykh indeksiv [Modeling the yield of spring barley in Ukraine using satellite vegetation indices]. *Naukovi pratsi Ukrainського naukovo-doslidnogo hidrometeorologichnogo instytutu*, 267, pp. 96–101. (in Ukr.)
10. Skydan, V.O., Skydan, M.S. (2015). Osoblyvosti reaktsii yachmeniu yaroho sortu Vodohrai na ahrotekhnichni pryomy vyroshchuvannya v umovakh pivdennoho stepu Ukrainy [Peculiarities of the reaction of spring barley variety Vodohrai to agrotechnical methods of cultivation in the conditions of the southern steppe of Ukraine]. *Plant breeding and seed production*, 103, pp. 224–230. (in Ukr.)
11. Viniukov, O. et al. (2025). Shliakhy vdoskonalennia adaptivnoi tekhnologii vyroshchuvannya yachmeniu yaroho v posushlyvykh umovakh pivnichnoho stepu Ukrainy [Ways to improve the adaptive technology of growing spring barley in the arid conditions of the northern steppe of Ukraine]. *Theoretical and empirical scientific research: concept and trends*. pp. 103–107. (in Ukr.)
12. Gamayunova, V., Kasatkina, T. (2018). Perspective is that the particularity of the barley is vivid on the countryside. *Scientific horizons*, 70 (7-8), pp. 131–138.
13. Kamins'ka, V., Buslaieva, N. (2021). Productivity of spring barley depending on the weather conditions and the level of intensification of growing technology. *Visnyk agrarnoi nauky*, 99 (5), pp. 30–37.
14. Skrylnyk, I., Artemyeva, K. (2018). Energy evaluation of the effectiveness of liquid organic-mineral fertilizers in growing spring barley. *Visnik L'viv's'kogo natsional'nogo agrarnogo universitetu. Agronomiâ*, 22 (2), pp. 127–130.
15. Ivanov, V. et al. (2024). The use of vermicompost and the biological preparation «Nanoverm» obtained from it for growing spring barley. *Visnyk agrarnoi nauky*, 102 (11), pp. 11–17.
16. Poliovyi, V.M. et al. (2024). Efektyvnist minimizatsii obrobitku igruntiv i zastosuvannya pobichnoi produktsii pid yachmin yarui v umovakh zakhidnoho lisostepu [Effectiveness of minimizing soil tillage and using by-products for spring barley in the conditions of the western forest-steppe]. *Bulletin national university of water and environmental engineering*, 1 (101), pp. 223–234. (in Ukr.)
17. Horobets, M.V. et al. (2021). Vplyv rehulatoriv rostu roslin na ontogenezu sortiv yachmeniu yaroho [The influence of plant growth regulators on the ontogenesis of spring barley varieties]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 1, pp. 106–115. (in Ukr.)
18. Vozhehova, R.A. et al. (2021). Zmina klimatu ta arydzatsiia pivdennoho stepu Ukrainy [Climate change and aridization of the southern steppe of Ukraine]. *Ahrarni innovatsii*, 7, pp. 16–20. (in Ukr.)
19. Korotkova, I.V., Horobets, M.V., Chaika, T.O. (2021). Vplyv stymulatoriv rostu na produktyvnist sortiv yachmeniu yaroho [The influence of growth stimulants on the productivity of spring barley varieties]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 2, pp. 20–30. (in Ukr.)
20. Masliiov, S.V. et al. (2019). Vplyv riznykh vydiv mineralnogo zhyvlennia na rist i rozvytok yachmeniu yaroho v zoni stepu Ukrainy [The influence of various types of mineral nutrition on the growth and development of spring barley in the steppe zone of Ukraine]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 4, pp. 28–35. (in Ukr.)
21. Ishchenko, V.A., Kozelets, H.M., Hubariiev, O.D. (2024). Formuvannya biometrychnykh pokaznykiv roslin ta vrozhaivosti yachmeniu yaroho zalezno vid pozakorenykh pidzhyvlen v umovakh Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Formation of biometric indices of plants and yield of spring barley depending on foliar feeding in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine]. *Ahrarni innovatsii*, 21, pp. 29–34. (in Ukr.)
22. Chuhrii, H.A. (2021). Vyznachennia efektyvnosti riznykh intensyvnykh ahrotekhnologii dlia staloho zernovyrobnystva yachmeniu yaroho v umovakh stepu Ukrainy [Determining the effectiveness of various intensive agrotechnologies for sustainable grain production of spring barley in the steppe conditions of Ukraine]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 3, pp. 18–26. (in Ukr.)
23. Viniukov, O. et al. (2025). Shliakhy vdoskonalennia adaptivnoi tekhnologii vyroshchuvannya yachmeniu yaroho v posushlyvykh umovakh pivnichnoho stepu Ukrainy [Ways to improve the adaptive technology of growing spring barley in the arid conditions of the northern steppe of Ukraine]. *Theoretical and empirical scientific research: concept and trends*. P. 103–107. (in Ukr.)
24. Hladkikh, Ye.Yu. (2015). Ahroekologichni aspekty zastosuvannya mineralnykh dohriv u silskohospodarskomu vyrobnystvi [Agroecological aspects of mineral fertilizer application in agricultural production]. *Ahrohimii i hruntознаvstvo*, 83, pp. 36–41. (in Ukr.)
25. Hospodarenko, H.M., Liubych, V.V., Martyniuk, A.T. (2023). Ahrokhimichni vlastyvoli igruntiv za tryvaloho zastosuvannya mineralnykh dohriv [Agrochemical properties of soil under long-term application of mineral fertilizers]. *Ahrarni innovatsii*, 19, pp. 34–38. (in Ukr.)
26. Hlushchenko, L.D. et al. (2013). Efektyvnist zastosuvannya vodorozchynnykh dohriv pid osnovni silskohospodarski kultury za umov zminy klimatu [Effectiveness of water-soluble fertilizers application for main agricultural crops under climate change conditions]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 3, pp. 89–92. (in Ukr.)
27. Ilchenko, A.O. et al. (2015). Zastosuvannya dohriv na orhanichnii osnovi dlia vyroshchuvannya ekolohichno chystykh produktiv [The use of organic-based fertilizers for growing environmentally friendly products]: thesis. Available at: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/40062> (Accessed 09 December 2025). (in Ukr.)
28. Zaiets, S.O., Onufrin, L.I. (2025). *Yachmin yaryi na pivdni Ukrainy [Spring barley in the south of Ukraine]: monograph*. Kherson: OLDI-PLiuS, Stereotyp. vyd. 164 p. (in Ukr.)
29. *Elementy udobrennia yaroho yachmeniu*. [Fertilizer elements for spring barley]. Available at: URL: <https://propozitsiya.com/articles/ahrokhimiya-dobryva/elementy-udobrennya-yachmeniu-yaroho> (Accessed 03 December 2025). (in Ukr.)

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF CURRENT CONDITIONS FOR SPRING BARLEY CULTIVATION TAKING INTO ACCOUNT BIOGENIC LOAD AND CLIMATE CHANGE IN THE ODESA REGION

P. S. Nikitin, V. G. Ilina

*Odesa I. I. Mechnikov National University,
2, Vsevoloda Zmiiienka St., 65016 Odesa, Ukraine, agroecology87@gmail.com.
<https://orcid.org/0009-0004-5755-4116>, <https://orcid.org/0000-0001-5781-701X>*

The yield of spring barley, the condition of the soil cover, and the stability of agricultural production are directly dependent on the combination of climatic conditions and the level of biogenic load. This article investigates the main methodological principles for the analysis and assessment of agroclimatic factors that determine the optimal conditions for growing spring barley in the Odesa region under conditions of intensified climate change.

The deterioration of agrometeorological indicators, the unevenness of precipitation, and the high variability of the temperature regime reflect the increasing anthropogenic impact on the soil-plant complex, driven by intensive land use, the application of mineral fertilizers, land transformation, and other types of economic activity. The study presents key indicators used to assess the biogenic load, the dynamics of the production process, and the adaptive properties of spring barley.

Prior to the intensification of climate change, the agricultural landscapes of the Odesa region were subjected to one of the highest levels of anthropogenic load within the Southern Steppe of Ukraine. Forecast indicators of the biogenic load on the soil and plant cover for the coming years indicate a stable trend of its growth for most agroecological characteristics of the region. Regarding the northern districts of Odesa region, the increase in load is expected primarily for the nitrogen and water regimes, while for the coastal territories, it is expected for the humus status and structural properties of the soils. The article examines the main groups of factors that reduce the productivity of spring barley and limit the possibilities for optimizing crop areas under the influence of climate change. As a result of the increased biogenic load, the possibilities for the stable use of soil resources are significantly reduced. The deterioration of agroclimatic conditions and the moisture deficit considerably reduce the productive potential of agroecosystems.

The primary task is to determine the actual needs of agricultural production regarding a rational cropping structure, the collection and generalization of data on the state of soil-plant systems, the harmonization of methods for assessing the biogenic load, and conducting such an assessment within the region. It is necessary to identify ways to transition to adaptive management models for the agroecosystems of the Southern Steppe of Ukraine, considering the decrease in productivity resulting from both climate change and excessive biogenic load on soil resources.

Key words: spring barley; biogenic load; climate change; optimization; agroecosystem; soil fertility; Southern Steppe of Ukraine.

*Подання до редакції : 01. 12. 2025
Надходження остаточної версії : 20. 12. 2025
Публікація статті : 23. 12. 2025*