

БІОГЕОХІМІЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ АДАПТАТИВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР

ЄГОРОВА Т.М. – доктор сільськогосподарських наук

orcid.org/0000-0003-2148-7738

Інститут садівництва Національної академії аграрних наук України

БУБЛИК М.О. – доктор сільськогосподарських наук, професор,

академік Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0000-0003-4056-791X

Інститут садівництва Національної академії аграрних наук України

ГРУША В.В. – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник

orcid.org/0000-0002-3530-1634

Інститут садівництва Національної академії аграрних наук України

Сучасне садівництво розглядає адаптацію культур до зміни клімату як одну із найважливіших на глобальному і регіональному рівнях [1, 2, 3]. Міжнародні дослідження свідчать, що підвищення температури атмосферного повітря може призвести до розладу фенологічних фаз розвитку рослин, включаючи цвітіння, розвиток плодів та врожайність [2, 4, 5, 6]. Між тим, існує низка спостережень, які свідчать, що рослини можуть розвивати морфологічні та фізіологічні адаптації, через підвищений доступ до води, регулювання газообміну для забезпечення фотосинтезу та зменшення втрати води листям [7, 8]. У зв'язку з цим розглянуто біогеохімічні підходи до оцінювання адаптації рослин в умовах змін клімату та запропоновано кількісні коефіцієнти безпеки культур в агроландшафтах з нестачею мікроелементів.

Адаптація сільськогосподарських культур до змін клімату є процесом складним і багатофункціональним [9, 10, 11]. Адаптивний (або екологічний) потенціал рослин – це екологічна стабільність культури, яка відображає її надійність для сільськогосподарського виробництва завдяки здатності протистояти стресовим чинникам [12, 13]. Адаптація є результатом комплексної взаємодії біотичних (популяційних) і абіотичних (агроландшафтних) чинників. Розв'язання проблем кліматичної адаптації сільськогосподарських культур до останнього часу прийнято пов'язувати з обмеженою кількістю абіотичних чинників. Серед цих чинників найбільше увага приділяється посухостійкості та стійкості культур до низьких температур, що оцінюється за рівнями фізіологічних пошкоджень та втрати вологи від евапотранспірації [14].

Дослідженнями М.О. Бублика та ін. було встановлено відмінності 10 сортів вишні за рівнем посухостійкості і визначено, що найбільш посухостійкою є сорт Тургенівка [15]. За дослідженнями Інституту садівництва НААН 2024 р., на території Західного Лісостепу, господарська урожайність плодів культур та споживча якість плодів корелювала з погодними умовами під час цвітіння, запилення та запліднення, поряд із рівнем агротехнічних заходів. Оцінювання адаптації рослин до посухи включає методи із визначення водного дефіциту, водоутримуючої здатності, оводненості та жаростійкості рослин. Вивчення водного режиму сортів

обліпихи (*H. Rhamnoides*) свідчить про високий рівень посухостійкості цієї культури в умовах Правобережного Лісостепу України; було виявили пряму залежність показників водного дефіциту від метеорологічних чинників, а саме відносної тургоресцентності від водоутримувальної та водовідновлювальної здатності [16].

Між тим, все більшого поширення набуває кількісне оцінювання екологічного потенціалу сільськогосподарських культур за комплексними кліматичними індексами. Серед науково-методичних підходів до оцінки посухостійкості є використання широкого набору індексів стресу, які враховують врожайність культур, запаси води у ґрунті, водоутримуючу здатність культур, загальну кількість сонячних днів тощо [17, 18, 19, 20]. До них відносяться індекси умов середовища (Ij), посухостійкості (DI) та стійкості культур до кліматичного стресу (ASI) [19, 21]. Так, розроблений FAO ООН, ASI висвітлює відсоток земель (рілля або пасовищ), які потенційно знаходяться під впливом посухи (впродовж місяця або року). Цей індекс розглядається нами як найбільш об'єктивна регіональна оцінка динаміки клімату на теренах України.

Поряд із адаптивними кліматичними оцінками, широко відомі результати біохімічних оцінок значення мікроелементів для розвитку зернових культур [22-35]. Встановлено, що Cu, Zn, Mn, Co, Mo, Al позитивно впливають на посухостійкість рослин, а стійкість культур до перепадів температур забезпечує Zn, Mn, B. Достатня забезпеченість культур цими мікроелементами зберігає високий рівень синтезу білку і підвищує вміст аскорбінової кислоти, проліну, амідів і нуклеїнових кислот, що сприяє захисним функціям рослин під час посухи. Актуальність застосування порогових рівнів вмісту есенційних мікроелементів у ґрунтах як чинник нормального функціонування рослин освітлено у дослідженнях П.А. Власюка, Т.М. Єгорової, В.В. Ковальського та ін. [1, 27, 28].

Теоретичні і методичні аспекти геохімічної екології щодо нормального розвитку культур в агроландшафтах та, відповідно, біогеохімічної адаптації рослин до стресових умов, містять багаторічні дослідження Т.М. Єгорової, А.І. Фатєєва, С.Г. Корсун, та ін. [27, 24, 28-30]. Розширенням підходів до адаптації культур є біогеохімічний аналіз системи ґрунт-культура, розробка

кількісних оцінок такого потенціалу та прогноз меліоративних заходів щодо його підвищення.

Мета. Метою досліджень є визначення біогеохімічних принципів адаптації культур до змін клімату, розробка відповідних кількісних коефіцієнтів та їх регіональне оцінювання.

Матеріали і методи. Біогеохімічна складова адаптації культур до змін клімату обумовлена принципами взаємозв'язку між складовими ланками біогеохімічного ланцюга, що включає систему ґрунт-рослина-атмосферне повітря. Зв'язок компонентів ланцюга розкривається функціональний стан та врожайність культур, що серед іншого, безпосередньо залежить від забезпеченості ґрунтів поживними мікроелементами [27-29].

Сучасні кліматичні виклики потребують певної формалізації даних з агрохімічного стану ґрунтів та оцінювання посухостійкості системи ґрунт-рослина. Рівень біогеохімічної адаптації культур до змін клімату визначено за особливості вмісту та біофільності окремих поживних елементів.

Для оцінювання біогеохімічної адаптації культур розроблено *коефіцієнт біогеохімічної адаптації (КБА)*, що розраховується диференційовано для окремого поживного хімічного елементу. Коефіцієнт враховує вміст поживного хімічного елементу у ґрунтах (агроландшафту або адміністративної області) та його сталі біогеохімічні параметри – граничний рівень нестачі у ґрунтах для нормального функціонування культур (НПх) та коефіцієнт біогенної міграції (Ах) Коефіцієнт біогеохімічної адаптації базується на змінній вмісту елементу у ґрунтах, який є зворотним до НПх та прямим до Ах.

Нами розраховано КБА культур до нестачі у ґрунтах Со, Мо, Мп, Zn для територій адміністративних областей України. У дослідженнях використано попередні авторські узагальнення геоекологічного опробування ґрунтів (Сх) та багаторічні значення кліматичного стрес-індексу за матеріалами Р.А. Вожегової та ін. (АІ) [19, 27]. На підставі розрахунків КБА, проаналізовано адаптивність культур у зонах плідництва України та визначено території найбільшого біогеохімічного ризику. Проведено статистичний парний кореляційний аналіз між стійкістю культур до кліматичного стресу (АІ) та біогеохімічною адаптованістю (КБА за Со, Мо, Мп, Zn).

Результати досліджень. Адаптаційні можливості культур висвітлюють їх реакцію (можливу або фіксовану) на стресові небезпеки розвитку рослин. Біогеохімічні принципи адаптації плодівих культур до змін клімату визначає функціонування біогеохімічних ланцюгів в межах агроландшафту або іншої території. Фізико-хімічні особливості всіх ланок ланцюгів (гірські породи, води, ґрунти, рослини) об'єднані процесами міграції хімічних елементів і значним чином обумовлюють адаптацію плодівих та інших культур до змін клімату. Вцілому, рівень біогеохімічної адаптаційної здатності культур характеризує їх забезпеченість поживними хімічними елементами. Нормальне (збалансоване) забезпечення культур встановлює відповідність вмісту елементів у ґрунтах та рослинах до їх порогових рівнів в інтервалі границь від нестачі (НПх) до надлишку (ВПх). Диференційованість біогеохімічних ланцюгів визначають біохімічні потреби культур і відмінності у біогенній міграції хімічних елементів за їх інтенсивністю переходу у системі ґрунт-культура, що кількісно оцінюється за коефіцієнтом біогенної міграції (Ах) (Табл. 1).

Кількісне оцінювання біогеохімічної адаптації культур до змін клімату базуються на відповідності вмісту поживних елементів (Сх) до їх нижніх порогових значень, що є границею нестачі елементу. Збільшення вмісту відносно нижнього порогу (НПх), як і зменшення відносно верхнього порогу (ВПх), поліпшує ґрунтові умови функціонування культур та, відповідно рівень їх адаптації до стресових умов. Територію України характеризує неоднорідність збалансованості поживних мікроелементів у системі ґрунт-культура. Регіональні особливості біогеохімічного дисбалансу та збалансованості Со, Мо, Мп, Cu, Sr узагальнює поширення регіональних еколого-геохімічних провінцій, а також наші локальні дослідження садових агроландшафтів [24, 27, 28]. На території України, в більшості ґрунтів, відмічається нестача Со, Мо, Мп та інших мікроелементів, що певним чином компенсують широкі масштаби агрохімічних заходів живлення рослин.

Поряд із цим, культури диференційовано концентрують різні хімічні елементи, що кількісно оцінюється коефіцієнтом біологічного поглинання (Ах). Біофільні хімічні елементи характеризують високі значення Ах (переважно більше 1,0) та відповідно підвищена інтенсивність біогенної міграції у системі ґрунт-культура,

Таблиця 1

Біогеохімічні параметри мікроелементів для оцінювання адаптації плодівих і ягідних культур до змін клімату [25-28]

Біогеохімічні параметри	Поживні мікроелементи			
	Со	Мо	Мп	Zn
Нижній пороговий вміст, ґрунти, мг/кг (НПх)	7 (2,5)*	1,5 (0,2)	400 (288)	30 (0,3)
Верхній пороговий вміст, ґрунти, мг/кг (ВПх)	30 (4)	4 (11,2)	3000 (637)	70 (1,5)
Коефіцієнт біогенної міграції, Ах	0,8-1,0	18,2	7,5	10,8
Культури з високою потребою	н.д.	кавун, диня	яблуня, груша, виноград	вишня, черешня, слива, виноград
Культури з середньою потребою	н.д.	н.д.	н.д.	яблуня, груша, суниця, малина

Примітка: * форми знаходження валова і рухомі у дужках

у тому числі і їх адаптація до стресових водно-кліматичних умов. Біофобні хімічні елементи, навпаки, розкривають низькі значення A_x (переважно менше 0,5), послаблена або відсутня біогенна міграція у системі ґрунт-культура при стресових умовах.

Для кількісного оцінювання біогеохімічної складової адаптативного потенціалу сільськогосподарських культур до змін клімату розроблено **коефіцієнт біогеохімічної адаптації (КБА_x)**. Цей коефіцієнт стосується структур біогеохімічного ланцюга певного хімічного елементу. Запропонований коефіцієнт базується на прямій взаємозалежності у ланцюзі ґрунти-культура забезпеченості агроландшафтів поживним елементом. Коефіцієнт враховує три виміри поширення та біофільності поживного елементу (X). Це вміст елементу у ґрунті (C_x), нижнє порогове значення вмісту у ґрунті для нормального функціонування рослин ($НП_x$) і коефіцієнт біогенної міграції (A_x). У загальному вигляді, **коефіцієнт біогеохімічної адаптації КБА_x** хімічного елементу x для території досліджень розраховується за формулою:

$$КБА_x = \frac{C_x \times A_x}{НП_x}$$

Співвідношення біогеохімічних параметрів підібрано таким чином, що **збільшення значення КБА_x відповідає зростанню адаптативного біогеохімічного потенціалу культур, а його зниження вказує на погіршення адаптативних спроможностей культур**. У розрахунках використовуються сталі значення порогових значень, що були визначені у межах геохімічної екології понад 50 років тому, а також значення біофільності елементів (табл. 1). Змінною є вміст елементу у дослідженому ґрунті для садового агроландшафту, або іншої територіальної одиниці. Для цього можуть використовуватися як локальні точкові значення, так і існуючі узагальнення вмісту елементів у межах агроландшафту чи площі адміністративної одиниці.

Інформативність оцінок адаптативного потенціалу культур суттєво підвищується при комплексному врахуванні **коефіцієнтів біогеохімічної адаптації (КБА_x)** і кліматичної складової, яку, серед іншого, оцінюють за кліматичним стрес-індексом (ASI). Нами розраховано КБА_x за Co , Mo , Mn , Zn для територій адміністративних областей України та здійснено узагальнено КБА_x і ASI для садівничих регіонів України (табл. 2).

Взаємозв'язки між біогеохімічними і кліматичними особливостями аграрних угідь є складними і багатofакторними. Між ти, можна простежити певні просторові тенденції між біогеохімічною і кліматичною адаптованістю культур. Від зони плідництва Полісся до Степових зон регіональні оцінки коефіцієнту біогеохімічної адаптації Co , Mo , Mn зростають, як і середні значення кліматичного стрес-індексу. Середні оцінки КБА Co зростають від 0,4 до 1,4, КБА Mo – від 8,5 до 21,8, КБА Mn – від 10,2 до 14,0, ASI – від 11,6 до 15,8. Простежується незначне зниження КБА Zn у межах Лісостепу та підвищення у межах Полісся порівняно з іншими зонами.

Певні тенденції взаємозв'язку між запропонованими біогеохімічними коефіцієнтами і кліматичним стрес-індексом висвітлює парний кореляційний аналіз. Регіональні розрахунки для адміністративних областей України парного коефіцієнту кореляції визначили значима лінійну кореляцію між КБА Co і ASI із значенням $r = 0,6$. Лінійна кореляція між ASI та КБА Zn не є значимою. Вкрай слабка позитивна лінійна кореляція простежується між ASI та КБА Mo і КБА Mn із $r = 0,3$.

Висновки та перспективи. На підставі цих оцінок можна зробити висновок щодо функціонування компенсаційних механізмів у рослинах в умовах підвищеної кліматичної небезпеки, а саме збільшення рівня посушливості клімату. Зростання кліматичного стрес-індексу здатне стимулювати культури до активізації біогеохімічних процесів, а саме біогенної міграції Co , Mo , Mn у системі ґрунт-культура.

Біогеохімічна складова адаптації плодівих культур до змін клімату є питанням малодослідженим.

Таблиця 2

Біогеохімічні і кліматичні коефіцієнти адаптації культур до змін клімату на територіях зон плідництва України

Зони плідництва України	Коефіцієнти біогеохімічної адаптації КБА _x за нестачі мікроелементів				Кліматичний стрес-індекс ASI [9]
	Co	Mo	Mn	Zn	
Полісся	<u>0,3-0,7</u> 0,4	<u>7,3-9,7</u> 8,5	<u>6,1-14,0</u> 10,2	<u>19,4-59,0</u> 36,8	<u>10,4-12,2</u> 11,6
Прикарпаття, Закарпаття	<u>0,9-1,3</u> 1,1	<u>17,0-26,7</u> 22,1	<u>13,0-19,0</u> 16,4	<u>32,0-40,3</u> 34,7	<u>10,4-13,7</u> 12,1
Лісостеп Західний і Східний	<u>0,6-1,3</u> 1,0	<u>12,1-15,8</u> 14,0	<u>10,4-16,2</u> 12,8	<u>24,8-37,4</u> 31,0	<u>11,2-13,7</u> 12,6
Степ Західний, Центральний і Північно-Східний	<u>1,1-1,4</u> 1,2	<u>14,6-40,0</u> 21,8	<u>12,6-13,6</u> 13,1	<u>32,0-40,0</u> 36,5	<u>11,8-15,3</u> 13,5
Донбас	<u>1,3-1,4</u> 1,4	<u>17,0-18,2</u> 17,6	<u>13,1-13,4</u> 13,2	<u>33,1-35,6</u> 34,4	<u>13,0-14,3</u> 13,7
Південний Степ	<u>1,2-1,3</u> 1,3	<u>12,1-18,2</u> 16,1	<u>12,5-16,1</u> 14,0	<u>31,0-36,7</u> 34,5	<u>14,9-17,3</u> 15,8

Кількісними параметрами такої адаптивності є біофільність хімічних елементів та їх збалансованість у системі ґрунт-культура. Розроблено комплексний коефіцієнт біогеохімічної адаптації культур за нестачі поживних елементів у ґрунтах (КБАх). Регіональні розрахунки значень КБАх за нестачі у ґрунтах Co, Mo, Mn, Zn узагальнено для територій зон плодівництва України. Від зони плодівництва Полісся до Степових зон простежено зростання оцінок КБА за Co, Mo, Mn, як і кліматичного стрес-індексу (ASI). Значиму лінійну кореляцію ($r = 0,6$) проявлено між КБА за Co і ASI. В умовах зростання посушливості клімату, імовірність посилення компенсаційних біохімічних механізмів для забезпечення культур поживними елементами, є доволі високою.

На території зони Полісся з низькою адаптацію культур та високими потребами у Mo, Mn, вирощування яблуні, груші, винограду, кавуна, дині потребує посиленого підживлення рослин цими елементами. Локальне кількісне оцінювання КБАх у межах садових агроландшафтів та його розрахунки для широкого кола елементів живлення дозволить визначити пріоритетність у застосуванні мінеральних добрив агрохімічної меліорації та підвищити споживчу якість плодів і ягід. Особливого значення це набуває для органічних систем садівництва, що мають на меті забезпечення екологічно безпечної продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Іванюта С.П., Коломієць О.О., Малиновська О.А., Якушенко Л.М. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналітична доповідь / за ред. С.П. Іванюти. Київ: НІСД, 2020. 110 с.
- Бублик М.О., Гриник І.В., Барабаш Л.О., Чорна Г.А., Фризюк Л.А. Вплив змін клімату на плодові рослини у контексті глобальних досліджень. Садівництво. 2023. № 78. С. 5-25.
- NASA. (2017, January 19). The consequences of climate change. (Ed. Newsela staff). URL: <http://climate.nasa.gov/effects/>. DOI: 10.1007/s00468-015-1214-3
- The comparison of dormancy dynamics in apple trees grown under temperate and mild winter climates imposes a renewal of classical approaches / Malagi G. et al. Trees. 2015. Vol. 29. P. 1365-1380. DOI: 10.1007/s00468-015-1214-3.
- Facing climate change: Biotechnology of iconic Mediterranean woody crops / De Ollas C. et al. Front. Plant Sci. 2019. Vol. 10. 427. DOI: 10.3389/fpls.2019.00427.
- Mitra S. Guava: Botany, Production and Uses. New Delhi: CABI, 2021. 383 p.
- Pájaro-Esquivia Y., Domínguez-Haydar Y., Tinoco-Ojanguren C. Intraspecific variation in morpho-functional traits and plastic response to water and light in seedlings of *Aspidosperma polyneuron* (Apocynaceae). Flora. 2021. Vol. 282. 151903. DOI: 10.1016/j.flora.2021.151903.
- Global trends in phenotypic plasticity of plants / Stotz G.C. et al. Ecol. Lett. 2021. Vol. 24(10). P. 2267-2281. DOI: 10.1111/ele.13827.
- Тараріко О.Г., Ільєнко Т. В., Кучма Т.Л. Вплив змін клімату на продуктивність та валові збори зернових культур: аналіз та прогноз. Український географічний журнал. 2016. N1. С. 14-22.
- Ткачук О.П., Вітер Н.Г. Динаміка кліматичних показників та їх вплив на урожайність основних сільськогосподарських культур у Вінницькій області. Аграрні інновації. 2023. № 17. С. 139-149.
- Хом'як М.М., Байструк-Глдан Л.З., Коник Г.С. Адаптивний потенціал урожайності зразків *Dactylis Glomerata* L. в агрокліматичних умовах Передкарпаття. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2022. Вип. 71 (1). С. 160-175.
- Заєць С.О., Мельник М.А. Врожайність льону олійного залежно від агрометеорологічних умов року та застосування мікробіологічних препаратів. Аграрні інновації. 2024. № 26. С. 34-40.
- Рудник-Іващенко О.І., Гаєвський О.В. Оцінка адаптаційної здатності шовковиці (*Morus* L.) до знижених температур в залежності від віку росли. Аграрні інновації. 2023. № 23. С. 173-177.
- Глобальне потепління підвищує фотосинтез у сільськогосподарських культур. URL: <https://superagronom.com/news/1366-globalne-poteplinnya-pidvischuye-fotosintez-u-silskogospodarskih-kultur>.
- Бублик М.О., Скрыга В.А., Китаєв О.І. Особливості визначення адаптивного потенціалу сортів вишні до жару та посухи. Бюлетень Інституту зернового господарства. 2010. № 39. С. 173-176.
- Миколайко І.І. Оцінювання посухостійкості *Hipporhae Rhamnifolides* L. у правобережному Лісостепу України. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Т. 27, № 1. С. 57-60.
- Польовий В.М., Лукашук Л.Я., Лук'яник М.М. Вплив змін клімату на розвиток рослинництва в умовах західного регіону. Вісник аграрної науки. 2019. № 9 (798). С. 29-34.
- Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Пілярська О.О., Фундира К.С., Коновалова В.М. Посухостійкість популяцій люцерни другого року 11. за кормового використання. Аграрні інновації. 2023. № 17. С. 25-36.12.
- Вожегова Р.А., Лиховид П.В., Рудік О.Л. Застосування Agricultural Stress Index для динамічної оцінки посухи на орних землях. Аграрні інновації. 2023. № 20. С. 19-23.
- Домарацький Є.О., Базалій В.В., Пічура В.І., Дробітько А.В., Потравка Л.О. Водоутримуюча здатність та посухостійкість пшениці озимої залежно від сортового складу за незрошуваних умов зони Степу. Аграрні інновації. 2023. № 21. С. 146-153.
- Петриченко В.Ф., Балюк С.А., Носко Б.С. Підвищення стійкості землеробства в умовах глобального потепління. Вісник аграрної науки. 2013. № 9. С. 5-12.
- Слюсар О., Кучеров Є. Мікроелементи і стійкість рослин до несприятливих умов середовища. Украропоцесурс. 2019. URL: <https://uarostok.ua/stat/mikroelementi-stykst-roslin-do-nespriyativnih-umov-seredovischa>.
- Елементи живлення та їх роль в житті рослин. URL: <https://jiva-npk.com.ua/elements>.
- Єгорова Т.М., Бублик М.О. Зональні ландшафтно-геохімічні особливості територій плодівних насаджень України. Садівництво. 2022. № 76. С. 138-145.
- Потреба культур в мікроелементах і виносення мікроелементів. URL: <https://aidamin.com.ua/articles/potrebnosty-kulytur-v-mikroelementah-i-vynos-mikroelementov>. 2019.

26. Мікроелементи: друзі і вороги. Як взаємодіють елементи в рослині та що потрібно врахувати агроному? URL: <https://superagronom.com/articles/135-mikroelementi-druzi-i-vorogi-yak-vzayemodiyut-elementi-v-roslini-ta-scho-potribno-vrahuvati-agronomu>.
27. Єгорова Т.М. Екологічна геохімія агроландшафтів України: монографія. Київ: ТОВ ДІА, 2018. 264 с.
28. Єгорова Т.М. Агроекологічні системи біогеохімічних ланцюгів поживних елементів. Actual problems of natural sciences: modern scientific discussions: Collective monograph. Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 2020. Р. 35–51.
29. Єгорова Т.М. Біосферні ідеї В.І. Вернадського як теоретичні засади аграрної екології. Агроекологічний журнал. 2021. № 1. С. 7–17.
30. Оцінювання мікроелементного складу ґрунтів України для ведення органічного землеробства /за ред. А.І. Фатєєва, Я.В. Бородіної. Харків: Бровін О.В., 2020. 144 с.

REFERENCES:

1. Ivanyuta S.P., Kolomiyets O.O., Malynovska O.A., & Yakushenko L.M. (2020). Zmina klimatu: naslidky ta zakhody adaptatsiyi: analitychna dopovidanyuty [Climate change: consequences and adaptation measures: analytical report]. Kyiv: NISD, 110 [in Ukrainian].
2. Bublyk M.O., Hrynyk I.V., Barabash L.O., Chorna H.A., & Fryziuk L.A. (2023). Vplyv zmin klimatu na plodovi roslyny u konteksti hlobalnykh doslidzhen [The impact of climate change on fruit plants in the context of global research]. Sadivnytstvo – Horticulture, 78, 5–25 [in Ukrainian].
3. NASA. (2017, January 19). The consequences of climate change. (Ed. Newsela staff). URL: <http://climate.nasa.gov/effects/>
4. Malagi G. et al (2015). The comparison of dormancy dynamics in apple trees grown under temperate and mild winter climates imposes a renewal of classical approaches. Trees, 29, 1365-1380
5. De Ollas C. et al. (2019). Facing climate change: Biotechnology of iconic Mediterranean woody crops. Front. Plant Sci, 10, 427
6. Mitra S. (2021). Guava: Botany, Production and Uses. New Delhi: CABI, 383
7. Pájaro-Esquivia Y., Domínguez-Haydar Y., Tinoco-Ojanguren C. (2021). Intraspecific variation in morpho-functional traits and plastic response to water and light in seedlings of Aspidospermopoloneuron (Apocynaceae). Flora. Vol. 282. 151903
8. Stotz G.C. et al (2021). Global trends in phenotypic plasticity of plants. Ecol. Lett., 24(10), 2267-2281
9. Tarariko O.H., Iliencko T.V., & Kuchma T.L. (2016). Vplyv zmin klimatu na produktyvnist ta valovi zbory zernovykh kultur: analiz ta prohnoz [The impact of climate change on productivity and gross yields of grain crops: analysis and forecast]. Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal – Ukrainian Geographical Journal, 1, 14–22 [in Ukrainian].
10. Tkachuk O.P., Viter N.H. (2023). Dynamika klimatichnykh pokaznykiv ta yikh vplyv na urozhainist osnovnykh silskohospodarskykh kultur u Vinnytskii oblasti [Dynamics of climatic indicators and their impact on the yield of main agricultural crops in Vinnytsia region]. Ahrarni innovatsii – Agrarian innovations, 17, 139–149 [in Ukrainian].
11. Khomiak M.M., Baistruk-Hldan L.Z., & Konyk H.S. (2022). Adaptivnyi potentsial urozhainosti zrazkiv Dactylis Glomerata L. v ahroklimatichnykh umovakh Peredkarpattia [Adaptive potential of yield of Dactylis Glomerata L. specimens in agroclimatic conditions of the Carpathian foothills]. Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo – Foothill and mountain agriculture and animal husbandry, 71 (1), 160-175 [in Ukrainian].
12. Zaiets S.O., Melnyk M.A. (2024). Vrozhainist Ionu oliinoho zalezno vid ahrometeorolohichnykh umov roku ta zastosuvannya mikrobiolohichnykh preparativ [Yield of oil flax depending on the agrometeorological conditions of the year and the use of microbiological preparations]. Ahrarni innovatsii – Agrarian innovations, 26, 34–40 [in Ukrainian].
13. Rudnyk-Ivashchenko O.I., Haievskyi O.V. (2023). Otsinka adaptatsiinoi zdatsnosti shovkovytsi (Morus L.) do znyzhenykh temperatur v zalezhnosti vid viku rosly [Assessment of the adaptive capacity of mulberry (Morus L.) to low temperatures depending on the age of the plant]. Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations, 23, 173–177 [in Ukrainian].
14. Hlobalne poteplinnia pidvyshchuie fotosintez u silskohospodarskykh kultur [Global warming increases photosynthesis in crops]. 2017. URL: <https://superagronom.com/news/1366-globalne-poteplinnia-pidvischuye-fotosintez-u-silskogospodarskykh-kultur> [in Ukrainian].
15. Bublyk M.O., Skriaha V.A., & Kytaiev O.I. (2010). Osoblyvosti vyznachennia adaptivnoho potentsialu sortiv vyshni do zhary ta posukhy [Peculiarities of determining the adaptive potential of cherry varieties to heat and drought]. Biuletyn Instytutu zernovoho hospodarstva – Bulletin of the Institute of Grain Economy, 39, 173–176 [in Ukrainian].
16. Mykolaiko I.I. (2017). Otsiniuvannya posukhostiikosti Hippophae rhamnoides L. u pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Assessment of drought tolerance of Hippophae Rhamnoides L. in the right-bank forest-steppe of Ukraine]. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine, 1 (27), 57–60 [in Ukrainian].
17. Polovyi V.M., Lukashchuk L.Ia., & Lukianyk M.M. (2019). Vplyv zmin klimatu na rozvytok roslynnytstva v umovakh zakhidnoho rehionu [The impact of climate change on the development of crop production in the western region]. Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of Agricultural Science, 9(798), 29–34 [in Ukrainian].
18. Vozhehova R.A., Tyshchenko A.V., Tyshchenko O.D., Piliarska O.O., Fundyra K.S., & Konovalova V.M. (2023). Posukhostiikist populatsii liutserny druhoho roku za kormovoho vykorystannia [Drought resistance of second-year alfalfa populations for forage use]. Ahrarni innovatsii – Agricultural Innovations, 1, 25–36 [in Ukrainian].
19. Vozhehova R.A., Lykhovyd P.V., & Rudik O.L. (2023). Zastosuvannya Agricultural Stress Index dlia dynamichnoi otsinky posukhy na ornykh zemliakh [Application of the Agricultural Stress Index for dynamic assessment of drought on arable lands]. Ahrarni innovatsii – Agricultural Innovations, 20, 19–23 [in Ukrainian].

20. Domaratskyi Ye.O., Bazalii V.V., Pichura V.I., Drobitko A.V., & Potravka L.O. (2023). Vodoutrymuiu zdatnist ta posukhostiikist pshenytsi ozymoi zalezno vid sortovoho skladu za nezroshuvanykh umov zony Stepu [Water-holding capacity and drought resistance of winter wheat depending on varietal composition under non-irrigated conditions of the Steppe zone]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian innovations*, 21, 146–153 [in Ukrainian].
21. Petrychenko V.F., Baliuk S.A., & Nosko B.S. (2013). Pidvyshchennia stiikosti zemlerobstva v umovakh hlobalnoho poteplinnia. [Increasing the sustainability of agriculture in the face of global warming]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of Agricultural Science*, 9, 5–12 [in Ukrainian].
22. Sliusar O., Kucherov Ye. (2019). Mikroelementy i stiikist roslyn do nespryiatlyvykh umov seredovyscha [Microelements and plant resistance to adverse environmental conditions.]. *Ukrahroresurs – Ukragroresurs*. URL: <https://uarostok.ua/statt/mkroelementi-stykst-roslyn-do-nespryiatlyvih-umov-seredovyscha> [in Ukrainian].
23. Elementy zhyvlennia ta yikh rol v zhytti roslyn [Nutrients and their role in plant life]. URL: <https://jiva-npk.com.ua/elements> [in Ukrainian].
24. Yehorova T.M., Bublyk M.O. (2022). Zonalni landshaftno-heokhimichni osoblyvosti terytorii plodovykh nasadzhen Ukrainy [Zonal landscape and geochemical features of fruit plantation territories of Ukraine]. *Sadivnytstvo – Horticulture*, 76, 138–145 [in Ukrainian].
25. Potreba kultur v mikroelementakh i vynesennia mikroelementiv (2019). [Crop needs for microelements and microelement excretion]. URL: <https://aidamin.com.ua/articles/potrebnosti-kulturnykh-v-mikroelementakh-i-vynos-mikroelementov> [in Ukrainian].
26. Mikroelementy: druzi i vorohy. Yak vzaiemodiut elementy v roslyni ta shcho potribno vrakhuvaty ahronomu? [Microelements: friends and foes. How do elements interact in a plant and what does an agronomist need to consider?]. URL: <https://superagronom.com/articles/135-mikroelementi-druzi-i-vorogi-yak-vzayemodiyut-elementy-v-roslyni-ta-scho-potribno-vrahuvaty-agronomu> [in Ukrainian].
27. Yehorova T.M. (2018). Ekologichna heokhimiia ahrolandshaftiv Ukrainy: monohrafiia [Ecological geochemistry of agricultural landscapes of Ukraine: monograph]. Kyiv: TOV DIA, 264 [in Ukrainian].
28. Yehorova T.M. (2020). Ahroekologichni systemy bioheokhimichnykh lantsiuhiv pozhyvnykh elementiv [Agroecological systems of biogeochemical nutrient chains]. Actual problems of natural sciences: modern scientific discussions: Collective monograph. Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 35–51 [in Ukrainian].
29. Yehorova T.M. (2021). Biosfernei idei V.I. Vernadskoho yak teoretychni zasady ahrarnoi ekologii [Biosphere ideas of V.I. Vernadsky as theoretical foundations of agrarian ecology]. *Ahroekologichnyi zhurnal – Agroecological journal*, 1, 7–17 [in Ukrainian].
30. Fatiev A.I., Borodina Ya.V. (2020). Otsiniuvannia mikroelementnoho skladu hruntiv Ukrainy dlia vedennia orhanichnoho zemlerobstva [Assessment of the microelement composition of Ukrainian soils for organic farming]. *Kharkiv: Brovin O.V.*, 144 [in Ukrainian].

Єгорова Т.М., Бублик М.О., Груша В.В. Біогеохімічні засади оцінювання адаптивного потенціалу плодів культур

Метою досліджень є визначення біогеохімічних принципів адаптації культур до змін клімату, розробка відповідних кількісних коефіцієнтів та їх регіональне оцінювання. **Методи досліджень** включають вибір інформативних біогеохімічних параметрів, розробку комплексного коефіцієнта адаптації культур до небезпечних явищ (КБАх за нестачі Co, Mo, Mn, Zn), їх регіональні розрахунки та узагальнення для територій зон плодівництва України. **Результатами досліджень** є формулюванні та кількісне оцінювання біогеохімічних принципів адаптації культур до змін клімату. Таким принципом є взаємозв'язок між складовими ланками біогеохімічних ланцюгів поживних елементів. Простежено просторові тенденції між оцінками біогеохімічної і кліматичної адаптованості культур. Від зони плодівництва Полісся до Степових зон регіональні оцінки КБАх за нестачі Co, Mo, Mn зростають, як і середі значення кліматичного стрес-індексу. КБА Co зростають від 0,4 до 1,4, КБА Mo – від 8,5 до 21,8, КБА Mn – від 10,2 до 14,0, ASI – від 11,6 до 15,8. Незначне зниження КБА Zn фіксується у межах Лісостепу та підвищення у межах Полісся. Встановлено значиму позитивну кореляцію ($r = 0,6$) між КБА за Co і ASI; слабка позитивна лінійна кореляція ($r = 0,3$) простежується між ASI та КБА Mo і КБА Mn. **Висновки.** Дослідження свідчать про системність функціонування компенсаційних механізмів у рослинах в умовах підвищеної кліматичної небезпеки та збільшення рівня посушливості клімату. На території зони Полісся з низькою адаптацією культур та високими потребами у Mo, Mn, вирощування яблуні, груші, винограду, кавуна, дині потребує посиленого підживлення рослин цими елементами. Перспективним є кількісне оцінювання КБАх у межах садових агроландшафтів та його розрахунки для широкого кола елементів живлення. Це посилить обґрунтування напрямів агрохімічної меліорації та підвищить споживчу якість українських плодів і ягід.

Ключові слова: біогеохімічні параметри, зони плодівництва, мікроелементи, адаптація, кореляція.

Yehorova T.M., Bublyk M.O., Grusha V.V. Biogeochemical basics of assessing the adaptive potential of fruit crops

The purpose of the research is to determine the biogeochemical principles of crop adaptation to climate change, develop the corresponding quantitative coefficients and their regional assessment. **Research methods** include the selection of informative biogeochemical parameters, the development of a complex coefficient of crop adaptation to dangerous phenomena (CBAx for shortage of Co, Mo, Mn, Zn), their regional calculations and generalization for the territories of fruit growing zones of Ukraine. **The results** of the research consist in the formulation and quantitative assessment of the biogeochemical principles of crop adaptation to climate change. This principle is the relationship between the constituent links of biogeochemical chains of nutrient elements. Spatial trends between estimates of biogeochemical and climatic adaptability of crops are traced. From the fruit-growing zone of Polissya to the Steppe zones, regional estimates of the CBAx for shortage of Co, Mo, Mn increase, as do the values of the climate stress index. CBA Co increases from 0.4 to

1.4, *CBA* Mo – from 8.5 to 21.8, *CBA* Mn – from 10.2 to 14.0, *ASI* – from 11.6 to 15.8. *CBA* Zn is slight decreasing within the Forest-Steppe and an increase within Polissya. A significant positive correlation ($r = 0.6$) was established between *CBA* for Co and *ASI*; a weak positive linear correlation ($r = 0.3$) is between *ASI* and *CBA* Mo and *CBA* Mn.

Conclusions. Studies indicate the systematic functioning of compensatory mechanisms in plants under conditions of increased climatic hazard and increased aridity of the climate. Growing apple trees, pears, grapes, watermelons,

melons requires enhanced root fertilization of these crops on the territory of the Polissya zone with low crop adaptation and high needs for Mo, Mn. The quantitative assessment of *CBAx* within garden agrolandscapes and its calculations for a wide range of nutrients is promising. This will strengthen the justification of directions of agrochemical land reclamation and increase the consumer quality of Ukrainian fruits and berries.

Key words: biogeochemical parameters, fruit growing zones, microelements, adaptation, correlation.