
ВПЛИВ АНТРОПОГЕННИХ І КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ НА ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО В УМОВАХ ПІВДЕННО-СХІДНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

Вінюков О. О., Бондарева О. Б., Чугрій Г. А.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-389-7-17>

ВСТУП

Сучасні агроландшафти зазнають постійної техногенної дії, підпадають під вплив різних джерел забруднення локального, регіонального і глобального характеру^{1,2}.

Ґрунт є депонуючим середовищем, що знаходиться під пресом великої кількості забруднюючих речовин, які негативно впливають на ріст, розвиток рослин і якість продукції³. Серед забруднювачів важкі метали як кобальт, мідь, кадмій, нікель, свинець, цинк (Co, Cu, Cd, Ni, Pb, Zn) вирізняються особливим екологічним та біологічним впливом. Ці елементи добре адсорбуються орним шаром ґрунту⁴. Специфічною особливістю забруднення ґрунтів важкими металами є дуже низька швидкість самоочищення ґрунту. Їх сполуки досить стійкі і зберігають токсичні властивості упродовж тривалого часу та істотно накопичуються у зерні різних сільськогосподарських культур. Важкі метали

¹ Екологічна ситуація в зоні впливу Зміївської ТЕС / С. А. Балюк та ін. ; за ред. д-ра с.-г. наук, проф., акад. НААН Балюка С. А., д-ра с.-г. наук, проф. Фатєєва А. І., канд. с.-г. наук, с.н.с. Ворона В. П. ; НАН України та ін. Харків : Бровін О. В., 2019. 88 с.

² Гаврилюк Ю. В., Тохтарь К. І. Рівні забруднення важкими металами агроландшафтів Луганської області. *Біологія та валеологія*. 2018. № 20. С. 29–34. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2543569>

³ Фатєєв Ф. І., Самохвалова В. Л. Концепція використання техногенно забруднених ґрунтів. Харків : Стильна типографія, 2018. 57 с.

⁴ Корсун С. Г., Довбаш Н. І. Зміна агрохімічних показників родючості ґрунту під впливом забруднення важкими металами. *Землеробство : міжвід. тем. наук. зб.* 2016. Вип. 2 (91). С. 17–21. <https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2020/12/zemlerobstvo-291-2016>.

включаються в кругообіг та накопичуються в продуктах харчування, а кінцевим результатом є концентрація в живих організмах⁵.

Аналітичний огляд інформаційних джерел результатів іноземних та вітчизняних досліджень щодо заходів по зменшення нагромадження важких металів зерновими колосовими культурами в зонах впливу високого техногенного навантаження свідчить, що на шляху вирощування екологічно безпечної рослинної продукції з одночасним зменшенням антропогенного навантаження на агроландшафти важливого значення набуває широке використання біологічних агентів⁶. Це передбачає застосування нових ефективних екологічно-безпечних стимуляторів росту та мікробіологічних препаратів, які здатні регулювати процеси життєдіяльності рослин та ґрунтової мікрофлори⁷.

Науковцями відзначається висока ефективність при поліметалічних забрудненнях ґрунтів використання екологічно безпечних природних сполук на основі гумінових речовин – гумінових препаратів, принцип дії яких заснований на утворенні міцних хелатних комплексів гумусових кислот з важкими металами і, отже, зниженні їх рухливості і міграційної активності⁸.

Дослідженнями^{9, 10} встановлено, що вугільні гумати є перспективними стимуляторами росту, меліорантами і детоксикантами при відновленні деградованих ґрунтів в умовах полікомпонентного забруднення важкими металами.

При застосуванні азотних добрив гуміного типу – сульфат гумат амонію (СГА) кількість ВМ в орному горизонті 0–20 см значно зменшилась, що, за думкою авторів, можливо пов'язано з наявністю у складі СГА гумату амонію, який має здатність виконувати протекторну

⁵ Рибалова О. В. Новий метод оцінки ризику для здоров'я населення від впливу забруднення ґрунтів важкими металами. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2019. № 1 (29). С. 78–99. DOI: 10.5281/zenodo.2602749

⁶ Герасимчук Л. О., Валерко Р. А. Міграція Cu, Zn, Pb, Cd у системі «ґрунт–рослина». *Вісник Харківського національного аграрного університету*. 2013. № 1. С. 244–248. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhnau_grunt_2013_1_53.

⁷ Мазур В. А., Ткачук О. П., Яковець Л. А. Екологічна безпека зернової та зернобобової продукції. Вінниця : ВНАУ, 2020. 442 с.

⁸ Найдьонова О. С. Застосування гумінового препарату “Humim plus” в органічному землеробстві. *Вісник ХНАУ*. 2015. № 2. С. 39–50.

⁹ Корсун С. Г., Клименко І. І., Болоховська В. А., Болоховський В. В. Транслокація важких металів у системі «ґрунт – рослина» за вапнування та впливу біологічних препаратів. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 1. С. 29–35. DOI: 10.33730/2077-4893.1.2019.163245.

¹⁰ Балюк С. А., Медведєв В. В., Воротинцева Л. І., Шимель В. В. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня. *Вісник аграрної науки*. 2017. С. 5–11.

роль щодо важких металів¹¹. Так кількість Zn в орному горизонті знизилась з 2,75 мг/кг до 2,00 мг/кг, N1 відповідно 1,25 та 0,75 мг/кг, Co 1,75 та 0,75 мг/кг, Cd 0,30 та 0,20 мг/кг, Рb 0,75 та 0,60 мг/кг.

Однак застосування гумінових і мікробних препаратів, як інструменту зниження накопичення важких металів в зерні сільськогосподарських культур мало досліджено і потребує вивчення цього питання на регіональному рівні, особливо в промислових регіонах. Пошук заходів для зниження негативної дії важких металів на ланцюг ґрунт-рослина і тим самим покращення якості зернової продукції в зонах реального техногенного забруднення залишається вкрай важливим і актуальним.

На формування якісних показників зерна колосових культур значною мірою впливає генотип сорту, агротехнічні заходи і метеорологічні умови під час наливу зерна^{12, 13, 14, 15}. До найбільш значущих метеорологічних параметрів відносять температуру навколишнього середовища і кількість атмосферних опадів, що визначають вологість ґрунтового покриву. Зміни температури і умов зволоження істотно впливають на стан гумусу, мікробіологічну активність ґрунту, від якої залежить кислотність, окислювально-відновний потенціал і інші характеристики. Факторами впливу на рухомість важких металів є також температура і вологість ґрунту, що стає важливим в умовах змін клімату. Це робить актуальним дослідження впливу кліматичних чинників на біологічну доступність токсичних елементів рослинам, особливо для техногенно напружених регіонів. З огляду на це в умовах всезростаючого техногенного пресингу на навколишнє середовище має велике практичне значення для АПК за умов змін клімату вивчення впливу абіотичних факторів на транслокацію важких металів в системі ґрунт-рослина.

¹¹ Бездрабко О. М., Макаренко Н. А., Кавецький В. М. Вплив сульфат гумат амонійних добрив на міграцію важких металів за ґрунтовим профілем в умовах Полісся України. *Вісник ДАУ*. 2000. № 2. С. 276–280.

¹² Камінська В. В., Шморгун О. В., Дудка О. Ф. Особливості формування елементів продуктивності сортів ячменю ярого в північній частині Лісостепу. *Землеробство: міжвід. темат. наук. зб.* 2012. Вип. 84. С. 6. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemlerobstvo_2012_84_14

¹³ Онуфран Л. І. Якість зерна ячменю ярого за різних умов вирощування. *Таврійський науковий вісник*. 2013. № 86. С. 70–74. URL: http://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/86_2013/18.pdf

¹⁴ Гасанова І. І., Ноздріна Н. Л., Срашова М. В., Пеша О. О. Вплив погодних умов та сортових особливостей на формування елементів структури врожаю пшениці м'якої озимої в Північному Степу. *Зернові культури*. Том 6. № 1. 2022. С. 82–90. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0210>

¹⁵ Мамедова Е. І. Вплив гідротермічних умов та агротехнологічних заходів вирощування на особливості росту й розвитку рослин ячменю ярого в Північному Степу. *Зернові культури*. 2017. Том 1, № 2. С. 300–306. URL: <https://journal-grain-crops.com/uk/archiv/view/5dbac7ca3e7bf.pdf>

Мета досліджень – вивчити закономірності впливу кліматичних і антропогенних чинників на формування якості продукції ячменю ярого в умовах східної частини Північного Степу України.

1. Умови та методика проведення досліджень

Клімат Донецької області помірно-континентальний: жарке, засушливе літо і порівняно холодна зима з нестійким сніговим покривом. Зима прохолодна, літо жарке. Середня температура січня $-4...-6$ °С, липня $+23...+24$ °С. Річна сума опадів складає 375–556 мм на рік, більшість – в теплу пору року.

В Донецькому регіоні за останні 15 років зафіксовано підвищення середньої температури на 0,8 °С. Розподіл температури на протязі року показує, що значно більш теплим став зимовий період, середньомісячні температури зросли на 1–2,5 °С. В останні роки все більше посилюються в регіоні негативні впливи посушливих погодно-кліматичних умов. У регіоні відмічається перевищення інтенсивності температурного росту, температура порівняно з багаторічними нормами в останні роки зросла на $+2,5...+3,0$ °С¹⁶.

Аналіз гідрометеорологічних умов за даними Донецького ОЦГ останніх років показав, що під час вегетації ячменю ярого температура повітря частіше перевищує багаторічний показник на 0,5–3,1 °С (табл. 1). Дуже рідким буває зниження температур від багаторічних показників до 1,9 °С. Кількість опадів в основному була нижча від багаторічних на 11,0–54,9 мм.

Серед наведених років найбільш посушливими були 2018 р., гідротермічний коефіцієнт змінювався в межах 0,2–0,7, а також 2020 р., особливо квітень і червень з ГТК 0,15–0,20, що характеризує посуху різного рівня. 2019 рік був найбільш сприятливим у весняний період, та сильна червнева посуха не дозволила мати добрий налив зерна.

2021 рік був контрастним по вологозабезпеченості ґрунту, середнє значення ГТК становило 1,74, тобто умови були надмірно зволожені. Особливо це стосується червня. При цьому значення ГТК змінювалось в доволі широкому інтервалі від 0,7 до 2,8.

2022 рік виявився нестабільним за температурою та вологозабезпеченням. Квітень та травень характеризувалися надмірною вологою, проте температурний режим був нижчим за середньобагаторічні показники, що не могло не позначитись на вегетації рослин. З початком

¹⁶ Екологічний атлас Донецької області. Краматорськ, 2020. 348 с.

червня розпочалось інтенсивне наростання середньодобової температури, що призвело до сильної посухи та знизило показник ГТК до 0,2.

Дослідження проводились у польовій сівозміні Донецької державної сільськогосподарської дослідної станції НААН у 2018–2022 рр. Дослідні ділянки розташовані в зоні впливу Курахівської ТЕС.

Таблиця 1

Метеорологічні умови весняно-літніх періодів

Рік	Місяць	Температура повітря, °С		Сума опадів, мм		ГТК	Умови зволоження ¹⁷
		середня	±до багаторічних	середня	±до багаторічних		
2018	квітень	12,3	+2,8	26,0	-17,2	0,7	середня посуха
	травень	18,7	+3,1	8,7	-33,1	0,2	дуже сильна посуха
	червень	21,8	+2,4	40,2	-26,5	0,6	середня посуха
2019	квітень	10,9	+1,4	54,2	-11,0	2,1	надмірно волого
	травень	18,2	+2,6	41,7	-0,1	0,6	середня посуха
	червень	22,5	+3,1	25,0	-41,7	0,4	сильна посуха
2020	квітень	8,2	+0,5	5,8	-37,4	0,15	дуже сильна посуха
	травень	13,7	-1,9	95,0	+53,2	2,2	надмірно волого
	червень	22,5	+3,1	11,8	-54,9	0,2	дуже сильна посуха
2021	квітень	9,3	-0,2	32,0	-4,6	1,72	надмірно волого
	травень	16,4	+0,8	34,3	-7,5	0,7	слабка посуха
	червень	20,2	+0,8	168,9	+102,2	2,8	надмірно волого
2022	квітень	8,4	-1,1	65,2	+22,0	4,0	надмірно волого
	травень	14,9	-0,7	66,7	+24,9	1,4	достатньо волого
	червень	21,8	+2,4	10,5	-56,2	0,2	дуже сильна посуха

Ґрунт – чорнозем звичайний малогумусний важкосуглинкоюй. Вміст гумусу – 4,9%, рН – слабо лужна, близька до нейтральної, вміст загальних форм азоту – 0,22, фосфору – 0,14%.

Технологія вирощування ячменю ярого (*Hordeum vulgare*) сорту Степовик загальноприйнята для північної частини Степу України, крім поставлених на вивчення питань та відповідає зональним і регіональним рекомендаціям. Посівна площа ділянки 88,2 м², облікова – 62,7 м², повторність – триразова, розміщення ділянок систематичне.

Перед збиранням врожаю відібрані ґрунтові і рослинні зразки для аналітичних вимірювань вмісту важких металів.

¹⁷ 17. Польовий А. М., Божко Л. Ю., Вольвач О. В. Основи агрометеорології: підручник. Одеса: Видництво ТЕС, 2012. 250 с.

Зразки ґрунту відбирали за DSTU 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Вміст важких металів в зразках, що досліджуються, визначили атомно-абсорбційним методом на КАС-120.1 в режимі електротермічної атомізації відповідно «Методических указаний по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства» ЦИНАО-М., 1992., Методи аналізів ґрунтів і рослин. Методичний посібник Кн. 1/ за ред. С. Ю. Булигіна та інш. – Х., 1999. – 157 с. Кислото розчинні рухомі форми важких металів у ґрунті визначали після екстрагування розчином 1н НСІ відповідно до МВВ 31-497058-015-2003. Визначення вмісту рухомих форм важких металів (Co, Cu, Cd, Ni, Pb, Zn) у ґрунті в 1н НСІ на атомно-абсорбційному спектрофотометрі. Методи аналізів ґрунтів і рослин. Харків: ННЦ ІГА, 1991. С. 175–192. Рухомі форми елементів найбільш доступні рослинам вилучали з ґрунту амонійно-ацетатним буферним розчином з рН 4,8 згідно з DSTU4770.1-9:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю (кобальту, міді, кадмію, нікелю, свинцю, цинку) в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії.

Відбір рослинних зразків для проведення аналітичних досліджень проводили згідно «Методичних вказівок по проведенню досліджень в довготривалих дослідках з добривами», ч. 1, 2., М., 1980. Важкі метали в рослинних зразках визначали в їх зольних розчинах після спалювання за методом сухої мінералізації відповідно до «Продукти харчові. Визначення вмісту свинцю, кадмію, цинку, міді, заліза та хрому методом атомно-абсорбційної спектрометрії (AAS) після сухого озолення: ДСТУ EN 14082:2019. Київ, 2019. 12 с. Зерно, зернобобові та продукти їх перероблення. Визначення вмісту кадмію, свинцю та миш'яку методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії з електротермічною атомізацією: ДСТУ 7453:2013. Київ, 2014. 16 с.». Всі вимірювання проводили у трикратній повторності. Для оцінки якості зернової продукції за вмістом важкого металу використовували загальноприйнятті ГДК. Гранично допустима концентрація (ГДК) вмісту свинцю в зерні ячменю становить 0,5 мг/кг, кадмію – 0,1, цинку – 50,0 і міді – 10,0 мг/кг, ці показники були взяті в якості контролів.

Обробку результатів проводили за методологією та організацією наукових досліджень¹⁸.

Методи дослідження: польовий, лабораторний, математично-статистичний.

¹⁸ Методологія та організація наукових досліджень : підручник / М. О. Клименко та ін.; за ред. В. О. Дружиніної. Вінниця : Видавництво ВНТУ «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2010. 358 с.

2. Дія мікробних препаратів і регуляторів росту рослин на накопичення важких металів в рослинах ячменю ярого

Схема досліджень передбачала варіанти з передпосівною обробкою насіння препаратами, а також комплексне застосування інокуляції насіння разом з подальшим обприскуванням посівів (табл. 2).

Передпосівну обробку насіння проводили мікробним добривом мікрогумін (200 г/норма насіння на 1 га), а також розчином рідкою гуміною суміші айдар з нормою витрат 2 л на одну тону насіння. Варіанти комплексної обробки містили передпосівну обробку насіння з подальшим позакореневим підживленням рослин фізіологічно активними препаратами на початку фази трубкування. Позакореневе підживлення рослин проводили водними розчинами комплексного гумінового добрива Гумісол-плюс 01 Зернові («Агрофірма «Гермес») витрати препарату 0,5 л/га або рідкої гумінової суміші айдар дозою 3 л/га в фазі трубкування за допомогою ранцевих обприскувачів з розрахунку 300 л робочого розчину на 1 га.

Таблиця 2

Урожайність ячменю ярого сорту Степовик, 2021–2022 рр.

Варіант	Урожайність, т/га	Прибавка,	
		т/га	%
Контроль (вода)	2,52		
Мікрогумін (інокуляція)	3,02	0,50	11,94
Айдар (інокуляція)	2,96	0,44	10,62
Мікрогумін + айдар	3,11	0,59	14,10
Мікрогумін+ Гумісол-плюс 01	3,14	0,62	14,88
Айдар+айдар	3,07	0,55	13,02
Айдар+ Гумісол-плюс 01	3,04	0,52	12,42
НІР _{0,5, т/га}	0,15		

Проведені фенологічні спостереження показали, що передпосівна обробка насіння ячменю ярого сорту Степовик мікрогуміном і гуміною сумішшю айдар позитивно вплинула на польову схожість і кущистість. Польова схожість в контрольному варіанті становила 89,4 %, під впливом обробки вона збільшилася на 3,1–4,3 %. Визначення загальної кущистості рослин проводили до фази виходу рослин в трубку, тобто коли кущіння в основному вже закінчувалося. На відібраних рослинних зразках окремо для кожної проби робили підрахунок рослин і стебел. Коефіцієнт кущіння визначали діленням загальної кількості стебел на кількість рослин у пробі. Кущистість збільшилася з 1,9 на контролі до 2,1–2,5. Продуктивна

кущистість на контролі була 1,4. Застосування інокуляції обумовило зростання коефіцієнту кущіння до 1,7–1,8.

Позитивний вплив препаратів на показники структури врожаю сприяв отриманню суттєвих та достовірних приростів врожайності порівняно з контрольним варіантом (табл. 2).

Додатковий врожай відносно контролю за застосування інокуляції біопрепаратами склав 0,44–0,50 т/га або 10,62–11,94 %. Найбільш ефективним було поєднання інокуляції насіння мікрогуміном з обробкою вегетуючих рослин стимулятором росту Гумісол плюс 0,1 зернові. Цей захід забезпечив максимальний врожай в досліді 3,14 т/га, що достовірно перевищило контроль на 0,62 т/га (14,88 %). Деяко нижче була приростка врожаю при застосуванні комплексів мікрогумін+айдар і айдар+айдар або айдар+Гумісол плюс 01 зернові. Додатковий врожай відносно контрольного варіанту був в межах 0,52–0,59 т/га.

Для вивчення впливу запропонованих елементів на акумуляцію важких металів рослинами ячменю ярого були вибрані дослідні ділянки розташовані на ґрунті з різним ступенем техногенного впливу, який обумовлений напрямом і відстанню до промислового джерела надходження важких металів – Кураховської ТЕС. Ділянки знаходились на відстані 2 км в західному напрямі і 10 км в північно-західному напрямі, бо саме за цими векторами за середньорічною розсою вітрів в Донецькій області найбільше розсіювання викидів ВМ.

Результати аналітичних вимірювань вмісту важких металів в зерні ячменю ярого наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Вплив мікрогуміну і стимуляторів росту рослин на вміст важких металів в зерні ячменю ярого сорту Степовик

Варіант інокуляції насіння	Вміст важких металів, мг/кг											
	Cu(ГДК=10,0)			Zn(ГДК=50)			Pb(ГДК=0,5)			Cd(ГДК=0,1)		
	1*	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Відстань 2 км												
Контроль (вода)	8,91	8,89	8,83	44,7	44,0	44,0	0,69	0,65	0,60	0,11	0,10	0,10
Мікрогумін	8,00	8,82	8,11	39,7	38,8	38,2	0,50	0,45	0,42	0,09	0,08	0,08
Айдар	7,90	7,99	7,70	39,3	39,5	38,7	0,52	0,48	0,46	0,09	0,08	0,08
НР _{0,5}	0,54			1,2			0,04			0,02		
Відстань 10 км												
Контроль (вода)	6,18	5,99	5,90	37,8	36,3	35,6	0,42	0,38	0,37	0,10	0,09	0,09
Мікрогумін	5,85	5,87	5,84	35,1	34,0	31,9	0,36	0,31	0,30	0,08	0,07	0,07
Айдар	5,80	5,78	5,70	33,6	31,4	30,9	0,38	0,34	0,31	0,08	0,07	0,07
НР _{0,5}	0,59			1,4			0,02			0,01		

*1, 2, 3 – варіанти обприскування посівів на фоні передпосівної обробки насіння: 1 – контроль (вода); 2 – айдар; 3 – гумісол плюс 01 зернові.

Тільки інокуляція насіння мікрогуміном і айдаром зменшує вміст міді в зерні на відстані 2 км на 11,3–12,8 %, на відстані 10 км це зменшення складає 3,4–6,1 %. Вміст цинку при цьому прийомі на обох відстанях зменшується майже однаково в межах 11,1–13,2 %. Відносно свинцю передпосівна обробка насіння була найбільш ефективною на відстані 2 км і складала 30,0–38,8 % для мікрогуміну і 23,3–26,2 % для айдару. Ефективність впливу інокуляції посівного матеріалу на нагромадження кадмію зерном ячменю ярого для обох препаратів була практично однаковою не залежно від відстані і становила 20,0–27,2 %.

Більш зменшує транспорт важких металів в системі ґрунт – рослина сумісна дія інокуляції насіння з подальшим позакореневим обприскуванням рослин фізіологічно активними препаратами, які містять гумінові сполуки. Це обумовило покращення санітарно-гігієнічних показників якості зерна ячменю ярого за рахунок зменшення вмісту в зерні важких металів. Особливо це стосується високотоксичних елементів свинцю і кадмію.

В найбільш забрудненій зоні, на відстані 2 км від ТЕС, комплексне застосування обприскування посівів Гумісолом плюс 01 зернові на фоні передпосівної обробки насіння дає максимальне зниження вмісту свинцю в зерні на 33,3–39,1 % відносно контролю. Вміст свинцю в цих умовах склав в середньому 0,44 мг/кг, тоді як на контролі вміст свинцю становив 0,69 мг/кг, що перевищує ГДК в 1,38 рази. На ділянках з відстанню 10 км від ТЕС вміст свинцю в зерні ячменю ярого не перевищував ГДК у всіх варіантах дослідів у тому числі і на контролі. В цих умовах зниження вмісту свинцю в зерні ячменю ярого від дії інокуляції насіння мікрогуміном або айдаром разом з обробкою вегетуючих рослин Гумісолом плюс 01 зернові було до 0,30–0,31 мг/кг. Відносно зменшення вмісту кадмію в зерні найбільший позитивний однаковий ефект був також за використання мікрогуміну або айдару для інокуляції з обприскуванням посівів розчином Гумісолу плюс 01 зернові. При цьому вміст кадмію в зерні на відстані 2 км був 0,08 мг/кг, де на контролі відмічається перевищення ГДК. В зерні на відстані 10 км вміст кадмію під впливом цих елементів технології знизився відносно контролю на 30,0 %, що відповідає 0,07 мг/кг.

Таким чином, отримані в експериментальний спосіб результати свідчать, що застосування мікробних і фізіологічно активних препаратів разом з позакореневою обробкою посівів розчином біостимуляторів рослин айдар і Гумісол плюс 0,1 зернові сприяє зменшенню накопичення найбільш небезпечних елементів свинцю і кадмію в зерні ячменю ярого. Це робить такий агрозахід перспективним для зменшення ризиків

забруднення зерна цими елементами при вирощуванні в зонах високого техногенного впливу.

3. Дослідження впливу кліматичних чинників на формування якості продукції ячменю ярого

Як відомо, форми важких металів та їх транслокація залежить від багатьох факторів: хімічних властивостей, здатності до комплексоутворення, концентрації у ґрунтовому розчині, рН, ємності поглинання, вмісту гумусу, гранулометричного складу^{19, 20, 21}. До найбільш значущих метеорологічних параметрів відносять температуру навколишнього середовища і кількість атмосферних опадів, що визначають вологість ґрунтового покриву. Це робить актуальним дослідження впливу кліматичних чинників на біологічну доступність токсичних елементів рослинам особливо для техногенно напружених регіонів.

Результати визначення вмісту різних форм важких металів в ґрунті в роки з різним рівнем вологозабезпечення наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Вміст різних форм важких металів в орному шарі ґрунту

Рік	Середній вміст сполук елементів, мг/кг								Вологість ґрунту, мм
	Кислото розчинні				Рухомі				
	Cu	Zn	Pb	Cd	Cu	Zn	Pb	Cd	
2018	6,9	45,9	6,77	0,47	0,69	3,20	1,79	0,19	14
2019	6,8	47,5	6,93	0,51	0,64	3,57	1,87	0,21	14
2020	7,0	45,3	6,88	0,46	0,65	3,19	1,81	0,19	6
2021	6,0	53,6	7,09	0,54	0,79	3,70	2,0	0,24	38
2022	7,3	53,8	7,12	0,54	0,80	3,75	2,1	0,24	8
НІР ₀₅ мг/кг	1,5	5,0	0,4	0,09	0,07	0,31	0,11	0,02	

Вплив вологості ґрунту на характер і ступінь змін вмісту різних форм металів залежить від хімічної природи елемента. Для цинку відмічене найбільше зростання вмісту кислото розчинної форми при збільшенні

¹⁹ Мірошніченко Н. Н., Куц Е. А. Селективність поглинання важких металів ґрунтом та гуміновими кислотами за різних рівнів рН. *Ґрунтознавство*. 2016. Vol. 17. № 1–2. С. 76–82. DOI: 10.15421/041607

²⁰ Мінкіна Т. М., Мірошніченко Н. Н., Фатєєв А. І., Мотузова Г. В., Кривицька І. А. Природний і антропогенний фон мікроелементів в чорноземах звичайних Приазов'я та Нижнього Дону. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2012. № 3–4. С. 96–101.

²¹ Фатєєв А. І., Семенов Д. О., Мірошніченко М. М., Ликова О. А., Смірнова К. Б., Шемет А. Співвідношення сгк/сфк у ґрунтах України як показник рухомості мікроелементів. *Вісник аграрної науки*. 2013. Вип. 7. С. 16–19.

вологості ґрунту. В посушливих умовах (2020 р.) вміст кислото розчинного цинку склав 45,3 мг/кг, в умовах надмірного зволоження 2022 року, не дивлячись на посуху в червні, він зріс на 8,5 мг/кг або 18,8 %.

Вміст рухомих форм усіх елементів в досліді збільшився при зростанні вмісту води в ґрунті. Проте це зростання було різного ступеню. Відносно саме посушливого року (2020 р.) вміст рухомого кадмію в контрастний вологий рік (2022 р.) зріс на 0,05 мг/кг. Для цинку, свинцю і міді зростання вмісту рухомих форм, які найбільш доступні рослинам, було відповідно 0,56 мг/кг, 0,29 мг/кг, 0,15 мг/кг. Найбільше підвищення відмічене для кадмію.

Для вивчення впливу агрокліматичних умов на біогенне нагромадження важких металів в рослинах проведене порівняння вмісту токсичних елементів в зерні ячменю ярого (*Hordéum vulgáre*) з врожаїв, які отримані в найбільш контрастні по метеорологічним показникам роки. Для порівняння були вибрані 2018 р., 2020 р. (посуха) і 2022 р. (надмірне зволоження). Квітень і травень 2020 р. характеризувались дуже сильною посухою, вологість ґрунту на кінець червня мала найменше значення (6 мм). Результати аналітичних вимірювань наведені в табл. 5.

Таблиця 5

Вміст важких металів в зерні ячменю ярого

Рік, умови зволоження	Вміст елементів, мг/кг			
	Cu (ГДК=10,0)	Zn (ГДК=50,0)	Pb (ГДК=0,5)	Cd (ГДК=0,1)
2018, посуха	4,55	24,5	0,29	0,05
2020, посуха	4,62	24,2	0,24	0,05
2022, надмірно волого	5,00	28,9	0,33	0,07
НІР _{0,5} мг/кг	0,50	3,7	0,07	0,01

При збільшенні вологозабезпеченості спостерігалась тенденція щодо збільшення вмісту міді (на 8,2–9,9 %). Накопичення цинку в зерні ячменю ярого збільшилось з 24,2 мг/кг до 28,9 мг/кг або на 19,4 % в надмірно вологий рік (2022 р.) проти показника в посушливий рік (2020 р.). Вміст свинцю за цих умов зріс на 0,09 мг/кг або 37,5 %. Вміст кадмію, елементу першого класу небезпеки, зріс на 0,02 мг/кг, що становить 40 %. Вміст усіх досліджених важких металів в зерні ячменю ярого при зростанні вологості був менший за гранично допустиму концентрацію (ГДК), але слід звернути увагу на те, що збільшення вологозабезпеченості підвищує екологічний ризик забруднення зерна ячменю ярого важкими металами.

Зростання вмісту важких металів в рослинній продукції може бути пов'язане не тільки з підвищенням вмісту рухомих форм елементів у ґрунті. В роки з високою вологістю імовірно зростає вірогідність фоліарного забруднення рослин важкими металами оскільки викиди в атмосферу ТЕС містять велику кількість кислотних оксидів сірки і азоту. Так, з викидами Курахівської ТЕС, в зоні впливу якої знаходились дослідні ділянки, у повітря поступає щорічно 84038,3 т SO₂ і 96247 т NO₂ [15]. При зростанні кількості опадів вони утворюють відповідні кислоти, що призводить до підвищення вмісту розчинних сполук важких металів у ґрунті і атмосферних аерозолях. З атмосферними аерозолями розчинні важкі метали потрапляють на листя і через кутикули транспортуються в рослини.

Таким чином, зміни гідрометеорологічних умов впливають на вміст рухомих форм важких металів у ґрунті і на їх транслокацію в зерно ячменю ярого. Це обумовлює необхідність в такі роки застосовувати заходи щодо зменшення екологічних ризиків забруднення рослинної продукції важкими металами в умовах реального техногенного навантаження.

ВИСНОВКИ

Проведено аналітичний огляд інформаційних джерел результатів іноземних та вітчизняних досліджень щодо заходів по зменшенню біогенного транспорту важких металів зернові колосові культури в зонах впливу високого техногенного навантаження. Для підвищення надійності отримання якісного і екологічно безпечного зерна в зонах високого техногенного навантаження на агроландшафти доцільне комплексне застосування мікробних препаратів і стимуляторів росту рослин.

Додатковий врожай відносно контролю за застосування інокуляції біопрепаратами склав 0,44–0,50 т/га або 10,62–11,94 %. Найбільш ефективним було поєднання інокуляції насіння мікрогуміном з обробкою вегетуючих рослин стимулятором росту Гумісол плюс 0,1 зернові. Максимальний урожай в досліді був 3,14 т/га, що достовірно перевищило контроль на 0,62 т/га (14,88 %).

Дещо нижче була прибавка врожаю при застосуванні комплексів мікрогумін+айдар і айдар+айдар або айдар+Гумісол плюс 01 зернові. Додатковий врожай відносно контрольного варіанту був в межах 0,52–0,59 т/га.

Інокуляція насіння мікрогуміном і айдаром зменшує вміст міді в зерні на відстані 2 км на 11,3–12,8 %, на відстані 10 км це зменшення складає 3,4–6,1 %. Вміст цинку при цьому прийомі на обох відстанях зменшується майже однаково в межах 11,1–13,2 %. Відносно свинцю передпосівна обробка насіння була найбільш ефективною на відстані

2 км і складала 30,0–38,8 % для мікрогуміну і 23,3–26,2 % для айдару. Ефективність впливу інокуляції посівного матеріалу на нагромадження кадмію зерном ячменю ярого для обох препаратів була практично однаковою не залежно від відстані і становила 20,0–27,2 %.

Комплексне застосування обприскування посівів Гумісолом плюс 01 зернові на фоні передпосівної обробки насіння на відстані 2 км від ТЕС дає максимальне зниження вмісту свинцю в зерні на 33,3–39,1 % відносно контролю. Вміст свинцю в цих умовах склав в середньому 0,44 мг/кг, тоді як на контролі вміст свинцю становив 0,69 мг/кг, що перевищує ГДК в 1,38 рази. На ділянках з відстанню 10 км від ТЕС вміст свинцю в зерні ячменю ярого не перевищував ГДК у всіх варіантах досліду в тому числі і на контролі.

Виявлено, що зміни гідрометеорологічних умов впливають на вміст рухомих форм важких металів у ґрунті і на їх накопичення в зерні ячменю ярого. Для цинку відмічене зростання вмісту кислото розчинної форми при збільшенні вологості ґрунту. В посушливих умовах (2020 р.) вміст кислото розчинного цинку склав 45,3 мг/кг, в умовах надмірного зволоження 2022 року, не дивлячись на посуху в червні, він зріс на 8,3–8,5 мг/кг при НСР 5,0 мг/кг.

Вміст усіх досліджених важких металів в зерні ячменю ярого при зростанні вологості не перевищував ГДК. При збільшенні волого забезпеченості для вмісту міді спостерігалась тенденція до збільшення, але це збільшення не переважило значення НСР. Відносно свинцю, його вміст за цих умов практично не змінився, не зважаючи на те, що вміст рухомої форми в ґрунті зріс. Накопичення цинку в зерні ячменю ярого збільшилось з 24,2 мг/кг до 28,9 мг/кг або на 19,4 % в надмірно вологий рік проти показника в посушливий рік. Вміст високо токсичного елементу кадмію зріс на 0,02 мг/кг, що становить 40 %.

В роки з високою вологістю імовірно зростає вірогідність фоліарного забруднення рослин важкими металами оскільки викиди в атмосферу ТЕС містять велику кількість кислотних оксидів сірки і азоту. Так, з викидами Курахівської ТЕС у повітря поступає щорічно 84038,3 т SO₂ і 96247 т NO₂. При зростанні кількості опадів вони утворюють відповідні кислоти, що призводить до підвищення вмісту розчинних сполук важких металів у ґрунті і атмосферних аерозолях.

АНОТАЦІЯ

Комплексне застосування мікробного добрива мікрогумін і гумінових речовин забезпечило підвищення польової схожості, куцистості і як результат підвищення продуктивності культури. Найбільш ефективним було поєднання інокуляції насіння мікрогуміном з обробкою

вегетуючих рослин стимулятором росту гумісол плюс 0,1 зернові, урожай склав 3,14 т/га, що достовірно перевищило контроль на 0,62 т/га (+14,88 %).

Інокуляція насіння мікрогуміном і айдаром зменшує вміст міді в зерні на відстані 2 км від ТЕС на 11,3–12,8 %, на відстані 10 км – на 3,4–6,1 %. Вміст цинку при цьому прийомі на обох відстанях зменшується майже однаково в межах 11,1–13,2 %, свинцю – в межах 30,0–38,8 % для мікрогуміну і 23,3–26,2 % для айдару, кадмію – не залежно від відстані в межах 20,0–27,2 %.

Комплексне застосування обприскування посівів Гумісолом плюс 01 зернові на фоні передпосівної обробки насіння на відстані 2 км від ТЕС дає максимальне зниження вмісту свинцю в зерні на 33,3–39,1 % відносно контролю. Вміст свинцю в цих умовах склав в середньому 0,44 мг/кг, тоді як на контролі вміст свинцю становив 0,69 мг/кг, що перевищує ГДК в 1,38 рази.

Виявлено, що зміни гідрометеорологічних умов впливають на вміст рухомих форм важких металів у ґрунті і на їх накопичення в зерні ячменю ярого. При збільшенні вологозабезпеченості для вмісту міді спостерігалась тенденція до збільшення, але це збільшення не переважило значення НСР. Вміст свинцю за цих умов практично не змінився, не зважаючи на те, що вміст рухомої форми в ґрунті зріс. Накопичення цинку в зерні ячменю ярого збільшилось з 24,2 мг/кг до 28,9 мг/кг або на 19,4 % в надмірно вологий рік проти показника в посушливий рік, вміст високо токсичного елемента кадмію зріс на 0,02 мг/кг, що становить 40 %. Це обумовлює необхідність в такі роки застосовувати заходи щодо зменшення екологічних ризиків забруднення рослинної продукції важкими металами в умовах реального техногенного навантаження.

Література

1. Екологічна ситуація в зоні впливу Зміївської ТЕС / С. А. Балюк та ін. ; за ред. д-ра с.-г. наук, проф., акад. НААН Балюка С. А., д-ра с.-г. наук, проф. Фатєєва А. І., канд. с.-г. наук, с.н.с. Ворона В. П. ; НАН України та ін. Харків : Бровін О. В., 2019. 88 с.
2. Гаврилук Ю. В., Тохтарь К. І. Рівні забруднення важкими металами агроландшафтів Луганської області. *Біологія та валеологія*. 2018. № 20. С. 29–34. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2543569>
3. Фатєєв Ф. І., Самохвалова В. Л. Концепція використання техногенно забруднених ґрунтів. Харків : Стильна типографія, 2018. 57 с.
4. Корсун С. Г., Довбаш Н. І. Зміна агрохімічних показників родючості ґрунту під впливом забруднення важкими металами. *Землеробство: міжвід. тем. наук. зб.*, 2016. Вип. 2 (91). С. 17–21. <https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2020/12/zemlerobstvo-291-2016>.

5. Рибалова О. В. Новий метод оцінки ризику для здоров'я населення від впливу забруднення ґрунтів важкими металами. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2019. № 1 (29). С. 78–99. DOI: 10.5281/zenodo.2602749
6. Герасимчук Л. О., Валерко Р. А. Міграція Cu, Zn, Pb, Cd у системі «ґрунт–рослина». *Вісник Харківського національного аграрного університету*. 2013. № 1. С. 244–248. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhnau_grunt_2013_1_53.
7. Мазур В. А., Ткачук О. П., Яковець Л. А. Екологічна безпека зернової та зернобобової продукції. Вінниця : ВНАУ, 2020. 442 с.
8. Найдьонова О. Є. Застосування гумінового препарату “Humín plus” в органічному землеробстві. *Вісник ХНАУ*. 2015. № 2. С. 39–50.
9. Корсун С. Г., Клименко І. І., Болоховська В. А., Болоховський В. В. Транслокація важких металів у системі «ґрунт – рослина» за вапнування та впливу біологічних препаратів. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 1. С. 29–35. DOI: 10.33730/2077-4893.1.2019.163245.
10. Балюк С. А., Медведєв В. В., Воротинцева Л. І., Шимель В. В. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня. *Вісник аграрної науки*. 2017. С. 5–11.
11. Бездрабко О. М., Макаренко Н. А., Кавецький В. М. Вплив сульфат гумат амонійних добрив на міграцію важких металів за ґрунтовим профілем в умовах Полісся України. *Вісник ДААУ*. 2000. № 2. С. 276–280.
12. Камінська В. В., Шморгун О. В., Дудка О. Ф. Особливості формування елементів продуктивності сортів ячменю ярого в північній частині Лісостепу. *Землеробство*. 2012. Вип. 84. С. 6. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemlerobstvo_2012_84_14
13. Онуфран Л. І. Якість зерна ячменю ярого за різних умов вирощування. *Таврійський науковий вісник*. 2013. № 86. С. 70–74. http://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/86_2013/18.pdf
14. Гасанова І. І., Ноздріна Н. Л., Єрашова М. В., Пеша О. О. Вплив погодних умов та сортових особливостей на формування елементів структури врожаю пшениці м'якої озимої в Північному Степу. *Зернові культури*. Том 6. № 1. 2022. С. 82–90. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0210>
15. Мамедова Е. І. Вплив гідротермічних умов та агротехнологічних заходів вирощування на особливості росту й розвитку рослин ячменю ярого в Північному Степу. *Зернові культури*. 2017. Том 1, № 2, С. 300–306. <https://journal-grain-crops.com/uk/arhiv/view/5dbac7ca3e7bf.pdf>
16. Екологічний атлас Донецької області. Краматорськ, 2020. 348 с.

17. Польовий А. М., Божко Л. Ю., Вольвач О. В. Основи агрометеорології : підручник. Одеса : Видництво ТЕС, 2012. 250 с.

18. Методологія та організація наукових досліджень : підручник / М. О. Клименко та ін.; за ред. В. О. Дружиніної. Вінниця : Видавництво ВНТУ «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2010. 358 с.

19. Мірошніченко Н. Н., Куц Е. А. Селективність поглинання важких металів ґрунтом та гуміновими кислотами за різних рівнів рН. *Ґрунтознавство*. 2016. Vol. 17. № 1–2. С. 76–82. DOI: 10.15421/041607

20. Мінкіна Т. М., Мірошніченко Н. Н., Фатєєв А. І., Мотузова Г. В., Кривицька І. А. Природний і антропогенний фон мікроелементів в чорноземах звичайних Приазов'я та Нижнього Дону. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2012. № 3–4. С 96–101.

21. Фатєєв А. І., Семенов Д. О., Мірошніченко М. М., Ликова О. А. , Смірнова К. Б., Шемет А. Співвідношення сгк/сфк у ґрунтах України як показник рухомості мікроелементів. *Вісник аграрної науки*. 2013. Вип. 7. С. 16–19.

Information about the authors:

Vinyukov Oleksandr Oleksandrovych,

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Director,

Donetsk State Agricultural Science Station of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine,
1, Zakhisnykiv Ukrainy str., Pokrovsk, Donetsk region, 85307, Ukraine

Bondareva Olha Braunivna,

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Scientific Secretary,

Donetsk State Agricultural Science Station of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine,
1, Zakhisnykiv Ukrainy str., Pokrovsk, Donetsk region, 85307, Ukraine

Chuhrii Hanna Anatoliivna,

Doctor of Philosophy in Agronomy,
Head of the Department of Technologies for the Production of

Agricultural Products,
Donetsk State Agricultural Science Station of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine,
1, Zakhisnykiv Ukrainy str., Pokrovsk, Donetsk region, 85307, Ukraine