

**ДИНАМІКА ОКИСНО-ВІДНОВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПІД КУКУРУДЗОЮ І ЯЧМЕНЕМ ЯРИМ
ЗА ТРИВАЛИХ АНТРОПОГЕННИХ НАВАНТАЖЕНЬ
ЯСНО-СІРОГО ЛІСОВОГО ПОВЕРХНЕВО ОГЛЕСНОГО ҐРУНТУ**

Юрій ОЛІФІР, Анна ГАБРИЄЛЬ, Олег ГАВРИШКО, кандидати сільськогосподарських наук

Тетяна ПАРТИКА, кандидат біологічних наук, Надія КОЗАК, аспірант

Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН

вул. Грушевського, 5, с. Оброшине, Львівський р-н, Львівська обл., 81115, Україна

e-mail: olifir.yura@gmail.com

У дослідженнях, проведених у довготривалому стаціонарному досліді, встановлено, що органо-мінеральна та мінеральна системи удобрення на фоні вапнування за гідролітичною кислотністю підвищують показники окисно-відновного потенціалу порівняно із аналогічними системами удобрення та вапнування за рН-буферністю. Однак, у варіантах внесення доз вапна за моделлю рН-буферності окисно-відновні процеси у меншій мірі піддаються впливу екстремальних погодних умов. При цьому характер окисно-відновних процесів є помірно і слабо відновним. Отримані результати свідчать про агроекологічну обґрунтованість та матеріальну доцільність розрахунку доз внесення вапна на кислих ґрунтах Карпатського регіону проводити за моделлю рН-буферності.

Ключові слова: кислотність, вапнування, добрива, рН-буферність, окисно-відновні реакції, сівозмінна.

Вступ.

У формуванні хімічних властивостей, родючості ґрунтів та генетичних профілів провідне місце займає окисно-відновний стан ґрунту. Кількісну характеристику окисно-відновних реакцій, що протікають у ґрунті, їх направленість та інтенсивність виражає окисно-відновний потенціал (ОВП), що являє собою різницю потенціалів між ґрунтовим розчином та електродом.

Окисно-відновні реакції пов'язані з оглеєнням, переувільненням, перезволоженням ґрунтів та регулюють процеси деструкції органічних залишків, темпи накопичення та характер гумусових сполук, рухомість і біологічну доступність речовин у системах: ґрунт-рослина, ґрунт-мікроорганізми, ґрунт-атмосфера, ґрунт-природні води (Husson et al., 2018).

Окислювально-відновний потенціал (Eh) є мірою співвідношення окислених форм до відновлених в розчині. Цей параметр нерозривно пов'язаний з надходженням кисню і процесами споживання їх мікроорганізмами та корінням рослин. Тому окисно-відновний потенціал використовують як індикатор стану окиснення та вмісту біогенних форм і токсинів у ґрунтового середовищі (Tokarz & Urban, 2015).

Відомо, що надмірне зволоження, спричинюючи сповільнення процесів розкладу органічних решток, зумовлює зростання у складі гумусу вмісту фульватів і гуміну. Систематична зміна ОВП прискорює мінералізацію органічних речовин і сприяє дегуміфікації ґрунтів (Smaga et al., 2022). Водночас окисно-відновні реакції безперервно відбуваються у добре аерованих ґрунтах та їхніх верхніх генетичних горизонтах, зокрема, внаслідок гуміфікації органічних решток, зміни стану

окиснення Fe, Mn, S, тощо (Kirilchuk & Bonishko, 2011).

Основну роль в окисно-відновних процесах, що протікають у ґрунті, відіграє кисень, продукти життєдіяльності ґрунтової мікрофлори і вода.

Тому окисно-відновний потенціал ґрунту може надати важливу інформацію для характеристики стану ґрунту, а вимірювання Eh можна використовувати як ключовий індикатор процесів у полі як в анаеробних, так і в аеробних умовах (Bohrerova et al., 2004).

Згідно Yu et Rinklebe (2013) окисно-відновний потенціал є найбільш доступним простим показником стану системи окиснення-відновлення, і він охоплює весь діапазон, у якому функціонують різні неорганічні окисно-відновлювальні системи. Саме тому окисно-відновний статус ґрунту є фундаментальною властивістю, яка має тенденцію впливати на інші хімічні властивості ґрунту (Dayo-Olagbende et al., 2022).



Eh аеробних ґрунтів, які є в більшості оброблюваними ґрунтами, приділяється мало уваги,

хоча цей важливий параметр не можна залишати без уваги. Він має високий вплив на ґрунт, функціонування рослин, мікроорганізмів, а також на якість та продуктивність рослин, може допомогти вдосконалити агрономічні знання для ведення стійкого землеробства (Husson, 2013).

Як низькі потенціали, які формуються у ґрунті внаслідок інтенсифікації відновних реакцій, так і надлишково високі потенціали, що супроводжуються додатковою мінералізацією, створюють несприятливі умови і знижують продуктивність сільськогосподарських культур. Тому одним із актуальних завдань є встановлення оптимальних інтервалів окисно-відновних потенціалів (ОВП) у ґрунтах і впровадження дієвих заходів щодо їхнього врегулювання, особливо в умовах інтенсивного землеробства. Сучасні кліматичні зміни також вносять суттєві корективи в усталені закономірності. Теоретично зростання температури має викликати зростання ОВП, а фактично активізує мікробно-ферментативні процеси, які збільшують витрати кисню і цим знижують ОВП (Kirilchuk & Bonishko, 2011).

Відомо, що параметри показників окисно-відновного потенціалу і рН є генетично обумовленими і характерними для кожного конкретного різновиду ґрунту та відіграють важливу роль у формуванні біохімічного стану ґрунту, з якими тісно пов'язана трансформація органічної речовини. Водночас окисно-відновний потенціал дає можливість реально і швидко у польових умовах моніторити кризові ситуації, зумовлені порушенням кисневого режиму ґрунту, а також за екстремальних погодних умов: надмірної кількості опадів та за їх тривалої відсутності, різких перепадів температури повітря, тощо.

Крім того, Eh ґрунту та рН значною мірою впливають на тип рослинності, і навпаки, рослини змінюють Eh ґрунту і рН, особливо в ризосфері, змінюючи рослину важливою в ході фізико-хімічних процесів у ґрунті (Tano et al., 2016).

Окисно-відновний потенціал ґрунту є важливим фактором, що впливає на функціонування ґрунту в цілому та може надати важливу інформацію для характеристики стану ґрунту (Husson et al., 2016).

Надзвичайно важливу роль окисно-відновні процеси відіграють у формуванні гідроморфних, перезвожених ґрунтів Карпатського регіону. Вони безпосередньо впливають на умови мінерального живлення рослин. Перезвоження та ущільнення сприяють відновленню нітратів (денітрифікація), а відтак втраті ґрунтом азоту. Зниження ОВП призводить до надлишкової акумуляції у ґрунті токсичних для рослин Fe^{+2} , Mn^{+2} , Al^{+3} . У випадку домінування у профілі ґрунту окисних умов спостерігається перехід деяких елементів у нерозчинний стан, що також погіршує мінеральне живлення рослин (Truskavetsky & Tsapko, 2016).

Вагомим лімітним чинником урожайності на гідроморфних ґрунтах виступають повітряний (аераційний – дефіцит кисню) та окисно-відновний

режими, без оптимізації яких регуляція інших режимів, зокрема, кислотно-основного і трофного, є агроекологічно недоцільною, витратною і безперспективною. Формування штучних високогідро- і аеробуферних механізмів саморегуляції в таких ґрунтах є необхідним фоном, на якому оптимізуються всі інші основні режими (Truskavetsky et al., 2020).

Окисно-відновні процеси у ґрунтовому середовищі є досить мінливими, протікають у складній обстановці за участі як мінеральних компонентів, так і різних органічних сполук. Тому об'єктивна оцінка окисно-відновного стану ґрунту можлива лише за умов режимних досліджень протягом тривалого періоду.

Метою досліджень було встановити динаміку зміни ОВП залежно від різних систем удобрення та доз внесення вапна у ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті в полях кукурудзи та ячменю ярого.

Матеріали і методи.

Лише у базових стаціонарних дослідженнях, створюючи у ґрунті оптимальні умови для росту і розвитку сільськогосподарських культур, можна отримувати об'єктивну інформацію про стан саморегулюючих систем ґрунту, зокрема окисно-відновних процесів, їх направленість та інтенсивність залежно від тривалих антропогенних навантажень. Крім того, сучасні кліматичні зміни теж вносять суттєві корективи в усталені закономірності.

Одним із таких є класичний постійно діючий в умовах ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту стаціонар Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН, закладений в 1965 р. з різними дозами і співвідношеннями мінеральних добрив, гною і вапна. Дослід занесений у реєстр (атестат реєстрації НААН № 29) довгострокових стаціонарних польових дослідів НААН (Zaryshniak et al., 2016).

Стаціонарний дослід розміщений в натурі на трьох полях, кожне з яких налічує 18 варіантів у триразовому повторенні. Розташування варіантів одноярусне, послідовне. Загальна площа ділянки становить 168 м², облікова – 100 м². Сівозміна чотирирічна із таким чергуванням культур: кукурудза на силос – ячмінь ярий з підсівом конюшини лучної – конюшина лучна – пшениця озима. Агротехніка вирощування культур, обробіток ґрунту і догляд за посівами загальноприйняті для умов зони Лісостепу Західного.

Агрохімічна характеристика орного шару ґрунту до закладки дослідів така: вміст гумусу (за Тюрнімом) 1,42 %, рН_{KCl} 4,2, гідролітична кислотність (за Капеном) 4,5, обмінна (за Соколовим) – 0,6 мг-екв/100 г ґрунту, вміст рухомого алюмінію 60,0, рухомого фосфору (за Кірсановим) і обмінного калію (за Масловою) – відповідно 36,0 і 50,0 мг/кг ґрунту.



В досліді застосовували напівперепрілий гній ВРХ на солом'яній підстилці, аміачну селітру (34,5%), гранульований суперфосфат (19,5%), калійну сіль (40 %), нітроамофоску (NPK по 16%) (при використанні нітроамофоски вміст NPK збалансовували згідно рівнів удобрення простими добривами). Гній (40–60 т/га) вносили під кукурудзу. Фосфорно-калійні добрива вносили восени, а азотні – під передпосівну культивування. Чергове вапнування згідно схемидослідупроводили перед початком IX ротації сівозміни, у якій також відкориговано дози внесення добрив під культури сівозміни. В якості вапнякових матеріалів використовували вапнякове борошно (93,5 % CaCO_3). Починаючи з VIII ротації другий укіс конюшини лучної заорювали в якості органічного добрива на всіх варіантах досліді.

Встановлення впливу тривалих антропогенних навантажень на зміну окисно-відновного потенціалу ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту вивчали протягом XI ротації сівозміни у динаміці під час вегетації кукурудзи на зерно та ячменю ярого.

Визначення ОВП проводили у варіантах: абсолютного контролю (без внесення добрив, вар. 1), органо-мінеральної системи удобрення (10 т/га сівозміної площі гною + $\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$) на фоні періодичного вапнування 1,0 н CaCO_3 за Нг (6,0 т/га вапнякового борошна, вар. 7), аналогічної системи удобрення на фоні внесення оптимальної дози вапна, розрахованої за кислотно-основною буферністю (2,5 т/га, вар. 8), мінеральної системи удобрення ($\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$, вар. 15) та мінеральних систем удобрення $\text{N}_{105}\text{P}_{101}\text{K}_{101}$ на фоні 1,0 н CaCO_3 за Нг (9,0 т/га, вар. 17) і аналогічної системи удобрення на фоні внесення вапна за моделлю рН-буферності (2,5 т/га, вар. 18).

Зразки ґрунту для визначення обмінної кислотності відбирали після збирання врожаю пшениці озимої на досліджуваних варіантах з орного шару ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту (0–25 см) та готували до аналізів згідно з ДСТУ ISO 11464-2001. Визначення рН сольової витяжки проводили потенціометричним методом згідно ДСТУ ISO 10390-2001. Окисно-відновний потенціал (ОВП) вимірювали потенціометричним методом за допомогою



платинового і хлорсрібного електроду порівняння в польових умовах (ДСТУ ISO 11271:2004).

Статистичну обробку отриманих результатів досліджень здійснювали з використанням програмного забезпечення OriginPro 2019b (OriginLab Corporation, USA, 2019). Відмінності між зразками вважали статистично значущими при $p < 0,05$. Дані в таблиці та рисунках представлені як середнє арифметичне із стандартним відхиленням ($\pm \text{SD}$).

Результати та обговорення.

Проведені дослідження динаміки окисно-відновного потенціалу у польових умовах стаціонарного досліді свідчать про його варіабельність за варіантами залежно від системи удобрення та вапнування.

У полі кукурудзи на зерно, якою розпочинається XI ротація сівозміни, ОВП має свої особливості зумовлені не тільки впливом різних систем удобрення, але й прямою дією оптимальної дози вапна, внесеного в поле кукурудзи, а також післядії 6,0 і 9,0 т/га CaCO_3 розрахованих за Нг. Найвищі показники окисно-відновного потенціалу за період повних сходів – 4–5 листочків – 7–8 листочків у варіанті мінеральної системи удобрення і становлять відповідно 338–400–428 мВ при pH_{KCl} 4,28 (рис. 1).

У варіанті контролю без добрив динаміка зміни окисно-відновного потенціалу весною була наступною: 323–357–325 мВ (pH_{KCl} 4,26). За органо-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування 1,0 н CaCO_3 динаміка ОВП змінювалась з 345–281 до 402 мВ (pH_{KCl} 4,91). За внесення доз вапна за рН-буферністю при органо-мінеральній системі удобрення динаміка зміни окисно-відновного потенціалу була наступною 323–241–343 мВ при pH_{KCl} 4,58 (рис. 1).

За досліджуваний період по всіх варіантах досліді окисно-відновні процеси характеризуються за Хтряном як помірно відновні та слабо відновні (Navryshko et al., 2020). Прослідковується загальна закономірність пов'язана з показником рН: чим вище рН ґрунту, тим менше у ньому міститься відновних форм сполук різних елементів. У варіанті мінеральної системи удобрення і внесення вапна за гідролітичною кислотністю показники ОВП є вищими, однак теж помірно відновними і становлять 268–331–300 мВ (pH_{KCl} 5,25) проти 242–222–233 мВ варіанту аналогічної системи удобрення і вапнування за рН-буферністю при pH_{KCl} 4,75.

Вищі показники окисно-відновного потенціалу у полі кукурудзи у перші етапи росту і розвитку рослин у варіантах контролю та мінеральної системи удобрення за низьких значень рН можуть бути пов'язані із впливом самого фактору ранньовесняного обробітку, що поживляє газообмін. У попередніх дослідженнях за таких умов ми відмічали і підвищення емісії CO_2 у вказаних варіантах внаслідок нагромадження у складі гумусу варіантів контролю і мінеральної системи

удобрення рухомих і агресивних фульвокислот, які піддаються у першу чергу мінералізації. Разом з тим слід врахувати і те, що за високої кислотності ґрунтового розчину у варіантах контролю та

мінерального удобрення розвиток рослин пригнічений, мікробіологічні процеси, які збільшують витрати кисню, знижені за недостатнього росту і розвитку рослин, тому і відбувається деяке підвищення показників ОВП.

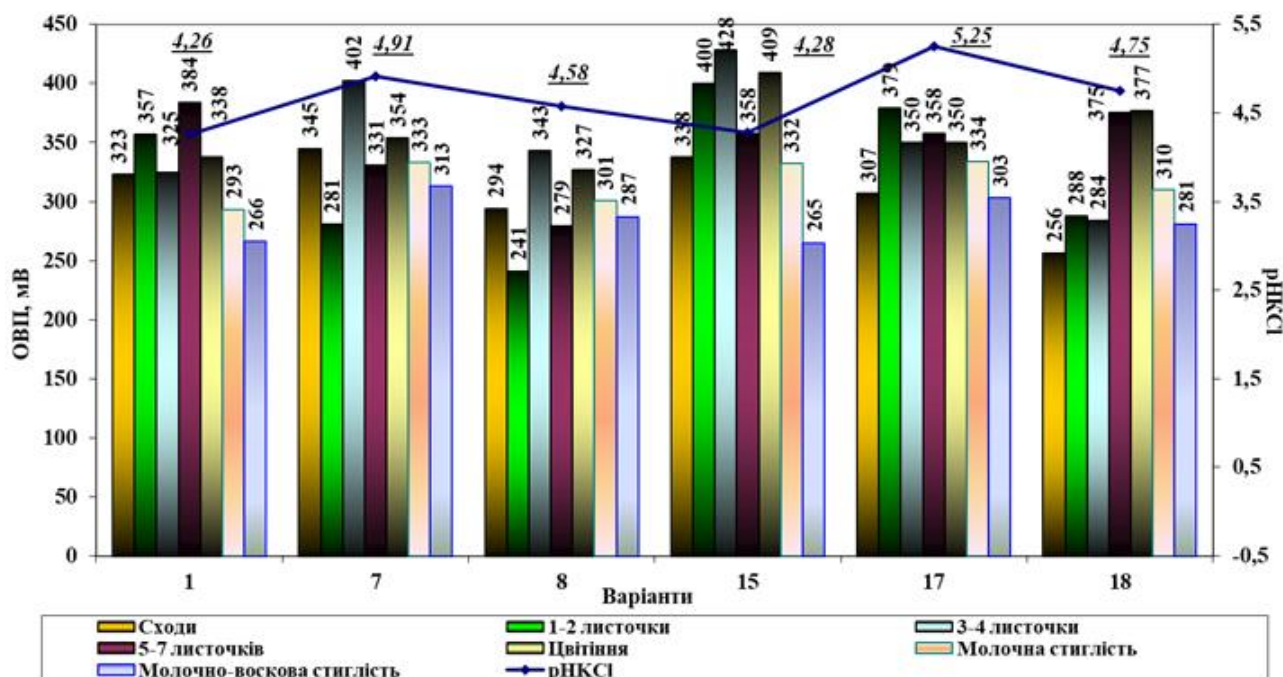


Рисунок 1. Динаміка ОВП під час вегетації кукурудзи на зерно (XI ротація) за варіантами досліду: 1 – контроль (без добрив); 7 – $N_{65}P_{68}K_{68}$ + гній 10 т/га + $CaCO_3$ 1,0 н за Нг; 8 – $N_{65}P_{68}K_{68}$ + гній 10 т/га + $CaCO_3$ оптимальна доза за кислотно-основною буферністю; 15 – $N_{65}P_{68}K_{68}$; 17 – $N_{105}P_{101}K_{101}$ + $CaCO_3$ 1,5 н за Нг; 18 – $N_{105}P_{101}K_{101}$ + $CaCO_3$ оптимальна доза за кислотно-основною буферністю ($x \pm SD$, $n = 6$)

На всіх варіантах досліду спостерігається підвищення значень ОВП від весни (після посіву та під час сходів кукурудзи) до цвітіння та поступове зниження до збору врожаю. Очевидно, це можна



пояснити тим, що на напруженість ОВП-процесів мають значний вплив ризосферарослин і ризосферні мікроорганізми, активність яких значно зростає у

період цвітіння і формування зерна та знижується перед збиранням врожаю. Прослідковується пряма залежність між величиною кислотності (pH_{KCl}) та окисно-відновним потенціалом у варіантах контролю та мінеральної системи удобрення при відповідних показниках рН 4,26 і 4,28. Зниження величини ОВП до 266 і 265 мВ у варіантах контролю і мінеральної системи удобрення свідчить про посилення відновних процесів. Саме у варіантах контролю і мінерального удобрення в найбільшій мірі в умовах гідроморфних ґрунтів проявляються процеси поверхневого оглешення. Слід відмітити і те, що у варіанті тривалого мінерального удобрення в період інтенсивного росту і розвитку рослин у найбільшій мірі спостерігається підвищення ОВП до 409–428 мВ, що свідчить про інтенсифікацію процесів окиснення. У попередніх дослідженнях саме у варіанті інтенсивного мінерального удобрення в період активного росту і розвитку рослин ми спостерігали найвищі показники емісії діоксиду карбону, що супроводжувалось зростанням мінералізаційних процесів і втратою вуглецю ґрунтом. У варіантах органо-мінеральної та мінеральної систем удобрення із внесенням



меліоранту дозою розрахованою за рН-буферністю характер окисно-відновних процесів протягом вегетації є помірно та слабо відновним і в меншій мірі піддається впливу екстремальних умов, зокрема, надмірної кількості опадів.

У дослідженнях Sabiene et al. (2010) окисно-відновний потенціал та рН ґрунту також характеризувалися значною часовою мінливістю в добовий і сезонний цикл які були пов'язані зі зміною клімату та рівнем вологості ґрунту.

Згідно Herbel et al. (2007) стверджується, що реакція багатьох хімічно та біологічно важливих мікроелементів, важких металів і органічних забруднювачів у ґрунтах обмежена рН та окислювально-відновними умовами, а зміни в цих умовах можуть значно вплинути на швидкість реакції.

Динаміка окисно-відновного потенціалу в полі ячменю ярого з підсівом конюшини лучної має свої особливості, зумовлені не тільки впливом різних систем удобрення, але й тривалістю післядії повної і півтори доз вапна розрахованих за Нг і внесених перед початком IX ротації та другим роком післядії оптимальної дози вапна внесеної перед початком XI ротації. Слід врахувати і те, що на даний час у варіантах контролю та мінеральної системи удобрення внаслідок зниження кислотності за

рахунок виключення із сівозміни інтенсивних сільськогосподарських культур картоплі, цукрових буряків та використання власних кислотостійких сортів конюшини лучної показник рН зріс із 3,7–4,0 до 4,26–4,28 одиниць. За таких умов поживалена біохімічна діяльність мікроорганізмів, що пов'язані з перетворенням сполук азоту ґрунту і впливає на характер протікання окисно-відновних процесів (рис. 2).

Очевидно, це пов'язано в першу чергу із тим, що після збору врожаю ячменю ярого у полі конюшини лучної лише у варіантах контролю та мінеральної систем удобрення окисно-відновні процеси характеризуються за Хтріном як помірно відновні. У решта варіантах характер процесів окиснення і відновлення як слабо відновні та слабоокисні.

У перші періоди розвитку в полі ячменю ярого окисно-відновні процеси в цілому характеризуються як слабо відновні. У варіанті мінеральної системи живлення вони є найвищими і становлять 372 мВ. У варіанті мінеральної системи удобрення на фоні вапнування 1,0 н CaCO_3 за Нг окисно-відновний потенціал становить 320 мВ і перевищує варіант аналогічної системи удобрення на фоні вапнування за рН-буферністю – 271 мВ. На контролі без добрив ОВП є найнижчим і становить 232 мВ.

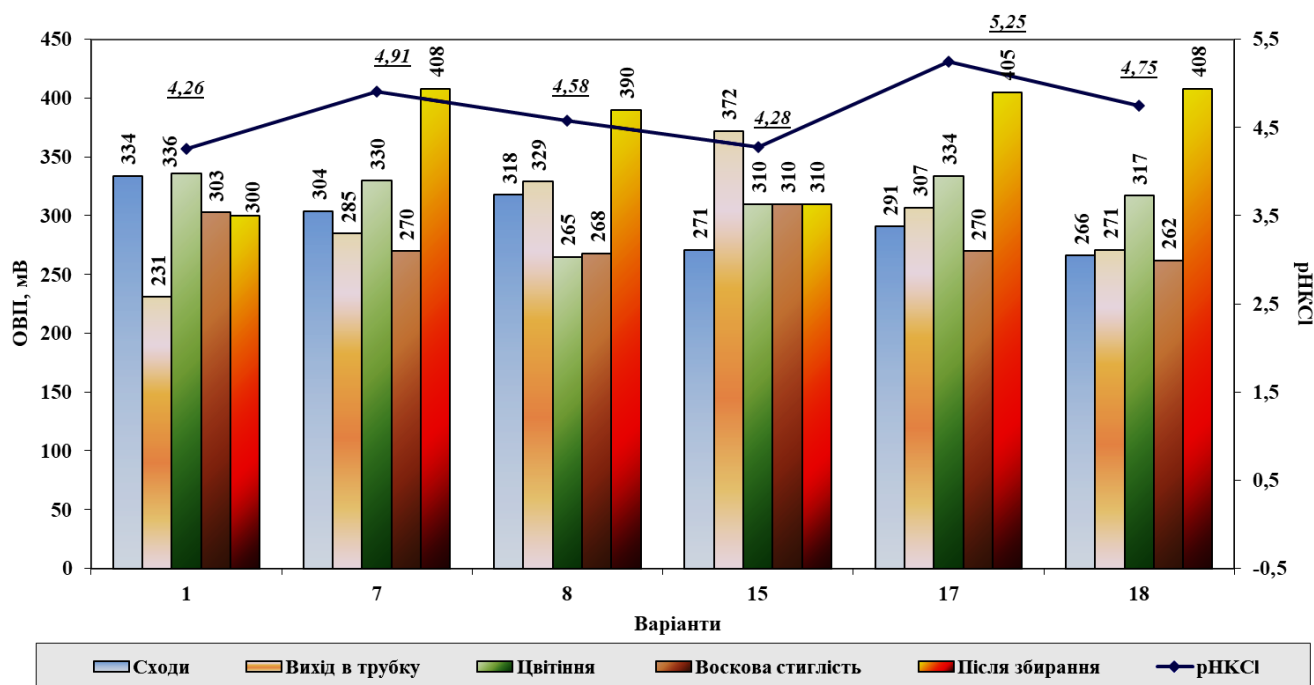


Рисунок 2. Динаміка ОВП під час вегетації ячменю ярого (XI ротація) за варіантами дослідів: 1 – контроль (без добрив); 7 – $\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$ + гній 10 т/га + CaCO_3 1,0 н за Нг; 8 – $\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$ + гній 10 т/га + CaCO_3 оптимальна доза за кислотно-основною буферністю; 15 – $\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$; 17 – $\text{N}_{105}\text{P}_{101}\text{K}_{101}$ + CaCO_3 1,5 н за Нг; 18 – $\text{N}_{105}\text{P}_{101}\text{K}_{101}$ + CaCO_3 оптимальна доза за кислотно-основною буферністю ($x \pm \text{SD}$, $n = 6$)

Зниження ОВП у ґрунтах до 300 мВ вказує на зміну окисних умов на відновні. Якщо значення ОВП 200 мВ і менше, то у ґрунтах починають розвиватися відновні процеси з добре вираженими ознаками оглеєння. Головними чинниками, які

зумовлюють інтенсивність і напрям окисно-відновних процесів у ґрунтах, є водно-повітряний режим та діяльність мікрофлори. Перезволоження ґрунтів, ущільнення і внесення органічних добрив призводить до зниження ОВП. Зниження ОВП за

умови збільшення вологості ґрунту зумовлено не тільки погіршеннями аерації, а й розчиненням



багатьох мінеральних і органічних сполук з властивостями відновника.

У дослідженнях Włodarczyk et al. (2007) зміни окисно-відновного потенціалу в ґрунтах викликали одночасні зміни значення рН ґрунтового середовища, пов'язані з участю іонів H^+ в реакціях відновлення кисню.

Якщо у полі кукурудзи після обліку врожаю ОВП знижується по варіантах дослідів до 266–303 мВ, то після збору врожаю ячменю ярого показники окисно-відновного потенціалу зростають за органо-мінеральної та мінеральної систем удобрення на фоні вапнування до 390–408 мВ. Очевидно, це пов'язане в першу чергу із пожвавленням біохімічної діяльності мікроорганізмів під конюшиною лучною, яка за умов достатнього зволоження продовжувала свій ріст і розвиток та в умовах достатньої кількості опадів і підвищеної температури повітря сформувала значну кількість зеленої маси.

Висновки.

В умовах довготривалого стаціонарного дослідів окисно-відновні процеси характеризуються як помірно та слабо відновні за Хтрянном і тісно пов'язані із показником рН ґрунту. У варіантах контролю і систематичного мінерального удобрення за низьких значень pH_{KCl} 4,26–4,28 показники окисно-відновного потенціалу є найвищими 323–338 мВ у період сходів, що пов'язане із впливом фактору ранньовесняного обробітку і пожвавленням газообміну за пригнічення мікробіологічних процесів зумовлених високою кислотністю ґрунтового розчину.

Список використаної літератури

- Bohrerova Z., Stralkova R., Podesvova J., Bohrer G., Pokorny E. (2004) The relationship between redox potential and nitrification under different sequences of crop rotations. *Soil & Tillage Research*. 77. pp. 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.10.006>
- Dayo-Olagbende O., Sanni K. O., Akingbola O. O., Ewulo B. S. (2022) Chemical Properties of Soil

На всіх варіантах дослідів у полі кукурудзи показники ОВП підвищуються від появи сходів до цвітіння та формування врожаю і знижуються до збору врожаю, особливо різко у варіантах контролю і мінеральної системи удобрення, що свідчить про посилення відновних процесів ґрунтового розчину за підвищення кислотності. У варіантах органо-мінеральної та мінеральної систем удобрення на фоні внесення оптимальної дози меліоранту розрахованої за рН-буферністю характер окисно-відновних процесів є помірно і слабо відновним та в меншій мірі піддається впливу екстремальних умов (підвищення температури та надмірної кількості опадів).



Характер динаміки ОВП у полі ячменю ярого зумовлений не тільки впливом систем удобрення, але й підсівною культурою конюшини лучної, яка за умов значної кількості опадів і підвищеної температури повітря активно вегетувала після збору ячменю. Тому лише у варіантах контролю та мінеральної систем удобрення окисно-відновні процеси характеризуються як помірно відновні. У решта варіантів характер окисно-відновних процесів за Хтрянном відноситься до слабо окисних і після збору врожаю ячменю ярого зростає до 390–408 мВ за рахунок пожвавлення біохімічної діяльності ризосферних мікроорганізмів під конюшиною лучною.

- under Different Redox Potentials. *ABUAD International Journal of Natural and Applied Sciences*. 2 (2). pp. 101–108. <https://doi.org/10.53982/ajnas.2022.0202.07-j>
- Havryshko O. S., Olifir Yu. M., Partyka T. V. (2020) Agrogenic changes in redox potential in the profile of light-gray forest surface-glazed soils of the Western Forest Steppe. *Visnyk ahrarnoi nauky*. №2

- (803). pp. 18 – 23. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202002-03> (In Ukrainian).
- Herbel M. J., Suarez D. L., Goldberg S., Gao S. Evaluation of Chemical Amendments for pH and Redox Stabilization in Aqueous Suspensions of Three California Soils. *Soil Science Society of America Journal*. 71(3). pp. 927-939. <https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0209>
- Husson O., Husson B., Brunet A., Babre D., Alary K., Sarthou J.-P., Charpentier H., Durand M., Benada J., Henry M. (2016) Practical improvements in soil redox potential (Eh) measurement for characterisation of soil properties. Application for comparison of conventional and conservation agriculture cropping systems. *Analytica Chimica Acta*. 906. pp. 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.11.052>
- Husson O., Brunet A., Babre D., Charpentier H., Durand M., Sarthou J.-P. (2018) Conservation Agriculture systems alter the electrical characteristics (Eh, pH and EC) of four soil types in France. *Soil and Tillage Research*. 176. pp. 57-68. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.11.005>
- Husson O. (2013) Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil / plant / microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy. *Plant and Soil*. 362. pp. 389–417 <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1429-7>
- DSTU ISO 11271:2004. Soil quality. Determination of redox potential. Field method. Effective from 01.05.2006. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2006. 18 p.
- Kirilchuk A. A., Bonishko O. S. (2011) Soil chemistry: basics of theory and practice: textbook. Lviv: Ivan Franko Lviv National University, 354 p. (In Ukrainian).
- Patent № 50067, Ukraine, IPC G01N 33/24. The method of potentiometric measurement of redox potential in soil: N.F. Cheshko, Yu.L. Tsapko; № u 2009 11887; 25.05.2010. Biuletен № 10. 6 p. (In Ukrainian).
- Sabiene N., Kusliene G., Zaleckas E. (2010) The influence of land use on soil organic carbon and nitrogen content and redox potential. *Zemdirbyste*. 97. P. 15–24.
- Smaga I. S., Cherlinka V. R., Dmytruk Yu. M. (2022) Agriculture. Factors of plant life and soil fertility. Chernivtsi: Chernivetskyi natsionalnyi universytet im. Yu. Fedkovycha, 128 p. (In Ukrainian).
- Tano B. F., Brou C. Y., Dossou-Yovo E. R., Saito K., Futakuchi K., Wopereis M. C. S., Husson O. (2020) Spatial and Temporal Variability of Soil Redox Potential, pH and Electrical Conductivity across a Toposequence in the Savanna of West Africa. *Agronomy*. 10(11). 1787. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111787>
- Tokarz E., Urban D. (2015) Soil redox potential and its impact on microorganisms and plants of wetlands. *Journal of Ecological Engineering*. 16(3). pp. 20–30. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/2801>
- Truskavetskyi R. S., Tsapko Yu. L. (2016) Fundamentals of soil fertility management. Kharkiv: FOP Brovin OV, 388 p. (In Ukrainian).
- Truskavetsky R., Zubkovska V., Khizhnyak I. (2020) Innovative models of management of soil fertility elements. *Visnyk LNAU : Ahronomiia*. №24. pp. 181–186. doi.org/10.31734/agronomy2020.01.181 (In Ukrainian).
- Rinklebe J. (2013) Soil Redox Potential and pH Controllers. In *Methods in Biogeochemistry of Wetlands* (eds R. DeLaune, K. Reddy, C. Richardson and J. Magonigal). <https://doi.org/10.2136/sssabookser10.c7>
- Włodarczyk T., Szarlip P., Kotowska U. (2007) Redox potential, nitrate content and pH in flooded Eutric Cambisol during nitrate reduction. *Research in Agricultural Engineering*. 53(1). pp. 20–28. DOI: 10.17221/2132-RA
- Zaryshniak A. S., Baliuk S.A., Lisovyi M. V. (Eds.) (2016) Stationary field test – trials of Ukraine. Kyiv: Agrarian Science. 145 p.

DYNAMICS OF REDOX POTENTIAL UNDER MAIZE AND SPRING BARLEY DURING LONG-TERM ANTHROPOGENIC LOADS OF LIGHT-GRAY FORESTAL SURFACE-GLEYED SOIL

Yurii OLIFIR, Anna HABRYEL, Oleh HAVRYSHKO, Tetiana PARTYKA, Nadiia KOZAK
Institute of Agriculture of the Carpathian Region of NAAS

In the studies conducted in a long-term stationary experiment, it was established that organo-mineral and mineral fertilization systems on the background of liming by hydrolytic acidity increase indicators of redox potential compared to similar fertilization and liming systems by pH-buffering. However, in variants of applying doses of lime according to the pH-buffering model, redox processes are less affected by extreme weather conditions. At the same time, the character of oxidation-reduction processes is moderately and weakly reducing. The obtained results testify to the agro-ecological reasonableness and material expediency of calculating lime application doses on acidic soils of the Carpathian region using the pH-buffering model.

Keywords: acidity, liming, fertilizers, pH-buffering, redox reactions, crop rotation.

Отримано: 02.03.2023
Погоджено до друку: 23.03.2023