

АГРОГЕННІ ЗМІНИ ОКИСНО-ВІДНОВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЗА ПРОФІЛЕМ ЯСНО-СІРИХ ЛІСОВИХ ПОВЕРХНЕВО ОГЛЕЄНИХ ҐРУНТІВ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ

О.С. Гавришко¹, Ю.М. Оліфір², Т. В. Партика³

^{1,2}кандидати сільськогосподарських наук

³кандидат біологічних наук

Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН
вул. Грушевського, 5, с. Оброшине Пустомитівського р-ну Львівської обл., 81115, Україна
e-mail: ¹havryshko0@gmail.com, ²olifir.yura@gmail.com, ³tetyana.partyka@gmail.com
ORCID: ¹0000-0002-5458-0691, ²0000-0002-7920-1854, ³0000-0001-7912-5292

Надійшла 11.11.2019

Мета. Дослідити зміну окисно-відновного потенціалу (ОВП) у профілі ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту за різних систем удобрення і використання. **Методи.** Польові дослідження, фізико-хімічні та порівняльно-аналітичні методи. **Результати.** На фоні розрахованого рН сольового та показника Кларка (rH_2) встановлено зміну ОВП у профілі ґрунту за тривалого агрогенного впливу. Відзначено, що тривале розорювання ґрунту без добрив (контроль) за rH_{KCl} 4,27 (середнє за 95% ймовірності) призводить до переважання в профілі помірно- та слабоокисного режиму. За внесення у ґрунт $N_{105}P_{101}K_{101} + 10$ т/га гною + $CaCO_3$ (1,0 Нг) на фоні зміни реакції ґрунтового розчину rH_{KCl} з глибиною відбувся різкий перехід ОВП з інтенсивно окисного (628 мВ) до слабовідновного (363 мВ) режиму, а показник rH_2 становив 31,2 – 20,2. **Висновки.** Із застосуванням на кислому ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті органо-мінеральної системи удобрення у дозі $N_{105}P_{101}K_{101} + 10$ т/га гною + $CaCO_3$ (1,0 Нг) створюються найкращі умови для формування інтенсивно окисних процесів. Тривале розорювання ґрунту без унесення добрив (контроль) спричиняє розвиток у профілі слабоокисних процесів. Систематичне внесення у ґрунт самих мінеральних добрив ($N_{65}P_{68}K_{68}$) порівняно з контролем та органо-мінеральною системою удобрення сприяє помітному зниженню окисно-відновного потенціалу в напрямі процесів відновлення. Для обґрунтування оптимальних доз добрив і вапна та забезпечення урівноважених природних циклів кругообігу речовин кислих ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтів за різних рівнів сільськогосподарського навантаження доцільно використовувати як високочутливий оцінювальний показник ОВП, який дає змогу кількісно встановити відхилення окисно-відновного стану ґрунту від його природної рівноваги.

Ключові слова: окисно-відновні процеси, показник, горизонт, добрива, кислотність.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202002-03>

Окисно-відновний потенціал (ОВП) ґрунту — одна з найважливіших властивостей, що контролює різні хімічні та біохімічні процеси. Окисно-відновні умови є нерівномірними в матриці ґрунтів і однорідними в окремих генетичних горизонтах, оскільки на них постійно впливають мікробні процеси, концентрація кисню, уміст органічних речовин, стан ґрунтових вод, рН та ін. [1–3].

В умовах дуже вираженого поверхневого гігморфізму, його високої сезонної і профільної контрастності відбувається різка зміна ОВП. Це призводить до утворення конкрецій, посилення процесів обеззалізення мінеральної феро-алюмо-силікатної частини ґрунту, надходження і міцного закріплення окремих елементів живлення рослин (P, Fe, Ca, Mn, Si та ін.) в окристалізовані сегрегації та вилучення їх із поживного ґрунтового фонду [4]. При цьому абсолютні значення ОВП не завжди адекватно відображають окисно-відновні умови, що створюються в різних агроєкосистемах, оскільки напруженість окисно-відновних процесів істотно впливає реакція ґрунтового середовища [5].

Реакції окиснення-відновлення та кислотно-основні є необхідними для розвитку всіх живих організмів. Однак окисно-відновному потенціалу ґрунтів (Eh) приділяється мало уваги в агрономії, на відміну від рН. Агрономи, ймовірно, позбавляють себе ключового фактора в галузі рослинництва і ґрунту, що може бути корисним інтегративним інструментом [6, 7]. Тому для отримання порівняльних даних ОВ-умов, що створюються за різних систем удобрення і різної кислотності, зокрема рН_{KCl}, використовують показник Кларка (rH₂) [8, 9].

$$rH_2 = \frac{Eh}{30} + 2pH.$$

Мета досліджень — установити зміну ОВП у профілі ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту за агрогенного навантаження.

Методика досліджень. Дослідження проводили впродовж 2015–2017 рр. на базі тривалого стаціонарного досліді Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН, закладеного в 1956 р. на ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєному

ґрунті з різними дозами і співвідношеннями мінеральних добрив, гною і вапна.

Стаціонарний дослід розміщений у просторі на 3-х полях, кожне з яких налічує 18 варіантів із 3-разовим повторенням. Розташування варіантів одноярусне, послідовне. Загальна площа ділянки — 168 м², облікова — 100 м².

Дослідження зміни ОВП за профілем ґрунту здійснювали впродовж IX ротації сівозміни під час вегетації пшениці озимої у варіантах: без унесення добрив (абсолютний контроль) (варіант 1); органічно-мінеральної системи удобрення (10 т/га сівозмінної площі гною + N₁₀₅P₁₀₁K₁₀₁) на фоні періодичного вапнування 1,0 н CaCO₃ за Нг (7,0 т/га вапнякового борошна) (варіант 7) і лише мінеральної системи удобрення (N₆₅P₆₈K₆₈) (варіант 15).

Агрохімічна характеристика орного шару ґрунту до закладання досліді є такою: уміст гумусу за Тюрінім — 1,42%; рН_{KCl} — 4,2; гідролітична кислотність (за Каппеном) — 4,5; обмінна кислотність (за Соколовим) — 0,6 ммоль/100 г ґрунту; уміст рухомого алюмінію (за Соколовим) — 60 мг/кг; доступного фосфору (за Кірсановим) і обмінного калію (за Масловою) — відповідно 36 і 50 мг/кг ґрунту.

У досліді застосовували напівперепрілий гній великої рогатої худоби на солончій підстилці, аміачну селітру (34, 5%), гранульований суперфосфат (19, 5), калійну сіль (40), нітроамфоску (NPK по 16%). За використання нітроамфоски вміст NPK збалансовували згідно з рівнями підживлення простими добривами. Гній (40–60 т/га) заорювали під кукурудзу, фосфорно-калійні добрива вносили восени, азотні — під передпосівну культивування. Вапнування відповідно до схеми досліді проводили перед початком IX ротації сівозміни, у якій також відкориговано дози внесення добрив під культури сівозміни. Як вапняковий матеріал використовували вапнякове борошно (93,5% CaCO₃). Технологія вирощування культур — загальноприйнята для зони Західного Лісостепу України.

Окисно-відновний потенціал вимірювали впродовж вегетації пшениці озимої у польових умовах за допомогою платинового і хлорсрібного електродів порівняння згідно

з ДСТУ ISO 11271:2004 [10, 11]. Визначали $pH_{\text{сop}}$ потенціометричним методом згідно з ДСТУ ISO 10390–2001. Отримані результати лабораторних досліджень статистично оброблені за загальноприйнятими методиками з використанням методу варіаційної статистики [12, 13].

Результати досліджень. Установлено, що за тривалого розорювання (понад 50 років) ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту у варіанті без унесення добрив (контроль) ОВП у профілі змінювався від помірно окисних 514 мВ в орному та підорному горизонтах до слабоокисних 494 мВ в елювіальному слабогумусованому (Ehgl) та 458 мВ в ілювіальному слабоелювіюваному (Iegl) оглеєних горизонтах (табл. 1).

При цьому показник pH_{KCl} на контролі зазнавав наступних змін і становив відповідно 4,22; 4,18; 4,31; 4,13 од. (довірчий інтервал (середнє) $X \pm S_x$ — 4,27 за похибки 0,04). Слабоокисні умови (446 мВ) за pH_{KCl} 4,22–4,47 відзначено в ілювіальному (446 мВ) і перехідному до породи (440 мВ) горизонті. У сильноілювіюваній оглеєній материнській породі (PIgl) ОВП був на рівні 437 мВ. Це означає, що тривале ведення сівозміни, заорювання органічних решток (стерні, II укусу конюшини лучної) на контролі без застосування добрив призводить до розвитку в генетичних горизонтах ґрунту слабоокисних ОВ-процесів (табл. 2).

За орґано-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування повною дозою CaCO_3 за Нг (варіант 12) відбулася контрастніша зміна ОВП у профілі ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту порівняно з контролем (варіант 1). Підвищене значення потенціалу Eh до 628 мВ в горизонті HEglорн. свідчить про розвиток у ньому інтенсивно окисних процесів (див. табл. 1). У HEglп/орн. та Ehgl горизонтах процеси окиснення — відновлення за показниками Кларка 29,3 і 27,1 характеризувалися як помірно окисні. З горизонту Iegl (глибина 51 см) різниця потенціалів Eh різко змінювалася від слабоокисних (420 мВ) до слабовідновних процесів у розташованих нижче Igl та IPgl генетичних горизонтах — 388 і 370 мВ відповідно. Найнижча

1. Шкала окисно-відновних потенціалів (за Н.К. Хтряном) [14]

Характер процесів	ОВП, мВ
Інтенсивно відновні	<200
Помірно відновні	200–300
Слабовідновні	300–400
Слабоокисні	400–500
Помірно окисні	500–600
Інтенсивно окисні	>600

Примітка: Шкалу використовують для характеристики окисно-відновних режимів ґрунтів, проте ступінь деталізації та межі інтервалів потребують подальшого вдосконалення та уточнення.

межа слабовідновного ОВ-режиму (363 мВ) і показник Кларка (20,2) за такої системи удобрення спостерігалися в сильноілювіюваній і сильнооглеєній породі (PIGl) за $pH_{\text{сop}}$ 4,05 од.

Слід звернути увагу на підвищений (13,1%) коефіцієнт варіації (V) pH ґрунту у варіанті 12. Він свідчить про широкий діапазон зміни реакції ґрунтового розчину (5,15–4,05) та її зв'язок з окисно-відновним потенціалом у профілі (див. табл. 2).

Дослідження показали, що тривале застосування у досліді самих мінеральних добрив у дозі $\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$ (варіант 15) сприяло зниженню ОВП у напрямі відновних процесів у профілі порівняно з контролем без добрив та орґано-мінеральною системою удобрення. Найвищі значення ОВП було отримано в гумусово-елювіальному орному (0–22 см) та підорному (23–35 см) шарах — відповідно 426 і 416 мВ. У розташованих нижче горизонтах ОВП знижувався з 398 мВ до 318 мВ за pH_{KCl} 4,17–4,04. Це свідчить про наявність слабовідновних і близьких до помірно відновних процесів (див. табл. 2). У подальшому за таких умов на кислих ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтах зниження окисно-відновного потенціалу зумовить надлишкову акумуляцію токсичних для рослин сполук Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} [15], які призведуть до ще більшого окиснення ґрунту та негативно впливатимуть на живлення рослин, що знизить урожайність культур сівозміни.

2. Зміна окисно-відновного потенціалу за профілем ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту залежно від різних антропогенних навантажень, 2015 – 2017 рр.

Генетичний горизонт	Потужність горизонту, см	pH _{KCl}	Eh, мВ	rH ₂
<i>Без добрив (контроль, варіант 1)</i>				
HEglорн.	0–18	4,22	514	25,6
HEglп/орн.	18–31	4,18	514	25,5
Ehgl	31–64	4,31	494	25,1
legl	64–110	4,13	458	23,5
Igl	110–131	4,22	446	23,3
IPgl	131–180	4,47	440	23,6
PIgl	180–200	4,35	437	23,3
–	$\bar{X} \pm S_x$	4,27	–	–
–	S_x	0,04	–	–
–	V, %	2,7	–	–
–	S	0,12	–	–
–	HIP ₀₅	0,15	–	–
<i>N₁₀₅P₁₀₁K₁₀₁ + 10 т/га гною + CaCO₃ (1,0 Нг) (варіант 12)</i>				
HEglорн.	0–20	5,15	628	31,2
HEglп/орн.	20–33	5,10	575	29,3
Ehgl	33–51	4,24	560	27,1
legl	51–77	3,88	420	21,7
Igl	77–138	3,85	388	20,6
IPgl	138–187	3,97	370	20,2
PIGI	187–210	4,05	363	20,2
–	$\bar{X} \pm S_x$	4,32	–	–
–	S_x	0,21	–	–
–	V, %	13,1	–	–
–	S	0,56	–	–
–	HIP ₀₅	0,74	–	–
<i>N₆₅P₆₈K₆₈ (варіант 15)</i>				
HEglорн.	0–22	4,03	426	22,3
HEglп/орн.	22–35	3,98	416	21,8
Ehgl	35–61	4,17	398	21,6
legl	61–87	4,00	368	20,3
Igl	87–150	4,07	323	18,9
IPgl	150–180	4,04	318	18,7
PIGI	180–200	4,11	311	18,6
–	$\bar{X} \pm S_x$	4,06	–	–
–	S_x	0,02	–	–
–	V, %	1,6	–	–
–	S	0,07	–	–
–	HIP ₀₅	0,09	–	–
Примітки. $\bar{X} \pm S_x$ — довірчий інтервал (середнє) за 95%-ої ймовірності; S_x — похибка середнього значення; V, % — коефіцієнт варіації (показник мінливості числового ряду); S — стандартне відхилення.				

Висновки

Застосування на кислому ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті органо-мінеральної системи удобрення у дозі $N_{105}P_{101}K_{101} + 10$ т/га гною + $CaCO_3$ (1 Нг) створює найкращі умови для формування інтенсивно окисних процесів. Тривале розорювання ґрунту без унесення добрив (контроль) призводить до розвитку в профілі слабоокисних процесів. Систематичне внесення у ґрунт самих мінеральних добрив ($N_{65}P_{68}K_{68}$) порівняно з контролем та органо-мінеральною системою удобрення сприяє помітному

зниженню окисно-відновного потенціалу в напрямі процесів відновлення.

Для обґрунтування оптимальних доз добрив і вапна та забезпечення урівноважених природних циклів кругообігу речовин кислих ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтів за різних рівнів сільськогосподарського навантаження доцільно використовувати як високочутливий оцінювальний показник окисно-відновний потенціал, що дає змогу кількісно визначити відхилення окисно-відновного стану ґрунту від його природної рівноваги.

Havryshko O.¹, Olifir Yu.², Partyka T.³

Institute of Agriculture of Carpathian region of NAAS, 5 Hrushevskoho Str., Obroshyne village, Pustomytiv region, Lviv oblast, 81115, Ukraine; e-mail: ¹havryshko0@gmail.com, ²olifir.yura@gmail.com, ³tetyana.partyka@gmail.com

Agrogenic changes in the redox potential in the profile of light-grey forest surface gleyed soils of the Western Forest-Steppe

Goal. To study the change in redox potential (RP) in the profile of light-grey forest surface gleyed soil at different systems of fertilization and use. **Methods.** Field survey, physicochemical and comparative-analytical. **Results.** On the background of the calculated pH_{salt} and Clark index (rH₂) the change was fixed in RP in the soil profile at long agrogenic impact. It was noted that durable plowing of the soil without fertilizers (control) for pH_{KCl} 4,27 (average at 95% probability) led to the predominance in the profile of moderate- and low-acid mode. At entering $N_{105}P_{101}K_{101} + 10$ t/ha of manure + $CaCO_3$ (1.0 Ng) on the background of changes in the reaction of the soil solution of pH_{KCl} it was fixed sharp transition with depth of RP from intense oxidative (628 MB) to weakly recovered (363

mV) mode, and rH₂ index amounted to 31,2–20,2.

Conclusions. Use on acidic light-grey forest surface gleyed soil of organic-mineral fertilizer system in the dose of $N_{105}P_{101}K_{101} + 10$ t/ha of manure + $CaCO_3$ (1.0 Ng) created the best conditions for the formation of intensive oxidation processes. Prolonged plowing of the soil without fertilization (control) caused the development in the profile of weakly oxidized processes. Systematic entering in the soil of some mineral fertilizers ($N_{65}P_{68}K_{68}$) compared with the control and organic-mineral system of fertilizing contributes to a noticeable reduction of redox potential in the direction of the recovery processes. In order to study optimal doses of fertilizers and lime and to ensure balanced natural cycles of substances of acidic light-grey forest surface gleyed soils under different levels of agricultural loads, it is advisable to use RP as a highly sensitive performance indicator, which allows to quantitatively establish the deviation of the redox state of soil natural balance.

Key words: redox processes, index, horizon, fertilizers, acidity.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovysnyk202002-03>

Бібліографія

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 1999 році Міністерства екології та природних ресурсів України. Київ: Вид-во Раєвського, 2000. 184 с.
2. Husson O. Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: A trans-disciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy. *Plant Soil*. 2013. № 362. P. 389–417. doi: 10.1007/s11104-012-1429-7

3. Simek M., Cooper J.E. The influence of soil pH on denitrification: progress towards the understanding of this interaction over the last 50 years. *Eur. J. Soil. Sci.* 2002. № 53. P. 345–354. doi: 10.1046/j.1365-2389.2002.00461.x
4. Трускавецький Р.С., Зубковська В.В., Хижняк І.М. Роль гідроморфізму в родючості ґрунтів. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2015. Вип. 58(1). С. 199–211.

5. Мамонтов В. Г., Панов Н.П., Кауричев И.С., Игнатъев Н.Н. и др. *Общее почвоведение: уч. пособие.* Москва: КолосС, 2006. 456 с.

6. Hopkins W.G., Huner N.P. *Introduction to Plant Physiology*, 4th ed.; John Wiley & Sons, Inc.: New York, NY, USA, 2009. 503 p.

7. Seo D.C., DeLaune R.D. Effect of redox conditions on bacterial and fungal biomass and carbon dioxide production in Louisiana coastal swamp forest sediment. *Science Total Environment*. 2010. № 408. P. 3623–3631. doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.04.043

8. Greenberg R.C. Understanding the redox (rH₂) measurement of the biological terrain: Part I. *Biomed Therap.* 1998. № 16. P. 156–158.

9. Fiedler S., Vepraskas M.J., Richardson J.L. Soil redox potential: Importance, field measurements, and observations. *Adv Agron.* 2007. № 94. P. 1–54. doi: 10.1016/s0065-2113(06)94001-2

10. ДСТУ ISO 11271:2004. Якість ґрунту. Визначення окисно-відновного потенціалу. Польо-

вий метод. Чинний від 01. 05. 2006. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 18 с.

11. Пат. № 50067, Україна, МПК G01N 33/24. Спосіб потенціометричного вимірювання окисно-відновного потенціалу в ґрунті: Н.Ф. Чешко, Ю.Л. Цапко; № у 2009 11887; 25. 05. 2010. Бюл. № 10. 6 с.

12. Дмитриев Е.А. *Математическая статистика в почвоведении.* Москва: Изд-во МГУ, 1972. 292 с.

13. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований).* Изд. 5-е, доп. и перераб. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.

14. Хтрян Н.К. Основные задачи и общие методы изучения почвенного режима. *Тр. НИИ почвоведения и агрохимии МСХ Арм. ССР.* 1976. Вып. 1. С. 28–34.

15. Кирильчук А.А., Бонішко О.С. *Хімія ґрунтів. Основи теорії і практикум: навч. посіб.* Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 354 с.

ВИПРАВЛЕННЯ

З технічних причин у статті Г. В. Спаського «Напрями розвитку зовнішньої торгівлі агропродовольчою продукцією Закарпаття», що вийшла друком у журналі «Вісник аграрної науки» № 12 за 2019 р. (С. 73–79), на с. 75 було допущено неточність у табл. 1 «Зовнішня торгівля товарами Закарпатської області, тис. дол. США». В колонці «2018 р. у % до 2010» напроти рядка «Імпорт» замість **1112,4%** слід читати **112,4%**.