

УДК 631.445.2(477.41/.42):551

DOI: 10.31395/2310-0478-2021-1-14-20



**В.М. Польовий,**  
доктор сільськогосподарських наук, професор,  
директор Інституту сільського господарства  
західного Полісся НААНУ,  
академік НААН України  
м.Рівне, Україна  
E-mail: rivne\_apv@ukr.net



**Н. Ювчик,**  
аспірант  
Інститут сільського господарства  
західного Полісся НААНУ  
м.Рівне, Україна  
E-mail: yuvchik2020@ukr.net



**П. С. Гнатів,**  
доктор біологічних наук, професор,  
завідувач кафедри агрохімії та ґрунтознавства  
Львівського національного аграрного університету  
м.Львів, Україна  
E-mail: pshnativ@ukr.net



**В.Я. Іванюк,**  
кандидат сільськогосподарських наук  
доцент кафедри агрохімії та ґрунтознавства Львівського  
національного аграрного університету  
м.Львів, Україна  
E-mail: ivanukv@gmail.com



**Н.І. Лагуш,**  
кандидат сільськогосподарських наук,  
доцент кафедри агрохімії та ґрунтознавства  
Львівського національного аграрного університету  
м.Львів, Україна  
E-mail: lagush.natalia@gmail.com.

## ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВАПНУВАННЯ ДЕРНОВО- ПІДЗОЛИСТОГО ЗВ'ЯЗНОПІЩАНОГО ҐРУНТУ В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ

**Анотація.** Статтю присвячено дослідженню впливу кліматичних факторів на динаміку кислотності дерново-підзолистого ґрунту та продуктивність сівозміни за різних норм доломітового борошна  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  і вапна ( $\text{CaCO}_3$ ) у зв'язку зі змінами клімату в Західному Поліссі України. Результати дослідження показали, що внесення 1,5 норми за гідролітичною кислотністю доломітного борошна на фоні мінеральних добрив  $N_{112}P_{82}K_{105}$  знижує кислотність уже після другого року застосування до 6,03 одиниці  $\text{pH}_{\text{КСІ}}$  і зберігалася в такому значенні впродовж двох ротаций сівозміни. За внесення 1,0 ГК норми доломітового борошна такий ефект спостерігали лише на п'ятий рік після застосування і тривалість післядії була коротшою. Застосування 1,0 ГК норми вапняного борошна було менш ефективним порівняно з ідентичною нормою доломітового. Ефективність доломітового борошна підвищується за помірною одночасною потеплінням та зволоженням клімату. Проте кореляція між кліматичними показниками є середньою і негативною ( $r = -0,50$ ) впродовж 8-річної ротатії сівозміни за період 2011–2019 років.

Середня продуктивність сівозміни за дві ротатії (2011–2019 рр.) значно залежала ( $r = 0,97$ ) від середнього за ці роки показника  $\text{pH}_{\text{КСІ}}$ .

**Ключові слова:** дерново-підзолистий з'язнопіщаний ґрунт, норми меліоранту, вапнування, середня температура, опади, кореляція, продуктивність сівозміни.

**Polovyy V.M.,** Doktor of Agricultural Sciences, Profesor, Director of the Institute of Agriculture of Western Polissia of NAAS (Shubkiv) Ukraine  
E-mail: rivne\_apv@ukr.net.

**Hnativ P.S.,**

Doktor of Biological Sciences, Profesor, Head of the Department of Agrochemistry and Soil Science Lviv National Agrarian University/ (Lviv) Ukraine E-mail: pshnativ@ukr.net.

**Lahush N.I.,**

PhD of Agricultural Sciences, Associate Profesor, Department of Agrochemistry and Soil Science, Lviv National Agrarian University E-mail: lagush.natalia@gmail.com.

**Yuvchik N.**

Institute of Agriculture of Western Polissia of NAAS, (Shubkiv) Ukraine. E-mail: yuvchik 2020@ukr.net.

**Ivanuk V. Ya.**

PhD of Agricultural Sciences. Associate Profesor, Department of Agrochemistry and Soil Science, Lviv National Agrarian University E-mail: ivanukv@gmail.com.

### **INFLUENCE OF CLIMATE FACTORS ON LIMING EFFICIENCY OF SANDY SOD-PODZOLIC SOIL IN THE CONDITIONS OF WESTERN POLISSIA**

The article is devoted to the study of climatic factors' influence on the acidity dynamics of sod-podzolic soil and crop rotation productivity at different rates of dolomite flour  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  and lime ( $\text{CaCO}_3$ ) application in connection with climate change in Western Polissia. The results of the study presented in this article showed that introduction of 1.5 norm by hydrolytic acidity of dolomite flour on the background of mineral fertilizers  $\text{N}_{112}\text{P}_{82}\text{K}_{105}$  reduces the acidity after the second year of application. It decreased to 6.03  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  units and remained in the same range during two crop rotations. With the introduction of 1.0 norm by hydrolytic acidity of dolomite flour, such effects were observed only in the fifth year after application and the duration of the aftereffect was shorter. The use of 1.0 norm by hydrolytic acidity of lime flour was less effective compared to the identical rate of dolomite. The efficiency of limestone reclamation means directly depended on the amount of precipitation in the Western Polissia of Ukraine. 3D-modeling of the interdependent dynamics of soil acidity and two climatic indicators showed that the simultaneous increase of annual heat and moisture resources to the average for the period of crop rotation increased the  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  to the maximum.

3D-models of the dependences of soil  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  dynamics and two climatic indicators visualized the regularity of less acidification of the soil with mineral fertilizers in dry years and at elevated average annual temperatures. Increased rates of annual precipitation, especially with increasing temperature, increases the acidification of non-meliorated soil.

The highest productivity on average in two crop rotations is provided by the application of 1.5 norm by hydrolytic acidity of dolomite flour on the background of complete mineral fertilizers  $\text{N}_{112}\text{P}_{82}\text{K}_{105}$  – 5.33 t/ha of grain units, which is higher than the corresponding background options by 2.27 t/ha or 74.2%. The average productivity for two crop rotations (2011-2019) was very closely dependent ( $r = 0.97$ ) from the average for these years  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  indicator.

The use of limestone flour as an ameliorant had a weaker effect on crop rotation productivity compared to lime flour due to the deterioration of magnesium nutrition of plants. The established scientific results are new for the conditions of Ukrainian Northwestern Polissia and indicate the need to correct the practice of liming acid soils to achieve optimal  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ . These results are also useful for restoration of sandy sod-podzolic soils' fertility and productivity of arable Ukrainian Northwestern Polissia lands in conditions of further climate transformation to warming and humidification.

**Key words:** acid soil, ameliorant norms, liming, average temperature, precipitation, correlation, crop rotation productivity.

**Постановка проблеми.** Ґрунтовий покрив Полісся України представлений переважно легкими за гранулометричним складом дерново-підзолистими ґрунтами з украй несприятливими фізико-хімічними показниками, низьким вмістом гумусу та елементів живлення [19, 13, 14]. Ці властивості істотно обмежують продуктивність рослинництва і рентабельність виробництва.

За даними тривалого державного агроєкологічного моніторингу земель сільськогосподарського призначення [19] площа кислих ґрунтів у Західному Поліссі України, становить майже 72,4 % (173,6 тис. га) від загальної площі.

Підвищення продуктивності таких ґрунтів потребує, насамперед, поліпшення їх фізичних і хімічних властивостей вапнуванням [7, 4, 18, 1]. Це є передумовою для зростання вмісту гумусу, елементів живлення [6, 10, 13, 11, 5] та активізації мікробіологічної діяльності й підтримання здоров'я ґрунту [8].

В Україні більшість польових досліджень зосереджені на з'ясуванні ефективності кальцієвих речовин для нейтралізації кислотності ґрунтів. Проте кислі ґрунти Західного Полісся, зазвичай, мають низький вміст магнію [13,2]. Тому актуальними є дослідження ефективності таких меліорантів, які містять магній, як, наприклад, доломітове борошно.

Останні десятиліття спостережень за кліматом, зокрема упродовж 2011–2019 рр., підтверджують, що зміни стають щораз виразнішими [12]. Моніторинг кліматичних показників виявив цікаві тенденції температурних показників і кількості опадів у регіонах з показниками обмінної кислотності за різних норм вапнування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Надмірна кислотність ґрунтів зумовлена їхнім походженням та залежить від прийомів удобрення чи тривалості відсутності вапнування в сівозмінах. Реакція ґрунту також змінюється залежно від сумарної зволоженості про-

довж року [16, 1]. Збільшення кислотності змінює склад [15] і зменшує позитивну мікробіомну активність орного пласту [8], родючість ґрунтів у цілому [11].

Такі прийоми агротехнології, як вапнування ґрунтів [4] і збалансоване органічне та мінеральне удобрення [9] дозволяють нейтралізувати їх кислотність до оптимального рівня для рослин, що вагомо підвищує продуктивність більшості сільськогосподарських культур [6, 7]. Проте, на практиці застосовують набагато менші за оптимальні норми меліорантів, навіть у Великобританії, де площі кислих ґрунтів є значними [5].

**Метою наших досліджень** було вивчення дії різних норм доломітового борошна  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  і вапна ( $\text{CaCO}_3$ ) на динаміку кислотності з'язнопіщаного дерново-підзолистого ґрунту і продуктивність культур сівозміни у зв'язку зі змінами клімату в Західному Поліссі.

**Матеріали та методи досліджень.** Дослідження проводили у стаціонарному польовому досліді Інституту сільського господарства Західного Полісся Національної академії аграрних наук України на з'язнопіщаному дерново-підзолистому ґрунті (Spodic Anthrosols (WRB – 2006) впродовж 2011–2019 рр. у чотиріпільній сівозміні з таким чергуванням культур: пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, ріпак озимий. В середньому на 1 га сівозміни вносили  $\text{N}_{112}\text{P}_{82}\text{K}_{105}$  мінеральних добрив у виді аміачної селітри, суперфосфату гранульованого та калію хлористого. Хімічні меліоранти – доломітове борошно ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  – 21% Ca і 12% Mg) та вапнякове борошно ( $\text{CaCO}_3$  – 60,1% Ca) вносили перед закладкою досліді в основне удобрення. Доломітне борошно вносили у нормах 0,5; 1,0; 1,5 розрахованих за гідролітичною кислотністю, що складало відповідно 2,23; 4,74; 6,70 т/га  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Норми внесення вапняного борошна становила 1,0 т/га ( $\text{CaCO}_3$ ).

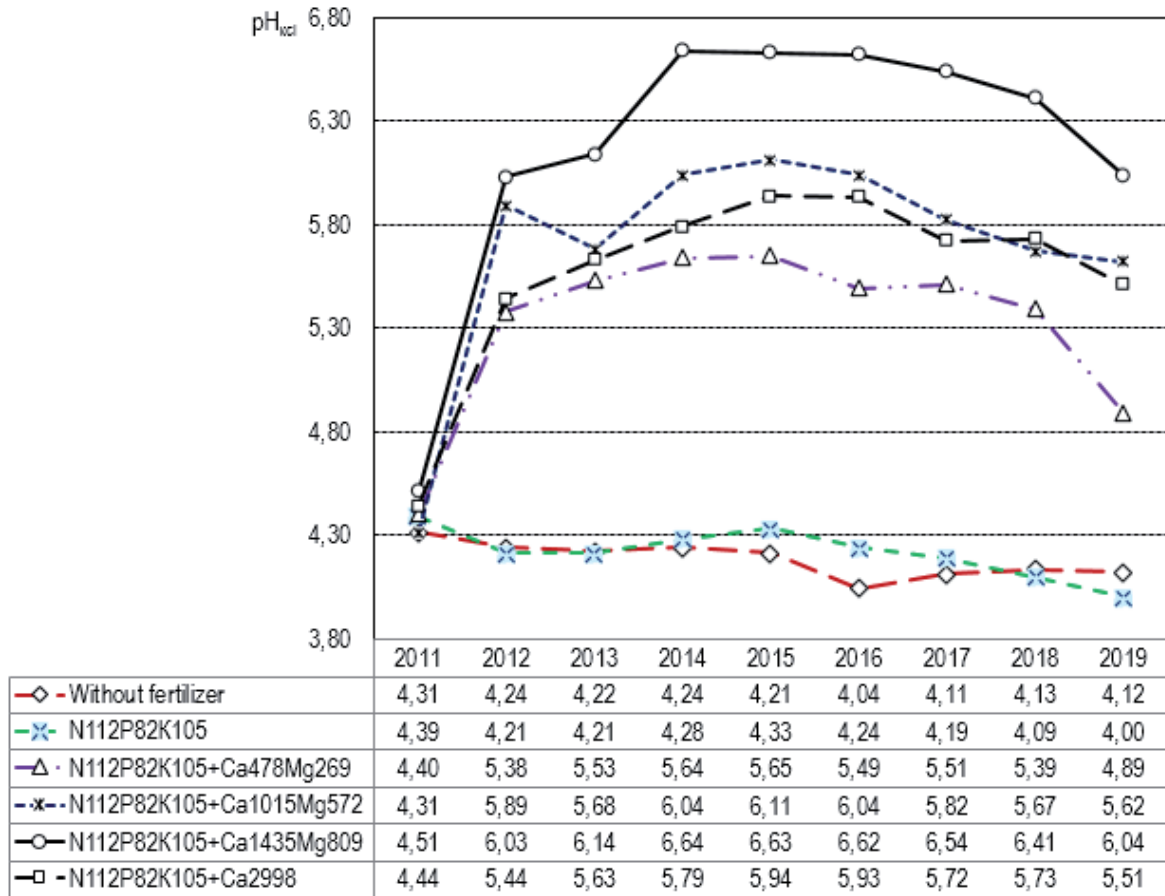
Лабораторні хімічні аналізи проводили за стандартизованими методиками:  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  – визначені за ДСТУ ISO

10390:2007; – гідролітична кислотність - ДСТУ 5041–2008.

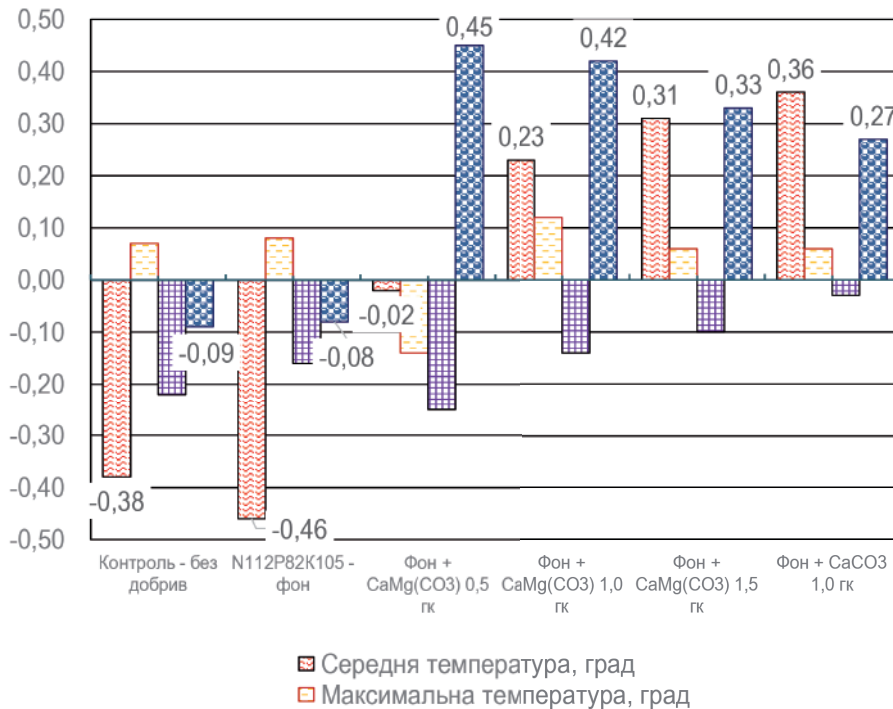
Статистичний аналіз даних проводили за допомогою поліноміальної регресії третього ступеня та аналізу COY - Combined-Over-Years.

**Основні результати дослідження.** Експериментальні

результати показують, що на ділянках без удобрення показник  $pH_{KCl}$  від 2011 року мав тенденцію до зменшення. Це підтверджує підкислення ґрунту від  $pH_{KCl}$  4,30 до 4,10 упродовж двох ротацій короткоротаційної сівозміни до 2019 року (рис.1).



**Рис.1** Динаміка кислотності дерново-підзолистого з'язнощіаного ґрунту залежно від удобрення і вапнування



**Рис.2** Кореляції динаміки  $pH_{KCl}$  з середньорічними кліматичними показниками залежно від удобрення та вапнування дерново-підзолистого ґрунту,  $r \pm$ .



Мінеральні добрива в нормі  $N_{112}P_{82}K_{105}$  на 1 га сівозміни значно підкислювали ґрунт – від  $pH_{KCl}$  4,39 до 4,00. Таке зростання кислотності становить загрозу декальцинації та суттєво знижує родючість ґрунту за ігнорування потреби його вапнування.

Застосовані норми меліорантів на фоні внесених мінеральних добрив мали різну ефективність. Так за внесення половини (0,5ГК – 2,23т/га) норми доломітового борошна обмінна кислотність зменшилась на 1,25 одиниці  $pH_{KCl}$  у період максимальної дії, проте на час завершення другої ротації сівозміни (2019 р) знову збільшилася до  $pH_{KCl}$  4,89. Повна норма меліоранту забезпечує ефективнішу нейтралізацію кислотності та триваліший період його іслядії. Значення  $pH_{KCl}$  змінює з 4,31 на початку ротації сівозміни до 6,04-6,11 на 3 – 5 рік після внесення меліоранту. На 9-й рік післядії (завершення другої ротації)  $pH_{KCl}$  становив 5,62, тобто ґрунт перейшов у градацію близького до нейтрального.

Внесення повної норми меліоранту у формі вапняного борошна забезпечує ідентичну з доломітовим борошном динаміку зміни показника  $pH_{KCl}$  ґрунтового розчину, проте зміщення показника  $pH_{KCl}$  було на 0,1 одиниці меншим.

Найбільш ефективним було внесення 1,5 норми за гідролітичною кислотністю доломітового борошна. Спостерігалось максимальне в умовах дослідження зменшення кислотності уже на четвертий рік ротації ( $pH_{KCl} = 6,64$ ) і тривалість післядії була найбільшою. На завершення другої ротації сівозміни (9-ий рік після внесення меліоранту)  $pH_{KCl}$  становила 6,04, що більше на 1,60

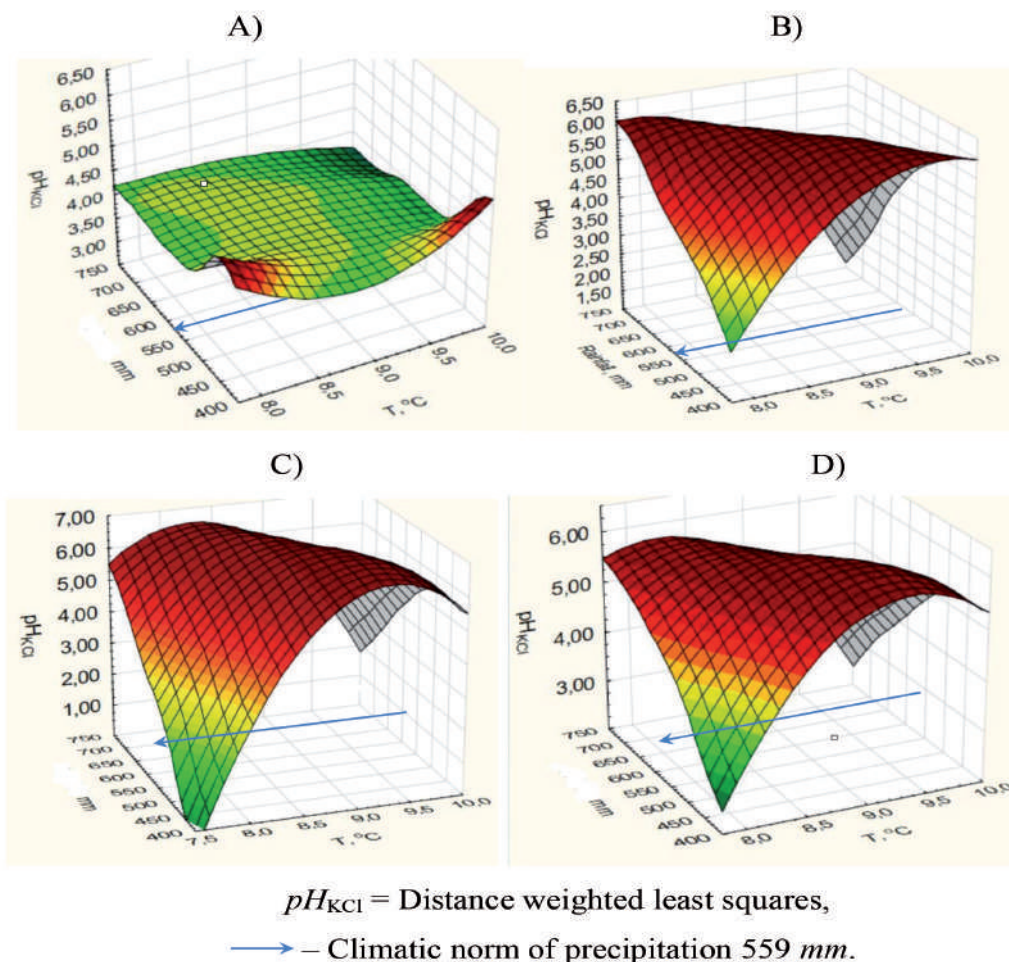
порівняно з початковим значенням.

Проведений паралельний моніторинг кліматичних показників виявив цікаві зв'язки температурних показників, кількості опадів з показниками обмінної кислотності за різних доз вапнування упродовж 2011–2019 рр (рис. 2). Хід середньої температури року у варіантах без добрив (контроль) і лише мінеральними добривами (фон), мав обернений зв'язок з динамікою  $pH_{KCl}$  ґрунту (відповідно  $r = -0,38$  та  $-0,46$ ). Проте за внесення доломітового меліоранта в нормах 1,0 і 1,5 ГК зміна  $pH_{KCl}$  виразно позитивно корелювала із середньою температурою років досліджень. Найтіснішим був цей зв'язок на ділянці із внесенням вапняного борошна ( $r = 0,36$ ).

Зміна  $pH_{KCl}$  ґрунту не мала істотного зв'язку з кількістю річних опадів у варіантах дослідів без внесення вапнякових меліорантів. Проте, вже половина дози доломітового борошна зумовила істотну позитивну кореляцію  $pH_{KCl}$  з кількістю річних опадів ( $r = 0,45$ ). На решті вапнованих ділянок кореляція є слабкішою, але позитивною.

ґрунт без удобрення або з мінеральним удобрення, але без вапнування відповідно слабо та середньо реагував зміною  $pH_{KCl}$  на коливання середньої температури року і не спостерігалось зв'язку з кількістю опадів. Натомість внесення вапна у різних дозах зменшувало кислотність ґрунту у прямій залежності від кількості опадів і дещо слабшій від середньої температури року.

Регресійне 3D-моделювання взаємної залежності динаміки  $pH_{KCl}$  ґрунту і двох кліматичних показників дозволяє візуалізувати площину їх регресії (рис. 3).



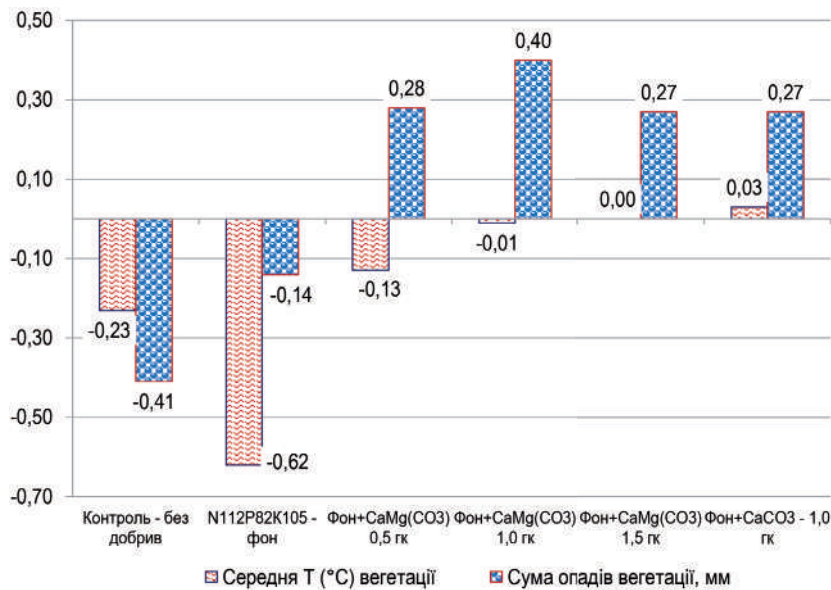
**Рис.3** Регресійна 3D-модель динаміки  $pH_{KCl}$  ґрунту залежно від середньорічних температур ( $t^{\circ}C$ ) та кількості опадів (мм) на удобрених  $N_{112}P_{82}K_{105}$  ділянках без вапнування (А) і з повною (В) та 1,5 норми доломітового борошна (С) й повної норми вапнякового борошна (D)

Підкислення ґрунту мінеральними добривами (рис.3 – А) є меншим у сухі роки, а також за підвищених середньорічних температур. Велика кількість річних опадів, особливо за підвищення температури посилюють підкислення ґрунту, удобреного лише мінеральними добривами.

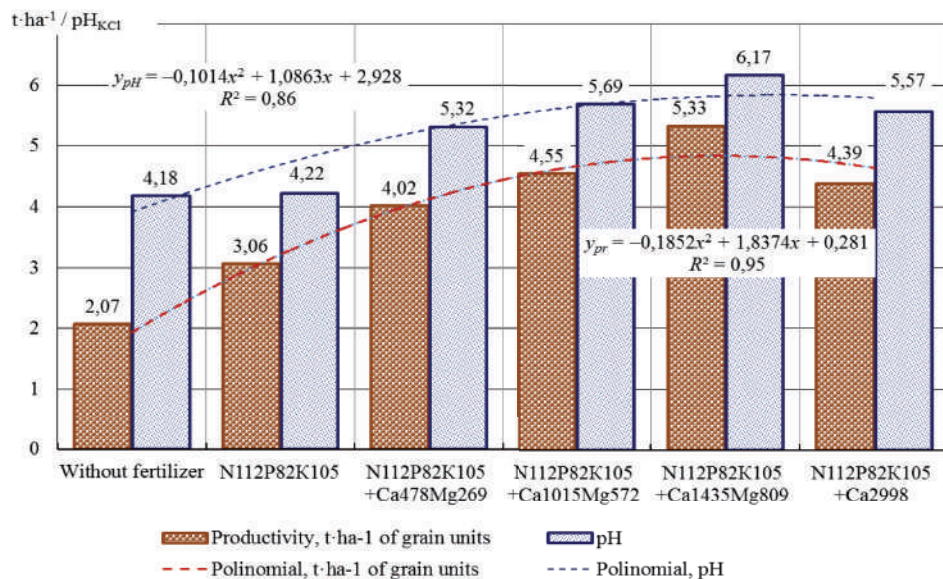
На фоні повної норми доломітового борошна за мінімальної кількості опадів нейтралізація кислотності тим сильніша, чим вищий ресурс тепла (рис. 3 – В). За мінімальної температури збільшення кількості опадів також зменшує кислотність ґрунту. Але одночасне підвищення річних ресурсів тепла і вологи до показників середніх багаторічних норм до максимуму збільшувало показник рН<sub>ксі</sub>. Подальше одночасне зростання величин тепла і вологи призводить до зниження кислотності ґрунту. Це пояснюється негативною кореляцією показників цих кліматичних ресурсів –  $r = -0,50$ . Необхідно зауважити, що побудова аналогічних 3D-моделей для менших і для більших норм вапнякових меліорантів показала таку ж подібність площин регресії рН<sub>ксі</sub> від середньорічної температури та кількості опадів. Це означає, що максимальна ефективність вапнякових матеріалів на дерново-підзолистих зв'язнопіщаних ґрунтах проявляється за

одночасного потепління та гумідизації клімату Західного Полісся України. Із 8 років ротації лише 4 характеризувалися кількістю опадів, вищих за кліматичну норму 569 мм. Проте за всі роки досліджень середньорічна температура значно перевищувала середньо-багаторічну норму 7,0°C. Кореляція між кліматичними показниками була середньою, але негативною  $r = -0,50$ .

Аналізуючи зв'язки кліматичних ресурсів теплих періодів років (квітень – жовтень) виявлені аналогічні кореляції (рис. 4). Найтіснішим був негативний зв'язок рН<sub>ксі</sub> з середньою температурою теплих місяців ( $r = -0,62$ ) за удобрення ґрунту суто мінеральними добривами. Отже за відсутності вапнування удобрення дерново-підзолистого ґрунту лише мінеральними добривами в умовах потепління мезоклімату Українського Полісся спричинить його значне підкислення. Проте вапнування ніяк не вплинуло на зв'язок рН<sub>ксі</sub> ґрунту з потеплінням вегетаційних періодів. Натомість кількість опадів виразно впливала на динаміку рН<sub>ксі</sub>: без вапнування негативно, а з усіма варіантами вапнування тільки позитивно. Отже, зі зростанням вологозабезпечення ефективність вапнування вагомо підвищується.



**Рис.4** Кореляції динаміки рН<sub>ксі</sub> дерново-підзолистого зв'язнопіщаного ґрунту з середньорічними кліматичними показниками за теплий період року (квітень – листопад) залежно від удобрення та вапнування,  $r \pm$ .



**Рис.5** Залежність зернової продуктивності сівозміни від зміни кислотності дерново-підзолистого зв'язнопіщаного ґрунту, (2011–2019 рр.)

**Висновки.** Найбільш ефективним меліорантом на дерново-підзолистих зв'язнощаних сильно кислих ґрунтах Західного Полісся є доломітне борошно 1,5 норми за гідролітичною кислотністю. Кислотність ґрунту за такої норми меліоранту уже після другого року застосування зменшувалася до 6,03 одиниці  $pH_{KCl}$  і зберігалася в тому ж інтервалі впродовж двох ротаций сівозміни. За внесення 1,0 ГК норми доломітового борошна такої ефекти спостерігали лише на п'ятий рік після застосування і тривалість післядії була коротшою.

За внесення вапнякового меліоранту у 1,0 та 1,5 ГК нормах зміна  $pH_{KCl}$  слабо позитивно корелювала із середньою температурою років досліджень, а також середньо позитивно корелювала з кількістю річних опадів. Ефективність доломітового борошна підвищується за помірного одночасного потепління та зволоження клімату. Максимальні показники температури і зволоження за їх одночасного зростання послаблюють нейтралізаційну дію вапнякових матеріалів. Проте кореляція між кліматичними показниками є середньою і негативною ( $r = -0,50$ ) упродовж 8-річної ротатії сівозміни за період 2011–2019 рр.

Найвищу продуктивність культур сівозміни у середньому за 8 років забезпичило внесення 1,5 ГК норми доломітового борошна на фоні повних мінеральних добрив  $N_{112}P_{82}K_{105} - 5,33$  т/га зернових одиниць, що вище за відповідні фонові варіанти на 2,27 т/га або 74,2%. Середня продуктивність сівозміни за дві ротатії (2011–2019 рр.) дуже тісно залежала ( $r = 0,97$ ) від середнього за ці роки показника  $pH_{KCl}$ .

## Література

1. Chatzistathis, T., Alifragis, D., Papaioannou, A. (2015). The influence of liming on soil chemical properties and on the alleviation of manganese and copper toxicity in *Juglans regia*, *Robinia pseudoacacia*, *Eucalyptus* sp. and *Populus* sp. Plantations. *Journal of Environmental Management* 150, 149-156. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.020>
2. Долженчук В.І., Крупко Г. Д. Моніторинг процесів деградації та опустелювання в Рівненській області. *Агроекологічний журнал*. 2015. №1. С.69-75.
3. Ghimire, R., Machado, S., Bista, P. (2017). Soil pH, Soil Organic Matter and Crop Yields in Winter Wheat-Summer Fallow Systems. *Agronomy Journal* 109, Issue 2. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.08.0462>
4. Gibbons, J.M., Williamson, J.C., Williams, A.P., Withers, P.J., Hockley, A.N., Harris, I.M., Hughes, J.W., Taylor, R.L., Jones, D.L., Healey, J.R. (2014). Sustainable nutrient management at field, farm and regional level: soil testing, nutrient budgets and the trade off between lime application and greenhouse gas emissions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 188, 48-56.
5. Goulding, K.W.T. (2017). Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use and Management* 32, 390-399. <https://doi.org/10.1111/sum.12270>
6. Higgins, S., Morrison, S., Watson, C.J. (2012). Effect of annual applications of pelletized dolomitic lime on soil chemical properties and grass productivity. *Soil Use and Management* 28, 62-69. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00380.x>
7. Lollato, R.P., Edwards, J., Zhang, H. (2013). Effect of Alternative Soil Acidity Amelioration Strategies on Soil pH Distribution and Wheat Agronomic Response. *Soil Science Society of America Journal* 77, Issue 5, 1831-1841. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.04.0129>
8. Malik, A.A., Puissant, J., Buckeridge, K.M., Goodall, T., Jehmlich, N., Chowdhury, S., Gweon, H.S., Peyton, J.M., Mason, K.E., van Agtmaal, M., Blaud, A., Clark, I. M., Whitaker, J., Pywell, R.F., Ostle, N., Gleixner, G., Griffiths, R.I. (2018). Land use driven change in soil pH affects microbial carbon cycling processes. *Nature Communications*. Vol. 9, Article number, 3591. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05980>
9. Orzech, K., Załuski, D. (2020). Effect of companion

crops and crop rotation systems on some chemical properties of soil. *Journal of Elementology* 25(3), 931-949. <https://doi.org/10.5601/jelem.2020.25.1.1904>

10. Paradelo, R., Virto, I., Chenu, C. (2015). Net effect of liming on soil organic carbon stocks: a review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 202, 98-107. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.005>

11. Pikuła, D., Rutkowska, A., (2020). Selected chemical properties of sandy soil after 36 years of differential fertilization with mineral nitrogen and manure without liming in two crop rotation. *Soil Science Annual* 71(3), 246-251. <https://doi.org/10.37501/soilsa/128687>

12. Polovyy, V., Hnativ, P., Balkovskyy, V., Ivaniuk, V., Lahush, N., Shestak, V., Szulc, W., Rutkowska, B., Lukashchuk, L., Lukyanik, M., Lopotychn. N. 2021. The influence of climate changes on crop yields in Western Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(1), 384-390, [https://doi.org/10.15421/2021\\_56](https://doi.org/10.15421/2021_56)

13. Польовий В.М., Лаврук М.М., Кулик С.М. Диференціація фізико-хімічних показників і продуктивність дерново-підзолистоґрунту внаслідок тривалого застосування різних систем удобрення і доз вапна. *Вісник аграрної науки*. 2018. №5(782). С.12-17. <https://doi.org/10.31073/agroviznyk201805-02>

14. Польовий В.М. Оптимізація систем удобрення в сучасному землеробстві: монографія. Рівне: Волинські береги. 2007. 320с.

15. Rousk, J., Bååth, E., Brookes, P.C., Lauber, C.L., Lozupone, C., Caporaso, J.G., Knight, R., Fierer, N. (2010). Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *ISME J.*; 4, 1340-1351. <https://doi.org/10.1038/ismej.2010.58>

16. Slessarev, E.W., Lin, Y., Bingham, N.L., Johnson, J.E., Dai, Y., Schimel, J.P., Chadwick, O.A. (2016). Water balance creates a threshold in soil pH at the global scale. *Nature* 540(7634), 567-569. <https://doi.org/10.1038/nature20139>

17. Thomas, G.W., 1996. Soil pH and soil acidity. In D.L. Sparks, editor, *Methods of soil analysis. Part 3: Chemical methods*. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. 475-490.

18. Vašák, F., Černý, J., Buráňová, Š., Kulhánek, J. Balík, M. (2014). Soil pH changes in long-term field experiments with different fertilizing systems. *Soil and Water Research* 10, 19-23. <https://doi.org/10.17221/7/2014-SWR>

19. Венглінський М.О., Годинчук Н.В., Глущенко М.К., Запасний В.В. Рациональне використання кислих ґрунтів Полісся. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія : сільськогосподарські науки*. 2014. С.18-28.

## References

1. Chatzistathis T., Alifragis D., Papaioannou A. (2015). The influence of liming on soil chemical properties and on the alleviation of manganese and copper toxicity in *Juglans regia*, *Robinia pseudoacacia*, *Eucalyptus* sp. and *Populus* sp. plantations, *Journal of Environmental Management* 150, 149-156. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.020>
2. Dolzhenchuk V.I., Krupko G.D. (2015). Monitoring of land degradation and desertification processes in Rivne region. *Agro-ecological journal* 1, 69-75. Available at: [http://irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbu/cgiiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/agrog\\_2015\\_1\\_10.pdf](http://irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/agrog_2015_1_10.pdf). (in Ukrainian)
3. Ghimire R., Machado S., Bista P. (2017). Soil pH, Soil Organic Matter and Crop Yields in Winter Wheat-Summer Fallow Systems. *Agronomy Journal* 109, Issue 2. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.08.0462>
4. Gibbons J.M., Williamson J.C., Williams A.P., Withers P.J., Hockley A.N., Harris I.M., Hughes J.W., Taylor R.L., Jones D.L., Healey J.R. (2014). Sustainable nutrient management at field, farm and regional level: soil testing, nutrient budgets and the trade off between lime application



and greenhouse gas emissions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 188, 48–56.

5. Goulding K.W.T. (2017). Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use and Management* 32, 390–399. <https://doi.org/10.1111/sum.12270>

6. Higgins S., Morrison S., Watson C.J., (2012). Effect of annual applications of pelletized dolomitic lime on soil chemical properties and grass productivity. *Soil Use and Management* 28, 62–69. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00380.x>

7. Lollato R.P., Edwards J., Zhang H. (2013). Effect of Alternative Soil Acidity Amelioration Strategies on Soil pH Distribution and Wheat Agronomic Response. *Soil Science Society of America Journal* 77, Issue 5, 1831–1841. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.04.0129>

8. Malik A.A., Puissant J., Buckeridge K.M., Goodall T., Jehmlich N., Chowdhury S., Gweon H.S., Peyton J.M., Mason K.E., van Agtmaal M., Bland A., Clark I. M., Whitaker J., Pywell R.F., Ostle N., Gleixner G., Griffiths R.I. (2018). Land use driven change in soil pH affects microbial carbon cycling processes. *Nature Communications*. Vol. 9, Article number, 3591. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05980-9>

9. Orzech K., Załuski D. (2020). Effect of companion crops and crop rotation systems on some chemical properties of soil. *Journal of Elementology* 25(3), 931–949. <https://doi.org/10.5601/jelem.2020.25.1.1904>

10. Paradelo R., Virto I., Chenu C. (2015). Net effect of liming on soil organic carbon stocks: a review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 202, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.005>

11. Pikuła D., Rutkowska A. (2020). Selected chemical properties of sandy soil after 36 years of differential fertilization with mineral nitrogen and manure without liming in two crop rotation. *Soil Science Annual* 71(3), 246–251. <https://doi.org/10.37501/soilsa/128687>

12. Polovyy, V., Hnativ, P., Balkovskyy, V., Ivaniuk, V., Lahush, N., Shestak, V., Szulc, W., Rutkowska, B.,

Lukashchuk, L., Lukyanik, M., Lopotych. N. 2021. The influence of climate changes on crop yields in Western Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(1), 384–390, [https://doi.org/10.15421/2021\\_56](https://doi.org/10.15421/2021_56)

13. Polovyy V.M., Lavruk M.M., Kulyk S.M. (2018). Differentiation of physicochemical parameters and productivity of sodpodzolic soil owing to long application of different fertilizer systems and doze of lime. *Visnyk ahrarnoi nauky* 5(782), 12–17. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201805-02> (in Ukrainian).

14. Polovyy V.M. (2007). Optimization of fertilizer systems in modern agriculture: monogr. Volyn. Oberehy, Rivne. (in Ukrainian).

15. Rousk J., Bååth E., Brookes P.C., Lauber C.L., Lozupone C., Caporaso J.G., Knight R., Fierer N. (2010). Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *ISME J.*; 4, 1340–1351. <https://doi.org/10.1038/ismej.2010.58>

16. Slessarev E.W., Lin Y., Bingham N.L., Johnson J.E., Dai Y., Schimel J.P., Chadwick O.A. (2016). Water balance creates a threshold in soil pH at the global scale. *Nature* 540(7634), 567–569. <https://doi.org/10.1038/nature20139>

17. Thomas, G.W. (1996). Soil pH and soil acidity. In D.L. Sparks, editor, *Methods of soil analysis. Part 3: Chemical methods. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI*. 475–490.

18. Vašák F., Černý J., Buráňová Š., Kulhánek J. Balík M., (2014). Soil pH changes in long-term field experiments with different fertilizing systems. *Soil and Water Research* 10, 19–23. <https://doi.org/10.17221/7/2014-SWR>

19. Venglinsky M.O., Hodynychuk N.V., Glushchenko M.K., Zapasny V.S. (2014). Rational use of acid soils in Polissya. *Bulletin of the National University of Water Management and Environmental Sciences. Ser.: Agricultural Sciences*. 2, 18–28. Access mode: <http://ep3.nuwm.edu.ua/3607/1/Vs663.pdf>