
МЕЛІОРАЦІЯ І РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТІВ

MELIORATION AND SOIL FERTILITY

УДК 631.412:631.816:631.821.1

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.2.32>

ДИНАМІКА РЕАКЦІЇ ҐРУНТОВОГО РОЗЧИНУ ЗА ТРИВАЛОЇ ПІСЛЯДІЇ ВАПНУВАННЯ ТА УДОБРЕННЯ НА ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОМУ ҐРУНТІ

Клименко М.О. – д.с.-г.н., професор,

завідувач кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища
та лісового господарства,

Національний університет водного господарства та природокористування

Колесник Т.М. – к.с.-г.н., доцент,

завідувач кафедри агрохімії, ґрунтознавства та землеробства імені С.Т. Вознюка,

Національний університет водного господарства та природокористування

Андрощук О.О. – к.с.-г.н.,

старший науковий співробітник,

Інститут сільського господарства Західного Полісся

Ровна Г.Ф. – старший науковий співробітник,

Інститут сільського господарства Західного Полісся

Представлені результати дослідження впливу тривалої післядії вапнування та удобрення на окисно-відновні умови дерново-підзолистого ґрунту. Встановлено, що тривале сільськогосподарське використання дерново-підзолистого ґрунту (36 років) без застосування добрив (контроль) призвело до зниження pH_{KCl} від 4,8 од. до 4,3 од. (-10,4%) та відповідного зростання гідролітичної кислотності від 2,3 мг-екв/100 г до 2,71 мг-екв/100 г (+17,8%). Тривале застосування органо-мінеральної системи удобрення з одинарними дозами мінеральних добрив посилювало процеси підкислення ґрунтового розчину, що виявлялося у зменшенні показника pH_{KCl} на 4,55%, та збільшенні гідролітичної кислотності на 16,6% відносно загального фону (солома). При цьому підвищення доз мінеральних добрив у 1,5 рази спричинило додаткове посилення процесів підкислення до 5,18%. Ефект 16-річної післядії різних доз вапна на фоні органо-мінеральної системи удобрення проявився в істотному стримуванні процесів підкислення ґрунту: на 11,9%...35,7 % за показником pH_{KCl} та на 13,6%...49,2% за показником гідролітичної кислотності (порівняно з вихідними даними). При цьому збільшення доз вапна у 4 рази додатково посилювало процеси стримування кислотності ґрунту до 41,2%. Підвищення доз мінеральних добрив у 1,5 рази відповідно послабило ефект 16-річної післядії вапна на 12,78%. За результатами досліджень відмічено, що ефект 23-річної післядії одинарної дози вапна на фоні органо-мінеральної системи удобрення (солома+NPK) полягав у стримуванні процесів підкислення ґрунту у меншій мірі, аніж ефект 16-річної післядії тієї ж дози вапна на 19,2%. Підвищення доз мінеральних добрив у 1,5 рази послабило ефект 23-річної післядії вапна на 10,2%. Порівняння динаміки pH_{KCl} і гідролітичної кислотності за тривалої післядії різних норм вапна показало більш інтенсивне наростання показників останньої, що вказує на доцільність контролю процесів підкислення дерново-підзолистого ґрунту саме за гідролітичною кислотністю.

Ключові слова: дерново-підзолистий ґрунт, доза вапна, добрива, реакція ґрунтового розчину, гідролітична кислотність.

Klimenko M.O., Kolesnyk T.M., Androshchuk O.O., Rovna G.F. Dynamics of soil solution reaction after long period of liming and fertilisation on sod-podzolic soil

The results of the study of the influence of long-term aftereffects of liming and fertilisation on the redox conditions of sod-podzolic soil are presented. It has been established that long-term agricultural use of sod-podzolic soil (36 years) without fertilisation (control) led to a decrease in pHKCl from 4.8 units to 4.3 units (-10.4%) and a corresponding increase in hydrolytic acidity from 2.3 mg-eq/100 g to 2.71 mg-eq/100 g (+17.8%). Prolonged use of the organo-mineral fertilisation system with single doses of mineral fertilisers enhanced the acidification of the soil solution, which was manifested in a decrease in pHKCl by 4.55% and an increase in hydrolytic acidity by 16.6% relative to the general background (straw). At the same time, a 1.5-fold increase in mineral fertiliser doses caused an additional increase in acidification processes to 5.18%. The effect of 16-year aftereffect of different doses of lime on the background of the organic-mineral fertilizer system was manifested in a significant containment of soil acidification processes: by 11.9%...35.7% in terms of pHKCl and by 13.6%...49.2% in terms of hydrolytic acidity (compared to the initial data). At the same time, a 4-fold increase in lime doses further enhanced the processes of restraining soil acidity to 41.2%. Increasing the doses of mineral fertilisers by 1.5 times, respectively, weakened the effect of the 16-year aftereffect of lime by 12.78%. According to the results of the research, it was noted that the effect of the 23-year aftereffect of a single dose of lime on the background of the organic-mineral fertilizer system (straw + NPK) was to restrain soil acidification processes to a lesser extent than the effect of the 16-year aftereffect of the same dose of lime by 19.2%. Increasing the doses of mineral fertilisers by 1.5 times weakened the effect of 23-year lime aftereffect by 10.2%. Comparison of the dynamics of pHKCl and hydrolytic acidity under the long-term aftereffect of different lime rates showed a more intensive increase in the latter, which indicates the expediency of controlling the processes of acidification of sod-podzolic soil by hydrolytic acidity.

Key words: sod-podzolic soil, lime dose, fertilisers, reaction of soil solution, hydrolytic acidity.

Постановка проблеми. Незважаючи на значну кількість наукових досліджень, проблема надлишкової кислотності ґрунтів Полісся лишається невирішеною. Занепад аграрного виробництва призвів до скорочення обсягів вапнування, а інтенсифікація та посилення хімізація ще більше загострила проблему [1]. Тому дослідження впливу тривалої післядії вапнування та удобрення на окисно-відновні умови дерново-підзолистого ґрунту є актуальними та своєчасними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За даними агрохімічної паспортизації, в зоні Полісся України понад 40% земель є в різній мірі закисленими, з несприятливими фізико-хімічними показниками, низьким вмістом гумусу та елементів живлення [2-4]. Ці властивості істотно обмежують продуктивність рослинництва та рентабельність виробництва.

У характеристиці фізико-хімічних властивостей ґрунтів найбільш динамічними є показники кислотності, які змінюються за антропогенного впливу, особливо за внесення добрив і хімічних меліорантів.

Кислотність ґрунту є одним з основних показників родючості, який впливає на цілий комплекс його властивостей, що визначають величину врожаю сільськогосподарських культур та його якості: стан гумусу і ґрунтово-вбирного комплексу, доступність макро- і мікроелементів, рухомість алюмінію, кількісний і якісний склад ґрунтової мікрофлори. Підвищення родючості кислих дерново-підзолистих ґрунтів здійснюється шляхом застосування комплексу заходів, серед яких одним з найважливіших є вапнування [5-8]. Завдяки вапнуванню істотно зростає ефективність як мінеральної так і органімінеральної систем удобрення [9].

Ефективність вапнування кислих ґрунтів залежить від форм, доз, строків і способів внесення вапнувальних матеріалів, чутливості культур і кислотно-основних властивостей ґрунту, поєднання вапнування із застосуванням мінеральних добрив [10-14]. Тому одержання об'єктивних даних щодо змін кислотно-основних

властивостей окремих підтипів ґрунтів за різних доз вапна та систем удобрення в умовах тривалих стаціонарних польових дослідів має наукове і практичне значення.

Мета статті – проаналізувати вплив вапнування та удобрення на зміни окисно-відновних умов ґрунту.

Матеріали і методика досліджень. Дослідження проводились у тривалому стаціонарному досліді, закладеному в 1979 році на дерново-підзолистому зв'язно-піщаному ґрунті на базі Інституту сільського господарства Західного Полісся НААН.

Вапно вносили у нормі, що була визначена за показником гідролітичної кислотності ґрунту на час закладки досліді. Варіантам вапнування у схемі досліді відповідали наступні фізичні кількості вапна (CaCO_3): 0,5 Нг – 1,8 т/га; 1,0 Нг – 3,6; 1,5 Нг – 5,5; 2,0 Нг – 7,0 т/га.

Мінеральні добрива вносили щорічно під культури сівозміни протягом періоду дослідження. У схемі досліді Фон I відповідає насиченість $\text{N}_{55}\text{P}_{68}\text{K}_{75}$, Фон II – $\text{N}_{83}\text{P}_{102}\text{K}_{113}$ мінеральними добривами.

Агрохімічні властивості дерново-підзолистого ґрунту перед закладкою досліді характеризувалися наступними показниками: гумус за Тюрніним – 1,2%, фосфор рухомий за Кірсановим – 62 мг/кг ґрунту, калій обмінний за Кірсановим – 75 мг/кг ґрунту, pH_{KCl} – 4,8, гідролітична кислотність за Каппеном – 2,3 мг-екв/100 г ґрунту, сума увібраних основ за Каппеном-Гільковіцем – 2,8 мг-екв/100 г ґрунту, ступінь насичення основами – 62%.

Результати досліджень. У результаті проведених досліджень встановлено, що інтенсивне ведення землеробства на дерново-підзолистих ґрунтах без науково-обґрунтованого застосування вапнякових меліорантів зумовлює погіршення окисно-відновних умов ґрунту (табл. 1).

На кінець періоду досліджень (2015 р.) pH_{KCl} на контролі (без добрив) становив 4,3 од. Застосування побічної продукції (соломи) забезпечило підвищення pH_{KCl} до 4,4 од. (-2,3%), що свідчить про формування тенденції стримування підкислення ґрунтового розчину під впливом заробляння в ґрунт побічної продукції.

Застосування органо-мінеральної системи удобрення з одинарними нормами мінеральних добрив спричинило зменшення pH_{KCl} до 4,2 од. (-2,3% до контролю), що зумовлено застосуванням гідролітично кислих форм мінеральних добрив. Застосування тієї ж органо-мінеральної системи удобрення на фоні 16-річної післядії різних доз вапна спричинило формування pH_{KCl} ґрунту на рівні від 4,7 од. до 5,7 од. (+9,3%...32,6% до контролю), що свідчить про існування тривалого ефекту післядії вапна навіть у половинній дозі за гідролітичною кислотністю. Післядія підвищення доз вапна з половинної до подвійної дози (у 4 рази) спричинила зростання pH_{KCl} на 21%. Але ефект 16-річної післядії подвійної дози вапна забезпечив стримування гідролітичної кислотності ґрунтового розчину на оптимальному рівні (5,7 од. pH_{KCl}).

Застосування органо-мінеральної системи удобрення з полуторними нормами мінеральних добрив спричинило зменшення pH_{KCl} до 4,0 од. (-7,0% до контролю). Загалом підвищення норм мінеральних добрив у півтора рази на фоні однакової насиченості ріллі органічними добривами посприяло зменшенню pH_{KCl} з 4,2 до 4,0 (-4,8%), що свідчить про тенденцію більш інтенсивного підкислення ґрунтового розчину. Застосування тієї ж органо-мінеральної системи удобрення (солома + 1,5 НРК) на фоні 16-річної післядії різних доз вапна спричинило формування pH_{KCl} ґрунту на рівні від 4,4 од. до 5,6 од. (+2,3%...+30,2% до контролю), що

підтверджує тривалий ефект післядії вапна, починаючи із одинарної дози за гідролітичною кислотністю. Післядія підвищення доз вапна з половинної до подвійної дози (у 4 рази) на варіантах органо-мінеральної системи удобрення (солома + 1,5 NPK) спричинила підвищення pH_{KCl} на 27%. При цьому ефект 16-річної післядії подвійної дози вапна забезпечив стримування гідролітичної кислотності ґрунтового розчину на оптимальному рівні (5,6 од. pH_{KCl}).

Таблиця 1

Динаміка pH_{KCl} ґрунтового розчину за систем удобрення на фоні тривалої післядії вапнування

Варіант досліджу	pH_{KCl}						Баланс%	Приріст на 2015 р
	Рік досліджень						%	%
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2015р. до 2010р.†	до контролю
Без добрив (контроль)	4,4	4,4	4,3	4,3	4,3	4,3	-2,27	0,0
Солома (загальний фон)	4,8	4,8	4,7	4,6	4,5	4,4	-8,33	2,3
NPK – фон I	4,6	4,5	4,5	4,3	4,3	4,2	-8,70	-2,3
Фон I + післядія $CaCO_3$ (0,5 Нг)	5,5	5,3	5,3	5,2	5	4,7	-14,55	9,3
Фон I + післядія $CaCO_3$ (1,0 Нг)	5,8	5,7	5,6	5,5	5,4	4,9	-15,52	14,0
Фон I + післядія $CaCO_3$ (1,5 Нг)	6	6	5,8	5,7	5,6	5,4	-10,00	25,6
Фон I + післядія $CaCO_3$ (2,0 Нг)	6,2	6,1	6	6	6,1	5,7	-8,06	32,6
Фон I + післядія $CaCO_3$ I-II ротаций	5,2	5,1	5,1	5,1	5,1	4,9	-5,77	14,0
1,5 NPK – фон II	4,2	4,1	4,1	4,1	4	4	-4,76	-7,0
Фон II + післядія $CaCO_3$ (0,5 Нг)	5,4	5,3	5,2	5,1	4,9	4,4	-18,52	2,3
Фон II + післядія $CaCO_3$ (1,0 Нг)	5,7	5,6	5,5	5,4	5,2	4,8	-15,79	11,6
Фон II + післядія $CaCO_3$ (1,5 Нг)	6,4	6,3	6,2	6	5,8	5,2	-18,75	20,9
Фон II + післядія $CaCO_3$ (2,0 Нг)	6	6,1	5,9	5,9	5,7	5,6	-6,67	30,2
Фон II + післядія $CaCO_3$ I-II ротаций	5,1	5	5	4,8	4,7	4,4	-13,73	2,3
НІР05, од. pH	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1		

Дослідження ефекту 23-річної післядії вапнування при застосуванні органо-мінеральної системи удобрення з одинарними нормами мінеральних добрив засвідчили формування pH_{KCl} ґрунтового розчину на рівні 4,9 од. (що на 14,0% більше відносно контролю та на 16,7% більше відносно фону I (солома + NPK)). Підвищення доз мінеральних добрив у півтора рази призвело до зменшення pH_{KCl} з 4,9 до 4,4 од. (-10,2%). Тобто відбувся перехід реакції ґрунтового розчину із категорії середньокислої до сильнокислої. Ці дані свідчать про існування 23-річного ефекту післядії вапнування в комплексі із органо-мінеральною системою удобрення навіть на фоні полуторної норми мінеральних добрив.

Дослідження динаміки pH_{KCl} на варіантах досліджу з 2010 по 2015 рік засвідчили його істотні зміни на варіантах удобрення як без післядії вапнування, так і з післядією різних доз вапна. На контролі (без добрив) істотних змін pH_{KCl} не відбулося.

Так, застосування органо-мінеральної системи удобрень із одинарною нормою мінеральних добрив за вирощування сільськогосподарських культур без

вапнування ґрунту призвело до зменшення pH_{KCl} з 4,6 до 4,2 (-8,7%) за період 2010–2015 рр. Збільшення мінеральних добрив в 1,5 рази на фоні органічного удобрення спричинило менш інтенсивне підкислення ґрунту, при цьому за 2010–2015 рр. pH_{KCl} зменшився з 4,2 до 4,0 (-4,8%).

При застосуванні лише органічної системи удобрення на основі побічної продукції зменшення pH_{KCl} за вказаний період було також суттєвим: з 4,8 од. pH_{KCl} до 4,4 од. pH_{KCl} (-8,3%).

Динаміка підкислення ґрунтового розчину за 16-річної післядії різних доз вапна на фоні органо-мінеральної системи удобрення (солома+NPK) засвідчила, що зменшення дози вапна забезпечувало збільшення інтенсивності процесів підкислення ґрунтового розчину. Так на варіанті післядії подвійних доз вапна зменшення pH_{KCl} з 2010 р. по 2015 р. становило -0,5 од. pH_{KCl} (-8,1%), тоді як на варіанті післядії одинарних доз вапна відповідне зменшення pH_{KCl} склало -0,8 од. pH_{KCl} (-15,5%).

16-річна післядія різних доз вапна на фоні органо-мінеральної системи із полуторними нормами мінеральних добрив (солома + 1,5NPK) забезпечила більш інтенсивне підкислення ґрунтового розчину порівняно із системою з одинарними нормами мінеральних добрив. Так на варіанті післядії полуторних, одинарних та половинних доз вапна зменшення pH_{KCl} коливалося в межах -15,8%...-18,8%. Максимальну інтенсивність підкислення ґрунтового розчину за період 2010–2015 рр. відмічено на варіанті післядії полуторної дози вапна, що склало 1,2 од. pH_{KCl} (-18,8%).

Динаміка інтенсивності підкислення ґрунтового розчину за 23-річної післядії вапна на фоні органо-мінеральної системи удобрення з одинарними дозами мінеральних добрив засвідчила зміни pH_{KCl} із 5,2 од. до 4,9 од. (-5,8%), що свідчить про зменшення інтенсивності процесів підкислення у 3 рази порівняно із відповідними процесами за 16-річної післядії вапнування. Збільшення доз мінеральних добрив в 1,5 рази на фоні 23-річної післядії вапнування призвело до прискорення процесів підкислення ґрунтового розчину у 2,4 рази, що свідчить про погіршення окисно-відновної рівноваги ґрунту.

Впродовж 36-ти років екстенсивного використання ґрунту без внесення добрив та вапнування (контроль (без добрив)) величина гідролітичної кислотності становила 2,71 мг-екв/100 г ґрунту (станом на 2015 р.) (рис. 1).

Тривале застосування органічних добрив впродовж зазначеного періоду створювало тенденцію стримування природних процесів підкислення ґрунту, встановивши показники гідролітичної кислотності на рівні 2,65 мг-екв/100 г ґрунту (-2,21% до контролю).

Застосування органо-мінеральної системи удобрення з одинарними нормами мінеральних добрив спричинило зростання гідролітичної кислотності до рівня 3,09 мг-екв/100 г ґрунту (+0,44 мг-екв/100 г або +16,6% до фону (солома). Збільшення норм мінеральних добрив у півтора рази (фон 2) спричинило зростання гідролітичної кислотності до 3,25 мг-екв/100 г (+5,17% до фону 1), що пояснюється як дією гідролітично-кислих форм мінеральних добрив та буферних механізмів ґрунту, так і зростанням вмісту доступних рослинам і мікроорганізмам елементів живлення.

16-річна післядія різних доз вапна в поєднанні із тою ж органо-мінеральною системою удобрення сприяла зменшенню гідролітичної кислотності до 1,57...2,67 мг-екв/100 г (-0,42...-1,52 мг-екв/100 г ґрунту або -15,73...-49,19% до фону 1). Зі збільшенням доз вапна з 0,5 Нг до 2 Нг (у 4 рази) гідролітична

кислотність зменшувалася лише на 41,2%, що можна пояснити більш інтенсивним перебігом біохімічних процесів гідролізу добрив та рослинних решток на варіанті із максимальною дозою вапна.

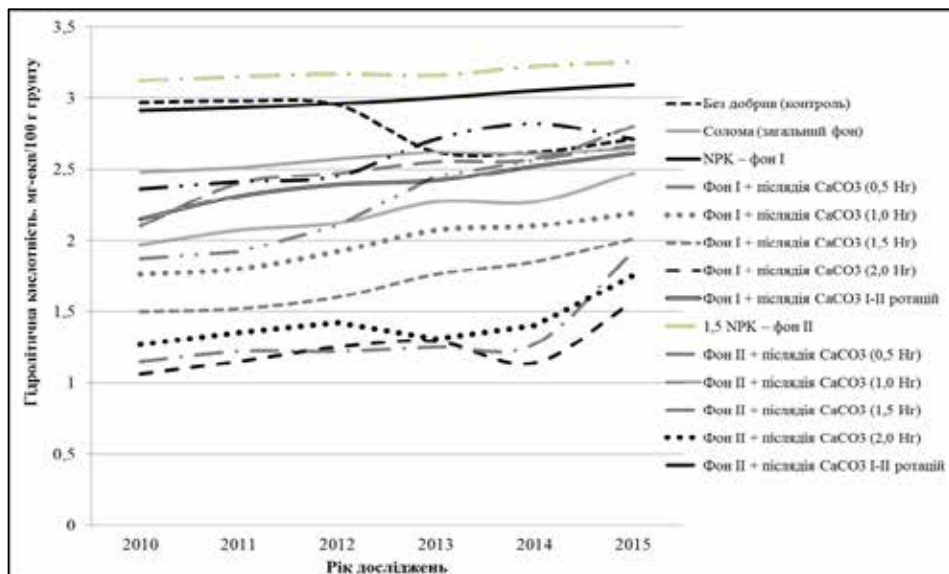


Рис. 1. Динаміка гідролітичної кислотності за систем удобрення на фоні тривалої післядії вапнування

Збільшення доз мінеральних добрив у півтора рази на фоні 16-річної післядії вапнування спричинило зростання гідролітичної кислотності ґрунту до 1,75...2,80 мг-екв/100 г (+4,87...+11,46% до варіантів солома+ NPK+CaCO₃ (0,5–2 Нг)).

Дослідження ефекту 23-річної післядії вапнування при застосуванні органо-мінеральної системи удобрення з одинарними нормами мінеральних добрив сприяло встановленню гідролітичної кислотності на рівні 2,61 мг-екв/100 г, що на 19,18% менш ефективно порівняно із 16-річною післядією тої ж дози вапна. Збільшення норм мінеральних добрив у півтора рази спричинило тенденцію зростання гідролітичної кислотності ґрунту до 2,71 мг-екв/100 г (+3,83%).

Динаміка гідролітичної кислотності ґрунту за період 2010–2015 рр. була дуже високою за варіантами дослідів. Так на контролі відбулося зменшення гідролітичної кислотності з 2,97 до 2,71 мг-екв/100 г (-8,75%), що пояснюється процесами врегулювання лужно-кислотної рівноваги як під впливом трансформації решток сільськогосподарських культур, так і відсутністю чинників різкого підвищення кислотності, таких як мінеральні добрива. На варіанті органічної системи удобрення (загальний фон) відзначено зростання цього показника з 2,48 до 2,65 мг-екв/100 г (+6,85%).

На варіанті органо-мінеральної системи удобрення зміна гідролітичної кислотності була невисокою: з 2,91 до 3,09 мг-екв/100 г (+6,19%), проте абсолютне значення гідролітичної кислотності на кінець періоду досліджень перевищувало відповідний показник загального фону (на 16,6%). Це свідчить про відносну часову

урівноваженість окисно-відновних процесів у ґрунті за умов 23-річного застосування мінеральних добрив на фоні органічного удобрення.

Застосування тієї ж орґано-мінеральної системи удобрення на фоні 16-річної післядії різних доз вапна призвело до високої динаміки гідролітичної кислотності ґрунту за період 2010–2015 рр. (зростання від 24,3 до 48,1%). Динаміка гідролітичної кислотності на тому ж варіанті орґано-мінеральної системи удобрення на фоні 23-річної післядії вапнування суттєво не відрізнялася за інтенсивністю від 16-річної післядії і становила +24,3% за період 2010–2015 рр.

Збільшення норм мінеральних добрив у 1,5 рази на фоні 16-річної післядії різних доз вапна спричинило тенденцію зростання швидкості динаміки гідролітичної кислотності ґрунту за період 2010–2015 рр. відносно системи удобрення з одинарними нормами мінеральних добрив. При цьому абсолютні показники гідролітичної кислотності на варіантах із 1,5-ми нормами мінеральних добрив перевищували відповідні значення варіантів з одинарними нормами від -4,48 до +12,8%. Загалом це підтверджує дані вчених про підкислюючу дію підвищених норм мінеральних добрив.

Дослідження ефекту 23-річної післядії вапнування в комплексі із орґано-мінеральною системою удобрення з полуторними нормами мінеральних добрив на динаміку гідролітичної кислотності показали менш інтенсивні процеси підкислення ґрунту (на 41,6%) порівняно з ефектом 16-річної післядії вапнування.

Збільшення норм мінеральних добрив у 1,5 рази на фоні 23-річної післядії вапнування відобразилося на зменшенні наростанні гідролітичної кислотності на 30,7%, що пояснюється як зростанням витрат кальцію вапна на винос підвищеним врожаєм сільськогосподарських культур, так і збільшенням потреб кальцію на нейтралізацію збільшених норм гідролітично кислих мінеральних добрив.

Висновки. Тривале сільськогосподарське використання дерново-підзолистого ґрунту (36 років) без застосування добрив (контроль) забезпечило підкислення ґрунтового розчину, що виразилося у зниженні pH_{KCl} від 4,8 од. до 4,3 од. (-10,4%) та відповідному зростанні гідролітичної кислотності від 2,3 мг-екв/100 г до 2,71 мг-екв/100 г (+17,8%). Ефект 16-річної післядії різних доз вапна на фоні орґано-мінеральної системи удобрення проявився у стримуванні процесів підкислення ґрунту на 11,9%...35,7% за показником pH_{KCl} та на 13,6%...49,2% за показником гідролітичної кислотності (порівняно з вихідними даними). При цьому збільшення доз вапна у 4 рази додатково посилювало процеси стримування кислотності ґрунту до 41,2%, що зумовлено підвищенням виносу кальцію зростаючими врожаєм сільськогосподарських культур в умовах зростання доз вапна. Підвищення доз мінеральних добрив у 1,5 рази послабило ефект 16-річної післядії вапна на до 12,78%. Ефект 23-річної післядії одинарної дози вапна на фоні орґано-мінеральної системи удобрення (солома+NPK) стримував підкислення ґрунту у меншій мірі (19,2%) ніж ефект 16-річної післядії тієї ж дози вапна. Підвищення доз мінеральних добрив у 1,5 рази послабило ефект 23-річної післядії вапна на 10,2%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Фурманець О.А., Піддубняк В.А. Вплив вапнякового шламу на кислотність дерново-підзолистого супіщаного ґрунту Західного Полісся України. *Таврійський науковий вісник*. 2018. № 104. С. 115–12.
2. Польовий В.М., Лаврук М.М., Кулик С.М. Диференціація фізико-хімічних показників і продуктивності дерново-підзолистого ґрунту внаслідок тривалого

застосування різних систем удобрення і доз вапна. *Вісник аграрної науки*. 2018. Вип. 5. С. 12–17. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201805-02>.

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

4. Венглінський М.О., Годинчук Н.В., Глушенко М.К., Запасний В.С. Раціональне використання кислих ґрунтів Полісся. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. Сер.: Сільськогосподарські науки. 2014. Вип. 2. С. 18–28. Режим доступу: <http://ep3.nuwm.edu.ua/3607/1/Vs663.pdf>.

5. Мазур Г. А. Відтворення і регулювання родючості легких ґрунтів: Монографія. К.: Аграрна наука. 2008. 308 с.

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

7. Chatzistathis, T., Alifragis, D., Papaioannou, A. 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. 2015. 149–156. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.020>.

8. Польовий В. М. Оптимізація систем удобрення у сучасному землеробстві: Монографія. Рівне: Волинські обереги. 2007. 320 с.

9. Петрунів І.І., Сеньків Г.Й., Костюк М.М. Вплив довготривалого застосування органічних, мінеральних добрив та вапнування на продуктивність сільськогосподарських культур. *Передгірське та гірське землеробство і тваринництво*. Л.: Оброшино, 2001. Вип. 43, ч. 1. С. 161–165.

10. Ткаченко М. А., Кондратюк І. М., Борис Н. Є. Хімічна меліорація кислих ґрунтів: Монографія. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ». 2019. 318 с.

11. Haddad S. A., Tabatabai M. A., Loynachan T. E. Effects of liming and selected heavy metals on ammonium release in waterlogged agricultural soils. *Biology and Fertility of Soils*. 2017. № 53 (2), pp. 153–158.

12. Rukshana F. et al. Organic anion-to-acid ratio influences pH change of soils differing in initial pH. *J Soils Sediments*. 2014. № 14. P. 407–414.

13. Paradelo R., Virto I., Chenu C. Net effect of liming on soil organic carbon stocks: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2014. Vol. 202. P. 98–107.

14. Simonsson M. et al. Pools and solubility of soil phosphorus as affected by liming in long-term agricultural field experiments. *Geoderma*. 2018. Vol. 315. P. 208–219.