

живлення рослин, зміни балансу органічної речовини ґрунту, збільшення площ кислих ґрунтів та забруднення продукції радіонуклідами. Якщо проблему органіки можна частково вирішити шляхом сидеральної культури та заорюванням рослинних решток, то проблему мінерального живлення – виключно шляхом використання мінеральних добрив, з яких в нашій країні виробляється достатньо лише азотних добрив. Тому актуальним є вивчення особливостей використання фосфоритів як джерела елементів живлення, вапнякових матеріалів та меліорантів на забруднених територіях.

Із історії досліджень. На Рівненщині є розвідані поклади фосфоритонесних руд, які залягають на глибині від 10 до 20 м, іноді й ближче до поверхні, вони характеризуються такими хімічними та мінералогічними показниками: вміст P_2O_5 – 3,28-7,98 %; K_2O – 0,8-1,76; CaO – 21,5-48,8; Fe_2O_3 – 1,38-3,12; кварцу – 22,9-46,5; фосфориту – 15,3-32,1; глауконіту – 6,3-24,2; карбонатів – 50,9–62,1; польових шпатів та акцесорних мінералів – до 5 %. За вмістом радіоактивних елементів фосфоритонесна руда належить до I класу – сировина придатна для використання без обмежень, за вмістом токсичних елементів – до IV класу, тобто не становить екологічної небезпеки при переробці, придатна для складування та використання [9].

Перспективними фосфоритонесними районами в Україні є Волино-Подільський і Донецький. Здолбунівське родовище фосфоритів відноситься до Волино-Подільського району [1] і має загальні запаси фосфоритної руди – 78,5 млн. т (P_2O_5 – 1,9 млн. т), при середньому вмісті P_2O_5 6,25 % (0,36-8,53%); потужність рудного пласта – 1,5 м (0-3,2 м), глибина залягання 8–10 м (табл. 1).

Прогнозні ресурси фосфоритів України складають 122,7 млн. т або 7,1 млн. т P_2O_5 . У межах Здолбунівської групи на Копитківському та Милятинському родовищах, які розташовані у заплаві р.Устя, що належить до басейну р.Горинь, проведено дослідне видобування зернистих фосфоритів. Значні запаси зернистих фосфоритів у Рівненській області обумовлюють необхідність проведення наукових досліджень з вивчення технології їх видобування, переробки, збагачення та використання у сільському господарстві як природного ресурсу.

Таблиця 1

Прогнозні ресурси Здолбунівської групи родовищ зернистих фосфоритів Рівненщини

Фосфоритні поклади	Площа, км ²	Середня потужність покладу, м	Об'єм руди, млн. м ³	Запаси руди, млн. м ³	Вміст P_2O_5 в руді, %	Запаси P_2O_5 в руді, млн. т
Новомильськ	2,0	1,2	2,4	3,6	5,0	0,2
Копитків	3,0	1,3	6,0	8,9	5,5	0,5
Івачків	3,5	1,5	5,3	7,8	5,6	0,4
Миротин	3,9	1,7	6,6	9,8	5,6	0,6
Грем'яче	4,7	1,2	5,7	8,4	4,5	0,4
Посягва	4,7	2,3	10,8	15,9	5,7	0,9
Башино	3,1	1,9	5,9	8,7	6,2	0,5
Тесів	3,0	1,2	3,6	5,3	7,3	0,4
Милятин	5,7	1,2	6,8	10,1	7,3	0,7
Разом	33,6		53,1	78,5		4,6

Методика досліджень. Наші дослідження включали варіанти внесення різних норм зернистих фосфоритів та суперфосфату з метою виявлення альтернативи дорогим фосфорним добривам та встановлення їхньої дії на зміну кислотності ґрунту і зменшення коефіцієнту надходження радіонуклідів до рослин.

Вивченню агрономічної цінності та ефективності фосфоритів присвячені роботи зарубіжних і вітчизняних вчених [4-6, 8, 10, 11]. Ними встановлено позитивний вплив фосфоритів на врожайність сільськогосподарських культур і підвищення рівня родючості ґрунтів. Поряд із цим було доведено, що сировина місцевих родовищ має значну кількість супутніх речовин, у тому числі й важких металів. Дж.Мартведта встановив, що фосфоритні руди, які широко використовуються у виробництві добрив,

містять значну кількість важких металів, а саме: As, Cr, Pb, Hg, Ni, V. За даними інших вчених, з однієї тони фосфоритної сировини до навколишнього середовища надходить до 100 кг фтору, 40 кг стронцію, 25 кг оксидів урану, торію та інших елементів [2, 9]. Проблема забруднення ґрунтів важкими металами проявилася поряд з такими деградаційними процесами як дегуміфікація, ерозія, засолення та ін. Важкі метали мають здатність до акумуляції в ґрунті та сільськогосподарській продукції, можуть накопичуватися в ланцюгах живлення і негативно впливати на людину.

Дані досліджень доводять, що фосфорити країн світу різняться за вмістом важких металів. Так, вміст ртуті у фосфоритах США складає 10 – 100 мг/кг, жовнові та черепашкові фосфорити Прибалтики містять цинку 3-150 мг/кг руди, а фосфорити Індії – до 190 мг/кг. Вони, також, містять кадмій, який виявляє кумулятивні властивості і є легкодоступним для рослин. Його кларковий вміст складає 0,5, а фоновий до 0,13 мг/кг, у фосфоритах США та Сирії – 8, Марокко – 22, Ізраїлю – 23, Тунісу – 30, Сенегалу – 75 мг/кг [9]. Фосфорні добрива регламентуються в основному за вмістом кадмію. Концентрація цього елемента в добриві не повинна перевищувати 8 мг/кг.

При застосуванні Здолбунівських фосфоритів, як показали дослідження В.М. Кавецького, Г.О. Буожис, при внесенні даного фосфориту в кількості 1,5 т/га (180 мг/кг P_2O_5), приріст кількості урану і торію може сягати 0,03 мг/кг. Ці показники значно менші за фоновий вміст у ґрунті згаданих радіоактивних елементів (уран – 1, торій – 5 мг/кг), і відповідно, вони в таких кількостях не створюватимуть загрози для навколишнього середовища. Дослідження з визначення вмісту рухомих форм фтору у фосфоритах України показують, що в концентратах із вмістом P_2O_5 19–28 % кількість водорозчинного, лимонорозчинного й загального фтору була в 5–10 разів більша, ніж у сирих.

Аналіз результатів досліджень. Для використання зернистих фосфоритів ми враховували таку особливість як комплексна екологічна оцінка, яка включає агрегований показник хімічного, екологічного, технологічного та економічного стану. За еталон екологічної оцінки зернистих

Таблиця 2

Агрегований показник хімічного складу зернистих фосфоритів

Назва родовищ	Валовий вміст, %								Агрегований показник
	P_2O_5		CaO		K_2O		MgO		
	N_i	X_i	N_i	X_i	N_i	X_i	N_i	X_i	
Осиківські зернисті фосфорити	9,27	0,46	28,6	0,89	2,62	0,86	0,88	0,87	0,74
Південно-Осиківські зернисті фосфорити	5,98	0,28	25,7	0,79	1,98	0,64	1,0	1,0	0,61
Ново-Амвросіївські зернисті фосфорити	6,0	0,28	25,0	0,77	1,2	0,36	0,5	0,44	0,43
Здолбунівський фосфорит	6,25	0,29	23,0	0,70	2,7	0,89	1,23	1,0	0,65
Маневицько-Клеванська агроруда	5,31	0,24	25,0	0,77	1,4	0,43	0,8	0,77	0,50
Ратнівські жовнові фосфорити	7,65	0,40	11,9	0,33	0,36	0,06	0,18	0,19	0,20
Копитківські зернисті фосфорити	7,55	0,40	28,3	0,88	1,75	0,55	0,51	0,46	0,55
Милятинські зернисті фосфорити	7,60	0,37	25,0	0,77	1,5	0,46	0,8	0,77	0,56
Милятинський фосфоритний концентрат	23,6	1,0	43,4	1,0	0,55	0,12	0,3	0,22	0,40
Ратнівський фосфоритний концентрат	24,8	1,0	39,8	1,0	0,51	0,11	0,18	0,19	0,38
Фосфоритне борошно 3-го гатунку	19,0	1,0	32,0	1,0	0,5	0,11	0,5	0,46	0,47
max, %	19,0		32,0		3,0		1,0		
min, %	1,0		2,0		0,2		0,1		

фосфоритів доцільно взяти фосфоритне борошно, яке рекомендується для використання на кислих ґрунтах. Результати оцінювання хімічного складу зернистих фосфоритів за агрегованим показником представлені в таблиці 2.

З даних табл. 2 видно, що найбільший вміст фосфору мають Осиківські зернисті фосфорити – 9,27%, тоді як Здолбунівські – 6,25%, Ратнівські жовнові – 7,65 %. Фосфорити названих родовищ за вмістом фосфору поступаються фосфоритному борошну; за вмістом кальцію – Осиківські, Копитківські й Милятинські зернисті фосфорити майже наближаються до вмісту кальцію у фосфоритному борошні, тоді як у Ратнівських зернистих фосфоритах він складає 11,9 %. За вмістом калію кращі показники мають Осиківські – 2,62 % та Здолбунівські зернисті фосфорити – 2,7 %, а за вмістом магнею – Осиківські – 0,88 %, Здолбунівські – 1,23 %, Маневицько-Клеванські – 0,8 %, Милятинські – 0,8 %.

Проте фосфоритне борошно поступається зернистим фосфоритам за вмістом K_2O і MgO . Агрегований показник хімічного складу зернистих фосфоритів та фосфоритного борошна свідчить, що його екологічна оцінка становить 0,47 і відповідає задовільному стану, показники Здолбунівських зернистих фосфоритів при значенні 0,65, Осиківських – 0,74 відповідають доброму стану. Агрегований показник Ратнівських жовнових фосфоритів за хімічним показником становить лише 0,2, їхня інтегральна оцінка незадовільна, що є причиною низького вмісту в них калію й магнею. При цьому слід зазначити, що фосфоритні концентрати за агрегованими показниками не перевищують екологічний стан звичайних зернистих фосфоритів, тоді як за вмістом P_2O_5 і CaO їхні нормовані показники відповідають еталонному стану.

Таким чином, оцінка хімічного стану звичайних і збагачених фосфоритів свідчить про їхню придатність до застосування у сільському господарстві як фосфорних добрив на рівні фосфорного борошна 3-го гатунку.

Поряд з цим, нами здійснена оцінка екологічного стану фосфоритів за вмістом важких металів (табл. 3).

З даних табл. 3 бачимо, що валовий вміст важких металів у фосфоритах України, в порівнянні із закордонними, відносно невисокий, а саме: вміст кадмію коливається в межах 0,3–0,88 мг/кг, урану – 9,9–66,8, торію – 3,5–10,5, цинку 10–14, свинцю – 4–12, нікелю – 4–18, кобальту – 8–18, міді – 6–14. У фосфоритах Росії, Алжиру, Тунісу, Марокко та Сирії валовий вміст важких металів значно вищий. Так, за даними досліджень В.М.Кавецького, Н.А.Макаренка, Г.О.Буожис [5], для зарубіжних фосфоритів валовий вміст важких металів знаходиться в межах: кадмію – 1,5–30, урану – 45–130, свинцю – 8,2–62, торію – 4,0–13, цинку – 32–252, нікелю – 11–81, міді – 23–37 мг/кг, тобто, їхній вміст у 1,5 – 20 разів вищий, аніж для фосфоритів України. Враховуючи, що фосфорні добрива регламентуються в основному за вмістом кадмію з ГДК цього елемента у фосфорній сировині на рівні 8 мг/кг, слід відмітити перевищення цього важкого металу у сировині з Алжиру, Тунісу, Марокко та Сирії. Таке перевищення кадмію в руді, безумовно, буде погіршувати якість добрив, виготовлених із цієї сировини. Вміст урану у фосфоритах Марокко, Тунісу, Росії сягає значень 75–130 мг/кг, у той час як у Здолбунівських – 66,0 мг/кг.

Виходячи з наявності важких металів у фосфоритах України та інших країн світу, пропонується здійснити їхню екологічну оцінку. В основу цієї оцінки взято наступні показники: перевищення у фосфоритах вмісту важких металів (кадмію > 31 мг/кг), вмісту урану (>130 мг/кг), вмісту свинцю (>62 мг/кг) та вмісту торію (>13 мг/кг). Припускається, що перевищення вмісту названих елементів вище вказаних рівнів буде супроводжуватися погіршенням екологічного стану ґрунтів та негативно впливати на ґрунтову біоту і якість рослинної продукції. Згідно з даними табл. 3, переважна більшість зернистих і жовнових фосфоритів України характеризуються низьким вмістом кадмію, що відповідає еталонному стану – 1,0.

За агрегованим показником екологічний стан українських зернистих фосфоритів може бути оцінений як еталонний, з коливанням агрегованих показників від 0,81 до 0,94. Дещо гірший екологічний стан, через підвищений вміст торію, має Ново-Амвросіївський фосфоритний концентрат (0,67), що відповідає доброму стану. Найнижчі агреговані показники екологічного стану мають фосфорити Росії (0,08) та Тунісу (0,1), що відповідає критичному стану за рахунок підвищеного та високого їхнього вмісту в сировині.

Агрегований показник екологічного стану зернистих фосфоритів

Назва родовищ	Вміст, мг/кг								Агрегований показник
	Cd*		U*		Pb*		Th*		
	N _i	X _i	N _i	X _i	N _i	X _i	N _i	X _i	
Осиківські зернисті фосфорити	0,26	1,0	30,0	0,83	10,0	0,9	3,5	0,95	0,92
Південно-Осиківські зернисті фосфорити	0,41	1,0	32,4	0,81	8,0	0,93	7,2	0,58	0,81
Здолбунівський фосфорит	0,88	1,0	66,8	0,93	12,0	0,86	3,7	0,93	0,81
Маневицько-Клеванська агроруда	0,30	1,0	41,3	0,74	4,0	1,0	7,2	0,58	0,81
Рагнівські жовнові фосфорити	0,1	1,0	9,9	1,0	8,0	0,93	4,6	0,84	0,94
Копитківські зернисті фосфорити	0,85	1,0	65,4	0,54	11,4	0,87	3,6	0,95	0,82
Милятинські зернисті фосфорити	0,87	1,0	66,0	0,53	11,8	0,87	3,5	0,95	0,82
Милятинський фосфоритний концентрат	0,87	1,0	68,0	0,52	12,1	0,86	3,5	0,95	0,81
Рагнівський фосфоритний концентрат	0,81	1,0	14,1	0,97	8,4	0,92	3,5	0,95	0,96
Верхнекамське	5,0	0,87	130,0	0,01	62,0	0,01	8,0	0,50	0,08
Гафса, Туніс	30,0	0,03	82,0	0,40	11,4	0,87	13,0	0,01	0,1
Хурібха, Марокко	9,7	0,71	75,0	0,46	12,0	0,86	8,0	0,50	0,61
max, %	31,0		130,0		62,0		13,0		
min, %	0,1		9,9		4,0		3,5		

*Примітка. Фосфорні добрива регламентуються за вмістом кадмію, урану, свинцю та торію.

Надзвичайно важливим для оцінки фосфоритів є технологічний показник, що характеризує їхню здатність до розмолу та глибину залягання. Ці особливості відображають затрати на видобування фосфоритів та підготовку їх до використання як добрив (табл. 4).

За практикою видобування, експлуатації фосфоритні родовища поділяють на: багаті руди, де вміст P₂O₅ складає понад 28%; середньосортні – P₂O₅ 20-28%; низькосортні руди або фосфоритовмісні породи, в яких вміст P₂O₅ не перевищує 20%. Фосфоритові руди з низьким вмістом P₂O₅ потребують збагачення. Технологічні схеми, що використовуються у світовій практиці, досить енергозатратні.

Для збагачення фосфоритів Алжиру використовують технологію, яка передбачає подрібнення руди, розсів, первинну промивку для вилучення глини і поліморфних карбонатів, кальцинуюче обпалення, повторну промивку для вилучення вапна. З руди, яка містить 24,5% P₂O₅, отримують концентрат із вмістом фосфору 34,6%, при вилученні близько 60%. На даний час, як свідчать літературні джерела [7], у світовій практиці використовують три способи збагачення фосфоритів: суха або мокра класифікація; флотація; обпалювання.

Технологічний агрегований показник, розрахований за формулою середнього арифметичного, оцінюється в 3 бали (табл. 4). Ново-Амвросіївські фосфорити мають технологічну перевагу над іншими, оскільки можуть добуватися без розкривання порід і придатні до підготовки їх використання методом вибіркового подрібнення. Південно-Осиківські, Здолбунівські, Копитківські та Милятинські зернисті фосфорити поступаються Донецьким фосфоритам, у зв'язку із заляганням на глибині до 15 м, агрегований технологічний показник становить 2,5. За затратами приготування до внесення: розмелювання, термічна обробка, флотація – 1 бал; магнітно-електрична сепарація – 2 бали; вибіркоче подрібнення – 3 бали.

Агрегований показник технологічного стану зернистих фосфоритів

Назва родовищ	Глибина залягання		Збагачення, підготовка до внесення		Агрегований показник
	м*	бали	спосіб	бали	
Осиківські зернисті фосфорити	29,3	1	вибіркове подрібнення	3	2,0
Південно-Осиківські зернисті фосфорити	15,0	2	вибіркове подрібнення	3	2,5
Ново-Амвросіївські зернисті фосфорити	0,0	3	вибіркове подрібнення	3	3,0
Ново-Амвросіївський глауконітовий концентрат	0,0	3	вибіркове подрібнення	3	3,0
Котовський глауконітовий продукт	170,0	1	вибіркове подрібнення	3	2,0
Здолбунівський фосфорит	10,2	2	вибіркове подрібнення	3	2,5
Маневицько-Клеванська агроруда	77,0	1	розмелювання	2	1,5
Ратнівські жовнові фосфорити	15,0	2	розмелювання	2	2,0
Копитківські зернисті фосфорити	10,0	2	вибіркове подрібнення	3	2,5
Милятинські зернисті фосфорити	8,5	2	вибіркове подрібнення	3	2,5
Копитківський фосфоритний концентрат	10,0	2	електро-магнітна сепарація	2	2,0
Милятинський фосфоритний концентрат	8,5	2	електро-магнітна сепарація	2	2,0
Ратнівський фосфоритний концентрат	15,0	2	збагачення флотацією, термічна обробка	1	1,5

*Примітка. Глибина залягання встановлена за [3, 8].

Найгірші агреговані технологічні показники мають фосфорити Одеської (Котовське родовище) та Волинської (Маневицько-Клеванські, Ратнівські жовнові фосфорити) областей – 2-1,5 бали, що пов'язано з глибоким заляганням (77-170 м) та складними затратними способами підготовки їх до внесення.

Не менш важливим, у порівнянні з іншими, є показник економічної оцінки зернистих фосфоритів України. Враховуючи обмежену базу даних щодо ефективності українських фосфоритів, пропонується їх економічну оцінку здійснювати за окупністю сільськогосподарських культур на 1 ц д.р. внесених добрив (табл. 5).

Згідно з даними табл. 5, внесення у дерново-підзолисті та сірі лісові ґрунти зернистих фосфоритів Милятинського та Копитківського родовищ забезпечує отримання приросту врожаю ячменю на 1 ц д.р. внесених фосфоритів на рівні 5,6–6,2 ц та 51–56 ц зеленої маси кукурудзи і 56-57 ц цукрових буряків, що відповідає за агрегованим показником еталонному стану (0,91-0,96).

За ефективністю дії Здолбунівським зернистим фосфоритам (0,87) поступаються Ратнівські жовнові фосфорити (0,74) та фосфоритний концентрат, що виготовлений з цих добрив (0,71), проте їх стан відповідає доброму.

Слід зазначити, що зернисті фосфорити України за показником економічної оцінки не поступаються фосфоритному борошну, відповідний агрегований показник якого складає 0,85, що відповідає еталонному стану.

Висновки. Таким чином, проведення екологічної оцінки зернистих фосфоритів за хімічними, екологічними, технологічними та економічними показниками показало доцільність їхнього використання у сільському господарстві як альтернативного джерела фосфору, кальцію і мікроелементів для рослин та меліоранта на кислих і забруднених радіонуклідами ґрунтах.

Агрегований показник економічної оцінки зернистих фосфоритів

Назви родовищ	Дерново-підзолисті ґрунти		Сірі лісові ґрунти						Агрегований показник
	1*		1*		2*		3*		
	N_i	X_i	N_i	X_i	N_i	X_i	N_i	X_i	
Здолбунівський фосфорит	4,5	0,75	5,1	0,85	58	0,97	56	0,93	0,87
Маневицько-Клеванська агроруда	5,3	0,88	4,6	0,77	-	-	-	-	0,82
Ратнівські жовнові фосфорити	5,2	0,87	3,8	0,63	-	-	-	-	0,74
Копитківські зернисті фосфорити	5,6	0,93	5,4	0,90	51	0,85	57	0,95	0,91
Милятинські зернисті фосфорити	5,8	0,97	6,2	1,0	56	0,93	56	0,93	0,96
Копитківський фосфоритний концентрат	5,6	0,93	5,8	0,97	54	0,90	46	0,77	0,89
Милятинський фосфоритний концентрат	5,8	0,97	5,6	0,93	58	0,97	47	0,78	0,91
Ратнівський фосфоритний концентрат	5,2	0,87	3,7	0,62	42	0,70	41	0,68	0,71
Фосфоритне борошно	5,0	0,83	5,2	0,87	-	-	-	-	0,85
max, ц	6,0		6,0		60		60		
min, ц	0		0		0		0		

*Примітка. Окупність в центнерах: 1 – ячмінь; 2 – кукурудза; 3 – цукровий буряк.

Література

1. Брагін Ю.М. Зернисті фосфорити України / Ю.М. Брагін. – Сімферополь : ВПП “Таврія”, 2000. – 73 с.
2. Гильпман А.И. Изучение вещественного состава и условий формирования сеноманских образований Волыни с целью оценки их перспектив переработки на зернистые фосфориты / А.И. Гильпман, В.В. Слипченко. – Днепропетровск : ДО УкрГИМР, 1993. – 54 с.
3. Душечкин А.И. Использование местных фосфоритов для удобрения с.-х. культур / А.И. Душечкин, А.В. Лазурский. – К. : Изд. АН УССР, 1955. – 8 с.
4. Енгельгардт А.Н. Избранные сочинения / А.Н. Енгельгардт. – М. : Сельхозиздат, 1959. – 342 с.
5. Кавецкий В.М. Екологічна оцінка українських фосфоритів по вмісту важких металів / В.М. Кавецкий, М.А. Макаренко, Г.О. Буожис // *Натураліс*. – 1998. – № 3-4. – С. 5-7.
6. Лапа М.А. Агрохімічна та агроекологічна оцінка використання фосфоритів і розробка шляхів підвищення їх ефективності: науковий звіт / М.А. Лапа. – К., 1997. – 48 с.
7. Литвак Ш.И. Фосфор на службе урожая / Ш.И. Литвак. – М. : Просвещение, 1979. – 134 с.
8. Носко Б.С. Фосфорити як джерело фосфорного живлення рослин / Б.С. Носко, А.О. Христенко, В.І. Бабулін // *Зб. наук. статей і доповідей*. – Луцьк : Надтир'я, 1997. – С. 102-109.
9. Фосфорити Волині / [В.А. Бардась, А.В. Бардась, І.М. Іванів, С.К. Мосійчук та ін.]. – Рівне, 2002. – 132 с.
10. Шевчук М.Й. Ефективність використання місцевих фосфоритів на основних типах ґрунтів Західного регіону України / М.Й. Шевчук, В.А. Гаврилюк // *Зб. наук. статей і доповідей*. – Луцьк : Надтир'я, 1997. – С. 19-26.
11. Lhotsky J. Method of using clayey sorbents improve the sandy soil / J. Lhotsky // *Sei agr. Bohemoslov.* – 1984, 16. – №4. – P. 231 – 244.