

Исследованные материалы могут быть рекомендованы в качестве строительных материалов, используемых для сооружения жилых зданий, где воздухообмен интенсивный, так как не превышено среднее значение $D_{\text{лег}}$ по СНГ ($350 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$ [8]) для помещений с интенсивным воздухообменом.

Основная опасность при использовании исследованного кирпича будет связана с повышенным γ -излучением ЕР стройматериалов. Для уменьшения γ -излучений ЕР рекомендуется при строительстве комбинировать кирпич с другими строительными материалами; использовать отделочные материалы, способствующие уменьшению гамма-излучений. Использование многокомпонентного бетона с включением золы возможно при условии строго дозирования данного отхода производства в качестве наполнителя (не более 30%).

Литература

1. **Крисюк Э. М.** Нормирование радиоактивности строительных материалов // Гигиена и санитария, 1980. — № 12. — С. 32–34.
2. **Крисюк Э. М.** Радиационный фон помещений. — М.: Энергоиздат, 1989. — 120 с.
3. **Ахременко С. А.** Управление радиационным качеством строительной продукции. — М.: Изд. Ассоциации строительных вузов, 2000. — 234 с.
4. **Хоботова Э. Б., Дмитриченко Л. В., Самоквит А. В., Шмырева Ю. А.** Радиационно-химическая оценка материалов, используемых в строительстве // Вестник национального технического университета «ХПИ». Сб. научных трудов. Тематич. вып. «Химия, химические технологии и экология», 2004. — № 15. — С. 123–128.
5. **Нормирование радиоактивности строительных материалов при разном виде их использования** / Э.М. Крисюк, В.И. Карпов, П. Кляус и др. // Report SAAS-250. Berlin, 1979. — S. 205–213.
6. **Сивинцев Ю. В.** Фоновое облучение человеческого организма. — М.: Атомиздат, 1960. — 165 с.
7. **Крисюк Э. М.** Радиационно-гигиеническая оценка строительных материалов: Методические рекомендации. — Л.: МЗ РСФСР, ЛНИИРГ, 1976. — 86 с.
8. **Перцов Л. А.** Ионизирующие излучения биосферы. — М.: Энергоиздат, 1973. — 287 с.

О Хоботова Э. Б., Здвигова Ю. В., Уханева М. И., 2008

УДК 661.632:546.79

Хоботова Е. Б., Уханьова М. І., Малиновська Ю. С. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

РАДІАЦІЙНО-ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ АЗОТНО-ФОСФОРНИХ ДОБРІВ

Зроблено розрахунки питомих радіоактивностей ґрунту при поверхневому та глибинному внесенні азотно-фосфорних добрив. Показано, що рівні забруднення вище ніж залишкові допустимі концентрації радіонуклідів. Рекомендовано корекція норм внесення добрив згідно їх радіоактивним властивостям.

Основний внесок (60–90%) в колективну дозу опромінювання Землі вносять природні джерела іонізуючого випромінювання, які формують природний радіаційний фон. Окрім природного радіаційного фону виділяють також техногенно змінений фон. Він визначається як випромінювання від природних джерел іонізуючого випромінювання, яке не мало б місця, якби не використовувався якийсь технологічний процес, не призначений безпосередньо

для генерування іонізуючого випромінювання. Однією з причин такого зміненого фону може бути використання добрив, що містять природні радіонукліди (ПРН), такі як ^{226}Ra , ^{40}K і ^{232}Th .

Метою роботи була радіаційно-гігієнічна оцінка впливу азотно-фосфорних добрив на ґрунти.

Експериментальне визначення питомих активностей природних радіонуклідів у зразках азотно-фосфорних добрив проводилося за допомогою гамма-спектрометричного методу з напівпровідниковим детектором. У зразках азотно-фосфорних добрив була виявлена наявність природних радіонуклідів. Первинні експериментальні дані, одержані при дослідженні азотно-фосфорних і фосфорних добрив, приведені в таблиці 1. Аналіз даних показав, що сумарна питома радіоактивність проб добрив коливається в межах від 44,3 до 4545,4 Бк/кг. Для азотно-фосфорних добрив характерна присутність трьох ПРН: ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K . Найбільша активність 4545,4 Бк/кг у проби нітроамофосу (РФ) обумовлена присутністю ^{40}K , який дає внесок 98,78% у загальну активність.

Таблиця 1. Результати γ -спектрометричного аналізу азотно-фосфорних і фосфорних добрив

№ п/п	Добрива	Питома радіоактивність, Бк/кг (внесок, %)			Сума питомих активностей, Бк/кг
		^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K	
1	Нітроамофос (РФ)	38,1 (0,84%)	17,3 (0,38%)	4490,0 (98,78%)	4545,4
2	Амофос (РФ)	15,3 (18,8%)	15,3 (18,8%)	50,8 (62,4%)	81,4
3	Суперфосфат (Україна, м. Суми)	-	411,0 (100%)	-	411,0
4	Суперфосфат (Україна, м. Донецьк)	-	21,5 (48,5%)	22,8 (51,5%)	44,3

Інше азотно-фосфорне добриво — амофос (РФ) має сумарну активність набагато нижче — 81,4 Бк/кг, проте також характеризується високим вмістом ^{40}K — 62,4%. Внески ізотопів торію і радію в зразки амофосів відносно низькі. Проте амофоси характеризуються присутністю всіх трьох вище перерахованих ізотопів на відміну від досліджених зразків суперфосфату, в якому не виявлено сумісної їх присутності.

Зразки суперфосфату (№ 3, 4) характеризуються відсутністю ізотопу ^{232}Th . У зразку № 3 виявлений тільки ізотоп ^{226}Ra , проте з достатньо високою активністю 411,0 Бк/кг. У суперфосфаті виробництва м. Суми відсутній ізотоп ^{40}K . Це окремий випадок для фосфорних добрив, який з позитивної сторони може характеризувати початкову сировину, оскільки ^{40}K володіє високою біологічною активністю. Активність ізотопу ^{40}K , присутнього в зразку суперфосфату № 4 складає 51,5%. Порівняння з даними для Росії [1] показує, що в дослідженому суперфосфаті відсутні ^{238}U і ^{232}Th , активність ^{226}Ra набагато вище, а активність ^{40}K в 6 разів вище.

Вміст деяких природних радіонуклідів в азотно-фосфорних добривах виявився нижчим, ніж середнє значення по Україні [2]. Наприклад, питома активність ^{232}Th в зразку № 2 амофосу в 1,5 разів нижче, ніж середня по Україні (24 Бк/кг), так само і з величиною питомої активності ^{226}Ra (середнє значення по Україні — 22 Бк/кг [2]). Зразок суперфосфату № 3 (м. Суми) характеризується шестикратним перевищенням середнього значення питомої активності ^{226}Ra по Україні, яке складає 67 Бк/кг [2]. Зразок суперфосфату № 4 — навпаки

зниженим значенням активності радію, але перевищенням активності ^{232}Th в 1,5 разу порівняно зі середнім значенням.

Порівняння з даними НКДАР ООН [3] по середнім активностям радіонуклідів показує, що для зразків № 1 і 2 перевищено рівень активності по ^{232}Th (14, 4 Бк/кг), а для зразка № 3 — по ^{226}Ra (370 Бк/кг).

Згідно нормам радіаційної безпеки [4], питома активність природних радіонуклідів в азотно-фосфорних добривах і меліорантах не повинна перевищувати

$$A_U + 1,2A_{Th} \leq 2,8 \text{ кБк/кг,}$$

де A_U і A_{Th} — питомі активності ^{238}U (або ^{226}Ra) і ^{232}Th (або ^{228}Th), які знаходяться в рівновазі з іншими членами уранового і торієвого сімейств. Ця вимога досягається для усіх зразків добрив.

Розрахунок рівнів забруднення ґрунтів радіонуклідами ведеться з урахуванням норм внесення азотно-фосфорних добрив в ґрунт. Дози азотно-фосфорних і фосфорних добрив залежать від особливостей культури, під яку вони вносяться, від властивості ґрунту і від багатьох інших умов. У таблиці 2 приведені найвищі норми внесення азотно-фосфорних і фосфорних добрив. Для плодкових і ягідних культур доза коливається у межах 45–120 кг/га у перерахунку на P_2O_5 [6].

Таблиця 2. Норми внесення азотно-фосфорних і фосфорних добрив у ґрунт [5]

№ п/п	Добрива	Дози внесення добрив у ґрунт	
		г добрива / м ²	кг добрива / га
1	Нітроамофос	15	$0,15 \cdot 10^3$
2	Амофос	20	$0,2 \cdot 10^3$
3	Суперфосфат	50–60	$(0,5–0,6) \cdot 10^3$

При внесенні добрива на поверхню ґрунту радіонукліди цього добрива також концентруються у його поверхневому шарі. Отже, розрахуємо поверхневу активність ґрунту за наступною формулою

$$C_{\text{поверхн.}} = \sum C_{\text{ПРН}} \cdot D, \text{ Бк/га,} \quad (1)$$

де $\sum C_{\text{ПРН}}$ — сума питомих активностей радіонуклідів у азотно-фосфорних добривах, Бк/кг (табл. 1); D — доза внесення добрива, кг/га (табл. 2).

Порівняння з даними для Харківської області по сумарному внесенню з добривами радіонуклідів урану-238 та торію-232 [3] показує, що тільки для суперфосфату (Україна, м. Суми) спостерігається 20-кратне перевищення середніх значень $24,7 \cdot 10^5$ Бк/м² проти $1,23$ Бк/м². Результати розрахунків наведено у таблиці 3.

Таблиця 3. Результати розрахунків поверхневої активності при забрудненні ґрунтів радіонуклідами азотно-фосфорних добрив

№ п/п	Добрива	Сумарна поверхнева активність ґрунту, Бк/га	Поверхнева активність ґрунту по ^{226}Ra і ^{232}Th , Бк/га	Поверхнева активність ґрунту по ^{226}Ra і ^{232}Th за 50 років, Бк/м ²
1	Нітроамофос (РФ)	$6,82 \cdot 10^5$	$8,31 \cdot 10^3$	41,6
2	Амофос (РФ)	$1,63 \cdot 10^4$	$6,12 \cdot 10^3$	30,6
3	Суперфосфат (Україна, м. Суми)	$2,47 \cdot 10^5$	$2,47 \cdot 10^5$	1235
4	Суперфосфат (Україна, м. Донецьк)	$2,21 \cdot 10^4$	$1,08 \cdot 10^4$	54

При оранці землі добрива і радіонукліди переміщуються углиб ґрунтів, займаючи певний об'єм. Іншими словами, дана активність $C_{\text{поверхн}}$ ПРН розподіляється за профілем ґрунту. Таким чином, питому активність ґрунту можна розрахувати за співвідношенням:

$$C_{\text{ґрунт}} = \frac{C_{\text{поверхн.}}}{V \cdot \rho}, \quad (2)$$

де $C_{\text{ґрунт}}$ — питома активність ґрунту, Бк/кг ґрунту; V — об'єм ґрунту, що розраховується за формулою:

$$V = S \cdot h, \quad (3)$$

S — площа 1 га (10^4 м^2); h — глибина ґрунту при перекопуванні, дорівнює 0,3 м; $\rho_{\text{ґрунт}} = 1 - 1,6 \text{ г/см}^3$ ($\bar{\rho} = 1,3 \text{ г/см}^3 = 1300 \text{ кг/м}^3$).

Результати розрахунків наведено у таблиці 4. Природний вміст ПРН у ґрунті коливається у межах: ^{238}U – 10-50 Бк/кг та ^{232}Th – 7-50 Бк/кг. За 50 років у ґрунті накопичується питома активність за ^{226}Ra і ^{232}Th , яка нижче за природного рівня (без обліку радіоактивного розпаду).

Таблиця 4. Результати розрахунків питомої активності при забрудненні ґрунтів радіонуклідами азотно-фосфорних добрив

№ п/п	Добрива	Сумарна поверхнева активність ґрунту, Бк/га	Поверхнева активність ґрунту по ^{226}Ra і ^{232}Th , Бк/га	Поверхнева активність ґрунту по ^{226}Ra і ^{232}Th за 50 років, Бк/м ²
1	Нітроамофос (РФ)	$1,749 \cdot 10^{-1}$	$2,13 \cdot 10^{-3}$	0,11
2	Амофос (РФ)	$4,18 \cdot 10^{-3}$	$1,57 \cdot 10^{-3}$	0,079
3	Суперфосфат (Україна, м. Суми)	$6,33 \cdot 10^{-2}$	$6,3 \cdot 10^{-2}$	3,15
4	Суперфосфат (Україна, м. Донецьк)	$5,67 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	0,14

Справжня небезпека, пов'язана із забрудненням ґрунту ПРН, може бути з'ясована порівнянням питомої активності ґрунту із залишковою допустимою концентрацією ПРН у ґрунті, яка розраховується на основі допустимих рівнів забруднення продуктів харчування.

Порівняння розрахованих питомих активностей ПРН та їх залишкових допустимих концентрацій у ґрунтах показало, що рівень допустимого радіаційного забруднення перевищений.

Значна частина азотно-фосфорних добрив засвоюється рослинами. При дотриманні норм внесення добрив в ґрунт звичайно не виникає проблем з їх залишковими кількостями. Але можлива і інша ситуація. Якщо в ґрунті накопичується надмірна кількість фосфорних або азотно-фосфорних добрив, то виникає антропогенне навантаження на ґрунт, оскільки фосфорні добрива є джерелом надходження в ґрунт комплексу рідкоземельних елементів, миш'яку, стронцію, калію, а також радіонуклідів [7]. Таким чином, надлишок фосфорних добрив може розглядатися як сукупність забруднюючих речовин.

Розрахунковий метод залишкової допустимої концентрації (ЗДК) забруднюючих речовин в ґрунті заснований на використанні нормативів з допустимих залишкових кількостей ксенобіотиків (ДЗК) в продуктах харчування рослинного походження. Розрахунок $\text{ЗДК}_{\text{добр.}}$ може проводитися за формулою

$$ЗДК_{\text{добр.}} = 1,23 + 0,48 \cdot \lg ДЗК, \quad (4)$$

де ЗДК — залишкова допустима концентрація забруднюючих речовин у ґрунті, мг/кг; ДЗК — допустима залишкова кількість забруднюючих речовин (для продуктів харчування), мг/кг.

Оскільки дані по ДЗК для фосфорних добрив відсутні, то можна скористатися розрахунковим методом, згідно якому ДЗК визначають по величині максимальної недіючої дози (МНД) за формулою:

$$ДЗК = \frac{0,8 \cdot МНД_{\text{люд.}}}{0,9}, \quad (5)$$

яка припускає, що 80% забруднюючих речовин, в нашому випадку — фосфорних добрив, поступає за добу з їжею, а 0,9 кг — це їжа рослинного походження; МНД_{люд.} — максимальна недіюча доза для людини, яка розраховується за наступною формулою:

$$МНД_{\text{люд.}} = \frac{МНД_{\text{тв.}}}{K_6}, \quad \text{мг/кг}, \quad (6)$$

де K_6 — коефіцієнт небезпеки. Оскільки фосфорні добрива є сполуками, що володіють помірною стійкістю і слабкою кумуляцією, то для них значення K_6 мінімально і рівне 50; МНД_{тв.} — максимальна недіюча доза для тварин, мг/кг. МНД_{тв.} визначається в дослідях на тваринах або розрахунковим шляхом з урахуванням кумулятивних властивостей сполук за шкалою Красовського з використанням ЛД₅₀ за формулою

$$МНД_{\text{тв.}} = \frac{ЛД_{50}}{100}, \quad (7)$$

де ЛД₅₀ — середньолітальна доза, визначена в дослідях на тваринах. Для азотно-фосфорних добрив ЛД_{50 тв.} складає 8,67 г/кг [8]; 100 — емпіричний коефіцієнт для малокумулятивних речовин.

Таким чином, значення максимальної недіючої дози дорівнює

$$МНД_{\text{тв.}} = \frac{8,67}{100} = 86,7 \text{ мг/кг},$$

$$МНД_{\text{люд.}} = \frac{86,7}{50} = 1,73 \text{ мг/кг}.$$

Значення ДЗК складає

$$ДЗК = \frac{0,8 \cdot 1,73}{0,9} = 1,54 \text{ мг/кг}.$$

Звідси, значення ЗДК_{добрив.} дорівнює

$$ЗДК_{\text{добр.}} = 1,23 + 0,48 \cdot \lg 1,54 = 1,23 + 0,48 \cdot 0,19 = 1,32 \text{ мг/кг ґрунту}.$$

Знаючи питому активність ПРН в азотно-фосфорних добривах (табл. 1), розраховуємо ЗДК кожного радіонукліда в ґрунті. Спочатку визначимо залишкову активність ПРН в ґрунті за формулою

$$С_{\text{ПРН ґрунт}} = ЗДК_{\text{добр.}} \cdot С_{\text{ПРН}}, \quad (8)$$

де $C_{\text{ПРН}}_{\text{грунт}}$ — залишкова активність радіонуклідів, Бк/кг ґрунту; $C_{\text{ПРН}}$ — питома активність ПРН у азотно-фосфорних добривах, Бк/кг добрив.

Результати розрахунків наведено у таблиці 5. ЗДК кожного радіонукліда у ґрунті визначаємо через періоди напіврозпаду ПРН. Оскільки радіоактивна постійна визначається як відношення активності до загального числа атомів нукліда

$$\lambda = \frac{c}{a}, \quad (9)$$

то

$$a = \frac{c}{\lambda} = \frac{c \cdot T}{0,693}, \quad (10)$$

де T — період напіврозпаду ПРН, с (Торій-232 — $T_{1/2}=1,39 \cdot 10^{10}$ років; Радій-226 — $T_{1/2}=1622$ роки; Калій-40 — $T_{1/2}=1,31 \cdot 10^9$ років); c — залишкова активність ПРН, Бк/кг; a — загальна кількість атомів нукліда.

Таблиця 5. Результати розрахунків залишкової $C_{\text{ПРН}}$ и ЗДК $_{\text{ПРН}}$ у ґрунтах для зразків азотно-фосфорних добрив

№ п/п	Добрива	Залишкова $C_{\text{ПРН}}$ у ґрунті, Бк/кг ґрунту			ЗДК $_{\text{ПРН}}$ у ґрунті, мг/кг ґрунту		
		²³² Th	²²⁶ Ra	⁴⁰ K	²³² Th	²²⁶ Ra	⁴⁰ K
1	Нітроамофос (РФ)	$5,03 \cdot 10^{-5}$	$2,28 \cdot 10^{-5}$	$5,93 \cdot 10^{-3}$	$1,23 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-13}$	$2,35 \cdot 10^{-5}$
2	Амофос (РФ)	$2,02 \cdot 10^{-5}$	$2,02 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$4,92 \cdot 10^{-6}$	$5,59 \cdot 10^{-13}$	$2,65 \cdot 10^{-7}$
3	Суперфосфат (Україна, м. Суми)	-	$5,42 \cdot 10^{-4}$	-	-	$1,5 \cdot 10^{-11}$	-
4	Суперфосфат (Україна, м. Донецьк)	-	$2,84 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	-	$7,87 \cdot 10^{-13}$	$1,19 \cdot 10^{-7}$

Для переведу залишкової активності ПРН ($C_{\text{ПРН}}_{\text{грунт}}$) у ЗДК $_{\text{ПРН}}$ слід застосувати пропорцію

$$M \quad \text{—} \quad 6,02 \cdot 10^{23} \text{ атомів}$$

$$\text{ЗДК}_{\text{ПРН}} \quad \text{—} \quad \frac{C_{\text{ПРН}} \cdot T}{0,693} \text{ атомів.}$$

Звідси

$$\text{ЗДК}_{\text{ПРН}} = \frac{M \cdot C_{\text{ПРН}} \cdot T}{0,693 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}, \quad (11)$$

де M — молярна маса радіонуклідів, моль; $6,02 \cdot 10^{23}$ — число Авогадро.

Результати розрахунку $C_{\text{ПРН}}$ і ЗДК $_{\text{ПРН}}$ у ґрунтах зведені у табл. 5. Виходячи з результатів розрахунку видно, що залишкова активність радіонуклідів в ґрунті менше ніж їхня питома активність при внесенні від 29 до 117 разів. Таким чином, досліджені азотно-фосфорні добрива дають достатньо високий рівень забруднення ґрунту радіонуклідами в порівнянні з можливим залишковим. Кратність зниження норм внесення добрив можна встановити по відношенню сумарної питокої активності ґрунту $C_{\text{грунт}}$ (таблиця 4) і сумарної залишкової активності радіонуклідів у ґрунті (таблиця 5)

$$K = \frac{C_{\text{грунт}}}{\sum C_{\text{ПРНзалишк.}}} \quad (12)$$

Рекомендована норма внесення добрив (N) рівна відношенню

$$N = \frac{D}{K}, \quad (13)$$

де D — доза внесення добрива (таблиця 2).

Таблиця 6. Кратність зниження норм внесення добрив (K) та рекомендовані норми (N)

№ зразку добрива	K	N, кг/га
1	29	5,2
2	39	5,1
3	117	4,7
4	97	5,7

Результати розрахунку надані в таблиці 6. Судячи за розрахунками, дотримання радіаційної безпеки призводить до істотного зниження норм внесення добрив.

Література

1. Коваленко Г. Д., Рудя К. Г. Радиоэкология Украины. — К.: Издательско-полиграфический центр «Київський університет», 2001. — 167 с.
2. Шафран С. А. Комплексные минеральные удобрения // Химизация сельского хозяйства, 1989,. — Изд. 11. — С. 26.–31.
3. Гриценко А. В., Коваленко Г. Д. Радиоэкология регионов Украины: Харьковская область. — Харьков: ИД «ИНЖЭК», 2003. — 123 с.
4. Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97). К, 1998. —159 с.
5. Иванов И. А., Иванова В. Ф. О равномерности внесения удобрений // Химизация сельского хозяйства, 1988. — № 9. — С. 112.
6. Копитко П. Г. Удобрения плодовых і ягідних культур. — К.: Вища школа, 2001. — 206 с.
7. Охорона ґрунтів: Навч. посібник/ М. К. Шикуча, О. Ф. Ігнатенко, Л. Р. Петренко, М. В. Капштик. — К.: Т-во «Знання». КОО, 2001. — 398 с.
8. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества: Справ. изд. / В.А. Баженов, Л.А. Булдаков, И.Я. Василенко и др.; под ред. В.А. Филова и др. — Л.: Химия, 1990. — 464 с.

О Хоботова Е. Б., Уханьова М. І., Маліновська Ю. С., 2008

УДК 662.215

Біда Н. Ю., Галіакберова Ф. Н. (ДонНТУ), Манжос Ю. В. (МакНДІ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДОМІСТКИХ ПРОМИСЛОВИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

У статті наведені етапи дослідження властивостей компонентів промислових водомістких вибухових речовин з метою створення рецептури нової емульсійної ВР. Наведено показники розчинності селітр, що створюють матковий розчин та їх стабільності у часі. Обрано склад ВР, розраховано