

РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ҐРУНТУ ЗА ВМІСТОМ ПРИРОДНОГО РАДІОНУКЛІДУ КАЛІЙ-40

Дунаєвська О.Ф., Сокульський І.М., Ковальчук О.М., Махінько Р.Г.

Поліський національний університет

бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир

oksana_fd@ukr.net, sokulskiy_1979@ukr.net, olehkovalchuk1102@gmail.com, vse-svit@ukr.net

З моменту відкриття іонізуючого випромінювання наукова спільнота вивчає його дію на організм людини. Після аварії на ЧАЕС дослідження були зосереджені, переважно, вивченню активності та міграції ^{137}Cs та ^{90}Sr у складових довкілля. На підставі таких радіоекологічних досліджень була проведена мінімізація наслідків аварії, здійснені ефективні контрзаходи, встановлені норми опромінення різних категорій населення, розподіл території України на зони радіоактивного забруднення, розроблені допустимі рівні основних дозоутворюючих радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у воді та продуктах харчування. У сьогоденні питання радіаційної безпеки актуальне у зв'язку з воєнними діями та ядерним тероризмом.

Джерела природного походження, зокрема, радіонуклід ^{40}K , викликає зовнішнє і внутрішнє опромінення людини, його внесок у сумарну річну дозу опромінення оцінюється в 6,5 % та може сягати 180 мкЗв. Його вміст не нормується у продуктах харчування, але нормується у глиняному, порцеляно-фаянсовому і скляному посуді побутового призначення та будівельних матеріалах, мінеральній сировині.

Відомо, що різні типи ґрунти по-різному накопичують ^{40}K : від 90 Бк/кг (торф'янистий) до 700 Бк/кг (бурий). Потужність поглиненої дози у повітрі найменша на рівні 1 м від поверхні торф'янистого ґрунту (10 нГр/год). З 1 га дерново-опідзолених піщаних ґрунтів Житомирщини виноситься майже 81,5 Бк ^{40}K . Науковці виділили території України з вагомою природною радіоактивністю ґрунтів (питома радіоактивність більша за 850 Бк/кг): Запорізька, Вінницька, Кіровоградська, Черкаська, Київська області.

Зразки ґрунту відбирали за периметром села Обиходи Коростенської міської громади та на березі річки Олешня. Дослідження проб ґрунту проводили радіометричним методом у сертифікованій вимірювальній лабораторії Поліського національного університету.

Результатами досліджень встановлено, що найбільшу радіоактивність за ^{40}K мали проби з берегової лінії річки (254,0 Бк/кг). На півдні села забруднення ^{40}K розподілялось рівномірно: від 130,0 Бк/кг до 137,0 Бк/кг. Найнижчий вміст радіонукліда ^{40}K зафіксовано на заході: від 82,1 Бк/кг до 93,1 Бк/кг. На півночі села питома активність ^{40}K у ґрунті становила від 104,0 Бк/кг до 128,0 Бк/кг. На сході села Обиходи питома активність сягає 160,0 Бк/кг. *Ключові слова:* ^{40}K , ґрунт, питома активність, радіоекологічний моніторинг, радіоактивне забруднення.

Results of the radioecological monitoring of soil for the content of natural radionuclide potassium-40. Dunaievsk O., Sokulskyi I., Kovalchuk O., Makhinko R.

The scientific community has been studying its effects on the human body since the ionising radiation had discovered. Following the Chernobyl accident, research focused mainly on the activity and migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in environmental constituents. Based on such radioecological studies, the consequences of the accident were minimised, effective countermeasures were implemented, exposure standards for various categories of the population were established, the territory of Ukraine was divided into radioactive exclusion zones, and permissible levels of the main dose-forming radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in water and food were developed. Today, the issue of radiation safety is relevant in connection with military operations and nuclear terrorism.

Sources of natural origin, in particular, the radionuclide ^{40}K , cause external and internal exposure to humans; its contribution to the total annual dose is estimated at 6.5% and can reach 180 μSv . Its content in food is not regulated, but it is regulated in clay, porcelain, earthenware and glassware for household use and in building materials and mineral raw materials.

It is known that different types of soil accumulate ^{40}K in different ways: from 90 Bq/kg (peaty) to 700 Bq/kg (brown). The absorbed dose rate in the air is lowest at the level of 1 m from the surface of peaty soil (10 nGy/h). Almost 81.5 Bq of ^{40}K are released from 1 hectare of soddy-podzolized sandy soils in the Zhytomyr region. Scientists have identified the territories of Ukraine with significant natural radioactivity of soils (specific radioactivity exceeds 850 Bq/kg): Zaporizhia, Vinnytsia, Kirovohrad, Cherkasy, and Kyiv regions.

Soil samples were collected around the perimeter of the village of Obykhody in the Korosten municipality, and on the bank of the Oleshnya River. The soil samples were analysed using the radiometric method at the certified Measurement Laboratory of Polissia National University.

The results of the study showed that the samples from the river bank had the highest ^{40}K radioactivity (254.0 Bq/kg). In the south of the village, ^{40}K contamination was distributed evenly: from 130.0 Bq/kg to 137.0 Bq/kg. The lowest content of ^{40}K radionuclide was recorded in the west: from 82.1 Bq/kg to 93.1 Bq/kg. In the north of the village, the specific activity of ^{40}K in the soil ranged from 104.0 Bq/kg to 128.0 Bq/kg. In the east of the village of Obykhody, the specific activity reaches 160.0 Bq/kg. *Key words:* ^{40}K , soil, specific activity, radioecological monitoring, radioactive contamination.

Постановка проблеми. Життя людини на Землі супроводжується постійною дією іонізуючого випромінювання. Після застосування атомної бомби у 1945 році велике зацікавлення у науковому середовищі викликала дія іонізуючого випромінювання на організм людини. Після аварії на ЧАЕС дослідження включали міграцію радіонуклідів, переважно, ^{137}Cs та ^{90}Sr у складових довкілля. Була розроблена та втілена система мінімізації наслідків такої глобальної катастрофи [1] та впроваджені ефективні контрзаходи, встановлені норми опромінення різних категорій населення [2]. Важливу роль відіграв радіоекологічний моніторинг [3], за результатами якого відбувся поділ України на зони радіоактивного забруднення [4] та розроблені допустимі рівні ^{137}Cs та ^{90}Sr у воді та продуктах харчування [5]. Питання радіаційної безпеки набуло актуальності у зв'язку з ядерним тероризмом [6]. Однак, не слід забувати про опромінення від джерел природного походження, зокрема, про радіонуклід ^{40}K , який зумовлює зовнішнє і внутрішнє опромінення людини та внесок якого у сумарну річну дозу опромінення оцінюється в 6,5 % та може сягати 180 мкЗв [7]. Проте, його вміст не нормується у продуктах харчування [5], а лише у глиняному, порцеляно-фаянсовому і скляному посуді побутового призначення та будівельних матеріалах, мінеральній сировині [2].

Актуальність дослідження. Актуальність проведення радіаційного моніторингу радіонукліду ^{40}K зумовлена не лише його внеском у дозу опромінення населення. Згідно останніх наукових досліджень нафтогазодобування призводить до радіаційного забруднення довкілля, опромінення персоналу, утворення радіоактивних відходів. А радіоактивність нафтоводяної композиції подекуди перевищувати питому активність відпрацьованих вод атомних електростанцій у 30 разів [8]. Для забезпечення екологічної безпеки необхідно розробити стратегію на державному рівні, яка має передбачити правила поводження з обладнанням, відходами цієї промисловості, яка є забруднена радіонуклідами природного походження [9]. Урановидобувна промисловість також збільшує дозове навантаження на довкілля і людину [10].

Будівельні матеріали, що містять природні радіонукліди, серед яких ^{40}K , можуть формувати до 70 % річної ефективної дози опромінення населення [11].

^{40}K міститься у ґрунтах різних видів. Дослідженнями встановлено, що його вміст до рослини перевищує надходження ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th [12]. Тому вивчення питомої активності ґрунту за цим радіонуклідом є важливим завданням.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями забезпечується виконанням розділу теми науково-дослідної роботи «Моніторингові дослідження біосфери Українського Полісся», затвердженої у Міністерстві

освіти і науки України (державний реєстраційний номер 0124U000645).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення питомої активності ґрунту за радіонуклідом ^{40}K демонструє, що різні типи ґрунти по-різному його накопичують: від 90 Бк/кг (торф'янистий) до 700 Бк/кг (бурий). Відповідно, і потужність поглиненої дози у повітрі найменша на рівні 1 м від поверхні торф'янистого ґрунту (10 нГр/год) [7]. Існує велика ймовірність збільшення питомої активності ґрунту за радіонуклідом ^{40}K при видобуванні корисних копалин, під час яких радіоактивна пластова вода розливається на ґрунт, призводячи до надходження радіонуклідів [8]. З 1 га дерново-опідзолених піщаних ґрунтів Житомирщини виноситься майже 81,5 Бк ^{40}K [12]. До ґрунту радіонукліди, в тому числі і ^{40}K , можуть надійти при зрошенні, так, у воді Дніпровського водосховища питома активність за ^{40}K сягає 4,9 Бк/л, що в 20 разів більше, ніж активність за ^{137}Cs та в 70 разів вища, ніж за ^{90}Sr [13]. Багаторічні дослідження науковців дозволили виокремити території України з вагомою природною радіоактивністю ґрунтів (питома радіоактивність більша за 850 Бк/кг): Запорізька, Вінницька, Кіровоградська, Черкаська, Київська області [14].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Радіоекологічний моніторинг є важливою складовою державної системи моніторингу довкілля для забезпечення екологічної безпеки. Більшість таких моніторингових досліджень спрямовані на вивчення показників міграції, активності ^{137}Cs та ^{90}Sr , які надійшли у довкілля внаслідок аварії на ЧАЕС. Тому, зважаючи на вагомий внесок природних радіонуклідів, зокрема, ^{40}K у сумарну річну дозу опромінення населення, необхідно втілити в радіоекологічний моніторинг збір інформації та визначення вмісту ^{40}K у складових довкілля, в першу чергу, у ґрунті.

Новизна. Наше дослідження дозволило провести аналіз питомої активності земель різного призначення за ^{40}K та визначити можливість використання для сільськогосподарського виробництва.

Методологічне або загальнонаукове значення. Україна, як аграрна країна і значна частина міжнародної спільноти, вивчає можливості використання нетрадиційних земель для кормовиробництва, рослинництва, тваринництва. Такий підхід дозволить реалізувати стратегії сталого розвитку в контексті продовольчої безпеки.

Викладення основного матеріалу. Зразки ґрунту відбирали за периметром села Обиходи Коростенської міської громади та на березі річки Олешня. Обиходи розташовані на сході Коростенщини (рис. 1). Проби відбирали за допомогою бура БП-25-15 на глибині 0–25 см методом конверта. Такі «конверти» розташовувалися через кожні 100 м і мали семикратну повторюваність в одній точці, що відмічена на карті (рис. 2). З точкових проб формували зразок для ана-



Рис. 1. Картографічне знаходження села Обиходи

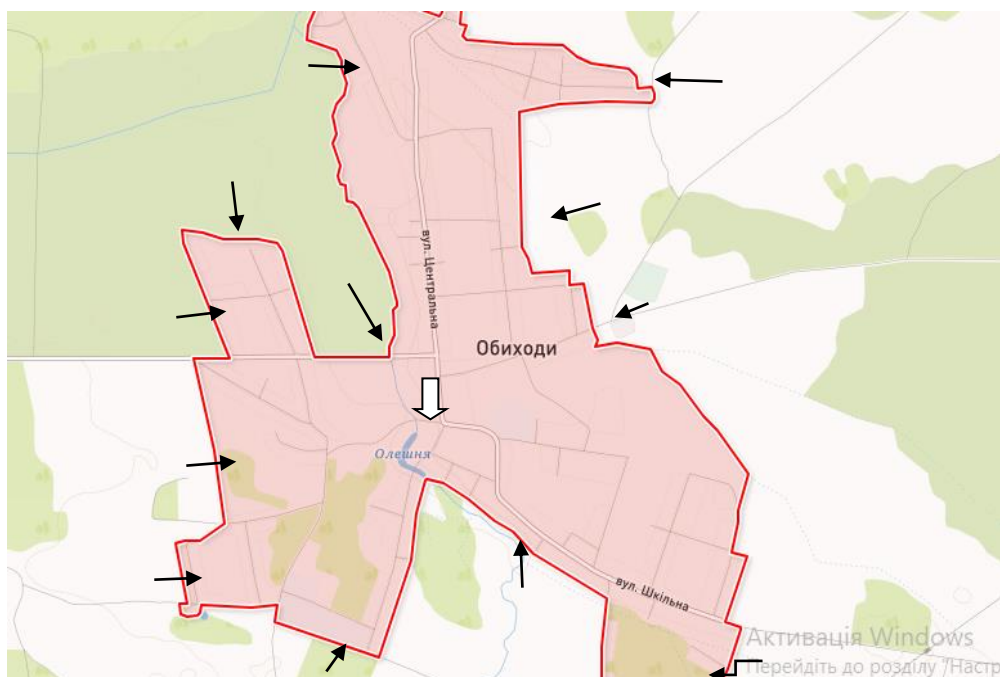


Рис. 2. Місця відбору проб ґрунту у селі Обиходи

лізу вагою не менше 1 кг. Перед визначенням питомої активності з підготовленого ґрунту вилучали нетипові домішки. Дослідження проб ґрунту проводили радіометричним методом у сертифікованій вимірювальній лабораторії Поліського національного університету.

Результатами досліджень встановлено, що найбільшу радіоактивність за ^{40}K мали проби на межі річки і берегової лінії: $254,0 \pm 72,2$ Бк/кг. Суттєвих відмінностей між лівим і правим берегом не виявлено. На півдні села забруднення ^{40}K розподіля-

лось рівномірно: від $130,0 \pm 40,2$ Бк/кг (південний захід) до $137,0 \pm 16,6$ Бк/кг (південний схід). У найближчій південній точці до річки Олешня питома радіоактивність дорівнювала $132,0 \pm 35,0$ Бк/кг. Найменше знаходилося радіонукліда ^{40}K у трьох західних точках: від $93,1 \pm 34,1$ Бк/кг (північніше) до $87,5 \pm 29,6$ Бк/кг і $82,1 \pm 33,9$ Бк/кг (південніше). На північних точках відбору питома активність ^{40}K поступово збільшувалася: $104,0 \pm 36,6$ Бк/кг, $114,0 \pm 38,1$ Бк/кг, $121,0 \pm 34,0$ Бк/кг, $128,0 \pm 36,7$ Бк/кг. На сході села Обиходи питома активність зростає

з південнішої точки до північнішої: 151,0±39,8 Бк/кг, 153,0±43,1 Бк/кг, 160,0±43,4 Бк/кг. Дослідження природних радіонуклідів відбувається в різних країнах світу. Так, визначення питомої активності радіоактивного ізотопу ^{40}K у ґрунтах окремих районів міста Наджаф (Центральний Ірак) мало найнижче значення 208,19 Бк/кг, а найвище – 530,18 Бк/кг із середнім значенням 349,86 Бк/кг [15]. У Ефіопії в районі зони Метекель питома активність зразків ґрунту становила 330 Бк/кг [16]. Таким чином, вміст ^{40}K в ґрунті села Обиходи менший за деякі місцевості Ефіопії та Іраку, що свідчить про його нерівномірний розподіл. Отримані й ґрунтовні дослідження вмісту ^{40}K у тропічних фруктах та коефіцієнтах переходу з ґрунту до рослин і розподілу в них. Встановлено, що коефіцієнт переходу для ^{40}K вищий в 24,5–90,5 разів в залежності від виду плоду і ^{40}K рівномірно розподіляється в різних органах рослин аналогічно з ^{137}Cs [17]. У ґрунті Тайваню дослідження встановили високу концентрацію ^{40}K – 609 Бк/кг. Нелущений рис накопичував до 10 % ґрунтового ^{40}K , найбільше його переходило в стебла і листя рослини [18]. Сектор Лішава Румунії має досить високий вміст у ґрунті ^{40}K – 543 Бк/кг [19].

У підсобних господарствах радіоактивно забруднених територій населення успішно вирощує кіз та птицю (курей, гусей, качок) [20]. Така продукція відповідає вимогам безпеки ДР-2006 [5]. Для зменшення вмісту ^{40}K в ґрунті можна започаткувати вирощування певних культур, які його накопичують у великих концентраціях, після яких суттєво зменшується його вміст [12].

Важливість радіоекологічного моніторингу зростає в умовах війни, пошкодженні атомних станцій і загрози аварій на них, можливого використання ядерної зброї. На жаль, в Україні не проводяться системні визначення природних радіонуклідів в складових довкілля. Наші дослідження започаткували їх у зоні радіоактивного забруднення (обов'язкового відселення).

Головні висновки. Питома активність радіонукліду ^{40}K , який вважається земного походження, у ґрунті різних типів та географічного розташування нерівномірна.

Радіометричний аналіз ґрунту села Обиходи Коростенської міської громади Житомирської області встановив, що питома активність радіонукліду ^{40}K залежить від географічного розташування та наявності водного об'єкта. В ґрунті берега річки Олешка найвища його концентрація – 254,0 Бк/кг. Найменша радіоактивність відмічена на заході населеного пункту – 82,1 Бк/кг.

Перспективи використання результатів дослідження. Нами започатковано і апробовано дослідження питомої активності ^{40}K в ґрунті. Необхідно продовжити такі визначення і розробити паспорт питомої активності ^{40}K , оскільки він може вносити суттєвий вклад в опромінення населення.

Література

1. Чоботько Г.М., Райчук Л.А., Швиденко І.К., Уманський М.С. Від кризи до відновлення: наукові здобутки інституту агро-екології і природокористування НААН у мінімізації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС. *Агро-екологічний журнал*. 2024. № 2. С. 6-16. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2024.305647>
2. Державні гігієнічні нормативи «Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)» : Постанова № 62 від 01.12.97 МОЗ України. <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0062282-97>.
3. Дунаєвська О.Ф., Зимарова А.А., Іщук О.В., Сокульський І.М., Піциль А.О. Особливості та результати проведення радіо-екологічного моніторингу для забезпечення екологічної безпеки в сучасних умовах. *Екологічні науки*. 2024. № 5 (56). С. 216-220. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.40>
4. Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи : Закон України від 27.02.1991 № 791а-ХІІ. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/791%D0%B0-12> (дата звернення 24.11.2024).
5. Державні гігієнічні нормативи «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів Cs 137 та Sr 90 у продуктах харчування та питній воді» : Наказ МОЗ України 03.05.2006 № 256. *Офіційний вісник України*. 2006. № 29. С. 142, Ст. 2114.
6. Дунаєвська О.Ф., Сокульський І.М., Мельник Н.В., Піциль А.О. Екологічні проблеми сільського господарства в умовах воєнного стану. *Екологічні науки*. 2024. № 1 (52). С. 22-27. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.3>
7. Полякова І. О. Прихована радіаційна небезпека від джерел природного походження. *Engineering sciences: development prospects in countries of Europe at the beginning of the third millennium: Collective monograph. Volume 2*. Riga : Izdevnieciba "Baltija Publishing", 2018. С. 269-296.
8. Гриценко А. В., Дмитрієва О. О., Вітько В. І., Ткачова О. В. Підвищення радіаційної безпеки нафтогазових родовищ. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук. статей XVII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 13-17 вересня 2021 р.) / УКРНДІЕП. Харків : ПП «Стиль-Іздат», 2021. С. 7-14.
9. Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації : Рішення Ради національної безпеки і оборони України від 23 березня 2021 року. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0018525-21#n2> (дата звернення 24.03.2025)
10. Топольний Ф. П., Гелевера О. Ф. Життя в краю підвищеної радіації. Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2019. 125 с. URL : <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/14843> (дата звернення 24.03.2025)
11. Dolina L. F., Kilovy V. P., Astakhov D. V., Kalimbet M. V. Monitoring of radioactivity at dnurt campus. *Science and Transport Progress*. 2021. № 3 (63). С. 49–59. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/74712>
12. Куценко М.І. Інтенсивність накопичення радіонуклідів вегетативною масою фацелії пижмолистої. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 139. Ч. 1. С. 273-279.

13. Байдак Л. А. Радіоекологічна складова вчення про техногенну трансформацію прісноводних екосистем. ретроспектива та сьогодення. *Дослідження з історії і філософії науки і техніки*. 2018. Вип. 26–27. С. -89. DOI: <https://doi.org/10.15421/2618012>
14. Булигін С.Ю., Вітвіцький С.В., Буланий О.В., Тонха О.Л. Моніторинг якості ґрунтів. К.: Видавництво НУБіП України, 2019. 421с
15. Department of Environment, Ministry of Oil, Basra Oil Company, Basra, Iraq. Determining The Specific Activity of Radioactive Isotopes of, ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{40}K , ^{137}Cs in The Soils of Selected Areas of Najaf city – Central Iraq. International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA) (09.11.2022, Ankara, Turkey). 2022. pp. 1-7. DOI: 10.1109/HORA55278.2022.9799995
16. Tadesse Abate. The Activity Concentrations of Radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K of Soil Samples in the Case of Metekel Zone, Ethiopia. *EPJ Nuclear Sci. Technol.* 2022. **8** (14). P. 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1051/epjn/2022011>
17. H. Velasco, R.M. Anjos. A review of ^{137}Cs and ^{40}K soil-to-plant transfer factors in tropical plants. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2021. Vol. 235-236. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106650>
18. Huang W-H, Chen T-C, Lin S-C, Chen Z-M, Yeh Y-L. Assessment Activity Concentrations of Rice Components (Root, Stem, Leaf, and Grain) and Transfer Factors (TF) from Paddy Soil to Rice Grain of Radionuclides ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{137}Cs Investigation in Taiwan. *Agronomy*. 2025. № 15(1). P. 23. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15010023>
19. Ion A, Cosac A, Ene VV. Natural Radioactivity in Soil and Radiological Risk Assessment in Lişava Uranium Mining Sector, Banat Mountains, Romania. *Applied Sciences*. 2022. № 12(23). P. 12363. DOI: <https://doi.org/10.3390/app122312363>
20. Ю. І. Савченко, І. М. Савчук, С. П. Ковальова, Т. Ю. Приймачук. Економічна ефективність вирощування качок на територіях радіоактивного забруднення. *Агропромислове виробництво Полісся*. 2018. Вип. 11. С. 88–95.