

**К. О. Кориченський<sup>1,2,\*</sup>, Г. В. Лаптев<sup>1</sup>, О. В. Войцехович<sup>1</sup>, Т. В. Лаврова<sup>1</sup>, Т. І. Дивак<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України, Київ, Україна

<sup>2</sup> Міжнародна післядипломна школа Інституту Йозефа Стефана, Любляни, Словенія

\*Відповідальний автор: korychenskyi@gmail.com

## **ФОРМИ ЗНАХОДЖЕННЯ ТА ХАРАКТЕР МІГРАЦІЇ УРАНУ В МАТЕРІАЛАХ ХВОСТОСХОВИЩ ОБ'ЄКТІВ СПАДЩИНИ УРАНОВОГО ВИРОБНИЦТВА УКРАЇНИ**

Представлено результати досліджень із визначення форм знаходження та характеру міграції урану в залишках уранового виробництва, накопичених у хвостосховищі «Центральний Яр» (колишнє уранопереробне підприємство «Придніпровський хімічний завод» в Україні). Унаслідок недостатньої нейтралізації залишковий матеріал виробництва було завантажено в тіло хвостосховища в кислому стані. Також були аварії пульпопроводу, що призводили до розливу радіоактивних матеріалів на поверхню хвостосховища. Унаслідок цього було встановлено дві радіологічні проблеми: вторинне забруднення поверхні хвостосховища, представлене підвищеним рівнем потужності експозиційної дози, та міграція радіонуклідів U/Th рядів у сприятливих для цього кислих окислювальних умовах. Дані моніторингу, зібрані протягом 2005 - 2017 рр., показали підвищену міграцію урану від хвостосховища у ґрунтові води з активністю в межах від 1 до 20 Бк/л. Для підтвердження даних спостережень було проведено експериментальні дослідження з метою визначення фізичних та хімічних форм знаходження урану в матеріалах хвостосховища на базі існуючих та модельних даних. Для цього було використано модифікований метод послідовних екстракцій BCR із подальшим визначенням рівноважних форм знаходження урану, використовуючи інструмент геохімічного моделювання MEDUSA з підтримкою бази даних HYDRA.

*Ключові слова:* Придніпровський хімічний завод, об'єкти спадщини уранового виробництва, хвостовий матеріал, форми знаходження урану, метод послідовних екстракцій, забруднення підземних вод.

**К. А. Кориченский<sup>1,2,\*</sup>, Г. В. Лаптев<sup>1</sup>, О. В. Войцехович<sup>1</sup>, Т. В. Лаврова<sup>1</sup>, Т. И. Дывак<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Украинский гидрометеорологический институт ДСНС и НАН Украины, Киев, Украина

<sup>2</sup> Международная школа аспирантуры Института Йозефа Стефана, Любляны, Словения

\*Ответственный автор: korychenskyi@gmail.com

## **ФОРМИ НАХОЖДЕНИЯ И ХАРАКТЕР МИГРАЦИИ УРАНА В МАТЕРИАЛАХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ОБЪЕКТОВ НАСЛЕДИЯ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА УКРАИНЫ**

Представлены результаты исследований по определению форм нахождения и характера миграции урана в остатках уранового производства, накопленных в хвостохранилище «Центральный Яр» (бывшее ураноперерабатывающее предприятие «Приднепровский химический завод» в Украине). Вследствие недостаточной нейтрализации остаточный материал производства погружался в тело хвостохранилища в кислом состоянии. Также были аварии пульпопровода, которые приводили к разливу радиоактивных материалов на поверхность хвостохранилища. В результате было установлено две радиологические проблемы: вторичное загрязнение поверхности хвостохранилища, представленное повышенным уровнем мощности экспозиционной дозы, и миграция радионуклидов U/Th рядов в благоприятных для этого кислых окислительных условиях. Данные мониторинга, собранные в течение 2005 - 2017 гг., показали повышенную миграцию урана от хвостохранилища в грунтовые воды с активностью в пределах от 1 до 20 Бк/л. Для подтверждения данных наблюдений были проведены экспериментальные исследования с целью определения физических и химических форм нахождения урана в материалах хвостохранилища на базе существующих и модельных данных. Для этого был использован модифицированный метод последовательных экстракций BCR с последующим определением равновесных форм нахождения урана, используя инструмент геохимического моделирования MEDUSA с поддержкой базы данных HYDRA.

*Ключевые слова:* Приднепровский химический завод, объекты наследия уранового производства, хвостовой материал, формы нахождения урана, метод последовательных экстракций, загрязнение подземных вод.

**K. O. Korychenskyi<sup>1,2,\*</sup>, G. V. Laptev<sup>1</sup>, O. V. Voitsekhovych<sup>1</sup>, T. V. Lavrova<sup>1</sup>, T. I. Dyvak<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Ukrainian Hydrometeorological Institute, State Emergency Service  
and National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Josef Stefan International Postgraduate School, Ljubljana, Slovenia

\*Corresponding author: korychenskyi@gmail.com

## SPECIATION AND MOBILITY OF URANIUM IN TAILINGS MATERIALS AT THE U-PRODUCTION LEGACY SITE IN UKRAINE

The results of the study on speciation and mobility of uranium in the ore processing residues in the Centralny Yar tailings (CY, former uranium processing site – Pridneprovsky Chemical Plant in Ukraine) are presented. Due to poor neutralization sludge material was dumped into the tailings body in acidic state. Several incidents with breakage in the pipeline transporting complex radiochemical solutions caused radioactive material spillover onto the tailings surface. Two features of radiological concern were identified – secondary contamination of the tailings surface amid elevated gamma dose rates, and excessive migration of radionuclides of U/Th decay series in strong acidic conditions within the tailings body. The monitoring data collected during 2005-2017 showed fast migration of uranium from the tailings body into the groundwater with specific activity varied in the range from 1 to 20 Bq/L. To support this finding the experimental studies aimed to obtain physical and chemical speciation of uranium in the tailings materials in existing and simulated conditions were undertaken. This was conducted by application of modified BCR sequential extraction methods followed by assessment of uranium speciation in equilibrium conditions, using the geochemical modeling tool MEDUSA coupled with the HYDRA database.

*Keywords:* Pridneprovsky Chemical Plant, uranium production legacy site, tailings residue, uranium speciation, sequential extraction method, groundwater contamination.

### REFERENCES

1. T. Lavrova, O. Voitsekhovych. Radioecological assessment and remediation planning at the former uranium milling facilities at the Pridneprovsky Chemical Plant in Ukraine. *J. Env. Radioactivity* 115 (2013) 118.
2. J.I. Kuzovov. *Prydneprovskiy Chemical Plant: Historical Overview* (Dneprodzerzhinsk: Poligrafist 1997) 160 p. (Rus)
3. D.O. Bugai et al. Analysis of spatial distribution and inventory of radioactivity within the uranium mill tailings impoundment. *Nucl. Phys. At. Energy* 16 (2015) 254.
4. O. Skalskji et al. Groundwater monitoring data and screening radionuclide transport modeling analyses for the uranium mill (Dneprodzerzhinsk, Ukraine). In: *The New Uranium Mining Boom: Challenge and Lessons Learned*. Eds. B. Merkel, M. Schipek (Berlin-Heidelberg: Springer, 2012) 219.
5. V.P. Protsak et al. Evaluation of the parameters of migration of the uranium series radionuclides in the tailings of the Pridneprovskiy Chemical Plant. *Nucl. Phys. At. Energy* 14 (2013) 55.
6. O.V. Marynych et al. Factors affecting  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{210}\text{Po}$  migration in tailings dumps of the former production association “Prydniprovsky Chemical Plant?”. *Mineralogical Journal* 3 (2013) 85.
7. O.V. Marynych et al. Migration ability of radionuclides of uranium series in “Dniprovske” tailing dump. Proc. of IEG (2009) 10.
8. A. Oyeyiola, K. Olayinka, B. Alo. Comparison of three sequential extraction protocols for the fractionation of potentially toxic metals in coastal sediments. *Environmental Monitoring and Assessment* 172(1-4) (2010) 319.
9. K.F. Mossop, C.M. Davidson. Comparison of original and modified BCR sequential extraction procedures for the fractionation of copper, iron, lead, manganese and zinc in soils and sediments. *Analytica Chimica Acta* 478(1) (2003) 111.
10. UHMI. Department of Environment Radiation Monitoring. 2018.
11. I. Puigdomenech. HYDRA (Hydrochemical Equilibrium Constant Database) and MEDUSA (Make Equilibrium Diagrams Using Sophisticated Algorithms) Programs. 2013.
12. A. Kumar et al. Characterization of groundwater composition in Punjab state with special emphasis on uranium content, speciation and mobility. *Radiochim. Acta* 102(3) (2014) 239.
13. Z.F. Feng et al. Uranium Mobility in Waste Materials Generated by Uranium Mining and Hydrometallurgy: Implications for its In-Situ Immobilization. *Journal of Residuals Science and Technology* 12 (2015) 159.
14. L.L. Ames. Sorption of uranium and cesium by Hanford basalts and associated secondary smectite. *Chemical Geology* 35 (1982) 205.
15. B. Liu et al. Mobility and Risk Assessment of Uranium and Associated Heavy Metals in Uranium Mill Tailings. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 17(9) (2017) 6746.

Надійшла 12.07.2018

Received 12.07.2018