

Д. О. Бугай<sup>1</sup>, Г. В. Лаптев<sup>2</sup>, О. С. Скальський<sup>1</sup>, Т. В. Лаврова<sup>2</sup>, Р. Авіла<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Інститут геологічних наук НАН України, Київ

<sup>2</sup> Український гідрометеорологічний інститут НАН та ДСНС України, Київ

<sup>3</sup> Фасілія АБ, Бромма, Швеція

### АНАЛІЗ ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ І ЗАПАСІВ АКТИВНОСТІ В УРАНОВОМУ ХВОСТОСХОВИЩІ

Представлено результати по характеристиці запасів радіоактивності у хвостосховищі відходів переробки уранових руд «Західне», що знаходиться на проммайданчику Придніпровського хімічного заводу (ПХЗ) (Дніпродзержинськ, Україна). Проаналізований набір даних, який було отримано на основі аналітичних досліджень кернавого матеріалу з 15 свердловин, дав змогу суттєво уточнити об'єм і запаси активності у відходах. Геостатистичний аналіз із використанням варіограмм установив, що розподіл радіоактивності у хвостосховищі характеризується регулярними просторовими кореляційними залежностями. Для оцінювання просторового розподілу радіоактивності у трьох вимірюваннях було використано крайгінг-інтерполяцію. Результати статистичного аналізу вказують на суттєвий перерозподіл урану в розчиненому вигляді у відходах. Розроблена структурна модель для розподілу радіоактивності в подальшому буде використана для оцінок ризиків. Отримані параметри просторової кореляції можуть бути використані для оптимізації відбору проб при характеристиці ПХЗ, а також для інших аналогічних забруднених об'єктів.

*Ключові слова:* уранове хвостосховище, Придніпровський хімічний завод, оцінка запасів радіоактивності, геостатистичний аналіз.

Д. А. Бугай<sup>1</sup>, Г. В. Лаптев<sup>2</sup>, А. С. Скальський<sup>1</sup>, Т. В. Лаврова<sup>2</sup>, Р. Авіла<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Інститут геологических наук НАН Украины, Киев

<sup>2</sup> Украинский гидрометеорологический институт НАН и ГСЧС Украины, Киев

<sup>3</sup> Фасилия АБ, Бромма, Швеция

### АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ЗАПАСОВ АКТИВНОСТИ В УРАНОВОМ ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ

Представлены результаты по характеристике запасов радиоактивности в хвостохранилище отходов переработки урановых руд «Западное», которое расположено на промплощадке Приднепровского химического завода (ПХЗ) (Днепродзержинск, Украина). Проанализированный набор данных, полученный на основе аналитических исследований кернавого материала из 15 скважин, позволил существенно уточнить объем и запасы активности в отходах. Геостатистический анализ с использованием вариограмм установил, что распределение радиоактивности в хвостохранилище характеризуется регулярными пространственными корреляционными зависимостями. Для оценивания пространственного распределения радиоактивности в трех измерениях была использована крайгинг-интерполяция. Результаты статистического анализа указывают на существенное перераспределение урана в растворенном виде в отходах. Разработанная структурная модель для распределения радиоактивности в дальнейшем будет использована для оценок рисков. Полученные параметры пространственной корреляции могут быть использованы для оптимизации отбора проб при характеристике ПХЗ, а также для других аналогичных загрязненных объектов.

*Ключевые слова:* урановое хвостохранилище, Приднепровский химический завод, оценка запасов радиоактивности, геостатистический анализ.

D. O. Bugai<sup>1</sup>, G. V. Laptev<sup>2</sup>, O. S. Skalskyi<sup>1</sup>, T. V. Lavrova<sup>2</sup>, R. Avila<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geological Sciences, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

<sup>2</sup> Ukrainian Hydrometeorological Institute, National Academy of Sciences  
and State Emergency Service of Ukraine, Kyiv

<sup>3</sup> Facilia AB, Bromma, Sweden

### ANALYSIS OF SPATIAL DISTRIBUTION AND INVENTORY OF RADIOACTIVITY WITHIN THE URANIUM MILL TAILINGS IMPOUNDMENT

Results are presented of the characterization of radioactivity inventory of Zapadnoe uranium mill tailings impoundment situated at Pridneprovsky Chemical Plant (PChP; Dneprodzerginsk, Ukraine). Analyses of radioactivity data set based on analytical studies of core material from 15 characterization boreholes allowed significantly refining waste volume and radioactivity inventory estimates. Geostatistical analyses using variogram function have established that radioactivity distribution in Zapadnoe tailings is characterized by regular spatial correlation patterns. Ordinary kriging method was applied to assess distribution of radioactivity in 3D. Results of statistical analyses suggest significant redistribution of uranium in the dissolved form in the residues (presumably due to water infiltration process). The developed structural model for radioactivity distribution is used for further risk assessment analyses. Derived

radioactivity correlation scales can be used for optimization of sample collection when characterizing the PChP Site and similar contaminated sites elsewhere.

*Keywords:* uranium mill tailings, Pridneprovsky Chemical Plant, characterization of radioactivity inventory, geostatistical analysis.

#### REFERENCES

1. *Lavrova T., Voitsekhovych O.* Radioecological assessment and remediation planning at the former uranium milling facilities at the Pridneprovsky Chemical plant in Ukraine // *J. Env. Radioactivity.* - 2013. - Vol. 115. - P. 118 - 123.
2. *Skalskyy O., Bugai D., Voitsekhovitch O. et al.* Groundwater monitoring data and screening radionuclide transport modeling analyses for the uranium mill tailings at the Pridneprovsky Chemical Plant Site (Dneprodzerginsk, Ukraine) // *The New Uranium Mining Boom: Challenge and lessons learned / Eds. B. Merkel, M. Schipek.* - Berlin: Springer - Verlag, 2011. - P. 219 - 228.
3. *Bugai D., Kozak M.W., Van Blerk J.J., Avila R.* Radiological Safety Assessment of the Zapadnoe Uranium Tailings Facility, Dneprodzержinsk, Ukraine // *Proc. of EU NORM 2 Symposium (Prague, 17 - 19 June, 2014).* DOI: 10.13140/2.1.1575.5527.
4. *Protsak V.P., Kashparov V.O., Kyrychenko V.K. et al.* // *Nucl. Phys. At. Energy.* - 2013. - Vol. 14, No. 1. - P. 55 - 63. (Ukr)
5. *De Corte F., Umans H., Vandenberghe D. et al.* Direct gamma-spectrometric measurement of the  $^{226}\text{Ra}$  186.2 keV line for detecting  $^{238}\text{U}/^{226}\text{Ra}$  disequilibrium in determining the environmental dose rate for the luminescence dating of sediments // *Appl. Radiat. Isot.* - 2005. - Vol. 63, No. 5. - P. 589 - 598.
6. *Appleby P.G., Richardson N., Nolan P.J.* Self-absorption corrections for well-type germanium detectors // *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B.* - 1992. - Vol. 71, No. 2. - P. 228 - 233.
7. *Research and development of radioactive waste storage technology at the State Enterprise "Barrier". Analysis of the operations safety for the radioactive waste storage. Tailings "Zapadnoe". Assessment of the radioactive waste storage conditions: Report of the Ukrainian Scientific Research and Design Institute of Industrial Technologies. 2001 / Ministry of Fuel and Energy of Ukraine.* - State registration No. A-15969. Agreement 3032. - 38 p. (Rus)
8. *Walpole R.E., Myers R.H., Myers S.L., Ye K.* Probability and statistics for engineers and scientists. - London: Pearson Prentice Hall, 2007. - 490 p.
9. *Kitanidis P.* Geostatistics: Interpolation and inverse problems // *The handbook of groundwater engineering / Ed. J. W. Delleur.* - CRC Press, Boca Raton, 1999. - P. 12-1 - 12-20.
10. *Practical aspects of applying geostatistics at hazardous, toxic, and radioactive waste sites: U. S. Army Corps of Engineers. Technical letter-report no. 1110-1-175.* - Washington D.C., 1997. - 125 p.
11. *Bugai D., Kashparov V., Dewière L. et al.* Characterization of subsurface geometry and radioactivity distribution in the trench containing Chernobyl clean-up wastes // *Environ. Geol.* - 2005. - Vol. 47. - P. 869 - 881.
12. *Deutch C.V., Journel A.J.* GSLIB. Geostatistical software library and user's guide. - New York - Oxford: Oxford University Press, 1998. - 369 p.
13. *Mulla D.J., McBratney A.B.* Soil spatial variability // *Handbook of soil science / Ed. M. E. Sumner.* - CRC Press, Boca Raton, 2000. - P.A-321 - A-352.

Надійшла 12.05.2015

Received 12.05.2015