

Б. Ю. Заноз*, Д. О. Бугай

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

*Відповідальний автор: bzanoz@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ДОВГОСТРОКОВИХ РАДІОЛОГІЧНИХ І ТОКСИКОЛОГІЧНИХ ВПЛИВІВ ВІД УРАНОВОГО ХВОСТОСХОВИЩА НА ПІДЗЕМНІ І ПОВЕРХНЕВІ ВОДИ

Представлено результати прогнозного моделювання геоміграційних процесів у зоні впливу уранового хвостосховища «Західне», що належить до Придніпровського хімічного заводу (ПХЗ), м. Кам'янське. При параметризації геоміграційної моделі використано уточнені параметри водообміну в зоні хвостосховища, отримані на основі польових досліджень і моделювання геофільтраційних процесів. Калібрування геоміграційної моделі на основі програми NORMALYSA з використанням даних спостережень за радіоактивним забрудненням підземних вод у 2005 - 2021 р. дало змогу оцінити сорбційний коефіцієнт (K_d) для найбільш небезпечних забруднювачів – ізотопів $^{238,234}\text{U}$ ($K_d = 8 \pm 2$ л/кг) і спрогнозувати швидкість переносу урану в підземних водах. Згідно з моделюванням у найближчі 800 - 1100 років концентрація урану у свердловинах у зоні впливу хвостосховища (на відстані 500 - 800 м) буде визначатися головним чином осередком забруднення в алювіальному водоносному горизонті, що сформувався в період експлуатації хвостосховища. Відповідно, вилучення хвостів із хвостосховища, перезахоронення їх на інший пункт зберігання не буде ефективним заходом з точки зору мінімізації радіоактивного забруднення підземних вод. Згідно з прогнозами споживання підземних вод (часткове питне споживання, зрошення) за межами промайданчику ПХЗ нижче за потоком від хвостосховища призведе до перевищення відповідного референтного рівня (доза опромінення >1 мЗв/рік) через 380 - 440 років, а токсикологічний вплив від урану призведе до перевищення припустимого індексу небезпеки для урану ($HI > 1$) – через 200 - 260 років. Результати моделювання свідчать про необхідність обмежень на використання підземних вод нижче за потоком від хвостосховища в межах промислового майданчику ПХЗ, а в довгостроковій перспективі – і за його межами. При цьому забруднення р. Коноплянка за рахунок міграції радіонуклідів із хвостосховища не являє неприйнятних радіологічних і токсикологічних ризиків для розглянутого сценарію (зрошення, споживання риби) внаслідок розбавлення забруднень у поверхневих водах.

Ключові слова: підземні води, гідрогеологічне моделювання, Придніпровський хімічний завод, оцінки ризику, уран.

B. Yu. Zanoz*, D. O. Bugai

Institute of Geological Sciences, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: bzanoz@gmail.com

MODELING OF LONG-TERM RADIOLOGICAL AND TOXICOLOGICAL IMPACTS OF THE URANIUM MILL TAILINGS ON GROUNDWATER AND SURFACE WATER

Modeling predictions are presented of radionuclide transport processes in the zone of influence of the Zahidne uranium mill tailings situated at the Prydniprovsky Chemical Plant (PChP), Kamianske. The groundwater transport model was developed using the NORMALYSA software. Refined estimates of parameters of water exchange in the zone of uranium mill tailing (obtained from field studies and modeling of groundwater flow processes) were used to parameterize the model for radionuclide transport in groundwater. Calibration of the radionuclide transport model using monitoring data on radioactive contamination of groundwater in 2005 - 2021 allowed to estimate the sorption distribution coefficient (K_d) for the most hazardous contaminants $^{238,234}\text{U}$ isotopes ($K_d = 8 \pm 2$ l/kg) and estimate the rate of uranium migration in groundwater. According to modeling, during the next 800 to 1100 years, uranium concentration in wells in the zone of influence of uranium mill tailing (at 500 - 800 m distance) will be determined mainly by the contamination of the alluvial aquifer, which was formed during the operation period of the uranium mill tailing. According to modeling predictions, usage of groundwater (partial drinking water consumption, irrigation) outside the PChP site downstream of the uranium mill tailing will result in doses exceeding the relevant reference level (annual effective dose > 1 mSv/year) in 380 - 440 years, while the toxicological impact will result in the exceeding of the acceptable hazard index for uranium ($HI > 1$) in 200 - 260 years. Modeling results indicate the importance of restricting the use of groundwater downstream of the uranium mill tailing within the PChP industrial site and, in the longer term, beyond its boundary. At the same time, contamination of the Konoplyanka River due to the migration of radionuclides from the uranium mill tailing does not pose unacceptable radiological and toxicological risks for the considered scenario (irrigation, fish consumption) due to the dilution of contaminants in surface waters.

Keywords: groundwater, groundwater modeling, Prydniprovsky Chemical Plant, risk assessment, uranium.

REFERENCES

1. F.P. Carvalho. Environmental radioactive impact associated to uranium production. *American Journal of Environmental Sciences* 7(6) (2011) 547.
2. P. Byrne et al. Transport and speciation of uranium in groundwater-surface water systems impacted by legacy milling operations. *Science of the Total Environment* 761 (2021) 143314.
3. Yu.I. Kuzovov. *Pridneprovskiy Chemical Plant (Historical Review)* (Dnepropetrovsk: Poligrafist, 1997) 160 p. (Rus).
4. T. Lavrova, O. Voitsekhovych. Radioecological assessment and remediation planning at the former uranium milling facilities at the Pridneprovsky Chemical Plant in Ukraine. *Journal of Environmental Radioactivity* 115 (2013) 118.
5. E. Tkachenko et al. Monitoring of technogenic contamination of groundwater and surface water in the zone of influence of uranium tailings of the Pridneprovsky Chemical Plant (Kamyanske). *Geological Journal (Ukraine)* 3 (2020) 17. (Ukr)
6. D.O. Bugai et al. Development of the groundwater monitoring system in the zone of influence of uranium production legacy facilities of the Prydniprovsky Chemical Plant. *Geological Journal (Ukraine)* 4 (2021) 56. (Ukr)
7. B. Zanoz, K. Tkachenko, D. Bugai. Analysis of hydrogeological and geochemical factors of migration of radionuclides and toxic metals from uranium tailings to groundwater. *Collection of Scientific Works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine* 14(2) (2021) 83. (Ukr)
8. T. Lavrova, K. Korychenskyi, O. Voitsekhovych. Assessment of temporal and space-time changes of groundwater chemical composition at the “Pridniiproivsky chemical plant” uranium production legacy site. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology* 4 (66) (2022) 81. (Ukr)
9. O. Skalskji et al. Groundwater monitoring data and screening radionuclide transport modeling analyses for the uranium mill tailings at the Pridneprovsky Chemical Plant Site (Dneprodzerzhinsk, Ukraine). In: B. Merkel, M. Schipek (Eds.). *The New Uranium Mining Boom. Challenge and Lessons Learned* (Berlin, Heidelberg: Springer, 2011) p. 219.
10. S. Pepin et al. Intermodel comparison for the radiological assessment of the Zapadnoe and Tessengerlo case studies with implications for selection of remediation strategy. *Journal of Radiological Protection* 42(2) (2022) 020510.
11. B.Yu. Zanoz, D.O. Bugai. Determination of parameters of water exchange and modelling of groundwater flow process for uranium mill tailings “Zahidne” of the Prydniprovsky Chemical Plant. *Collection of Scientific Works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine* 16(1) (2023) 98. (Ukr)
12. B. Zanoz, et al. Assessment of radiological and toxicological risks from the use of groundwater and surface water in the zone of influence of the uranium production legacy site. *Nucl. Phys. At. Energy* 23 (2022) 271.
13. V. 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. (Ukr)
14. D. Bugai et al. Analysis of spatial distribution and inventory of radioactivity within the uranium mill tailings impoundment. *Nucl. Phys. At. Energy* 16 (2015) 254.
15. D. Rudakov et al. A predictive assessment of the uranium ore tailings impact on surface water contamination: Case study of the city of Kamianske, Ukraine. *Journal of Environmental Radioactivity* 268-269 (2023) 107246.
16. User Manual for NORMALYSA v.2.3. Description of Program Module Libraries, Mathematical Models and Parameters. Modelling and Data for Radiological Impact Assessments (MODARIA) Programme, IAEA-TECDOC-2037 (Vienna: International Atomic Energy Agency, 2023) 223 p.
17. D. Ene et al. Assessment of environmental consequences of the normal operations of the ESS facility. *Journal of Physics: Conference Series* 1046 (2018) 012018.
18. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3 (Vienna: International Atomic Energy Agency, 2014) 436 p.
19. Remediation Strategy and Process for Areas Affected by Past Activities or Event. IAEA Safety Standards Series No. GSG-15 (Vienna: International Atomic Energy Agency, 2022) 201 p.
20. D. Bugai et al. Safety ranking of Chernobyl radioactive legacy sites situated in populated areas for prioritization of remedial measures. *Nucl. Phys. At. Energy* 20 (2019) 34.
21. F.P. Carvalho et al. The environmental behavior of uranium. Technical Reports Series No. 488 (Vienna: International Atomic Energy Agency, 2023) 378 p.
22. Risk Assessment Guidance for Superfund. Vol. I. Human Health Evaluation Manual (Part A) (Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, 1989) 291 p.
23. C. Baes III, R. Sharp. A proposal for estimation of soil leaching and leaching constants in assessment models. *Journal of Environmental Quality* 12(1) (1983) 17.
24. Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater. IAEA Technical Report Series No. 472 (Vienna: International Atomic Energy Agency, 2010) 194 p.