DOI <https://doi.org/10.32782/geotech2022.35.15>

УДК 550.4:574.3

**Верховцев В.Г., Дудар Т.В., Лисиченко К.Г., Тищенко Ю.Є., Фаррахов О.В.**

**Верховцев В.Г.**, доктор геологічних наук, завідувач відділом мінеральної сировини ядерної енергетики, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0002-1015-6725, [verkhovtsev@ukr.net](mailto:verkhovtsev@ukr.net)

**Дудар Т.В.**, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, відділ мінеральної сировини ядерної енергетики, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0003-3114-9732, [tamadudar@ukr.net](mailto:tamadudar@ukr.net)

**Лисиченко К.Г.**, кандидат технічних наук, науковий співробітник, лабораторія радіоекології відділу мінеральної сировини ядерної енергетики, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0002-7010-904X, [lysychenkokg@ukr.net](mailto:lysychenkokg@ukr.net)

**Тищенко Ю.Є.**, кандидат геологічних наук, завідувач лабораторії радіоекології відділу мінеральної сировини ядерної енергетики, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0002-0413-241X, [u-risk@ukr.net](mailto:u-risk@ukr.net)

**Фаррахов О.В.**, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник, відділ технологій захисту довкілля та радіаційної безпеки, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0003-4988-126X, [farrakhov@ukr.net](mailto:farrakhov@ukr.net)

## РАДІОЕКОЛОГІЧНА СИТУАЦІЯ В МЕЖАХ ЗОН ВПЛИВУ УРАНОВИДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ПРИКЛАДІ ШАХТИ «ІНГУЛЬСЬКА»

**Анотація.** У рамках відомчих фундаментальних досліджень за темою «Мінерагенія, прогнозна оцінка та перспективи комплексного використання мінеральної сировини ядерної енергетики України» 2021 року виконано комплекс фонових геоекологічних досліджень, які включали натурні вимірювання у санітарно-захисній зоні шахти «Інгільська» та на територіях, прилеглих до неї, і лабораторні аналізи відібраних проб. Встановлено радіоекологічні параметри довкілля, необхідні для вивчення сучасного стану радіаційної безпеки на підприємстві і за його межами. Виміряні показники потужності еквівалентної дози (радіаційного гамма-фону) на проммайdanчику шахти помітно перевищували фон прилеглої місцевості, а також усереднені значення для України і глобальні показники. Інтенсивність гамма-випромінювання у природному середовищі формується космічною складовою та випромінюванням присутніх у довкіллі радіонуклідів. Серед останніх умовно розрізняють «природні» радіонукліди і «радіонукліди техногенного походження», тобто такі, що утворились чи потрапили в навколишнє середовище унаслідок діяльності людини. Хоча уран і продукти його розпаду самі по собі, безумовно, мають бути віднесені до радіонуклідів природного походження, видобування уранової руди, подача її на поверхню, складування та переробка є факторами техногенного впливу. Таким чином, додаткову потужність еквівалентної дози, сформовану внаслідок виробничої діяльності шахти, слід розглядати як таку, що має техногенне походження. Виходячи з цього положення можна оцінити і порівняти внески у гамма-фон, сформовані природними та техногенними чинниками. Для цього необхідно визначити кількісні параметри впливу активності природних радіонуклідів у ґрунті на показники потужності дози гамма-випромінювання у навколишньому середовищі. Такі вимірювання та аналізи були виконані, а для крайньої інтерпретації отриманих результатів досліджень побудовані карти просторового розподілу вимірених показників. Аналіз отриманих кількісних та якісних результатів показує, що радіоекологічна ситуація на території санітарно-захисної зони підприємства визначена факторами техногенного походження, а на прилеглих площах – природного. Діяльність шахти «Інгільська» з видобування урану не спричиняє радіаційних загроз за межами її санітарно-захисної зони.

**Ключові слова:** еквівалентна доза, ефективна питома активність, уран, природні радіонукліди, техногенний вплив, радіація, довкілля.

**Вступ.** Об'єкти гірничорудної галузі – одні з лідерів за масштабами впливу на довкілля серед промислових підприємств, що пов'язано, насамперед, з втручанням у геологічне середовище та вилученням земель. Видобування корисних копалин шахтним способом передбачає надходження гірничої маси на денну поверхню та її складування для первісної переробки і збагачення; у процесі видобування уранової руди це, зрозуміло, викликає занепокоєння через потенційне посилення радіаційного ризику.

Шахта «Інгільська» – одне з трьох діючих на даний момент в Україні підприємств з видобутку урану. Вона розташована на південно-східній околиці

м. Кропивницький поблизу сіл Завадівка, Первозванівка, Неопалимівка та Савинівка. Шахта експлуатує родовища Мічуринське та Центральне (Східна зона). По периметру підприємства встановлена нормативна санітарно-захисна зона (СЗЗ) радіусом 500 та 300 м<sup>1</sup>.

За металогенічним районуванням території України родовища Мічуринське та Центральне розташовані в центральній частині Українського щита.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основні результати досліджень попередніх років, які виконує

<sup>1</sup> Підприємство «Шахта «Інгільська»» складається з кількох проммайdanчиків з різними санітарно-захисними зонами.

ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» з 2012 року донині на родовищах урану різних типів, розташованих у межах Українського щита, висвітлені у багатьох наукових звітах (Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Верховцев В.Г., Тищенко Ю.Є. та ін., 2016; Верховцев В.Г., Ярошук М.О., Покалюк В.В., Тищенко Ю.Є. та ін., 2020) та публікаціях, зокрема у трьох монографіях [1–3].

Наприклад, ми вивчали радіоекологічну ситуацію на всіх діючих уранових шахтах та на територіях родовищ, які можуть бути перспективними для видобування у майбутньому, зокрема із застосуванням підземного свердловинного вилуговування.

Аналіз отриманих даних показує, що на територіях, де розташовані родовища урану, ряд радіаційних показників, таких як ексхалація радону-222, вміст урану та продуктів його розпаду у ґрунтах і підземних водах, може суттєво перевищувати фонові значення. Водночас, це не впливає помітно на радіаційні параметри на територіях, де видобування не проводиться, натомість на промайданчиках діючих шахт радіаційний фон може суттєво перевищувати відповідні показники на прилеглий місцевості.

**Мета дослідження** – встановити техногенну складову радіаційного фону на територіях промайданчика шахти, її санітарно-захисної зони та місцевостях, прилеглих до цього підприємства.

**Методи дослідження.** Під час досліджень використано стандартизовані методи дозиметричних, радіо- та спектрометричних польових і лабораторних аналізів – для встановлення відповідних радіаційних показників навколишнього середовища. Для узагальнення та інтерпретації отриманих результатів застосовано порівняльний аналіз, методи екстраполяції й інтерполяції, а для просторового відображення розподілу виміряних радіаційних показників – комп'ютерне картографування.

Радіаційний фон, або потужність дози (експозиційної, еквівалентної) гамма-випромінювання (ПЕД) умовно формується двома складовими: природною та техногенною. Усереднені глобальні показники гамма-фону за [4] для 45° північної широти складають 9,9 мкР/год (0,087 мкЗв/год); з них за рахунок космічної складової – 4,1 мкР/год (0,036 мкЗв/год), за рахунок випромінювання примордіальних (первісних) радіонуклідів (ПРН), розсіяних у ґрунті (калію-40, урану-238 та торію-232) – 5,8 мкР/год (0,051 мкЗв/год). Внесок у радіоактивність середовища «техногенних»

радіонуклідів має місце внаслідок їх потрапляння у довкілля у процесі поводження з радіоактивними матеріалами чи під час радіаційних аварій.

З точки зору радіаційного законодавства України (НРБУ-97), підвищення радіаційного фону внаслідок підйому на поверхню уранової руди у ході її видобування та переробки повинно розглядатись як таке, що супроводжується утворенням додаткових техногенно підсиленних джерел природного походження, оскільки всі елементи паливно-енергетичного циклу виробництва ядерної енергії належать до практичної діяльності, що може призвести до збільшення дози опромінення. Тобто перевищення дозових показників понад величини, сформовані природним шляхом (космічне випромінювання, вплив ПРН), на території об'єкта уранової галузі, у нашому випадку – шахти «Інгульська», доцільно віднести до «техногенної» складової радіаційного фону.

Таким чином, для визначення техногенної складової необхідно оцінити внесок ПРН у ґрунтах території у формування потужності еквівалентної дози. Для оцінювання внеску ПРН виміряні значення їх питомої активності порівняно з усередненими глобальними показниками.

У табл. 1 наведено вмісти радіокалію, урану і торію у земній корі [5].

Внесок ПРН визначено за показником ефективної питомої активності (Аеф) як зважена сума радіонуклідів у відношенні до радію-226, яка визначається за формулою:

$$A_{\text{еф}} = A_{\text{Ra}} + 1,31 A_{\text{Th}} + 0,085 A_{\text{K}} \text{ (Бк} \cdot \text{кг}^{-1}\text{)},$$

де 1,31 і 0,085 – зважувальні коефіцієнти для  $^{232}\text{Th}$  та  $^{40}\text{K}$ .

Для перевірки і коригування показників було виміряно питому активність урану-238 у ґрунті за інтенсивністю альфа та бета-випромінювання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Дозиметричні вимірювання та відбір проб для лабораторних аналізів виконано у пунктах опробування з геопозиційною прив'язкою, розташованих на промайданчику шахти, в межах її СЗЗ і на прилеглих територіях. Просторовий розподіл ПЕД показаний на рис. 1. Аномальними показниками вирізняється територія підприємства; з віддаленням від шахти ПЕД зменшується.

Розподіл виміряних показників Аеф ґрунтів показано на рис. 2. У пониженнях рельєфу у заплаві р. Інгул та її притоки активність ПРН є досить високою.

**Table 1.** The content of radionuclides in the Earth's crust

Chemical element	Radionuclide	Specific share in the natural mixture of the element, %	Mass of radionuclide in 1 ton of the Earth's crust, g	Activity of radionuclide in 1 ton of the Earth's crust, g	Half-life period, years
Kalium	$^{40}\text{K}$	1.2–10 <sup>-2</sup>	3.1	8.23 E5	1.25 E9
Thorium	$^{232}\text{Th}$	100	8	3.26 E4	3.2 E10
Uranium	$^{235}\text{U}$	0.71	0.0218	1.74 E3	8.72 E17
	$^{238}\text{U}$	99.28	3.0	3.73 E4	1.2 E20

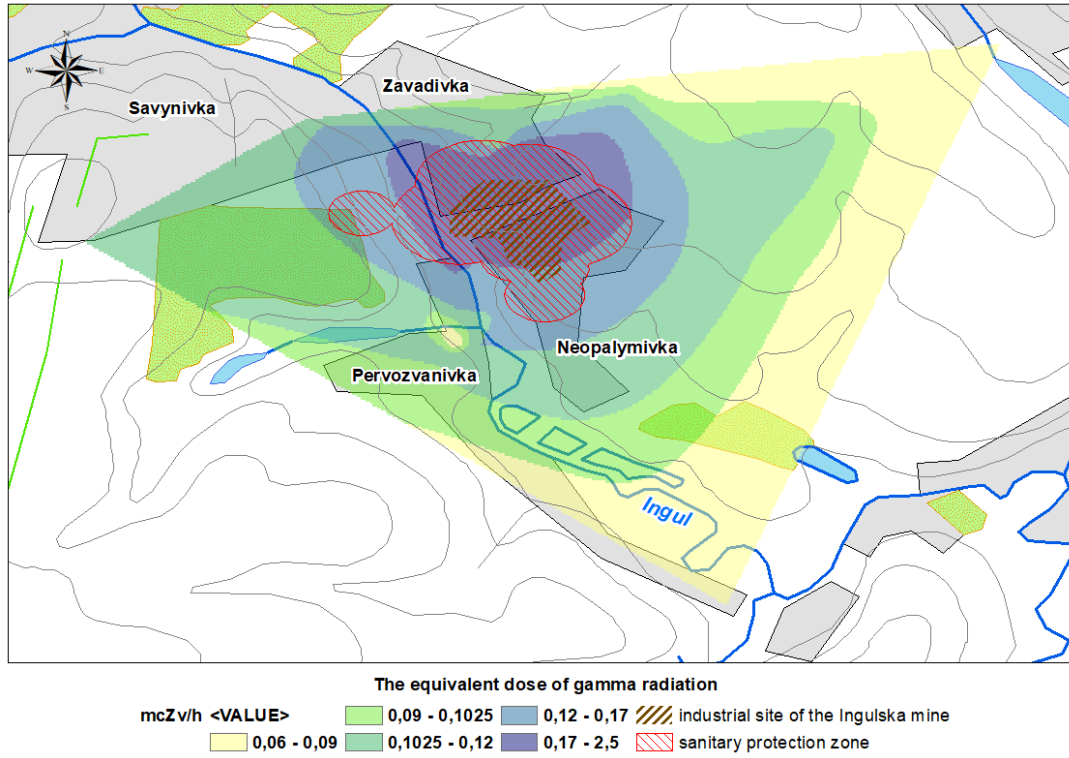


Fig. 1. The equivalent dose of gamma radiation

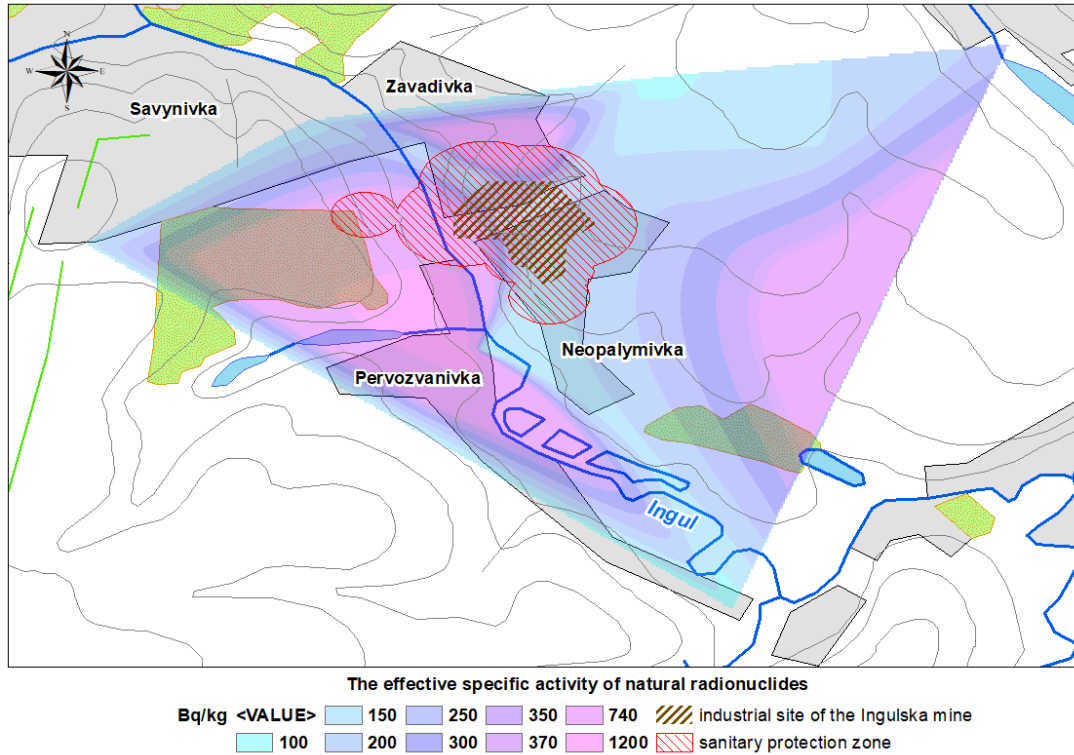


Fig. 2. The effective specific activity of natural radionuclides

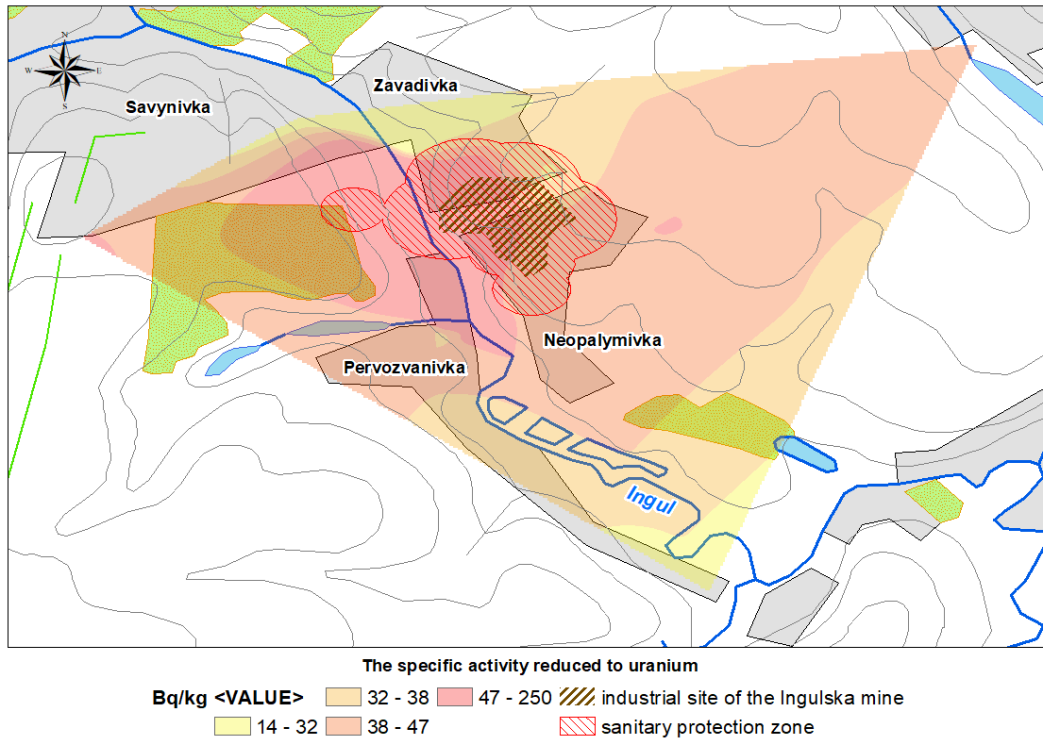


Fig. 3. The specific activity reduced to uranium

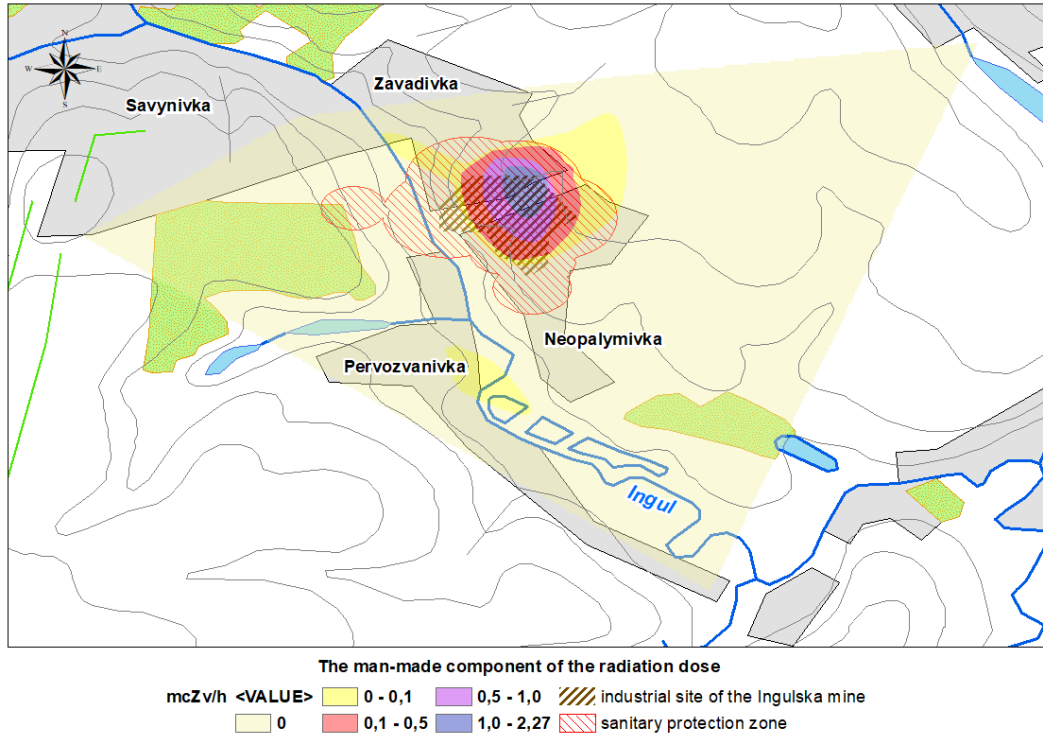


Fig. 4. The man-made component of the radiation dose

Приведену активність урану у ґрунті ілюструє рис. 3. Розподіл питомої активності, приведеної до урану, в цілому корегує з розподілом Аеф.

На рис. 4 показано розподіл ПЕД, яка перевищує сформовану природним шляхом, тобто отриману шляхом віднімання від вимірних значень ПЕД космічної складової та складової, сформованої гамма-випромінюванням ПРН на даній місцевості. Ці показники можна вважати показниками техногенної складової потужності еквівалентної дози.

**Висновки.** 1. Техногенна складова потужності еквівалентної дози на території шахти «Інгульська» приблизно у 20 разів перевищує показники природного гамма-фону даної місцевості.

2. Техногенний радіаційний вплив внаслідок видобування та первісної переробки урану на шахті «Інгульська» не поширюється за межі санітарно-захисної зони підприємства.

3. Виробнича діяльність шахти не спричиняє додаткових загроз та радіаційних ризиків для населення за межами СЗЗ.

Незалежний радіаційний моніторинг шахти «Інгульська», як і інших підприємств уранової галузі, доцільно виконувати на регулярній основі.

#### References

1. Vekhovtsev, V.G., Zabolonov, Yu.L., Tyshchenko, Yu.Ye. et al. (2014), Prospects for the development of the uranium raws base of Ukraine's nuclear energy, Kyiv: Naukova dumka.
2. Vekhovtsev, V.G., Lysychenko, G.V., Tyshchenko, Yu.Ye. et al. (2017), Prospects for the development of the thorium raws base of Ukraine's nuclear energy, Kyiv: Naukova dumka.
3. Vekhovtsev, V.G., Semeniuk, M.P., Tyshchenko, Yu.Ye. et al. (2019), Metallogeny of uranium ore districts in the sedimentary cover of the Ukrainian Shield, Kyiv: Naukova dumka.
4. Kovalenko, G.D. (2013), Radioecology of Ukraine, Sec. Ed., Kharkiv: ID IGEEK.
5. Buldakov, L.A. (1990), Radioactive substances and a human, Moscow: Atomizdat.

#### RADIOECOLOGICAL CONDITIONS WITHIN THE URANIUM MINING IMPACT AREAS INGULSKA MINE CASE STUDY

V. Verkhovtsev, T. Dudar, K. Lysychenko, Yu. Tyshchenko, O. Farrakhov

**Verkhovtsev V.G.**, D. Sc. (Geol.), Head of the Department of Mineral Raws of Nuclear Energetic, State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID 0000-0002-1015-6725, verkhovtsev@ukr.net

**Dudar T.V.**, D. Sc. (Eng.), Senior Researcher, the Department of Mineral Raws of Nuclear Energetic, State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID 0000-0003-3114-9732, tamadudar@ukr.net

**Lysychenko K.G.**, PhD (Eng.), Researcher, the Laboratory of Radioecology of the Department of Mineral Raws of Nuclear Energetic, State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID 0000-0002-7010-904X, lysychenkog@ukr.net

**Tyshchenko Yu.Ye.**, PhD (Geol.), Head of the Laboratory of Radioecology of the Department of Mineral Raws of Nuclear Energetic, State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID 0000-0002-0413-241X, u-risk@ukr.net

**Farrakhov O.V.**, PhD (Eng.), Leading Researcher, the Department of Technologies of Environmental Protection and Radiation Safety, State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID: 0000-0003-4988-126X, farrakhov@ukr.net

**Abstract.** *A set of background geocological research along with the laboratory analyses of selected samples were made as a part of the departmental basic research on "Minerageny, forecast assessment and prospects of integrated using of mineral raw material for nuclear power industry of Ukraine". The field research was conducted within the sanitary protection zone of the Ingulska mine and adjacent areas in 2021. In particular, radioecological parameters of the environment were studied to establish the current state of radiation safety at the enterprise and beyond. The measured indicators of dose load (gamma radiation background) at the industrial site of the mine significantly exceeded the background of the surrounding area, as well as the average values for Ukraine and global indicators. The intensity of gamma radiation in natural environment is formed by the cosmic component and the presence of radionuclides in each environment component. Among the latter it is conventionally distinguished between the "natural" radionuclides and the "radionuclides of man-made origin" formed, or got into the environment due to human activities. Though uranium and its radiation decay products should be certainly referred to the category of radionuclides of natural origin, however the man-made factors are acting during uranium ore mining, its supply to the surface, storage and processing. Thus, it should be considered the additional radiation dose load generated by the production activities of the mine as having a man-made origin. Based on this provision it is possible to estimate and compare the contributions of natural and man-made factors to the formation of radiation dose load. To do this, it is necessary to determine the parameters of the influence of the natural radionuclides activity in the soil on the dose rate of gamma radiation in the environment. The relevant measurements and analyses were made and the maps of measured indicators spatial distribution were built for the purpose of better interpretation of the obtained results. The qualitative and quantitative analysis of the obtained results shows that the radioecological situation within the territory of the mine sanitary protection zone is mainly determined by factors of technogenic origin while within the adjacent areas – by natural radiation. The Ingulska mine activities do not cause radiation hazard beyond the sanitary protection zone.*

**Key words:** *equivalent dose, effective specific activity, uranium, natural radionuclides, man-made effects, radiation, environment.*