

## РАДІОЕКОЛОГІЯ РОДОВИЩ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ КРЕМЕНЧУЦЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО БАСЕЙНУ

О.В. Плотніков<sup>1</sup>, В.В. Єфіменко<sup>1</sup>, О.В. Яременко<sup>2</sup>

*1 – Державний вищий навчальний заклад “Криворізький національний університет”  
50027, пр. Соборності України, 11, Кривий Ріг, Україна*

*E-mail: magnetit@meta.ua*

*2 – Інститут геологічних наук НАН України*

*01004, вул. О. Гончара, 556, Київ, Україна*

*E-mail: olya\_89@ukr.net*

Виконано комплекс радіоекологічних досліджень одного з найбільших залізородних районів України. Досліджено показники природної радіоактивності всіх типів розкривних порід і природних різновидів залізистих кварцитів, які розкриті Горішне-Плавнинським та Лавриківським родовищами. Визначено вплив розробки родовищ на радіоекологічний стан навколишнього середовища.

*Ключові слова:* природня радіоактивність, радіонукліди, родовища залізистих кварцитів.

**Вступ.** Унаслідок розробки родовищ корисних копалин відкритим способом на денну поверхню відслонюються великі площі різноманітних порід і руд, які мають природну радіоактивність і чинять безпосередній вплив на природній радіаційний фон. Тому радіоекологічні дослідження порід родовищ, що розробляються, мають важливе значення, особливо в промислових і густонаселених регіонах, прикладом якого є Кременчуцький рудний район. Радіоекологічні дослідження під час розробки родовищ корисних копалин є обов'язковими і зазначаються в угодах про користування надрами та при видачі спеціальних дозволів на право користування надрами.

**Метою досліджень** була радіаційно-екологічна оцінка порід Горішнеплавнинського та Лавриківського родовищ залізистих кварцитів, визначення класу радіоактивності корисних копалин та вмісних порід, з'ясування можливостей і умов їх подальшого використання і складування.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Радіологічні дослідження порід і руд у межах Кременчуцького залізородного басейну виконують переважно разом з геофізичними роботами на кар'єрах (проведення каротажу, буровибухові та геологорозвідувальні роботи). Дані щодо природної радіоактивності порід і руд різних родовищ Кременчуцького району висвітлені переважно у виробничих звітах геологорозвідувальних і геофізичних партій та експедицій. Значний обсяг радіологічних досліджень був виконаний у процесі пошукових робіт на уранові руди. Проте цілеспрямованих радіоекологіч-

них досліджень виконано порівняно мало. У цій роботі висвітлені результати радіоекологічних досліджень, виконаних авторами на замовлення Полтавського гірничозбагачувального комбінату.

### **Основні завдання:**

- радіаційні дослідження залізистих кварцитів і вмісних гірських порід Горішнеплавнинського та Лавриківського родовищ за допомогою вимірювання природної радіоактивності порід у буровибухових свердловинах та уступах кар'єру
- дослідження радіонуклідного складу порід;
- з'ясування закономірностей поширення радіоактивних елементів по площі та на глибину родовища;

- дослідження мінеральних та петрографічних особливостей руд і порід, які впливають на їхню природну радіоактивність.

**Методика досліджень.** Роботи виконано відповідно до “Вимог по оцінці природної радіоактивності корисних копалин”, які затверджені наказом № 106 від 15.12.1997 р. Державної комісії України по запасах корисних копалин. При цьому у ході оцінювання природної радіоактивності залізистих кварцитів і вмісних гірських порід дотримано вимоги чинних нормативних документів [1–3].

Для дослідження природної радіоактивності порід використано такі методи: наземна радіометрична зйомка уступів кар'єру за допомогою дозиметра-радіометра МКС-08П “ДКС-96”, оснащеного блоком детектування БДПГ-96, заводський № 446; гамма-спектрометрія літохімічних проб за допомогою СЕГ-001 “АКП-С” БДЄГ(63); статистична обробка результатів гама-каротажу експлуатаційних свердловин.

**Результати та обговорення.** У регіональному відношенні Горішнеплавнинське і Лавриківське родовища, як і інші родовища Кременчуцької магнітної аномалії, знаходяться у центральній частині України в промислово розвиненому районі. Обласний центр – м. Полтава, знаходиться на відстані 90 км у північно-східному напрямку, на 30 км західніше району робіт розташоване м. Кременчук.

Розкривні роботи на Горішнеплавнинському родовищі залізистих кварцитів розпочаті у 1961 році. З 1963 р. триває експлуатація родовища кар'єрним способом (Полтавський гірничозбагачувальний комбінат). Лавриківське родовище залізистих кварцитів, яке є природним продовженням Горішнеплавнинського, експлуатується з 1979 р. На обох родовищах здійснюють видобуток залізистих кварцитів. Кар'єр Полтавського гірничозбагачувального комбінату, що відпрацьовує запаси Горішнеплавнинського і Лавриківського родовищ залізистих кварцитів, працює і нині (рис. 1).

Об'єктами досліджень були всі типи і різновиди порід, розкриті нині кар'єром Полтавського гірничозбагачувального комбінату:

- амфіболові, біотит-амфіболові сланці та амфіболіти новокриворізької світи ( $PR_{1nk}$ );
- кварц-біотит-амфіболові, кварц-біотитові, кварц-біотит-серицитові й кварц-серицитові сланці першої сланцевої світи ( $K_2^1$ );
- червоно-смугасті тонкошаруваті магнетитові кварцити нижньої пачки першої залізистої підсвіти ( $K_2^{21}$ );
- сіро-смугасті магнетитові кварцити середньої пачки першої залізистої підсвіти ( $K_2^{22}$ );
- червоно-смугасті магнетитові та залізнослюдково-магнетитові кварцити верхньої пачки першої залізистої підсвіти ( $K_2^{23}$ );
- кумінгтоніт-магнетитові кварцити першої пачки другої залізистої підсвіти ( $K_2^{31}$ );
- кварц-магнетит-кумінгтонітові та кварц-магнетит-біотитові сланці другої пачки другої залізистої підсвіти ( $K_2^{32}$ );
- кумінгтоніт-магнетитові кварцити третьої пачки другої залізистої підсвіти ( $K_2^{33}$ );
- збіднені магнетит-кумінгтонітові кварцити четвертої пачки другої залізистої підсвіти ( $K_2^{34}$ );



Рис. 1. Кар'єр Полтавського гірничозбагачувального комбінату

– кварц-слюдисті філітоподібні сланці з домішками вуглистої речовини другої сланцевої підсвіти ( $K_2^4$ );

– кварц-глауконітові алевроліти обухівської світи харківської серії ( $P_{2hr}$ );

– кварцові дрібнозернисті піски четвертинних відкладів ( $Q_{III-IV}$ );

– мікроклінові граніти кіровоградського комплексу ( $PR_{1kg}$ );

– плагіоклазові граніти дніпропетровського комплексу ( $AR_{1dn}$ ).

*Вимірювання гамма-випромінювання у буропідричних свердловинах.* Всього у кар'єрі виміряно гамма-випромінювання по 781 свердловині. Вимірювання природної радіоактивності гірських порід проведено по всій глибині свердловин. Гама-каротаж виконано в межах усіх буропідричних блоків. Для реєстрації кривих гама-каротажу (ГК) використано апаратуру РСКУ в комплексі із каротажними станціями АЕКС-1500.

У якості детектора для проведення ГК використано фотомножинник ФЕУ-35 та монокристал NaJ (Тl). Криву ГК зареєстровано у масштабі 1 : 200, аномалії ГК деталізовано у масштабі глибин 1 : 50.

Для контролю дотримання точності апаратурних вимірювань кожний місяць здійснювали еталонування. Між еталонуваннями будували графік чутливості радіометра. На кожній свердловині записували контрольний інтервал кривої, який склав не менше 10 % від кривої основного запису.

Природна радіоактивність порід за даними гама-каротажу свердловин складає, мкР/годину: граніти і мігматити кіровоградського комплексу – 13,4, кварц-біотит-амфіболові, кварц-біотитові, кварц-біотит-серицитові та кварц-серицитові сланці.  $K_2^1$  – 7,8, кварц-біотит-амфіболові, кварц-біотитові, кварц-біотит-серицитові та кварц-серицитові сланці  $K_2^2$  – 1,3, кумінгтоніт-магнетитові кварцити з прошарками кварц-магнетит-кумінгтонітових та кварц-магнетит-біотитових сланців.  $K_2^3$  – 3,9, кумінгтоніт-магнетитові кварцити  $K_2^3$  – 3,4. Характеристика природної радіоактивності головних різновидів порід Горішніплавнинського та Лавриківського родовищ наведена на рис. 2.

*Радіометрична зйомка уступів кар'єру.* Природну радіоактивність порід у кар'єрі вивчено за допомогою інструментальної радіометричної зйомки відслонень в уступах. Досліджено весь кар'єр. Радіаційно-екологічні дослідження виконано відповідно до вимог чинних нормативних документів [1–3].

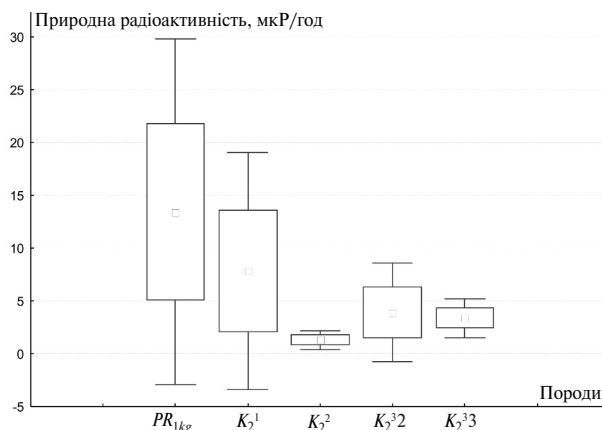


Рис. 2. Порівняльна характеристика природної радіоактивності головних різновидів порід у експлуатаційних блоках кар'єру Полтавського гірничозбагачувального комбінату

Вимірювання природної радіоактивності здійснено за допомогою дозиметра-радіометра МКС-08П “ДКС-96”, оснащеного блоком детектування БДПГ-96, заводський № 446. Просторову прив'язку маршрутів пішохідної зйомки виконано за планом гірничих робіт в масштабі 1 : 2000 за наявними маркшейдерськими точками. Прив'язку свердловин зробили за проектами буропідричних блоків.

Природна радіоактивність гірських порід і руд у польових умовах (в кар'єрі) визначена за допомогою інтегральної модифікації гамма-методу і уточнена за представницькими пробами гамма-спектрометром в лабораторних умовах із кількісним визначенням вмісту радю ( $^{226}\text{Ra}$ ), торію ( $^{232}\text{Th}$ ), калію ( $^{40}\text{K}$ ).

Профільна або маршрутна гамма-зйомка проведена по стінках, уступах, або дну кар'єра. Геофізичні вимірювання зроблено через кожні 20–40 м одним радіометром. Початкову та кожену десятку геофізичні точки профілю контролювали іншим радіометром та іншим оператором. Таким чином здійснено 10 % контроль досліджень. Ці вимірювання заносили в польовий журнал, де вказували і зміни стану геологічної обстановки.

Виконано визначення природної радіоактивності порід в уступах за допомогою дозиметра-радіометра МКС-08П “ДКС-96”. Перед початком вимірювань перевіряли робочий стан апаратури шляхом реєстрації природного фону та вимірювання випромінювання від контрольного джерела. Для виключення впливу фону зовнішнього гамма-випромінювання застосовані свинцеві фільтри. Одиниці виміру приладу – мкЗв/год.

Узагальнюючи отримані результати польових робіт можна зробити висновок, що досліджені

Природна радіоактивність різновидів порід кар'єру, Бк × кг<sup>-1</sup>

Номер проби	Індекс	Порода	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	A <sub>еф</sub>
1	K <sub>2</sub> <sup>32</sup>	Сланець кварц-біотитовий з сульфідною мінералізацією	147,8	11,18	16,11	45,6
2	K <sub>2</sub> <sup>23</sup>	Кварцит червоносмугастих, залізнослюдково-магнетитовий	189,0	3,1	8,63	30,5
3	K <sub>2</sub> <sup>22</sup>	Кварцит магнетитовий	92,6	4,01	16,8	33,9
4	K <sub>2</sub> <sup>21</sup>	Кварцит магнетитовий червоносмугастих	88,4	3,89	17,1	33,8
5	K <sub>2</sub> <sup>1</sup> -K <sub>2</sub> <sup>21</sup>	Кварц-біотит-амфіболові сланці та малорудні кумінгтонітові з магнетитом кварцити зони переходу	192,0	3,25	3,69	24,4
6	K <sub>2</sub> <sup>33</sup>	Кварцити кумінгтоніт-магнетитові	71,8	3,99	16,5	31,7
7	K <sub>2</sub> <sup>33</sup>	Кварцити магнетит-кумінгтонітові	179,0	4,05	14,4	38,2
8	K <sub>2</sub> <sup>4</sup>	Сланці кварц-слюдисті	263,0	20,8	31,4	84,3
9	K <sub>2</sub> <sup>4</sup>	Сланці філітоподібні з вуглистою речовиною	226,0	16,58	23,4	66,5
10	AR <sub>2sk</sub>	Катаклазовані плагіограніти зони розлому	235,0	6,13	28,5	63,4
11	K <sub>2</sub> <sup>1</sup>	Мілоніт кварц-біотит-амфіболових сланців	149,0	3,42	12,3	32,2
12	K <sub>2</sub> <sup>1</sup>	Сланці кварц-серицитові	24,1	75	26,7	112,0
13	K <sub>2</sub> <sup>2</sup>	Кварцити магнетитові червоносмугасті	24,2	4,41	3,4	11,0
14	PR <sub>1kg</sub>	Граніти мікроклінові	371,0	7,6	9,8	51,9
15	P <sub>2hr</sub>	Пісок кварц-глауконітовий, дрібнозернистий	98,1	3,62	4,12	17,3
16	Q <sub>III-IV</sub>	Пісок кварцовий жовтувато-бурий	95,2	3,67	5,11	18,5



Рис. 3. Зона Головного розлому (контакт сланців з гранітоїдами AR<sub>2sk</sub>). Західний борт кар'єру Полтавського гірничозбагачувального комбінату

породи мають досить низькі природні значення гамма-випромінювання, які не перевищують 0,17 мкЗв/год. Згідно з нормами радіаційної безпеки, породи у межах досліджуваної ділянки за радіоактивністю відповідають породам першого класу.

**Лабораторні дослідження.** Для лабораторних досліджень природної радіоактивності в кар'єрі були відібрані проби по всіх природних різновидах порід, які на даний час розкриті гірничими роботами. Крім того окремо опробовано зони розривних порушень (брекчіювання, катаклазу, мілонітизації). Для аналізування проби доводили до класу крупності 10 мм у шоківій дробарці. Відбір та підготовку проб виконували відповідно до вимог НРБУ-97. Узагальнені результати лабораторних досліджень наведені в таблиці.

Лабораторні дослідження проб виконано за допомогою методу гамма-спектрометрії (прилад СЕГ-001 "АКП-С" № 27107) у сертифікованому лабораторному центрі Держсанепідемслужби України.

Було визначено природну радіоактивність  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  (Бк/кг $^{-1}$ ). Питому ефективну активність природних радіонуклідів досліджуваних порід розраховано за формулою:

$$A_{\text{эф}} = A^{226}\text{Ra} + 1,31A^{232}\text{Th} + 0,085A^{40}\text{K},$$

де  $A^{226}\text{Ra}$ ,  $A^{232}\text{Th}$  – питома активність радію-226 та торію-232, які перебувають у рівновазі з рештою членів уранового і торієвого сімейств, Бк/кг;  $A^{40}\text{K}$  – питома активність  $^{40}\text{K}$ , Бк/кг.

Результати лабораторних досліджень показали, що найбільші значення питомої ефективної активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{эф}} = 119,3$  Бк/кг $^{-1}$ ) властиві кварц-серицитовим сланцям зони Головного розлому (рис. 3).

Біотит-амфіболові сланці  $\text{Pr1nk}$  мають значення питомої ефективної активності природних радіонуклідів  $A_{\text{эф}} = 59,3$  Бк/кг $^{-1}$ . Ці породи характеризуються також відносно високим значенням питомої активності  $^{40}\text{K}$  – 186,0 Бк/кг $^{-1}$ . Найвищи-

ми показниками питомої активності  $^{40}\text{K}$  характеризуються гранітоїди  $\text{PR}_{1\text{kg}}$  зони розлому 406 Бк/кг $^{-1}$ .

Значення питомої ефективної активності природних радіонуклідів в жодній з проб не перевищує 370 Бк/кг. Згідно з нормами радіаційної безпеки, породи у межах досліджуваної ділянки відповідають породам першого класу.

**Висновки та рекомендації.** Результати проведених радіаційно-екологічних досліджень природної радіоактивності порід Горішнеплавнинського та Лавриківського родовищ залізистих кварцитів у кар'єрі Полтавського гірничозбагачувального комбінату дозволяють зробити такі висновки.

Потужність еквівалентної дози гамма-випромінювання порід, розкритих кар'єром Полтавського гірничозбагачувального комбінату, змінюється від 0,02 до 0,17 мкЗв/годину. Найнижчими значеннями характеризуються залізисті кварцити саксаганської світи, піски кварц-глауконітові харківської світи та піски і суглинки четвертинних відкладів. Найвищими показниками (0,17 мкЗв/год) характеризуються мікроклінові граніти зони Головного розлому. Відповідно до норм радіаційної безпеки, породи у межах кар'єру за радіоактивністю відповідають породам першого класу.

Потужність експозиційної дози гамма-випромінювання за даними гамма-каротажу 781 експлуатаційної свердловини змінюється від 0,9 до 16,8 мкР/год. Найвищими показниками характеризуються мікроклінові різновиди гранітів  $\text{PR}_{1\text{kg}}$ , найнижчими – залізисті кварцити саксаганської світи. Відповідно до норм радіаційної безпеки, породи у межах кар'єру за радіоактивністю відповідають породам першого класу.

За даними гамма-спектрометрії ефективна питома активність природних радіонуклідів у всіх різновидах руд і вмисних порід не перевищує нормативних показників для першого класу мінеральної сировини.

Породи, що складують у відвали, за радіоактивністю належать до першого класу і не загрожують навколишньому середовищу.

#### Список літератури

1. *Вимоги до оцінки природної радіоактивності корисних копалин при проведенні геологорозвідувальних робіт на родовищах будівельної сировини / Державна комісія України по запасах корисних копалин.* – 1997. – 46 с.
2. *ДСТУ ISO 18589-3:2010.* Вимірювання радіоактивності у докілья. Грунт. Частина 3. Гамма-випромінювальні радіонукліди.
3. *Норми радіаційної безпеки України НРБУ-97.* Київ, 1997. – 84 с.

#### References

**Плотников А.В., Ефименко В.В., Яременко О.В.**

*ГВУЗ “Криворожский национальный университет”*

*Институт геологических наук НАН Украины*

**Радиоэкология месторождений железистых кварцитов Кременчугского железорудного бассейна.**

Выполнен комплекс радиоэкологических исследований одного из крупнейших железорудных районов Украины. Исследованы показатели природной радиоактивности всех типов вскрышных пород и природных разновидностей железистых кварцитов, вскрытых Горишнелавнинским и Лавриковским месторождениями. Определено влияние разработки месторождений на радиоэкологическое состояние окружающей среды.

*Ключевые слова:* природная радиоактивность, радионуклиды, месторождения железистых кварцитов.

**Plotnikov A.V., Efimenko V.V., Yaremenko. O.V.**

*National University of Kryvyi Roh*

*Institute of Geology of the National Academy of Science of Ukraine*

**Radioecology deposits of ferruginous quartzite of Kremenchug iron ore basin.**

When exploitation of mineral deposits on the surface pits are large areas of different host rocks and ores, which are characterized by certain indicators of natural radioactivity. This has a direct impact on the natural radioactivity of the environment. The aim of research was radiation-ecological assessment rocks of Gorishni-Plavninskoe and Lavrikovskoe deposits of ferruginous quartzite, class definition radioactivity of minerals and host rocks, finding opportunities and subject to further use and storage. *Research methods.* The study of natural radioactivity of rocks produced by the following methods: surface radiometric shooting benches career with the dosimeter-radiometer MKS-08P DKS-96, which is equipped with a detection unit BDPG-96; gamma spectrometry lithochemical samples using SEG-001 AKP-S BDEG (63); statistical processing of the results of gamma ray production wells. *The results of radiation-ecological studies suggest the following conclusions.* 1. The equivalent dose of gamma radiation of rocks, which opened quarry Poltava ore mining and processing enterprise varies from 0.02 to 0.17 mSv/h. The lowest rates of natural radioactivity characterized by ferruginous quartzites Saksahan suite, quartz-glauconite sands Kharkov Formation and sands and loams of Quaternary sediments. The most high rates of 0.17 mSv/h are characterized by microcline granites Main Fault Zone. 2. The exposure dose rate of gamma radiation according to the gamma-ray production well 781 varies from 0.9 to 16.8 mR / hr. The biggest indicators are characterized by microcline granite varieties Pr1kg. The lowest rates of natural radioactivity are ferruginous quartzites Saksahan suite. 3. According to laboratory studies of samples by gamma spectrometry effective specific activity of natural radionuclides in all varieties of ores and host rocks does not exceed the figures for the first class of minerals.

*Keywords:* natural radioactivity, radionuclide, deposits of ferruginous quartzite.

**Надійшла 11.07.2016**