

УДК 577.34(075)

О.В. ПЛОТНИКОВ, д-р геол. наук, проф.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

## РАДІОЕКОЛОГІЯ ІНГУЛЕЦЬКОГО РОДОВИЩА ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ В КРИВОРІЗЬКОМУ РУДНОМУ РАЙОНІ

*Проведений комплекс радіоекологічних досліджень одного з найкрупніших залізорудних родовищ України. Досліджені показники природної радіоактивності всіх типів розкривних порід і природних різновидів залізистих кварцитів, які складають Інгулецьке родовище. Визначений вплив розробки родовища на радіоекологічний стан навколишнього середовища.*

*Проведенный комплекс радиоэкологических исследований одного из крупнейших железорудных месторождений Украины. Исследованы показатели естественной радиоактивности всех типов вскрышных пород и природных разновидностей железистых кварцитов, которые составляют Ингулецкое месторождение. Определенное влияние разработки месторождения на радиоэкологическое состояние окружающей среды.*

*The complex radioecological research one of the largest iron ore deposits Ukraine. Investigated performance of all types of natural radioactivity overburden and natural varieties of ferruginous quartzite, which make Inguletskiy field. The influence of field development on Radiological environment.*

**Вступ. Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** При розробці родовищ корисних копалин відкритим способом на денну поверхню відслонюються великі площі різноманітних розкривних порід і руд, які характеризуються певними показниками природної радіоактивності. Зазначене спричиняє безпосередній вплив на природній радіаційний фон навколишнього середовища. Тому радіоекологічні дослідження порід родовищ що розробляються мають важливе значення, особливо в промислових і густонаселених регіонах, прикладом якого є Криворізький рудний район. Радіоекологічні дослідження при розробці 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-гігієнічна оцінка порід Інгулецького родовища залізистих кварцитів, визначення класу радіоактивності корисних копалин та вміщуючих порід, з'ясування можливостей і умов їх подальшого використання і складування.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Радіологічні дослідження порід і руд в межах Криворізького залізорудного басейну проводяться переважно при геофізичних роботах на кар'єрах (проведення каротажу буро вибухо-

вих та геологорозвідувальних роботах). Дані про природну радіоактивність порід і руд різних родовищ Криворізького району висвітлені переважно у виробничих звітах геологорозвідувальних та геофізичних партій та експедицій. Також значний обсяг радіологічних досліджень був виконаний при пошукових роботах на уранові руди. Проте цілеспрямованих радіоекологічних досліджень виконано порівняно мало. В даній роботі висвітлені результати радіоекологічних досліджень, які виконувались автором в рамках роботи на замовлення ПАТ «ІнГЗК».

**Постановка завдання.** Основними завданнями роботи є наступні.

1. Радіаційні дослідження залізистих кварцитів і вміщуючих гірських порід Інгулецького родовища за допомогою вимірювання природної радіоактивності порід у буровибухових свердловинах та уступах кар'єру.

2. Дослідження радіонуклідного складу порід.

3. З'ясування закономірностей поширення радіоактивних елементів по площі та на глибину родовища.

4. Дослідження мінеральних та петрографічних особливостей руд і порід, які впливають на їх природну радіоактивність.

Роботи виконувались у відповідності 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 виконанні робіт по оцінці природної радіоактивності залізистих кварцитів і вміщуючих гірських порід родовища враховувались нормативні документи [1-5].

**Викладення матеріалу та результати.**

Інгулецьке родовище залізистих кварцитів, що являється сировинною базою Інгулецького гірничо-збагачувального комбінату, в географічному відношенні входить до складу Криворізького залізорудного басейну та є його південним закінченням. Загальна протяжність родовища 3,5 км, площа – 2100000 м<sup>2</sup>.

Інгулецьке родовище в структурному відношенні знаходиться в південній частині Лихманівської синклінали, що вузькою смугою простягається від с. Миколаївка на півдні до м. Кривий Ріг на півночі, на відстань майже 30 км. В районі замикання синклінали її ширина досягає 2000 м, поступово зменшуючись на північ до 100 м.

По західній межі Лихманівської синклінали проходить Західний розлом (рис. 1), який на всьому її простяганні, крім південної частини, обмежує її західне крило, та слугує межею порід метаморфічного комплексу та розвинутих західніше гранітів та мігматитів.

Основною корисною копалиною родовища є неокислені залізисті кварцити 2-5 залізистих горизонтів. Протяжність родовища 3,5 км, площа поширення залізистих порід складає 2100000 м<sup>2</sup>.



*Рис. 1. Західний розлом (західний борт Інгулецького кар'єру)*

Середня потужність кайнозойських відкладів в ділянках з не порушеною поверхнею дорівнює 27,25 м. Глибина занурення порід другого залізного горизонту складає на півдні родовища 250 м, в центрі - 730 м, у північній межі 1450 м. Занурення порід п'ятого залізного горизонту на півдні - 150 м, в центрі - 230 м, на півночі - 950 м.

Залізисті породи продуктивної частини родовища з 1965 року відпрацьовуються кар'єром Інгулецького гірничо-збагачувального комбінату. Проектна продуктивність кар'єру - 36 млн.т сирової руди в рік.

Враховуючи геологічну будову родовища, вимоги нормативних документів, спосіб розробки родовища були виконані наступні основні види та обсяги робіт.

1. Оцінка природної радіоактивності порід по робочим горизонтам кар'єру та буровибуховим свердловинам, з виносом пікетів на геологічну карту.

2. Відбір проб по всім природним різновидам порід на літохімічний аналіз природної радіоактивності.

3. Проведення лабораторних випробувань порід.

Виконання зазначених робіт здійснено із застосуванням польових радіометрів МКС-У і дозиметра-радіометра МКС-08, а в лабораторних умовах - гама - спектрометром РУГ-91М №300358 технічні характеристики яких відповідають технічному опису і інструкції з експлуатації. Просторова прив'язка маршрутів пішоїдної зйомки здійснювалася за планом гірничих робіт в масштабі 1:2000, з інструментальною прив'язкою до геодезичної мережі. Прив'язка свердловин проводилася за проектами буропідривних блоків.

Природна радіоактивність гірських порід і руд в польових умовах (в кар'єрі) вивчалася за допомогою інтегральної модифікації гамма-методу і уточнювалася за представницькими пробами гама-спектрометром в лабораторних умовах з кількісним визначенням вмісту радю (Ra-226), торію (Th-232), калію (K-40).

Профільна або маршрутна гамма-зйомка проводилася по забоях, уступах та дну кар'єра. Геофізичні вимірювання проводилися через кожні 20-40 м одним радіометром. Початкова та кожна десята геофізичні точки профілю контролювалися іншим радіометром та іншим оператором. Таким чином, здійснювався 10% контроль досліджень. Дані виміри заносилися в польовий журнал, де також вказувалися зміни стану геологічної обстановки.

Для проведення літохімічних аналізів по стратиграфічним горизонтам було відібрано 20 проб. Представницькі проби по 10 - 15 кг відбиралися під контролем і за участю геологів кар'єру.

Всього по кар'єру проведено виміри гамма-випромінювання по 80 свердловинах. Для вивчення радіоактивності порід в уступах кар'єру та бурового шламу на поверхні блоків використовувався радіометр МКС-08. Вимірювання проводилось за маршрутами (понад 3000 пог.м). Відстань між пікетами в профілях змінювалась від 1 до 40 м, в залежності від потужності відслонення різних за складом порід. Перед початком вимірювань перевірявся робочий стан апаратури шляхом реєстрації природного фону та виміру випромінювання від контрольного джерела. Для усунення впливу фону зовнішнього гамма-випромінювання були застосовані свинцеві фільтри. Одиниці виміру приладу – імпульси/хв.

Результати вимірів по блоках (рис. 2) наступні (табл. 1).

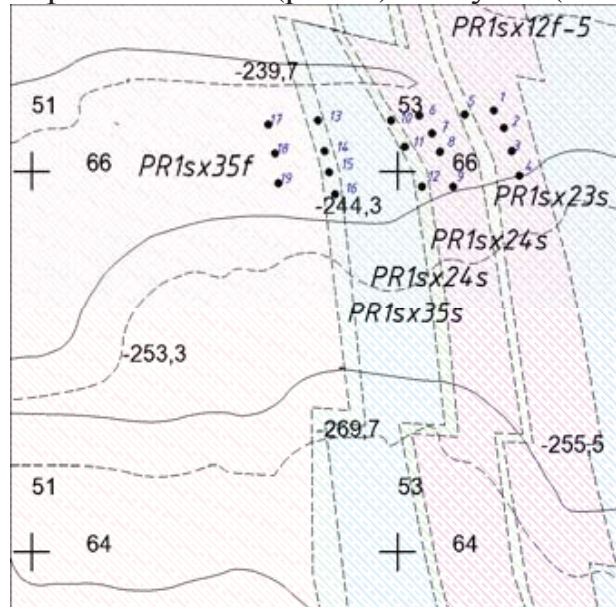


Рис. 2. Схема свердловин гамма-каротажу (гор. -240 м, блок № 125, Масштаб 1:1000)

Таблиця 1

Результати гамма – зйомки

№ скв.	Гор.	Стратиграфічний індекс порід	Значення, мкЗв/год
--------	------	------------------------------	--------------------

<b>Блок №125</b>			
1	-240	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,04
2	-240	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,05
3	-240	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,05
4	-240	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,04
5	-240	$PR_1SX_2^{3s}$	0,06
6	-240	$PR_1SX_2^{4s}$	0,05
7	-240	$PR_1SX_2^{4s}$	0,04
8	-240	$PR_1SX_2^{4s}$	0,04
9	-240	$PR_1SX_2^{4s}$	0,05
10	-240	$PR_1SX_2^{4s}$	0,06
11	-240	$PR_1SX_2^{4s}$	0,06
12	-240	$PR_1SX_2^{4s}$	0,06
13	-240	$PR_1SX_3^{5s}$	0,09
14	-240	$PR_1SX_3^{5s}$	0,10
15	-240	$PR_1SX_3^{5s}$	0,08
16	-240	$PR_1SX_3^{5s}$	0,09
17	-240	$PR_1SX_3^{5f}$	0,05
18	-240	$PR_1SX_3^{5f}$	0,05
19	-240	$PR_1SX_3^{5f}$	0,06
<b>Блок №127</b>			
1	-120	$PR_2dn$	0,24
2	-120	$PR_2dn$	0,23
3	-120	$PR_2dn$	0,25
4	-120	$PR_2dn$	0,20
5	-120	$PR_2dn$	0,20
6	-120	$PR_2dn$	0,22
7	-120	$PR_2dn$	0,29
8	-120	$PR_2dn$	0,29
9	-120	$PR_2dn$	0,29
10	-120	$PR_2dn$	0,20
11	-120	$PR_2dn$	0,21
12	-120	$PR_2dn$	0,22
<b>Блок №145</b>			
1	-210	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,06
2	-210	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,06
3	-210	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,07

Продовження таблиці 1

4	-210	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,08
5	-210	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,08
6	-210	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,09

7	-210	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,06
8	-210	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,10
9	-210	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,05
10	-210	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,09
11	-210	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,10
12	-210	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,07
13	-210	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,07
14	-210	$PR_1SX_1^{2f-5}$	0,06
15	-210	$PR_1SX_2^{3s}$	0,08
16	-210	$PR_1SX_2^{3s}$	0,07
17	-210	$PR_1SX_2^{3s}$	0,10
18	-210	$PR_1SX_2^{3s}$	0,06
19	-210	$PR_1SX_2^{3s}$	0,06
20	-210	$PR_1SX_2^{4s}$	0,07
21	-210	$PR_1SX_2^{4s}$	0,08
22	-210	$PR_1SX_2^{4s}$	0,08
23	-210	$PR_1SX_2^{4s}$	0,09
24	-210	$PR_1SX_2^{4s}$	0,10
25	-210	$PR_1SX_2^{4s}$	0,09
<b>Блок №146</b>			
1	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,05
2	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,06
3	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,08
4	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,06
5	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,07
6	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,08
7	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,08
8	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,06
9	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,06
10	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,07
11	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,08
12	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,08
13	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,07
14	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,07
15	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,06
16	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,08

Закінчення таблиці 1

17	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,06
18	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,07
19	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,07
20	-285	$PR_1SX_3^{5f}$	0,06

21	-285	$PR_{1SX_3}^{5f}$	0,08
22	-285	$PR_{1SX_3}^{5f}$	0,06
23	-285	$PR_{1SX_3}^{5f}$	0,07
24	-285	$PR_{1SX_3}^{5f}$	0,07

**Блок 1 (горизонт – 240 м, блок № 125).** Кількість свердловин – 19. Середня глибина свердловини – 18м. Різновидність порід – кварцити магнетит-силікатні, гранат-біотитові сланці, хлорит-біотитові сланці, кварцити магнетитові, кварцити силікат-магнетитові, кварцити магнетитові. Потужність експозиційної дози гамма-випромінювання шламу та порід, які складають поверхню ділянки, що досліджувалась складає від 0,04 до 0,10мкЗ/год. Характеризується витриманістю в межах всього блоку.

**Блок 2 (горизонт – 120 м, блок № 127).** Кількість свердловин – 12. Середня глибина свердловини – 18м. Різновидність порід – мігматити. Порооди, які складають блок 2, характеризуються дещо підвищеною природною радіоактивністю (до 0,29 мкЗ/год), у порівнянні з залізистими кварцитами. При визначені радіоактивності шламу свердловин перевищень гамма - фону від спостережуваного в свердловинах не виявлено.

**Блок 3 (горизонт – 210м, блок № 145).** Кількість свердловин – 25. Середня глибина свердловини – 18м. Різновидність порід – кварцити магнетит-силікатні, хлорит-біотитові сланці, гранат-біотитові сланці. Радіоактивність порід блоку 3, складає 0,06-0,10 мкЗ/год. По деяким свердловинам відмічається незначне підвищення радіоактивності в приповерхневій зоні, що також відмічається при вимірі гамма-випромінювання шламу.

**Блок 4 (горизонт – 285м, блок № 146).** Кількість свердловин – 24. Середня глибина свердловини – 18м. Різновидність порід – кварцити магнетитові. В цілому по свердловинам четвертого блоку гамма-випромінювання порід змінюється від 0,05-0,08 мкЗ/год. Показники випромінювання шламу також мають досить чітку градацію за простяганням.

Первинна інформація, яка отримана в процесі радіоекологічних досліджень в кар'єрі, сконцентрована в апаратурних і польових журналах, каталогах геологічних проб. Обробка первинних матеріалів та їх інтерпретація виконувалася відповідно до діючих положень Інструкції по гамма - зйомці та технічної документації до використовуваної геофізичної апаратури.

Камеральна обробка первинної (польовий і лабораторної) інформації умовно поділялась на два етапи: первинну і заключну. Первинна обробка інформації носила характер оперативного контролю за формуванням і накопиченням радіологічних та маркшейдерських даних, її документацією, у відповідності з вимогами методичних вказівок і технічних інструкцій. Основна, камеральна обробка польових вимірювань полягала в наступному:

- у обчисленні середніх значень по кожній свердловині в польових журналах;
- підготовці таблиць по зіставленню основних та контрольних вимірювань;
- формування загальної бази даних геофізичних вимірювань з групуванням і адресацією;
- обчислення похибок;
- роздрукування таблиць даних на паперові носії.

На заключному етапі камеральних робіт проводився детальний аналіз отриманої радіоекологічної інформації та її просторової прив'язки, а також порівняльна оцінка з даними хімічних аналізів.

Для визначення сумарної питомої ваги активності радіонуклідів в залістистих кварцитах і вміщуючих породах Інгулецького родовища було відібрано 20 проб з основних різновидів порід. За результатами лабораторних гамма - спектрометричних досліджень всі 20 проб, які були обстежені в Державній санітарно-епідеміологічній службі України. Рівень ефективної питомої активності природних радіонуклідів не перевищує показників для першого класу мінеральної сировини (370 бк/кг згідно НРБУ - 97 п.8.6.1.б.) і коливається в межах 5.13 - 212 бк/кг.

Для визначення систематичної похибки геофізичного випробування та оцінки відтворюваності гамма-методу були виконані контрольні заміри кількості >10% від загального обсягу виконаних робіт. Всього проведено 643 основних вимірів і 68 контрольних.

Оцінка відтворюваності з подвійним рівно точним вимірам різними радіометрами і різними операторами обчислювалась за формулою (інструкція [5]):

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{2n}}$$

Фактична величина коефіцієнта ймовірності систематичної помилки  $t_{\text{факт.}}$  визначалась за формулою:

$$t_{\text{факт.}} = \frac{d}{\sigma_d} * \sqrt{n},$$

$$\text{де, } d = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n}; \quad \Delta_i = X_i - Y_i; \quad \sigma_d = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - d)^2}{n-1}}$$

За результатами основних та контрольних вимірювань середньоквадратичне відхилення відтворюваності гамма-методу дорівнює:

$$\sigma = 0.01362 \text{ мЗв/год}$$

Величина коефіцієнта ймовірності систематичної похибки при цьому дорівнювала  $t_{\text{факт.}} = 1,0073$ , що не перевищує  $t_{\text{табл.}} = 2,576$  ( $t_{\text{факт.}} < t_{\text{табл.}}$ ) при ймовірності висновку 99% ( $p=0,99$ ).

За результатами зіставлень основного і контрольного вимірювань по контрольних свердловинах буропідричних блоків з інтервалом 10см було



визначено середньоквадратичне відхилення відтворюваності:  $\sigma_{\text{абс.}} = \pm 0,091$  мЗв/год.

При цьому коефіцієнт ймовірності систематичної помилки дорівнював  $t_{\text{факт.}} = 1,0073$  (при  $t_{\text{табл.}} = 2,576$ ,  $t_{\text{факт.}} < t_{\text{табл.}}$ ) при ймовірності висновку 99% ( $p = 0,99$ ).

Ці дані контролю підтверджують високу надійність виконаних вимірювань гамма-методом.

### **Висновки та напрямок подальших досліджень**

Проведені радіоекологічні дослідження Інгулецького родовища в кар'єрі ПАТ «ІнГЗК» дозволяють зробити наступні висновки.

1. Аналіз результатів замірів радіоактивності уступів кар'єру дозволяють зазначити, що більшість природних типів порід характеризуються досить незначним природним гама-випромінюванням, яке не перевищує 0,28 мкЗв/год. У відповідності до норм радіаційної безпеки, породи в межах кар'єру по радіоактивності відповідають породам першого класу. Проте конгломерати скелюватської світи мають підвищений радіаційний фон, який перевищує 0,65 мкЗв/год.

2. За даними хімічних досліджень ефективна питома активність природних радіонуклідів у більшості різновидів руд і вміщуючих порід не перевищує нормативних показників для першого класу мінеральної сировини (370 Бк/кг згідно НРБУ-97 п.8.6.1.б).

Породи що складуються у відвали по радіоактивності відносяться до першого класу і не загрожують навколишньому.

3. Напрямки подальших радіоекологічних досліджень треба зосередити на породах скелюватської криворізької серії які характеризуються підвищеним радіаційним фоном.

### *Список літератури:*

1. Вимоги щодо оцінки природної радіоактивності корисних копалин (затверджено Наказом ДКЗ України № 106 від 15.12.1997г.).

2. Системи норм і правил захисту від іонізуючих випромінювань в будівництві (ДБН В 1,4-1,01-97).

3. Інструкція із застосування геофізичних методів на гірничодобувних підприємствах Міністерства чорної металургії СРСР. Білгород, 1979. - 35с.

4. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ - 2000). Київ. -84 с.

5. Требования к оценке естественной радиоактивности полезных ископаемых при проведении горных работ на месторождениях строительного сырья, Киев, ГКС, 1997. -45с.

УДК 639

ГУБИН Г.Г., ГУБИН Г.В., ЯРОШ Т.П.

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»