

I.O. Полякова
LLC «TechnoChemAtom»

РАДОН ЯК ОДИН З НАЙБІЛЬШ НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ШАХТАРІВ

Проблема. Україна є однією з провідних мінерально-сировинних держав у світі. Сьогодні в Україні проаналізовано 20000 родовищ та проявів 111 видів корисних копалин (за даними УНІАН – 200 мінералів, з яких 120 сьогодні використовуються людьми). Найбільше економічне значення мають вугілля, нафта і газ, залізна руда та марганець, природна сірка, кам'яні та калійні солі, неметалічні будматеріали, мінеральні води. Ці родовища розташовані в різних геологічних регіонах України.

Під час видобування корисних копалин персонал шахт та населення зазнає впливу від радіоактивних матеріалів природного походження (NORM – nature occurring radioactive materials). Рівні радіаційної безпеки та радіаційного захисту населення та персоналу будь-якої галузі визначаються, насамперед, відповідними громадськими, галузевими та іншими нормативно-правовими актами та системами контролю за їх виконанням. Одним з важливих компонентів підвищення радіаційної безпеки є методичне застосування відповідних пристроїв радіаційного контролю та отримання надійних й достовірних даних (результатів), що дасть змогу правильно оцінити радіаційну обстановку на об'єкті.

Природні та кліматичні умови шахт є специфічними. Цей факт підтверджується рівнем вологості, який може сягати 99%, але температура і атмосферний тиск не змінюються. У процесі роботи на шахті шкідливими факторами для людського організму є пил у повітрі робочої зони та радіоактивність. Альфа-частинки утворюються внаслідок розпаду дочірніх продуктів ^{224}Ra , ^{223}Ra і ^{226}Ra , осідають на аерозолях і потрапляють в організм людини шляхом інгаляції, а актинон, радон і торон призводять до збільшення дози для персоналу.

Мета. Метою дослідження є визначення радіаційної обстановки на ділянках видобування корисних копалин, враховуючи фактори, які впливають на достовірність результатів; встановлення надійних кількісних характеристик шкідливих факторів навколишнього середовища, що негативно впливають на організм персоналу; проведення аналізу методик вимірювання за допомогою прямих методів та внесення пропозицій щодо їх поліпшення, оскільки вплив факторів виробничого середовища спричиняє похибку одержаних результатів понад 75%.

Методи дослідження. Під час проведення досліджень для досягнення поставленої мети і вирішення завдань було використано прямі методи вимірювань, розрахунки та аналітичні дослідження. В ході експериментальної та аналітичної роботи було застосовано фізико-хімічні та радіометричні методи вимірювання, використовувались контрольні-вимірювальні прилади й сертифіковане обладнання.

Основні результати дослідження. Вимірювання рівноважної об'ємної активності радону та торону за допомогою прямого методу є необхідним завданням для експрес-оцінки впливу на персонал на робочому місці. Кількісна оцінка повітряних газів, таких як ^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{219}Rn , залежить від кількості покладів рядів урану і торію біля поверхні Землі.

Не слід забувати, що після радіоактивного розпаду вищезгаданих газів утворюється значна кількість α -радіоактивних дочірніх нуклідів, що проникають у тіло шахтарів. Це спричиняє збільшення дози від накопичення α -радіонуклідів в організмі персоналу шахт, але цей персонал, який працює з NORM (за винятком шахтарів, які працюють у шахтах з видобування урану), офіційно не віднесено до персоналу, що працює в умовах шкідливого впливу іонізуючого випромінювання.

Порівняння результатів, отриманих шляхом вимірювання ^{222}Rn і ^{220}Rn , представлених у таблицях 1 та 2 за допомогою прямих методів вимірювання з використанням РГА-2006 «Ікар» та AlphaGuard PQ2000, демонструють різницю, особливо при підвищеній вологості та збільшенні кількості мінерального пилу в повітрі шахт.

Висновки та конкретні пропозиції автора. Автор статті отримала такі висновки про стан експериментальних досліджень та аналіз даних:

1. Кліматичні умови відіграють важливу роль у надійності даних. Потрібно ретельно підбирати пристрої радіаційного контролю та методи вимірювання.

2. Провести кількісний аналіз радіонуклідів та встановити дозу для шахтарів лише від радону та торону, що можливо з використанням α -спектрометрії. У цьому дослідженні експрес-контроль (контроль у реальному часі) α -випромінюючих радіонуклідів у повітрі здійснювався з використанням детекторів, діяльність яких базується на використанні іонізаційної камери. Але в результаті цього дослідження ми отримуємо загальну активність α -радіонуклідів у повітрі та α -аерозолів, ототожнених з істотною систематичною помилкою, оскільки вимірювальні можливості цих пристроїв визначаються вологістю не більше 85%.

3. Створення нових нормативних документів для визначення впливу на працівників та населення від NORM має стати результатом та невід'ємною частиною наукових досліджень у цій галузі. Надійність експериментальних методів та достовірність результатів є основою, на якій базуватиметься радіаційна безпека під час роботи з природними радіонуклідами.

Ключові слова: радон, NORM, корисні копалини, шахта, вимірювання, прилади, вологість, пил.

Вступ

Небезпеку внутрішнього радіаційного опромінення організму людини становлять природні джерела, зокрема радон та продукти його розпаду, що належать до серії урану, торію та актиноурану. Благородні радонові гази походять із радіоактивних перетворень радію-226 (^{226}Ra) в серії урану (для газу ^{222}Rn), радію-224 (^{224}Ra) у серії торію (для газу ^{220}Rn) та радію-223 (^{223}Ra) в серії актиноурану (для газу ^{219}Rn) ланцюгів розпаду в земній корі. Лише частина утворених атомів радону здатна виходити з мінералів в порожній простір, наповнений або газами, або водою. Звідси радон рухається дифундуючи, на більш тривалих відстанях, розчиняється або у воді, або в газах [1]. Врешті-решт, він входить у атмосферу. Еманация радону в основному залежить від вмісту ^{226}Ra , ^{224}Ra , ^{223}Ra , її транспортування під землею регулюється геофізичними та геохімічними параметрами, тоді як ексхалация контролюється гідрометеорологічними умовами [2].

Значно поширені три природні ізотопи радонових газів: актинон (^{219}Rn), торон (^{220}Rn) і радон (^{222}Rn), який характеризується стійким газоподібним станом, що робить їх надзвичайно міграційно здатними [3]. З них найбільший внесок у опромінення робить ^{222}Rn , та продукти його розпаду – ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po . Ці три ізотопи радону мають порівняно невеликий період напіврозпаду, при розпаді в поєднанні з аерозолями через дихальні шляхи входять в організм людини.

Україна запланувала та здійснила наукове дослідження своїх залізрудних шахт, щоб підтвердити надійність вимірювань параметрів радіаційної та гігієнічної обстановки, забезпечити єдність інтерпретації первинних даних та індивідуального контролю за опроміненням шахтарів від газо-повітряних сумішей, що містять радіоактивні гази ^{222}Rn і ^{220}Rn . Автору статті було запропоновано працювати над визначенням рівноважної об'ємної активності радону та порівняти

результати з лабораторними даними декількох підприємств міста Кривий Ріг.

Наприклад: шахта «Фрунзе» (горизонти – 1060 м, –1135 м, –1210 м), Шахта «Сліпа» (горизонти –1060 м, –1135 м), Шахта «Северная» (горизонт –1210 м), шахта «Ювілейна» (горизонти –1180 м, –1260 м, –1340 м, –4200 м), шахта «Центральна» (горизонти –1180 м, –1340 м), що належать ВАТ «Євраз Суха Балка» і шахта «Орджонікідзе» (горизонт –527 м), що належить Центральному ГЗК (ЦГОК).

Постановка питання

Дослідження проводилося на залізрудних шахтах України у різних обсягах та на різних горизонтах навесні та влітку. Точки контролю (контрольні точки) визначаються робочими місцями постійного перебування шахтарів, персоналу, що проводить вибухові роботи, та інших працівників, де очікуються найбільші значення радіоактивності у повітрі. До них відносяться точки, які розташовані:

- в кінці штреків системи горизонту, яка вентильється;
- у сильно затоплених гірничих виробках (поблизу місця виходу або підземних вод вздовж потоку вентиляції);
- в районах значних порушень геологічних структур;
- у малопродітованих шахтних виробках (очищення та тунелювання забою, буріння камер тощо);
- поблизу зони обвалу (вздовж вентиляції), незольованого виконання роботи та великої кількості руди;
- у місцях з найгіршими показниками забруднення пилу та газу;
- в раніше виявлених аномальних місцях радіації.

На рис. 1 зображено один з горизонтів шахти «Орджонікідзе», де проведено ряд досліджень, на що вказують контрольні точки та напрямок руху повітря із системи вентиляції.

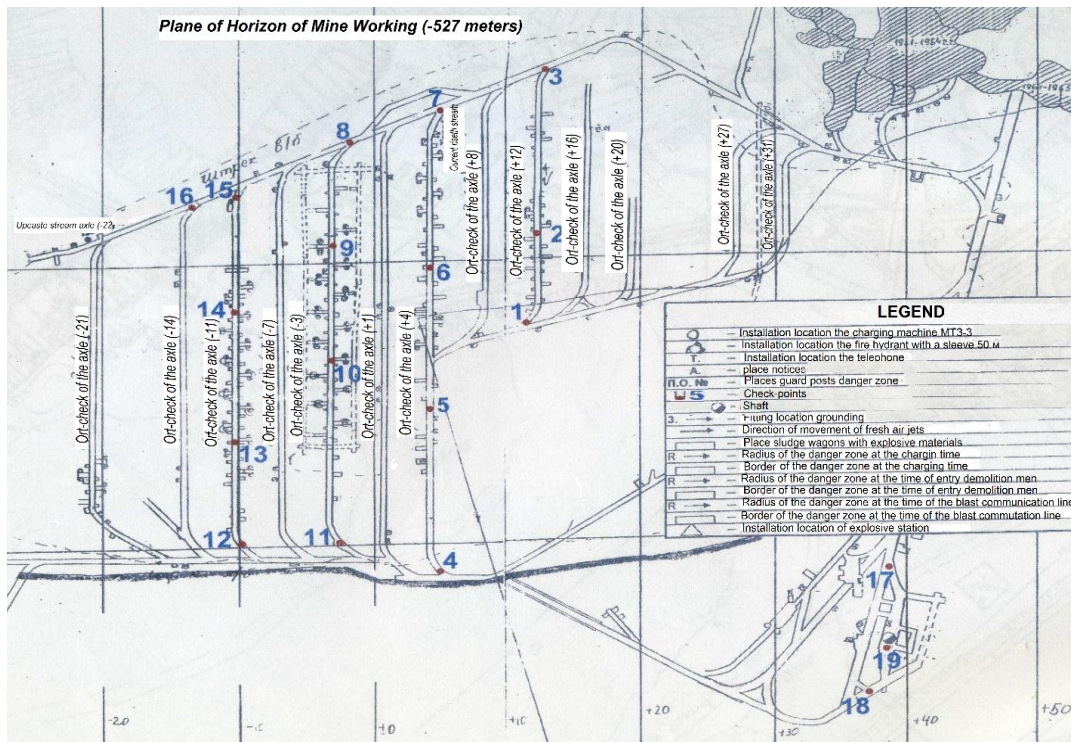


Рисунок 1 – Горизонт –527 м шахти «Орджонікідзе» (ЦГОК)

У районах, де спостерігається перевищення характеристик нормальної роботи пристрою, а саме вологі, пристрій РГА-2006 «Ікар» робив «технічну зупинку» для сушіння фільтра пристрою для подальших вимірювань. Надійність даних, що використовуються цим пристроєм, низька, описана в таблицях 1 і 2, що зазначене у таблиці, стовпчик «Примітки».

Для приладів радіаційного контролю Alpha Guard PQ2000 не перевищення умов для нормаль-

ного функціонування пристрою (вологості) та інших геологічних та кліматичних характеристик. Через значну кількість експериментальних даних, один з горизонтів шахти «Ювілейна» з розташуванням контрольних точок наведено нижче.

Кількість контрольних точок горизонту – 1180 м шахти «Ювілейна» сягають 170, а результати будуть надані вибірково саме у тих областях, де значення вимірних величин будуть суттєво відрізнятися від середніх статистичних.

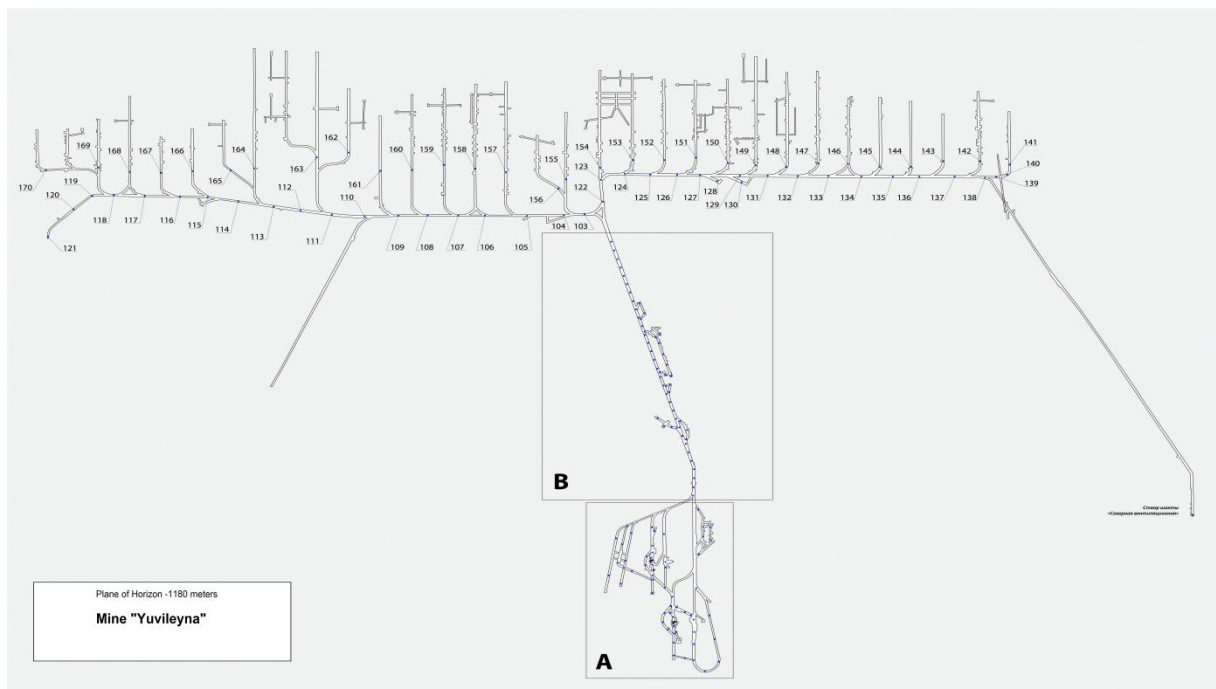


Рисунок 2 – Генеральний план горизонту –1180 м шахти «Ювілейна» з різними секторами А і В та зазначенням контрольних точок

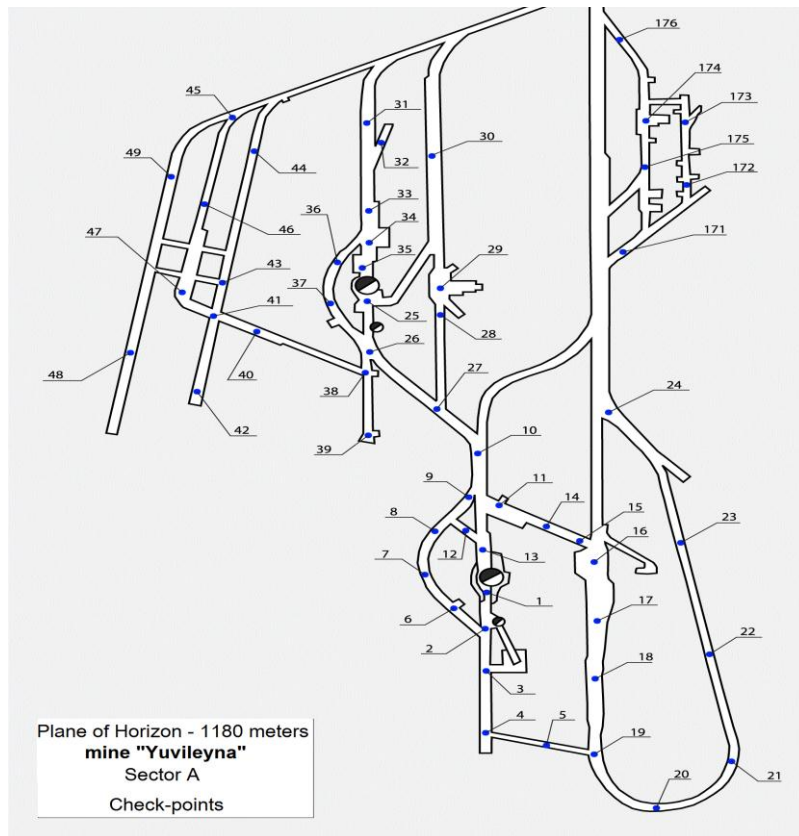


Рисунок 3 – План горизонту –1180 м шахти «Ювілейна», сектор А, контрольні точки

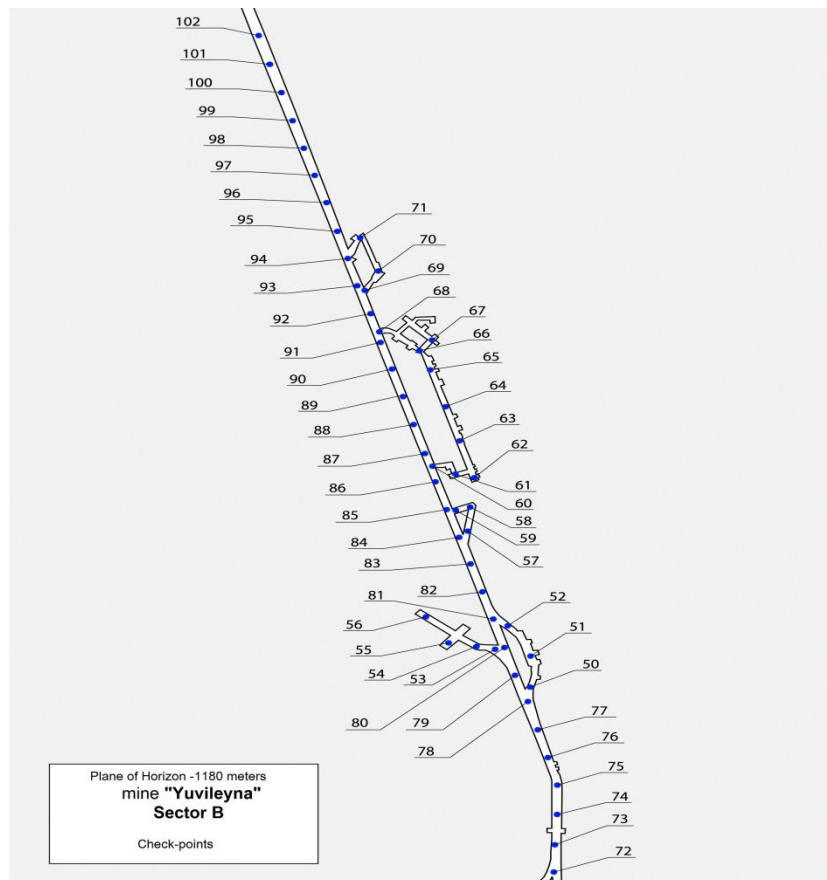


Рисунок 4 – План горизонту –1180 м шахти «Ювілейна», сектор В, контрольні точки

Результати експериментів

Дані, отримані експериментальними дослідженнями, представлені в таблицях 1 та 2.

Що стосується радіаційної обстановки в шахті «Орджонікідзе» ВАТ «ЦГОК», то в цілому проведено 22 вимірювання у контрольних точках. Значення основних показників радіаційної обстановки та вологості надано у таблиці 1, тем-

пература і тиск не змінюються та становлять відповідно $T = 23-25^{\circ}\text{C}$, $P = 56\text{ кПа}$.

Що стосується радіаційної обстановки на шахтах ВАТ «Євраз Суха Балка», то всі проведені вимірювання були здійснені у 974 контрольних точках. Значення вологості наведено в таблиці 2, температура і тиск залишаються незмінними і становлять: $T = 23-24^{\circ}\text{C}$, $P = 57\text{ кПа}$.

Таблиця 1 – Результати попередньої оцінки радіаційної обстановки на горизонті –527 м шахти ім.Орджонікідзе (ЦГОК)

Контрольна точка	Середня потужність дози, мкР/год	Середнє значення об'ємної активності радону, Бк/м ³		Вологість повітря, %	Примітка
		РГА-2006 «Ікар»	AlphaGuardPQ2000		
3	1,0 ± 0,028	350 ± 97	383 ± 111	83	-
7	4,0-5,0 ± 0,031	320 ± 56	420 ± 86	89	Посилання
8	7,0-11,0 ± 0,027	245 ± 55	375 ± 81	95	Посилання
15	9,8-10,2 ± 0,030	400 ± 84	505 ± 92	97	Посилання
16	10,4 ± 0,031	432 ± 88	545 ± 96	96	Посилання
9	8,0 ± 0,026	401 ± 80	520 ± 95	98	Під час вибуху – 1800 Бк/м ³ , Посилання*
10	2,0-6,0 ± 0,028	388 ± 94	442 ± 106	99	Під час вибуху – 2000 Бк/м ³ , Посилання*
11	6,0-8,0 ± 0,029	140 ± 80	198 ± 90	98	Посилання
14	4,8-3,9 ± 0,026	110 ± 43	182 ± 57	96	Посилання
13	8,0-10,0 ± 0,031	140 ± 83	244 ± 73	97	Посилання
12	7,0 ± 0,028	255 ± 65	242 ± 73	98	Посилання
4	8,3 ± 0,028	160 ± 77	145 ± 71	88	Посилання
5	7,0 ± 0,028	140 ± 61	106 ± 53	95	Посилання
6	6,0-8,0 ± 0,029	100 ± 62	84 ± 77	98	Посилання
1	6,0-8,0 ± 0,029	289 ± 108	327 ± 144	86	Посилання
2	8,0-10,0 ± 0,031	300 ± 108	407 ± 117	97	Посилання
17	17,5-17,6 ± 0,035	202 ± 81	247 ± 71	78	-
18	8,5-8,3 ± 0,028	180 ± 72	204 ± 72	82	-
19	15,7-15,9 ± 0,033	120 ± 63	100 ± 52	76	-
Поверхня точка 1	25,0-26,0 ± 0,041	600 ± 111	547 ± 140	56	Кімната зберігання чистого одягу
Поверхня точка 2	14,0-23,0 ± 0,040	621 ± 98	521 ± 90	73	Чоловічий загальний туалет
Поверхня точка 3	17,0 ± 0,035	305 ± 71	296 ± 74	66	Кімната очікування перед спуском у шахту

Посилання* – Перевищення нормального режиму роботи приладу (вологість) для РГА-2006 «Ікар».

Таблиця 2 – Результати попередньої експертизи радіаційної обстановки на шахті «Ювілейна» (ВАТ «Євраз Суха Балка») горизонту –1180 метрів

Контрольна точка	Середня потужність дози, мкР/год	Середня величина рівноважної активності радону, Бк/м ³		Вологість повітря, %	Середнє значення вмісту в повітрі мінерального пилу, мг/м ³	Примітка
		РГА-2006 «Ікар»	AlphaGuardPQ2000			
1	8,0 ± 0,026	310 ± 88	450 ± 100	88	0,085 ± 0,028	Посилання
2	8,0 ± 0,026	312 ± 87	380 ± 85	98	0,085 ± 0,026	Посилання
3	8,0 ± 0,027	300 ± 87	480 ± 110	87	0,081 ± 0,021	Посилання
5	7,0 ± 0,027	302 ± 80	395 ± 95	98	0,076 ± 0,019	Посилання
8	7,0 ± 0,026	300 ± 82	415 ± 100	93	0,079 ± 0,022	Посилання
9	8,0 ± 0,024	305 ± 83	389 ± 91	95	0,077 ± 0,021	Посилання
12	8,0 ± 0,027	302 ± 78	420 ± 101	93	0,087 ± 0,033	Посилання
13	8,0 ± 0,026	300 ± 81	425 ± 112	94	0,076 ± 0,020	Посилання
14	8,0 ± 0,025	289 ± 77	403 ± 98	95	0,085 ± 0,032	Посилання
15	7,0 ± 0,027	303 ± 81	550 ± 130	96	0,083 ± 0,031	Посилання
171	8,0 ± 0,026	301 ± 80	540 ± 125	99	0,087 ± 0,033	Посилання
172	8,0 ± 0,026	304 ± 78	466 ± 96	98	0,086 ± 0,033	Посилання
173	8,0 ± 0,024	297 ± 67	350 ± 75	97	0,084 ± 0,031	Посилання
76	8,0 ± 0,027	298 ± 80	387 ± 90	97	0,093 ± 0,041	Посилання
79	8,0 ± 0,027	312 ± 87	395 ± 95	99	0,078 ± 0,024	Посилання
80	8,0 ± 0,027	300 ± 67	420 ± 101	97	0,091 ± 0,040	Посилання
81	7,0 ± 0,024	309 ± 81	500 ± 109	99	0,090 ± 0,039	Посилання
82	8,0 ± 0,025	302 ± 80	485 ± 95	97	0,095 ± 0,042	Посилання
86	8,0 ± 0,026	305 ± 83	440 ± 85	98	0,088 ± 0,025	Посилання
87	8,0 ± 0,026	301 ± 82	494 ± 99	98	0,085 ± 0,025	Посилання
88	9,0 ± 0,027	299 ± 76	380 ± 90	97	0,083 ± 0,025	Посилання
90	8,0 ± 0,026	300 ± 81	468 ± 98	99	0,076 ± 0,025	Посилання
91	8,0 ± 0,025	289 ± 77	389 ± 91	99	0,079 ± 0,025	Посилання
92	8,0 ± 0,027	303 ± 81	385 ± 86	98	0,081 ± 0,025	Посилання

Посилання* – Перевищення нормального режиму роботи приладу (вологість) для РГА-2006 «Ікар»

Результати і обговорення

Вимірювання рівноважного обсягу активності радону та торону за допомогою прямого методу є необхідним завданням для експрес-оцінки впливу на персонал на робочому місці.

Кількісна оцінка повітряних газів, таких як ^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{219}Rn , залежить від кількості покладів серії урану і торію біля поверхні Землі.

Не слід забувати, що після радіоактивного розпаду вищезгаданих газів утворюється значна кількість α -радіоактивних дочірніх нуклідів, що проникають у тіло шахтарів. Це спричиняє збільшення дози від накопичення α -радіонуклідів в організмі шахтарів, але цей штат, який працює з NORM, офіційно не розглядається (за винятком шахтарів, які видобувають уран).

Порівняння результатів, представлених у таблицях 1 та 2, які були отримані шляхом вимірювання ^{222}Rn і ^{220}Rn і за допомогою прямих методів вимірювання з використанням РГА-2006 «Ікар» та AlphaGuard PQ2000, демонструють різницю в результатах, особливо при підвищеній вологості та збільшенні кількості мінерального пилу в повітрі шахт.

Висновки

Природні та кліматичні умови шахт є специфічними. Цей факт підтверджується рівнем вологості, який може сягати значення 99%, але температура і атмосферний тиск не змінюються. У процесі роботи на шахті шкідливим фактором для людського організму є пил в повітрі робочої зони та радіоактивність. Альфа-частинки утворюються внаслідок розпаду дочірніх продуктів ^{224}Ra , ^{223}Ra і ^{226}Ra , осідання на аерозолях і введення в організм людини шляхом інгаляції, а актинон, радон і торон призводять до збільшення дози персоналу.

Висновки, отримані автором статті про стан експериментальних досліджень та з аналізу даних:

1. Кліматичні умови відіграють важливу роль у надійності даних. Потрібно ретельно підбирати пристрої радіаційного контролю та вимірювання.

2. Провести кількісний аналіз радіонуклідів та встановити дозу для гірників лише від радону та торону, що можливо з використанням α -спектрометрії. У цьому дослідженні експрес-контроль (контроль у реальному часі) α -випромінюючих радіонуклідів у повітрі здійснювався з використанням детекторів, діяльність яких

базується на використанні іонізаційної камери. Але в результаті цього дослідження ми отримуємо загальну активність α -радіонуклідів у повітрі та α -аерозолів, ототожнених з істотною систематичною помилкою. Оскільки вимірювальні можливості цих пристроїв визначаються вологістю не більше 85%.

3. Створення нових нормативних документів для визначення впливу на працівників та населення від NORM має стати наслідком та невід'ємною частиною наукових досліджень у цій галузі. Надійність експериментальних методів та достовірність результатів є основою, на якій базуватиметься радіаційна безпека при роботі з природними радіонуклідами.

Список літератури:

1. Vaupotic J., Gregoric A., Kobal I., Zvab P., Kozak K., Mazur J., Kochowska E. and Grzadziel D. (2010). «Radon concentration in soil gas and radon exhalation rate at the Ravne Fault in NW Slovenia». *Natural Hazard and Earth System Sciences*, pp. 895-899.

2. Etiopie G. and Martinelli G. (2002). «Migration of carrier and trace gases in the geosphere: an overview», *Phys. Earth Planet. In.*, 129, pp. 185-204.

3. Собонович Е., Вондаренко Г., Кононенко Л. «Геохімія штучних радіонуклідів». – К.: Наукова Думка, 2002. – 332 с.

References:

1. Vaupotic J., Gregoric A., Kobal I., Zvab P., Kozak K., Mazur J., Kochowska E. and Grzadziel D. (2010). «Radon concentration in soil gas and radon exhalation rate at the Ravne Fault in NW Slovenia». *Natural Hazard and Earth System Sciences*, pp 895-899.

2. Etiopie G. and Martinelli G. (2002). «Migration of carrier and trace gases in the geosphere: an overview», *Phys. Earth Planet. In.*, 129, pp. 185-204.

3. Sobotovich E., Bondarenko G., Kononenko L. (2002). «Geochemistry of artificial radionuclides». *Naukova dumka, Kyiv. Ukraine.* 332 p.

4. Sources and Effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. –New York. -2000. – P.20-195.

5. Pavlenko T., Los I. Indoor ^{222}Rn levels and irradiation doses on the territory of Ukraine // *Radiation Measurements.* – Vol. 25 - N 1-4. – P. 595-600.

RADON AS ONE OF THE MOST DANGEROUS FACTORS AFFECTING MINERS

Introduction. Ukraine is among the leading mineral and raw material states. Nowadays in Ukraine prospected 20000 deposits and manifestations of 111 kinds of minerals (according to UNIAN - 200 minerals, 120 of which are used by mankind today). Of these 7807 deposits of 94 minerals with industrial value and accounted State balance of stocks. The greatest economic importance are coal, oil and gas, iron ore and manganese, native sulfur, rock and potassium salts, non-metallic building materials, mineral waters. These deposits are located in different geological regions of Ukraine.

During the extraction of natural resources are exposure of personnel of mines and population from naturally occurring radioactive materials (NORM - nature occurring radioactive materials). Adequate levels of radiation safety and radiation protection of the population and the personnel of any branch determined, above all, of the relevant public, industry and other regulations and systems monitoring their implementation. One of the significant components of the increase of radiation safety are methodical application of appropriate radiation monitoring devices and obtaining reliable data (results), which will allow processing to estimate actual radiation situation at the facility.

The natural and climatic conditions of the mines are specific. This fact is confirmed by the level of humidity, which can reach the value of 99%, but the temperature and atmospheric pressure are unchanged. In the process of work in the mine there is a harmful factor for the human body - dust in the air of the working zone and radioactivity. Alpha particles formed as a result of the decomposition of the daughter products of the decay of ^{224}Ra , ^{223}Ra and ^{226}Ra , settling on aerosols and enter the human body by inhalation, as well as actinon, radon and thoron lead to an increase in the dose of personnel.

Purpose. The purpose of the study is to determine the radiation situation at the sites for the extraction of minerals, taking into account the factors that affect the reliability of the results. Establishing reliable quantitative characteristics of harmful factors of the environment, which negatively affects the body of the personnel. Conducting an analysis of existing methods of measuring by direct methods and making suggestions for their improvement under the influence of factors that contribute to obtaining results with an error of more than 75%.

Methods. In the course of the research, direct measurement methods, calculations and analytical research were used to achieve the set goal and to solve the set tasks. During experimental and analytical work of physico-chemical and radiometric measurement methods were used, certified equipment and measuring control devices were used.

Results. Measurements of equilibrium volume activity of radon and thoron using direct method is necessary task to assess the impact on personnel at the work time.

Quantitative assessment the air gases such as ^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{219}Rn depends on the amount of deposits of the uranium and thorium series in the earth's surface.

It should not be forgotten that after the radioactive decay of the aforementioned gases, a significant amount of α -radioactive daughter nuclides that enter the miners' body is formed. This causes an increase in the dose from the accumulation of α -radionuclides in the miners' organism, but this staff is not officially considered which works with NORM (with the exception of only uranium miners).

Comparing the results obtained by measuring ^{222}Rn and ^{220}Rn provided in Tables 1 and 2 using direct measurement methods using RHA-2006 «ICAR» and AlphaGuard PQ2000, show difference in the results, especially at higher humidity and with increasing of numbers of mineral dust in the air of mines.

Conclusions. The conclusions obtained by the author of the article on the state of experimental research and analysis of data:

1. Climatic conditions play an important role in data reliability. It is necessary to carefully select the devices of radiation control and measurement methods.

2. Conduct a quantitative analysis of radionuclides and set a dose for miners only from radon and thoron, which is possible with the use of α -spectrometry. In this study, an express control (real-time control) of α -emitting radionuclides in the air was carried out using detectors, whose activities are based on the use of an ionization chamber. But as a result of this study, we obtain the total activity of α -radionuclides in the air and α -aerosols identified with a significant systematic error. Since the measuring capabilities of these devices are determined by the humidity of no more than 85%.

3. The creation of new normative documents to determine the impact on employees and the population of the NORM should be a consequence and an integral part of scientific research in this field. The authenticity of experimental methods and the reliability of the results are the basis upon which radiation safety will be based on working with natural radionuclides.