

УДК 699.887.3

## ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩАХ «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ЯР» И «ЗАПАДНОЕ»

БЕЛИКОВ А. С.<sup>1\*</sup>, *д.т.н., проф.*,  
ПИЛИПЕНКО А. В.<sup>2\*</sup>, *к.т.н., доц.*,  
ЧЕРЕДНИЧЕНКО Л. А.<sup>3</sup>, *к.т.н., доц.*,  
АНДРЕЕВА А. В.<sup>4\*</sup>, *асп.*,  
ПОЛТОРАЦКАЯ В. Н.<sup>5</sup>, *к.т.н., доц.*,  
ЛИСОВАЯ О. Г.<sup>6</sup>; *маг.*

<sup>1\*</sup>Кафедра безопасности жизнедеятельности, ГБУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, г. Днепр, Украина, 49600, тел. +38 (0562) 756-34-57, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

<sup>2\*</sup>Кафедра безопасности жизнедеятельности, ГБУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, г. Днепр, Украина, 49600, тел. +38 (0562) 756-34-57, e-mail: avpiliipenko79@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-9644-3118

<sup>3</sup>Кафедра безопасности жизнедеятельности, ГБУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-1457-9282

<sup>4\*</sup>Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: a.v.andreeva8888@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0361-5346

<sup>5</sup>Кафедра экологии и охраны окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 756-33-71, e-mail: keko@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6244-8439

<sup>6</sup>Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 756-34-57, e-mail: Lisovaja\_Oksana@ukr.unet, ORCID ID: 0000-0003-1915-5590

**Аннотация.** *Цель.* Анализ радиационной опасности на территории бывшего уранового производства ПО «Приднепровский химический завод» (ПХЗ). *Методика.* При проведении исследований использовали стандартные методы исследований радиационной опасности, рекомендованные НРБУ и МКРЗ. *Результаты.* Исследованиями установлено, что в Заводском районе г. Каменское (Днепродзержинск) радиационная опасность обусловлена размещением хвостохранилищ „Западное” и „Центральный Яр”, которые являются техногенными источниками ионизирующих излучений, бывшего уранового производства ПО «ПХЗ». В результате проведенных натурных измерений на хвостохранилище „Западное”, мощность дозы гамма-излучения на его территории колеблется в пределах 0,1÷9,8 мкГр/ч, что обусловлено местоположением локальных аномалий и в связи с изменением погодных условий. Средний уровень МЭД на поверхности хвостохранилища 0,1 – 0,13 мкЗв/ч. Однако имеют место локальные участки с уровнем МЭД от 0,72 до 1,5 мкЗв/ч на участках №3 и №4. В результате проведенных исследований хвостохранилища «Центральный Яр», на большинстве участков, которые были обследованы, мощность экспозиционной дозы гамма-излучения была 0,12-6,1 мкГр/ч. По периметру МЭД  $\gamma$ -излучение доходит до 0,3 мкЗв/ч. Эксхалиция радона до 5 Бк/м<sup>2</sup> с. *Научная новизна.* Впервые на основе проведенных исследований установлены закономерности изменения радиационной опасности на маршрутах охраны хвостохранилищ в зависимости от времени года и климатических условий. *Практическая значимость.* Проведены комплексные исследования на территории бывшего уранового производства ПО «ПХЗ», согласно Государственной программе приведения опасных объектов ПО «ПХЗ» в экологически безопасное состояние и обеспечения защиты населения от вредного влияния ионизирующего излучения, что позволило оценить радиационную опасность на маршрутах движения охраны, примыкающих к хвостохранилищам: «Западное», «Центральный Яр».

*Ключевые слова:* радиационная опасность, радиационное загрязнение, дозиметрия, ионизирующие излучения, эксхалиция, радионуклиды, доза облучения

## ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ НА ХВОСТОСХОВИЩАХ «ЦЕНТРАЛЬНИЙ ЯР» ТА «ЗАХІДНЕ»

БЕЛІКОВ А. С.<sup>1\*</sup>, *д.т.н., проф.*,  
ПИЛИПЕНКО О. В.<sup>2\*</sup>, *к.т.н., доц.*  
ЧЕРЕДНИЧЕНКО Л. А.<sup>3</sup>, *к.т.н., доц.*,

АНДРЕЄВА А. В.<sup>4\*</sup>, асп.,  
ПОЛТОРАЦЬКА В. М.<sup>5</sup>, к.т.н., доц.,  
ЛІСОВА О. Г.<sup>6</sup>; маг.

<sup>1\*</sup>Кафедра безпеки життєдіяльності, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 756-34-57, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

<sup>2\*</sup>Кафедра безпеки життєдіяльності, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва й архітектури», вул. Чернишевського, 24а, м. Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (0562) 756-34-57, e-mail: avpilipenko79@mail.ru, ORCIDID: 0000-0002-9644-3118

<sup>3</sup> Кафедра безпеки життєдіяльності, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-1457-9282

<sup>4\*</sup> Кафедра безпеки життєдіяльності, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва й архітектури», вул. Чернишевського, 24а, м. Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (0562) 756-34-57, e-mail: a.v.andreeva8888@gmail.com, ORCIDID: 0000-0002-0361-5346

<sup>5</sup> Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 756-33-71, e-mail: keko@mail.pgasa.dp.ua, ORCIDID: 0000-0002-6244-843

<sup>6</sup>Кафедра безпеки життєдіяльності, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 756-34-57, e-mail: Lisovaja\_Oksana@ukr.unet, ORCIDID: 0000-0003-1915-5590

**Анотація.** *Ціль.* Аналіз радіаційної небезпеки на території колишнього уранового виробництва ВО «Придніпровський хімічний завод» (ПХЗ). *Методика.* При проведенні досліджень використовували стандартні методи досліджень радіаційної небезпеки, рекомендовані НРБУ і МКРЗ. *Результати.* Дослідженнями встановлено, що в Заводському районі м Кам'янське (Дніпродзержинськ) радіаційна небезпека обумовлена розміщенням хвостосховищ «Західне» та «Центральний Яр», які є техногенними джерелами іонізуючих випромінювань, колишнього уранового виробництва ВО «ПХЗ». В результаті проведених натурних вимірювань на хвостосховищі «Західне», потужність дози гамма-випромінювання на його території коливається в межах 0,1-9,8 мкГр/год, що обумовлено місцем розташування локальних аномалій і в зв'язку зі зміною погодних умов. Середній рівень ПЕД на поверхні хвостосховища 0,1-0,13 мкЗв/год. Однак мають місце локальні ділянки з рівнем ПЕД від 0,72 до 1,5 мкЗв/год на ділянках №3 і №4. В результаті проведених досліджень хвостосховища «Центральний Яр», на більшості ділянок, які були обстежені, потужність експозиційної дози гамма-випромінювання була 0,12-6,1 мкГр / год. По периметру ПЕД  $\gamma$ - випромінювання доходить до 0,3 мкЗв/год. Експаліяція радону до 5 Бк/м<sup>2</sup> с. *Наукова новизна.* Вперше на основі проведених досліджень встановлено закономірності зміни радіаційної небезпеки на маршрутах охорони хвостосховищ в залежності від пори року і кліматичних умов. *Практична значимість.* Проведено комплексні дослідження на території колишнього уранового виробництва ВО «ПХЗ», згідно Державної програми приведення небезпечних об'єктів ВО «ПХЗ» в екологічно безпечний стан і забезпечення захисту населення від шкідливого впливу іонізуючого випромінювання, що дозволило оцінити радіаційну небезпеку на маршрутах руху охорони, які примикають до хвостосховищ: «Західне», «Центральний Яр».

*Ключові слова:* радіаційна небезпека, радіаційне забруднення, дозиметрія, іонізуюче випромінювання, експаліяція, радіонукліди, доза опромінення

## RESEARCH RADIATION HAZARD AT THE TAILINGS «CENTRAL YAR» AND «WEST»

BELIKOV A. S.<sup>1</sup>, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,  
PILIPENKO O. V.<sup>2\*</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.,  
CHEREDNICHENKO L. A.<sup>3</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.,  
ANDREEVA A. V.<sup>4\*</sup>, PhD stud.,  
POLTORATSKAYA V. N.,<sup>5</sup> Cand. Sci. (Tech.), Ass. Prof.,  
LISOVAJA O. G.<sup>6</sup>, master's degree.

<sup>1</sup> Department of Life Safety, SHEE «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogost., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (0562) 756-34-57, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

<sup>2\*</sup> Department of vital activity safety, SHEE «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (0562) 756-34-57, e-mail: avpilipenko79@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-9644-3118

<sup>3</sup> Department of Life Safety, SHEE «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-57, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-1457-9282

<sup>4\*</sup> Department of vital activity safety, SHEE «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (0562) 756-34-57, e-mail: a.v.andreeva8888@gmail.com, ORCIDID: 0000-0002-0361-5346

<sup>5</sup> Department of Ecology and Environmental Protection, SHEE «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogost., Dnipro 49600, Ukraine, +38 (0562) 756-33-71, e-mail: keko@mail.pgasa.dp.ua, ORCIDID: 0000-0002-6244-843

<sup>6</sup> Department of Life Safety, SHEE «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogost., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (0562) 756-34-57, e-mail: Lisovaja\_Oksana@ukr.unet, ORCID ID: 0000-0003-1915-5590

**Abstract. Purpose.** Analysis of radiation hazards in the former uranium production department «Pridneprovskiy Chemical Plant» (PCP). **Method.** In conducting research using the standard methods of radiation hazard studies recommended by the ICRP and NRB. **Results.** Research has established that in the “Factory district” of Kamenskoe (Dniprodzerzhinsk) radiation hazards caused by the placement of tailings «West» and «Central Yar», which are man-made sources of ionizing radiation, the former uranium production PD «PCP». As a result of in-situ measurements at the tailings «West», the dose rate of gamma radiation in its territory ranges from  $0.1 \div 9.8 \mu\text{G} / \text{h}$ , due to the location and local anomalies due to changes in weather conditions. The average dose rate on the surface of the tailings  $0.1 - 0.13 \mu\text{Sv} / \text{h}$ . However, there are local areas with DER level from  $0.72$  to  $1.5 \mu\text{Sv} / \text{h}$  in areas №3 and №4. As a result of the tailings «Central Yar» research on most of the sites that were examined, the exposure dose of gamma radiation was  $0.12-6.1 \mu\text{Sv} / \text{h}$ . Along the perimeter of the DER  $\gamma$ -radiation reaches  $0.3 \mu\text{Sv} / \text{h}$ . Radon exhalation to  $5 \text{Bq} / \text{m}^2$ . **Scientific novelty.** For the first time, based on studies the regularities of changes in radiation hazard protection on routes tailings, depending on the time of year and weather conditions. **Practical meaningfulness.** Complex investigations on the territory of the former uranium production PD «PCP», according to the State program of bringing dangerous objects PD «PCP» in an environmentally safe condition and to ensure the protection of the population, of the harmful effects of ionizing radiation, which allowed us to estimate the radiation hazard on the route protection, adjacent to the tailings, «West», «Central Yar».

**Keywords:** radiation hazard, radiation contamination, dosimetry, ionizing radiation, exhalation, radionuclides, radiation dose

### Постановка проблемы

В связи с распадом СССР и закрытием специализированных предприятий, перерабатывающих уран, в Украине накопилось большое количество отходов уранового производства. К таким предприятиям относятся и бывшее предприятие уранового цикла – производственное объединение «Приднепровский химический завод» (далее ПО «ПХЗ»), в г. Каменское, Днепропетровской области.

### Анализ последних исследований, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Социально-экономическое состояние страны потребовало общих производственных изменений, что привело к изменениям направления деятельности завода. Поэтому на территории ПО «ПХЗ» появились новые производства: синтез красного люминофора, магнитов последнего поколения, производство металлического скандия, производство циркониво-гафниевых лигатур для авиа- и космического строительства, соединения магния для производства ферритов, гербицидов, производство полиэтиленовой плёнки и другие производства [1, 2, 13].

### Цель работы

Повышение безопасности жизнедеятельности на радиационно-загрязненной территории бывшего уранового производства ПО «Приднепровский химический завод».

### Изложение основного материала исследований

На протяжении 2006 г. были продолжены полевые работы по измерению объемной концентрации радона-222 в атмосфере на

территории хвостохранилища и бывшего уранового производства ПО «ПХЗ» методом трековой радонометрии. Трековые детекторы размещались на уровне дыхания человека на высоте  $1,5-1,6 \text{ м}$  от поверхности грунта, время экспонирования детекторов составляло не менее одного месяца.

По результатам измерений (табл.1) самые большие дозы облучения от радона могут быть получены людьми, которые находятся на поверхности хвостохранилища "Центральный Яр" и "Западное". На этих хвостохранилищах в районах с разным по уровню гамма-фоном проводились также исследования по определению эксхалации радона из поверхности грунта.

В центральной части хвостохранилища “Центральный Яр” гамма-фон на поверхности грунта составляет порядка  $25-28 \text{ мкГр/ч}$ , эксхалация радона достигала значений на уровне  $2260 \pm 678 \text{ мБк/ м}^2\text{с}$ , а объемная активность радона-222 в воздухе находилась на уровне  $90-100 \text{ Бк/ м}^3$ , уровень гамма-фона на высоте  $1 \text{ м}$  составляет  $6,5-7,1 \text{ мкГр/ч}$ . На наиболее загрязненных участках гамма-фон на поверхности хвостохранилища составляет  $50-52 \text{ мкГр/ч}$ , эксхалация радона была определена на уровне  $5015 \pm 1504 \text{ мБк/ м}^2\text{с}$ . Объемная активность радона-222 в воздухе в таких пунктах составляла  $95-110 \text{ Бк/ м}^3$ , уровень гамма-фона на высоте  $1 \text{ м}$  –  $11-12,5 \text{ мкГр/ч}$ .

Отбор проб аэрозоля воздухофильтрующими помпами было проведено вместе с гамма-дозиметрическим обследованием участков наблюдений. Результаты дозиметрических измерений показали, что на территории южной промплощадки наблюдается значительная неоднородность радиоактивного загрязнения.

Таблица 1

**Удельная активность радона-222 (Бк/м<sup>3</sup>)  
в воздухе (первый и второй отбор) / The specific  
activity of the radon-222 (Bq / m<sup>3</sup>) in the air (the  
first and second selection)**

Место отбора	ОА <sup>222</sup> Rn в воздухе		
	14.09.06	11.10.06	20.11.06
Хвостохранилище «Юго-Восточное»			
Планшет, на высоте 80 см, 80 мкР/ч	42±6		119±6
Планшет, на высоте 80 см	45±6		159±8
Возле склона Яра, 32 мкР/ч		62±12	
Дно Яра, 20 мкР/ч		70±14	197±21
В районе пятна возле склона, 120 мкР/ч		70±14	201±20
В районе пятна, на орехе 150 мкР/ч			157±36
Возле въезда			133±13
В районе здания 103			
Планшет, на высоте 80 см	17±3		216±7
Строение 103 возле корпуса с западной стороны, 170 см	15±5		273±50
Строение 103 с западной стороны, 20 м от корпуса, 120 см	21±5		203±13
Дом 103 с западной стороны, на углу			137±15
Дом 103 с восточной стороны, вдоль дороги		36±5	
В районе здания 104			
Возле крыльца, 60 мкР/ч			558±13
За дорогой напротив крыльца, 60 мкР/ч			323±23
на углу здания, 35 мкР/ч			314±8
Хвостохранилище «Западное»			
Планшет, на высоте 80 см	23±2	61±12	107±12
На дне борта х-ща, около св. 3-3П		156±31	623±22
На дне борта х-ща			427±35
Юго-восточная часть в районе бетонного засыпания, 30 мкР/ч			1029±22
Дом 827, лабораторный корпус	81±16		
Хвостохранилище «Центральный Яр»			
Планшет, на высоте 80 см	192±32		273±22
Около склада, на высоте 80 см		85±17	211±18
Около склада, на высоте 80 см, напротив			241±25
Над склоном, на площадке, 81 мкР/ч		48±6	

Так, вокруг здания 103 проведено несколько циклов отбора проб аэрозолей из разных сторон здания. Диапазон мощности поглощенной дозы (МПД), которые были определены в западной стороне здания во время прокачки воздуха достигали 13 мкГр/ч, а из восточной стороны 0,4 мкГр/ч.

Всего отобрано 7 проб аэрозолей для определения объемной активности радионуклидов в воздухе, две с которых являются интегральными, которые собраны за период апрель-май в районе здания 103, а также на хвостохранилище «Западное». Результаты определения приведены в табл. 2.

Такая неоднородность загрязнения поверхности создает определенные трудности в интерпретации данных о загрязнении атмосферных выпадений и аэрозолей поверхностного пласта атмосферы [3, 4, 6, 7]. Это также может усложнять регламентирование деятельности на территории

бывшего ПХЗ. Необходимо выполнить новую уточненную гамма-съемку всей территории ПХЗ с более плотной сеткой на поверхности хвостохранилища. Целесообразным есть выполнение детального обследования плотности эксхалляции радона на территории хвостохранилища.

На хвостохранилище в тех же пунктах отбора 2005 г. было прокачено 350 м<sup>3</sup> атмосферного воздуха для определения ЕРН методами гамма-спектрометрии и 400 м<sup>3</sup> отдельно для определения продуктов распада радона и, в частности, Po-210 методами полупроводниковой альфа-спектрометрии. Было впервые применено комплексную методику с последовательным радиохимическим выделением долго существующих радионуклидов ряда урана с одного целого (двух) фильтра, не разделяя его на части [5, 10-12].

Объем необходимого количества отбора проб воздуха для дальнейшего радиометрического анализа существенно зависит от аналитических средств и применяющихся методов радиометрического определения. Поскольку наиболее распространенным средством альфа-спектрометрии и альфа-бета радиометрии есть низкофоновые счетчики типа УМФ-2000, то минимально детектированная активность для аэрозолей на фильтрах есть [8-9]:

Po-210 - 0,020 Бк/фильтр  
Th, U - 0,010 Бк/фильтр  
Ra-226 - 0,020 Бк/фильтр  
Pb-210 - 0,050 Бк/фильтр

Поэтому определение оптимальных объемов отбора атмосферного воздуха должны, коррелировать со средним фоновым содержанием альфа-активных аэрозолей в воздухе. Анализ данных Центра мониторинговых исследований и природоохранных технологий (г. Киев), показал, что среднее содержимое радионуклидов ряда урана в атмосферном воздухе за 2005г. составляет:

U-238 - (4,0 – 10)10<sup>-6</sup> Бк/ м<sup>3</sup>  
Th-230 - (1,0 – 10)10<sup>-6</sup> Бк/ м<sup>3</sup>  
Ra-226 - (4,0 – 10)10<sup>-6</sup> Бк/ м<sup>3</sup>  
Pb-210 - (30 – 480)10<sup>-6</sup> Бк/ м<sup>3</sup>  
Po-210 - (25 – 55) 10<sup>-6</sup> Бк/ м<sup>3</sup>

В случае использования методов низкофоновой гамма-спектрометрии в УкрНДГМІ МДА определение таких радионуклидов как U-238, Th-234, Ra-226 можно снизить на порядок. Таким образом, объемы прокачки 200-300 м<sup>3</sup> могут обеспечить требования радио спектрометрического анализа [1-3].

Таблица 2

**Нуклидный состав, объемная концентрация радиоактивного аэрозоля в приземном пласте атмосферного воздуха / Nuclide composition, the volume concentration of radioactive aerosols in the surface air reservoir**

Место отбора аэрозоля	Месяц отбора	Объем про- качки воз- ха м <sup>3</sup>	Время измерения, сек.	Объемная концентрация радиоактивного аэрозоля, 10 <sup>-5</sup> Бк/ м <sup>3</sup>												
				U-238		Ra-226		Pb-210		Th-228		Be-7		Cs-137	K-40	
					+/-		+/-		+/-		+/-		+/-			
Хв-ще «Западное»	V	89	105370	< 2		18.6	2.5	56.1	8.0	4.7	1.9	532	89	0	20	3
Дом 103, западная сторона	V	82	83449	36.9	9.2	20.1	2.7	77.7	8.6	5.0	2.0	526	96	0	119	13
Хв-ще «Западное»	VI	250	165568	2.9	2.9	6.5	0.9	60.7	2.8	1.6	1.6	567	18	0	21	2
Хв-ще «Юго-Восточное»	VI	246	95500	6.0	3.0	9.9	1.0	101.0	5.6	1.7	0.7	562	26	0	50	5
Дом 103, с востока, возле планшета	VI	158	146548	6.9	4.6	5.1	1.3	60.2	4.3	0.0	0.0	761	27	0	50	4
Дом 103, с запада	VI	150	150422	19.4	4.9	10.8	1.8	100.2	4.6	2.7	1.1	679	28	0	58	5

Для обеспечения этих же уровней измерения методами альфа-спектрометрии объема 200-300 м<sup>3</sup> прокачки не достаточно. Вместе с тем, имея два воздухоотборника мощностью 1,0 м<sup>3</sup>/мин каждый, можно за 4 ч отобрать около 500 м<sup>3</sup> воздуха, которого достаточно для уверенного измерения активности Pb-210 и Po-210 в аэрозолях на фоновом уровне, объединив фильтры для анализа. Таким образом, рекомендовано объединять технологические и аналитические возможности гамма-спектрометрии ЕРН и альфа-спектрометрии, и таким способом свести объемы работ по отбору проб аэрозолей в атмосферном воздухе к оптимальным. Измерение проб, которые отбирались в 2006÷2010 г.г. подтвердили результаты контроля 2005 г. по содержанию Pb-210 в аэрозолях атмосферного воздуха.

### Выводы

На участках №№11-14, что граничат с рекультивированной поверхностью хвостохранилища «Юго-Восточное», уровни МЭД составляют около 0,12÷0,24 мкГр/ч и низкие уровни потока эксхалляции радона, свидетельствуют об удовлетворительной эффективности покрытия хвостохранилища. Уровень мощности дозы гамма-излучения составляет около 0,13-0,74 мкЗв/ч, что превышает допустимый уровень в 2-3 раза. Проведенные комплексные меры в 2008-2009 годах дали временный эффект, в связи с разрушением защитного покрытия склонов и тела хвостохранилища «Юго-Восточное». С учетом проведенных исследований определена необходимость в проведении комплексного радиационного обследования рабочих мест и маршрутов перемещения охранников на радиационно-загрязненных территориях бывшего уранового производства ПО «ПХЗ» для определения условий работы работниками ГП.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Радиационная безопасность зданий и сооружений с учетом инновационных направлений в строительстве [Текст]: учебник для студентов вузов / А. С. Беликов, Г. С. Калда, А. В. Пилипенко и др.; под общ. ред. А. С. Беликова. Днепропетровск: «Середняк Т. К.», 2013. – 367 с.
2. Радиационная безопасность зданий с учетом инновационных направлений в строительстве [Текст]: учебник для студентов вузов / В. Ф. Запрудин, А. С. Беликов, О. С. Гупало и др.; под общ. ред. А. С. Беликова. Днепропетровск: Баланс-Клуб, 2009. – 352 с.
3. Лисиченко Г. В. Мировой опыт реабилитации урановых производств / Лисиченко Г. В., Ковач В. Е. // Сб. статей «Техногенно-экологическая безопасность и гражданская защита». — Кременчуг, 2011. — Вып. 6. — С. 4 — 12.
4. Коваленко Г. Д. Радиозэкология Украины: Монография. — 3-е изд., доп. и перераб. / Коваленко Г. Д. — Харьков: ИД «ИНЖЕК», 2013. — 344 с.
5. Rosnick R., 2013, «CAP88-PC Version 3.0 User Guide» available at: URL: [http://www.epa.gov/radiation/docs/cap88/V3userguide\\_020913.pdf](http://www.epa.gov/radiation/docs/cap88/V3userguide_020913.pdf)
6. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) : Державні гігієнічні нормативи. — Київ: Відділ поліграфії Укр. центру держсанепідемагляду МОЗ України, 1998. — 125 с.
7. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. — New York. — 2000.
8. Radiation protection. ICRP Publication 60 1990 Recommendations of the International Commission on Radiocological Protection (ICRP). — N.Y. :Pergamon Press, 1991. — 197 p.
9. Bennett B. G. Exposures from worldwide release of radionuclides. Proceeding of an international symposium on environment impact of radioactive release, IAEA, Vienna 8–12 May 1995. — pp. 3–32.
10. Danielle A. H. Rasolonjatovo, Hiroyuki Suzuki, Naoya Hirabayashi, Tomoya Nunomiya, Takashi Nakamura and Noriaki Nakao. Measurement for the Dose-rates of the Cosmic-ray Components of the Ground. — J. Radiat. Res. — 2002.— 43, SUPPI, pp. 27– 33.
11. Hiroyuki Sagawa, Itsumasa Urabe. Estimation of Absorbed Dose Rates in Air Based on Densities of Cosmic Ray Muons and Electrons on the Ground Levels in Japan. — J. of Nuclear Science and Technology. — 2001.—V. 38, № 12, p.1103 – 1108.

12. Обращение с отработанными источниками ионизирующего излучения в Украине : монография / А. А. Кретинин, А. Н. Животенко, О. К. Авдеев, А. Н. Летучий, Л. В. Широков. - Киев: «Куприянова», 2006. – 320 с.
13. Алёшин Ю.Г., Торогов И.А. Безопасность урановых хвостохранилищ в долговременном аспекте // «Проблемы радиоэкологии и управления отходами уранового производства в Центральной Азии», Бишкек, 2011 – С.15-18.

## REFERENCES

1. Belikov A. S., Kalda G. S. and Pilipenko A. V. *Radiatsionnaya bezopasnost zdaniy i sooruzheniy s uchetom innovatsionnykh napravleniy v stroitelstve* [Radiation safety of buildings and structures taking into account the innovative trends in construction]. Dnepropetrovsk: Serednyak T.K., 2013. – 367p. (in Russian).
2. Zaprudin V. F., Belikov A. S. and Gupalo O. S. *Radiatsionnaya bezopasnost zdaniy s uchetom innovatsionnykh napravleniy v stroitelstve* [Radiation safety of buildings taking into account the innovative trends in construction]. Dnepropetrovsk: Balans-Klub, 2009. – 352p. (in Russian).
3. Lisichenko G. V. and Kovach V. E. *Mirovoy opyt reabilitatsii uranovykh proizvodstv* [World experience of rehabilitation of uranium production]. *Texnogenno- ekologicheskaya bezopasnost i tsivilnaya zaschita*– [Technogenic and ecological safety of civilian protection]. Kremenchug, 2011. — issue 6. — pp. 4—12. (in Russian).
4. Kovalenko G. D. *Radioekologiya* [Radioecology]. Harkov: ID INZHEK, 2013. — 344 p. (in Russian).
5. Rosnick R., 2013, «CAP88-PC Version 3.0 User Guide» available at: URL: [http://www.epa.gov/radiation/docs/cap88/V3userguide\\_020913.pdf](http://www.epa.gov/radiation/docs/cap88/V3userguide_020913.pdf)
6. MOZ Ukraini. *Normi radiatsiyoi bezpeki Ukraini (NRBU-97)* [State hygiene standards. Radiation Safety Standards of Ukraine] — Kiyiv: Viddil poligrafyi Ukr. tsentru derzhsanepidemmaglyadu, 1998. — 125 p. (in Ukrainian).
7. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. – New York. – 2000.
8. Radiation protection. ICRP Publication 60 1990 Recommendations of the International Commission on Radioecological Protection (ICRP). — N. Y. : Pergamon Press, 1991. — 197 p.
9. Bennett B. G. Exposures from worldwide release of radionuclides. Proceeding of an international symposium on environment impact of radioactive release, IAEA, Vienna 8–12 May 1995. – P. 3 – 32.
10. Danielle A. H. Rasolonjatovo, Hiroyuki Suzuki, Naoya Hirabayashi, Tomoya Nunomiya, Takashi Nakamura and Noriaki Nakao. Measurement for the Dose-rates of the Cosmic-ray Components of the Ground. – J. Radiat. Res. – 2002. – 43, SUPPI, pp. 27– 33.
11. Hiroyuki Sagawa, Itsumasa Urabe. Estimation of Absorbed Dose Rates in Air Based on Densities of Cosmic Ray Muons and Electrons on the Ground Levels in Japan. – J. of Nuclear Science and Technology. – 2001. – V. 38, № 12, pp. 1103 – 1108.
12. Kretinin A. A., Zhivotenko A. N., Avdeev O. K., Letuchiy A. N. and Shirokov L. V. *Obraschenie s otrabotannymi istochnikami ioniziruyuschego izlucheniya v Ukraine* [Management of spent sources of ionizing radiation in Ukraine]. Kiev: Kupriyanova, 2006. – 320 p. (in Russian).
13. Alyoshin Yu. G. and Torogev I. A. *Bezopasnost uranovykh hvostohranilishch v dolgovremennom aspekte* [Security of uranium tailings in the long-term aspect]. *Problemy radioekologii i upravleniya othodami uranovogo proizvodstva v Tsentralnoy Azii*– [Problems of radioecology and waste management of uranium production in Central Asia]. Bishkek, 2011 – pp. 15-18. (in Russian).

Стаття надійшла в редколегію 01.09.2016