

**Б. И. Огородников, В. Е. Хан, В. П. Ковальчук**

*Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль*

## **РАДИОАКТИВНЫЕ АЭРОЗОЛИ В ХОЛЛЕ Г350 ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» В 2010 – 2011 гг.**

В 2010 г. работы по реконструкции коридора Г347 привели к повышению в холле Г350 концентрации аэрозолей-носителей продуктов Чернобыльской аварии. Наиболее высокая объемная активность  $6,4 \text{ Бк/м}^3$  наблюдалась 22 ноября, когда в коридоре Г347 вели металлообработку с помощью болгарки. Выявлен дополнительный фактор ингаляционного облучения персонала объекта «Укрытие» – дочерние продукты (ДП) радона и торона. Объемная активность  $^{212}\text{Pb}$  (ДП торона) находилась в диапазоне  $0,1 - 4 \text{ Бк/м}^3$ , а ДП радона –  $6 - 200 \text{ Бк/м}^3$ .

*Ключевые слова:* объект «Укрытие», радиоактивные аэрозоли-продукты аварии, дочерние продукты радона и торона, источники аэрозолей, динамика концентраций аэрозолей, ингаляционная доза.

### **Объект исследования**

Помещение Г350 расположено в западной части объекта «Укрытие» на высотной отметке +9 м. В соответствии с «Технологическим регламентом объекта «Укрытие» [1] этот холл отнесен к 3-й подзоне (с постоянным пребыванием персонала). В смежном помещении Г328 круглосуточно располагается дежурная смена цеха радиационной безопасности. Здесь выдают дозиметры руководителям различных служб ЧАЭС и контролерам, посещающим объект «Укрытие». В холл Г350 перед началом и после окончания работ приходят руководители и члены бригад организаций-подрядчиков для оформления нарядов, инструктажа, получения и сдачи индивидуальных дозиметров. Через холл Г350 и коридор Г347 проходит маршрут движения персонала из объекта «Укрытие» на 1 – 3-й блоки ЧАЭС и обратно.

В 2010 г. в коридоре Г347 и во всех помещениях, расположенных вдоль него, проводили ремонтные и реконструкционные работы, в том числе демонтаж и замену кабелей, навесных потолков, замену дверей, покрытий полов, нанесение противопожарных смесей на воздухопроводы, покраску стен и т.д. В связи с этим для оценки радиационной обстановки и холле Г350 требовалось контролировать концентрацию и динамику радиоактивных аэрозолей. Полученные результаты представлены ниже.

### **Методика мониторинга**

Площадь холла Г350 составляет около  $20 \text{ м}^2$ . Имеются четыре двери: на лестницу Г010/2, в коридор Г347, помещение Г328 и туалет. Кроме того, в восточной стене имеются два небольших окна, через которые происходит общение с дозиметристами, находящимися в помещении Г328.

Пробы аэрозолей отбирали во время наибольшего потока людей (около 9 ч утра или днем около 15 ч). Использовали воздуходувку Н810, в которую устанавливали пакет из двух фильтров АФА РСП-20 [2]. Воздуходувка располагалась на столе у западной стены холла на высоте около 1 м от пола. Прокачивали  $5 \text{ м}^3$  воздуха примерно за 50 мин. Затем фильтры переносили в помещение Г328 и измеряли их  $\beta$ -активность на радиометре КРК-1. За один час производили около 8 – 9 измерений по 100 с. Через 4 – 5 сут выполняли еще одно измерение продолжительностью 1000 с. Таким образом определяли активность дочерних продуктов (ДП) радона и торона, а также активность долгоживущих радионуклидов-продуктов Черно-

© Б. И. Огородников, В. Е. Хан, В. П. Ковальчук, 2012

быльской аварии. После каждого пробоотбора визуально оценивали изменение окраски лобового фильтра, что позволяло ориентировочно охарактеризовать запыленность воздуха.

Для оценки полноты улавливания аэрозолей в нескольких пробах, отобранных в разные периоды, выполнили раздельное измерение первого и второго фильтров. Получено, что при избранной скорости пробоотбора (около 85 см/с) проскок ДП радона и торона на второй фильтр составляет 5 – 7 %. Проскок аэрозолей-носителей радионуклидов чернобыльского генезиса (преимущественно  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ ) был менее 1 %. Различие в эффективностях вполне закономерно, поскольку ДП радона и торона связаны с частицами диаметром 0,1 – 0,3 мкм, а продукты Чернобыльской аварии находятся на более крупных частицах размером свыше 1 мкм [3]. Из полученных данных следует, что пакет из двух слоев фильтров АФА РСП-20 обеспечивал практически полное улавливание радиоактивных аэрозолей.

Как правило, одновременно с отбором проб в холле Г350 контролировали выброс аэрозолей из центрального зала объекта «Укрытие» в атмосферу через систему «Байпас» [4]. Кроме того, эпизодически отбирали пробы аэрозолей в других помещениях объекта «Укрытие».

### Концентрации аэрозолей-продуктов Чернобыльской аварии

За 12 месяцев (с февраля 2010 г. по январь 2011 г.) в холле Г350 было отобрано 66 проб. Результаты измерения смеси долгоживущих  $\beta$ -излучающих нуклидов ( $\Sigma\beta$ ), в которую входили  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Pu}$ , представлены на рис. 1. В большинстве случаев концентрации находились в диапазоне 0,1 – 1 Бк/м<sup>3</sup>. Лишь 12 % проб превышали 1 Бк/м<sup>3</sup> и 17 % были менее 0,1 Бк/м<sup>3</sup>. Разброс концентраций составлял три порядка величины. Средняя объемная активность за 12 месяцев равнялась 0,63 Бк/м<sup>3</sup>.

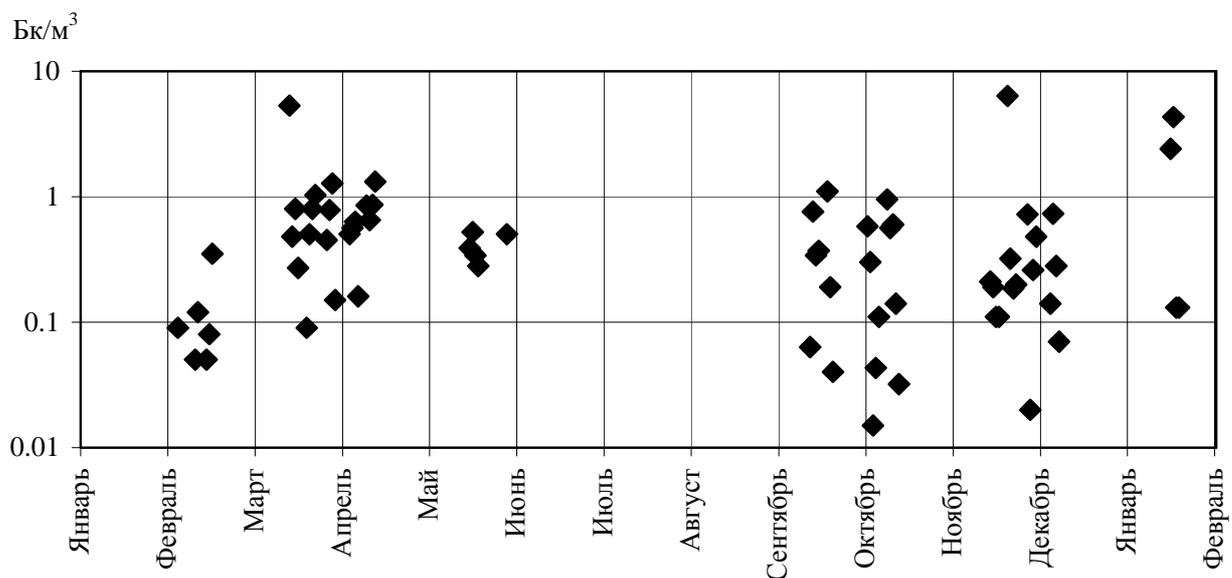


Рис. 1. Объемная активность аэрозолей-носителей суммы долгоживущих бета-излучающих нуклидов в холле Г350 в 2010 - 2011 гг.

Во многих случаях низкие величины  $\Sigma\beta$  коррелировали с тихой погодой. Например, 10, 15 и 16 февраля, когда  $\Sigma\beta$  были менее 0,08 Бк/м<sup>3</sup>, в районе ЧАЭС наблюдался штиль, а 15 февраля еще с утренним туманом. Минимальное значение  $\Sigma\beta = 0,015$  Бк/м<sup>3</sup> было зарегистрировано 6 октября 2010 г. В этот день с утра на почве лежал иней, скорость восточного ветра находилась в диапазоне 1 – 2 м/с.

Максимальная величина  $\Sigma\beta = 6,35$  Бк/м<sup>3</sup> наблюдалась 22 ноября 2010 г. В этот день холл Г350 был сильно задымлен. Пахло каленым железом. Оказалось, что в коридоре Г347 резали конструкции болгаркой. И хотя дверь в этот коридор была закрыта, и щели по пери-

метру заклеены лентой, дым просачивался. Слабый воздушный поток из коридора Г347 шел в холл Г350 и далее на лестницу Г010/2. Пробу отбирали во второй половине дня в течение 1 ч 06 мин. При этом примерно через полчаса после начала прокачки воздуха фильтр пришлось заменить, поскольку из-за накопившейся пыли расход снизился со 100 до 20 л/мин. По окончании проботбора оба комплекта фильтров были покрыты коричневым осадком. После расслоения пакетов оказалось, что вторые слои не запылились и имели исходный белый цвет. Приведенная выше величина  $\Sigma\beta$  в 2,1 раза превышала контрольную концентрацию аэрозольной смеси  $\beta$ -излучающих нуклидов, установленную в соответствии с КУРБ-ОУ [5]. Из-за большой толщины накопившегося осадка содержание  $\alpha$ -излучающих нуклидов точно измерить не удалось.

В начале 2011 г. сняли дверь, ведущую из холла Г350 в коридор Г347. Пробы, отобранные 18 и 19 января, свидетельствовали, что величины  $\Sigma\beta$  были достаточно высокими. Так, 18 января  $\Sigma\beta = 2,4 \text{ Бк/м}^3$ , а на следующий день –  $4,3 \text{ Бк/м}^3$ . Оба дня поток воздуха со скоростью 0,4 – 0,5 м/с шел из коридора в холл и далее на лестницу. 19 января в проеме двери повесили пленку и начали ломать дверной косяк. При этом пленка надулась, как парус, а пыль уносило в холл. В этот день после окончания пробоотбора, продолжавшегося 49 мин во второй половине дня, лобовой слой пакета фильтров стал серым. Измерение показало, что контрольная концентрация была превышена почти в полтора раза.

Представляет интерес сопоставить данные 2010 – 2011 гг. с теми, которые были получены специалистами лаборатории радиационно-экологического мониторинга ЧАЭС (ЛРЭМ ЧАЭС) примерно за год до начала работ в коридоре Г347. Как видно из рис. 2, в апреле 2009 г. среднее значение  $\Sigma\beta = 0,16 \text{ Бк/м}^3$ , т.е. объемные активности аэрозолей были в четыре раза меньше, чем в 2010 – 2011 гг.

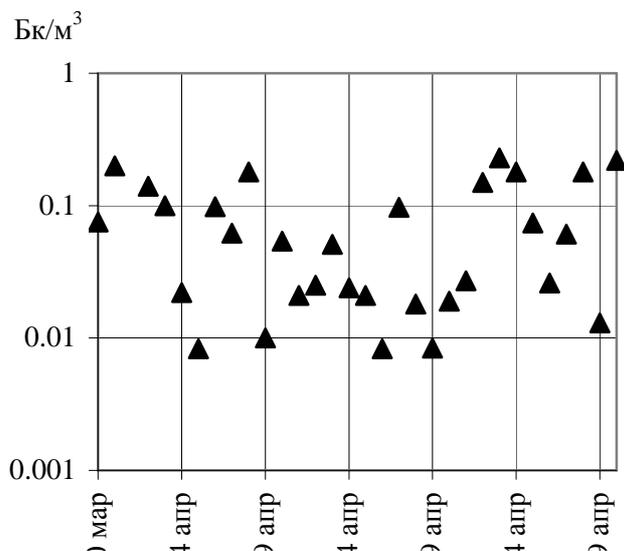


Рис. 2. Объемная активность аэрозоль-носителей суммы долгоживущих бета-излучающих нуклидов в холле Г350 в марте – апреле 2009 г. по данным ЛРЭМ ЧАЭС.

Таким образом, проведенные наблюдения показали, что ремонтные и реконструкционные работы в коридоре Г347 привели к значительному ухудшению радиационной обстановки в холле Г350 вследствие переноса техногенных аэрозолей.

Об этом же свидетельствуют данные регламентного контроля, выполненного специалистами ЛРЭМ ЧАЭС в 2010 г. Как следует из рис. 3, в 2010 г. объемная активность смеси  $\beta$ -излучающих аэрозолей была существенно выше, чем в марте – апреле 2009 г. (см. рис. 2). При этом 20 апреля 2010 г.  $\Sigma\beta = 5 \text{ Бк/м}^3$ , что в 1,7 раза выше контрольной концентрации. В середине января  $\Sigma\beta$  еще дважды приближалась к контрольной концентрации. За весь 2010 г. только три раза  $\Sigma\beta$  была ниже  $0,01 \text{ Бк/м}^3$ , в то время как в 2009 г. таких случаев только в апреле было четыре.

Необходимо отметить, что результаты наших наблюдений в 2010 г. (см. рис. 1) и специалистов ЛРЭМ ЧАЭС (см. рис. 3) практически совпадали.

### Концентрации аэрозолей-носителей ДП радона и торона

Из публикации [6] следует, что радон, торон и их дочерние продукты находятся повсеместно в объекте «Укрытие». Помимо того, что их вдыхание приводит к облучению легких, они препятствуют экспресс-анализу проб аэрозолей-носителей радионуклидов черно-

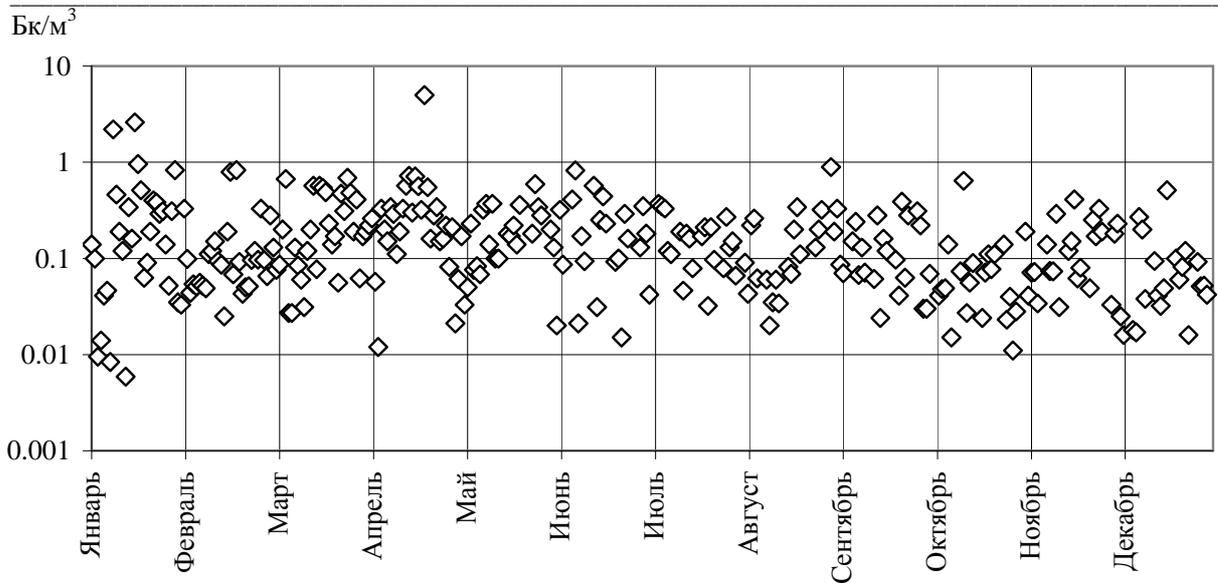


Рис. 3. Объемная активность аэрозолей-носителей суммы долгоживущих бета-излучающих нуклидов в холле Г350 в 2010 г. по данным ЛРЭМ ЧАЭС.

бильского генезиса. В связи с этим при исследованиях в холле Г350, были измерены содержания ДП радона и торона.

Концентрации радона были определены из условия его равновесия со своими ДП при продолжительности пробоотбора около 1 ч и более. Содержание ДП находили по измерениям фильтров на радиометре КРК-1. Как следует из рис. 4, диапазон концентраций в 2010 г. составлял от 6 до 200 Бк/м<sup>3</sup>. Наиболее высокие значения были зафиксированы 18 – 21 мая, когда в четырех пробах объемные активности превышали 100 Бк/м<sup>3</sup>. Полученные данные согласуются с результатами радоновой съемки, проведенной в объекте «Укрытие» в апреле – октябре 2010 г. Тогда с помощью трекового детектора ТДА-01, находившегося в помещении Г328 в течение полугода, была зарегистрирована средняя концентрация радона 173 Бк/м<sup>3</sup> [6]. Следует отметить, что согласно НРБУ-97 [7] в помещениях, которые эксплуатируются с постоянным пребыванием людей, среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность радона не должна быть выше 100 Бк/м<sup>3</sup>, а торона – 6 Бк/м<sup>3</sup>. Если эти уровни превышаются, то требуется проведение противорадоновых мероприятий.

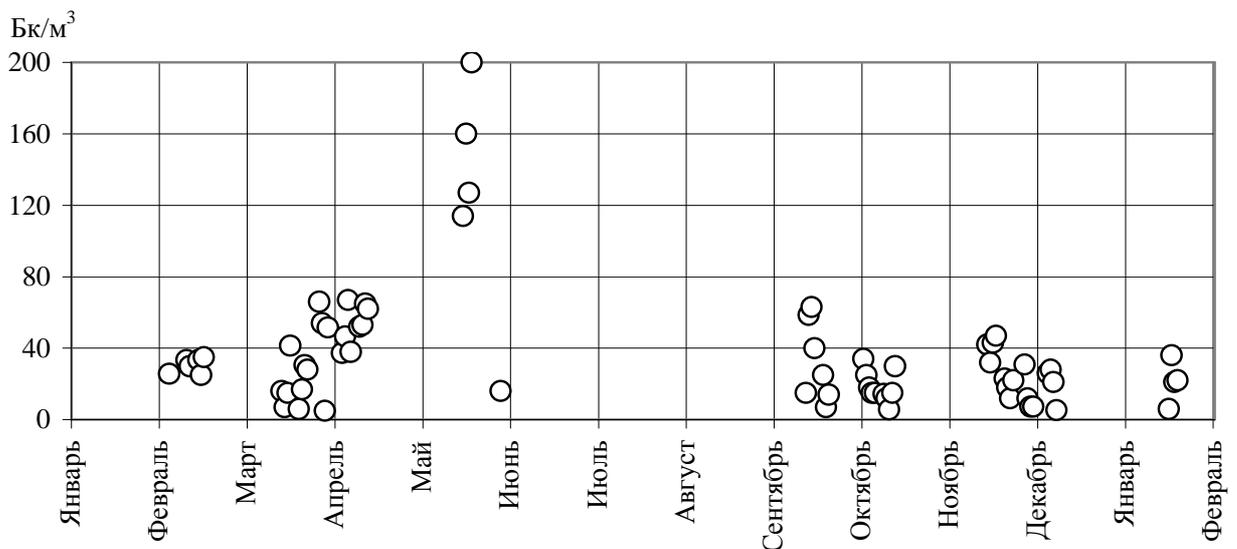


Рис. 4. Объемная активность ДП радона в холле Г350 в 2010 – 2011 гг.

Результаты определения в холле Г350 объемной активности  $^{212}\text{Pb}$  (ДП распада торона) приведены на рис. 5. Полученные значения находились в диапазоне 0,1 – 4 Бк/м<sup>3</sup>. Средняя концентрация составляла 1,6 Бк/м<sup>3</sup>. Ранее [3, 8] было установлено, что в марте – мае 2007 г. на территории объекта «Укрытие», в частности у юго-западного угла машинного зала, концентрации  $^{212}\text{Pb}$  не превышали 0,6 Бк/м<sup>3</sup>. Из этого однозначно следовало, что источники  $^{212}\text{Pb}$  находятся внутри объекта «Укрытие», в том числе в холле Г350.

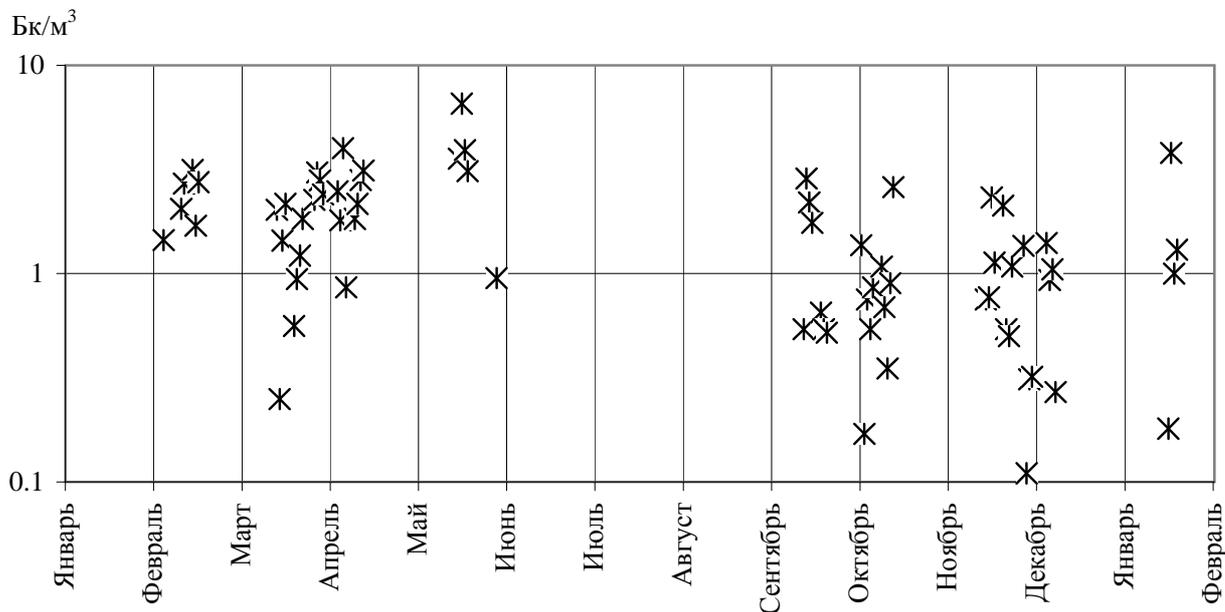


Рис. 5. Объемная активность  $^{212}\text{Pb}$  в холле Г350 в 2010 – 2011 гг.

Следует отметить, что интерес к аэрозолям ДП радона и торона в холле Г350 проявлялся и в предыдущие годы. Это было связано с прекращением в жаркие весенние дни естественной тяги воздуха через высотную трубу ВТ-2, а также через неплотности и щели на верхних отметках объекта «Укрытие» [8]. В разные месяцы 2007 г. в холле Г350 было отобрано шесть проб аэрозолей. Результаты измерений представлены в таблице.

**Данные мониторинга радиоактивных аэрозолей в холле Г350 объекта «Укрытие» в 2007 г.**

Отбор			Концентрация, Бк/м <sup>3</sup>		
Дата	Период	Объем, м <sup>3</sup>	$\Sigma\beta$	ДП <sub>Rn+Tn</sub>	$^{212}\text{Pb}$
09.02	09 <sup>50</sup> – 10 <sup>35</sup>	5	< 0,1	56	2,7
30.05	09 <sup>40</sup> – 10 <sup>09</sup>	5	< 0,1	130	6,8
31.05	09 <sup>07</sup> – 09 <sup>38</sup>	5	< 0,1	100	3,9
10.10	09 <sup>40</sup> – 10 <sup>08</sup>	5	< 0,1	8	0,43
20.11	15 <sup>27</sup> – 16 <sup>07</sup>	5	0,28	19	1,2
21.11	15 <sup>30</sup> – 16 <sup>03</sup>	5	1,9	10	0,54

Прежде чем анализировать данные по ДП радона и торона, отметим, что в 2007 г. концентрации  $\Sigma\beta$  были, как и в апреле 2009 г., низкие (см. рис. 2). Это еще раз свидетельствует, что рассмотренные выше результаты измерений  $\Sigma\beta$  в холле Г350 в 2010 г. характеризуют генерацию и перенос аэрозолей при реконструкции коридора Г347.

Из приведенных в таблице результатов следует, что в трех случаях из шести в холле Г350 наблюдались повышенные концентрации ДП радона и торона. Причина высоких кон-

центраций 30 и 31 мая – прекращение естественной тяги воздуха из-за высокой температуры во внешней среде.

По данным метеостанции «Чернобыль» 19 – 31 мая при средних ветрах, не превышавших 1 – 2 м/с, дневные температуры достигали 30 – 33 °С, а ночные не опускались ниже 15 – 16 °С. Поскольку помещения объекта «Укрытие» еще не успели прогреться после зимы, сложилась специфическая обстановка (застой воздуха). Очевидно, с 19 мая в помещениях началось накопление радона, торона и их ДП. Однако осенью (20 – 21 ноября), когда естественная тяга воздуха уже восстановилась, объемная активность ДП радона и торона в холле Г350 находилась на уровне 10 – 20 Бк/м<sup>3</sup>. Это еще раз показало, что источники эманирования радона и торона находятся внутри объекта «Укрытие».

Необходимо подчеркнуть, что до сих пор при определении доз, полученных персоналом, наличие радона и торона в помещениях объекта «Укрытие» не учитывалось. Расчет показал [6], что при концентрации радона 170 Бк/м<sup>3</sup> и торона 10 Бк/м<sup>3</sup> ингаляционная доза за год (1800 рабочих часов) достигает 3,5 мЗв. Это составляет 18 % от предельной эффективной дозы (20 мЗв/год) для персонала категории А.

### Заключение

Установлено, что в 2010 г. работы по реконструкции коридора Г347 и расположенных вдоль него помещений привели к значительному повышению в холле Г350 концентрации аэрозолей-носителей продуктов Чернобыльской аварии. По сравнению с предыдущим годом средняя объемная активность увеличилась примерно в четыре раза. В нескольких случаях в этом помещении, относящемся к категории постоянного пребывания персонала (3-я подзона), были зарегистрированы значения  $\Sigma\beta$ , превышавшие контрольный уровень 3 Бк/м<sup>3</sup>. Наиболее высокая объемная активность 6,4 Бк/м<sup>3</sup> наблюдалась 22 ноября, когда на протяжении длительного времени в коридоре Г347 вели металлообработку с помощью болгарки.

Выявлен дополнительный фактор ингаляционного облучения персонала объекта «Укрытие» – ДП радона и торона.

Объемная активность <sup>212</sup>Pb (ДП торона) в холле Г350 в 2010 г. находилась в диапазоне 0,1 – 4 Бк/м<sup>3</sup>. Средняя концентрация составляла 1,6 Бк/м<sup>3</sup>. Установлено, что источники <sup>212</sup>Pb находятся внутри объекта «Укрытие», в том числе в холле Г350.

Объемная активность ДП радона в холле Г350 в 2010 г. составляла 6 – 200 Бк/м<sup>3</sup>. Наиболее высокие значения были зафиксированы 18 – 21 мая, когда в четырех пробах концентрации превышали 100 Бк/м<sup>3</sup>.

Согласно НРБУ-97 в помещениях, которые эксплуатируются с постоянным пребыванием людей, среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность радона не должна быть выше 100 Бк/м<sup>3</sup>, а торона – 6 Бк/м<sup>3</sup>. Если эти уровни превышаются, то необходимо проведение противорадоновых мероприятий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Технологический регламент объекта «Укрытие» реактора блока № 4 Чернобыльской АЭС. 1Р-ОУ/ОП ЧАЭС / Объект «Укрытие».* – Инв. № 01 ТО. – Славутич, 2000. – 69 с.
2. *Петрянов И.В., Козлов В.И., Басманов П.И., Огородников Б.И.* Волокнистые фильтрующие материалы ФП. – М.: Знание, 1968.
3. *Огородников Б.И., Пазухин Э.М., Ключников А.А.* Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие»: 1986 – 2006 гг.: монография – Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2008. – 456 с.
4. *Огородников Б.И., Бudyка А.К., Павлюченко Н.И.* Наблюдения за выбросами радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» Чернобыльской АЭС // Атомная энергия. – 2004. – Т. 96, вып. 3. – С. 224 – 236.

5. *Контрольные уровни радиационной безопасности 41 П-С / ГСП ЧАЭС.* – Славутич (утверждены 02.02.09).
6. *Огородников Б.И., Хан В.Е., Пазухин Э.М., Краснов В.А.* Радон и его дочерние продукты в объекте «Укрытие» в 2003 – 2010 гг. // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2011. – Вип. 16. – С. 130 – 136.
7. *Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97).* – К., 1997.
8. *Огородников Б.И., Будыка А.К., Хан В.Е. и др.* Аэрозоли-носители  $^{212}\text{Pb}$  в объекте «Укрытие» // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2008. – Вип. 9. – С. 54 – 65.

**Б. И. Огородников, В. Е. Хан, В. П. Ковальчук**

**РАДИОАКТИВНІ АЕРОЗОЛІ В ХОЛІ Г350 ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ»  
У 2010 - 2011 рр.**

У 2010 р. роботи по реконструкції коридору Г347 привели до підвищення в холі Г350 концентрації аерозолів-носіїв продуктів Чорнобильської аварії. Найбільш висока об'ємна активність  $6,4 \text{ Бк/м}^3$  спостерігалася 22 листопада, коли в коридорі Г347 вели металообробку за допомогою болгарки. Виявлено додатковий чинник інгаляційного опромінювання персоналу об'єкта «Укриття» - дочірні продукти (ДП) радону і торону. Об'ємна активність  $^{212}\text{Pb}$  (ДП торону) знаходилася в діапазоні  $0,1 - 4 \text{ Бк/м}^3$ , а ДП радону -  $6 - 200 \text{ Бк/м}^3$ .

*Ключові слова:* об'єкт «Укриття», радіоактивні аерозолі-продукти аварії, дочірні продукти радону і торону, джерела аерозолів, динаміка концентрацій аерозолів, інгаляційна доза.

**B. I. Ogorodnikov, V. Y. Khan, V. P. Kovalchuk**

**RADIOACTIVE AEROSOLS IN HOLL G350 OF THE “UKRYTTYA” OBJECT  
IN 2010 – 2011**

In 2010 in holl G350 concentratios of radioactive aerosols-products of Chernobyl accident were increasd duering reconstraction of corridor G347. Maximal concentration  $6.4 \text{ Bq/m}^3$  are observed at November 22. Volume activity of  $^{212}\text{Pb}$  was  $0.1 - 4 \text{ Bq/m}^3$  and daughter products of radon –  $6 - 200 \text{ Bq/m}^3$ . Presence of daughter products of radon and thoron in holl G350 is the additional negative factor at inhalation of air.

*Keywords:* object “Ukryttya”, radioactive aerosols-products of accident, daughter products of radon and thoron, aerosol sources, dynamics of aerosol concentratios, inhalation dose.

Поступила в редакцію 14.06.11