

Б. И. Огородников^{1,2}, В. Е. Хан¹, В. П. Ковальчук¹

¹Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина

²Физико-химический институт им. Л. Я. Карпова, пер. Обуха, д. 3-1/12, стр. 6, Москва, 105064, Россия

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ОКОЛО СКОПЛЕНИЯ ЛАВООБРАЗНЫХ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ПОМЕЩЕНИИ 012/15 ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» В 2014 г.

Представлены результаты исследований радионуклидного состава, концентрации и дисперсности аэрозолей в помещении 012/15 объекта «Укрытие», где расположено скопление лавообразных топливосодержащих материалов (ЛТСМ), в 2014 г. Пробы отбирали на трехслойные фильтры Петрянова. Одновременно с помощью сейсмической радоновой станции и комплекса «Альфарад плюс А» определяли содержание в воздухе радона, торона и их дочерних продуктов. Установлено, что суммарная концентрация ($\Sigma\beta$) аэрозолей-носителей $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ и ^{137}Cs колебалась в диапазоне 0,2 – 3 Бк/м³. При этом на долю ^{137}Cs приходилось 30 – 40 %. Соотношение концентраций $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am} \sim 150$. Их носителями были аэрозоли с активным медианным аэродинамическим диаметром (АМАД) около 1 мкм. Средние соотношения радионуклидов-продуктов аварии 4-го блока ЧАЭС в аэрозольных пробах и образцах ЛТСМ существенно различались. Это указывает на незначительную деструкцию ЛТСМ в помещении 012/15. Максимальное содержание радона достигало 200 – 300 Бк/м³. Концентрации ^{212}Pb – дочернего продукта торона – колебались от 0,7 до 33 Бк/м³. Носителями дочерних продуктов радона и торона были преимущественно частицы с АМАД 0,1 – 0,3 мкм.

Ключевые слова: объект «Укрытие», лавообразные топливосодержащие материалы, радиоактивные аэрозоли, концентрация, АМАД.

Введение

ЛТСМ, образовавшиеся в результате взрыва реактора 4-го блока ЧАЭС весной 1986 г., являются источником ядерной, радиационной и радиоэкологической опасности. При растекании лава оказалась во многих помещениях, в том числе в подапаратном помещении (на высотной отметке +9 м), в парораспределительном коридоре (на +6 м), в бассейне-барботере (на +3 и 0 м) и других местах [1].

Хотя с момента аварии прошло более четверти века, сведений о состоянии ЛТСМ, а тем более разрушении, крайне мало. Первые исследования относятся к марту 1990 г. [2, 3], когда с «языка» лавы у юго-западного входа в помещение 210/7 были взяты спиртовой мазок, мазок на беззольный фильтр и проба аэрозолей. В 1995 г. аэрозоли отобрали на фильтр в помещении 305/2, откуда лава поступала в помещение 210/7, а затем в 012/15 [4]. Установлено, что около 70 % частиц были сферическими и имели диаметры 1 – 3 мкм.

В 2008 – 2009 гг. под руководством А. Э. Меленевского проведены отборы аэрозолей в помещениях 304/3 и 305/2, где находятся крупные скопления ЛТСМ [5]. В дальнейшем эти исследователи сосредоточили внимание на аэрозолях из помещения 304/3, которые отбирали через трубу в скважине В.12.76 [6]. В публикации [7] авторы отметили, что «за период 2009 – 2011 гг. максимум радиоактивности в распределении альфа-активных аэрозолей по аэродинамическим диаметрам сместился с интервала 2,0 – 10 мкм до 0,6 – 2 мкм». С осени 2011 г. исследования в помещении 304/3 были продолжены с использованием для подъема пыли с поверхности ЛТСМ воздушного потока, вырывавшегося из сопел со скоростью 41 м/с. Авторы резюмировали, что «относительная концентрация мелких (АД менее 0,8 мкм) частиц с альфа-активными радионуклидами росла с увеличением времени накопления пыли, а крупных частиц падала» [8].

К сожалению, в публикациях [5 – 9] не приведены содержания основных радионуклидов (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{154}Eu , ^{155}Eu , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am) в аэрозолях и ЛТСМ. Если бы соотношения изотопов в аэрозолях оказались такими же, как в ЛТСМ, то это свидетельствовало о деструкции последних. В этом плане важное исследование было проведено в 2011 г. в помещении 012/7 на самой низкой высотной отметке (0 м) объекта «Укрытие», куда протекла лава [10]. Пробы аэрозолей отбирали на трехслойные фильтры Петрянова в 15 – 20 см от южного края ЛТСМ. Установлено, что суммарная концентрация ($\Sigma\beta$) аэрозолей-носителей $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ и ^{137}Cs колебалась от 5 до 100 Бк/м³. При этом на долю ^{137}Cs приходилось 10 – 20 %. Соотношение концентраций $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$ было близко к 15. Носителями радионуклидов были аэрозоли крупнее 1,5 мкм. Гамма-спектрометрические измерения и радиохимические анализы показали, что состав и соотношения радионуклидов-продуктов аварии 4-го блока ЧАЭС

© Б. И. Огородников, В. Е. Хан, В. П. Ковальчук, 2015

в аэрозольных пробах и образцах ЛТСМ практически идентичны. Авторы публикации [10] считают, что в помещении 012/7 происходила деструкция лавы и ее частичный переход в аэрозольное состояние.

Таким образом, имеющиеся сведения о состоянии и пылегенерировании с поверхностями ЛТСМ скудные и неоднозначные. Требуется систематические исследования воздушной среды, в частности радиоактивных аэрозолей, непосредственно в местах размещения ЛТСМ при фактических температурных, влажностных, воздухообменных, радиационных и других условиях, существующих в объекте «Укрытие». Этому посвящена предлагаемая ниже работа, выполненная в 2014 г. в помещении 012/15 бассейна-барботера, 2-й этаж (ББ-2), где находится одно из скоплений ЛТСМ вертикального лавового потока [11].

Описание помещения 012/15 и находящегося в нем скопления ЛТСМ

Помещение 012/15 расположено на высотной отметке +3 м и входит в систему ББ-2 (рис. 1). Лава проникла сюда из расположенного выше помещения 210/7. Исследования помещений ББ-2 и

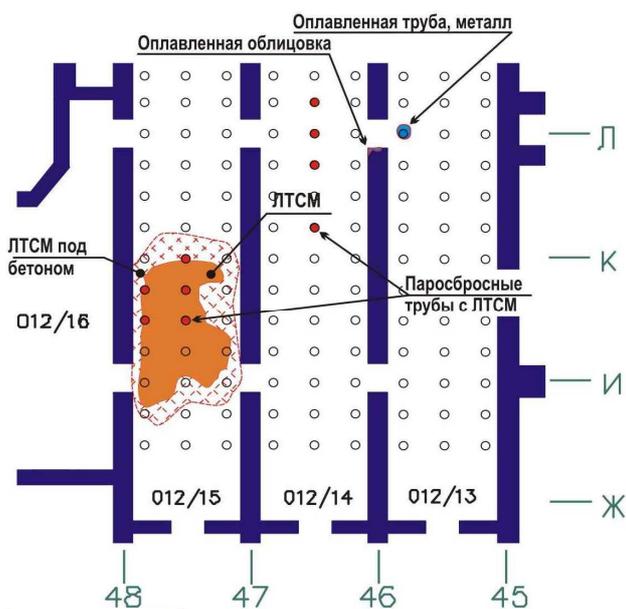


Рис. 1. Схема помещений ББ-2 и места расположения скопления ЛТСМ.

находящихся в них ЛТСМ представлены в публикациях [11, 12] и обобщены в [1]. «Куча» ЛТСМ находится между осями 47₊₁₀₀₀ – 48₋₁₀₀₀ и рядами И₋₃₀₀₀ – К. Ее северный край при сооружении в 1986 г. объекта «Укрытие» был залит бетоном, который поднимается над полом примерно на 0,7 м. Видимая холмистая поверхность «кучи» покрыта пемзообразным слоем толщиной около 0,1 м. ЛТСМ содержатся также в пяти паросбросных трубах диаметром 0,28 м, по которым лава поступала в помещение 012/15. В смежном помещении 012/14 ЛТСМ заполняют четыре паросбросные трубы, расположенные между осями 46 и 47 и рядами К и Л.

В соответствии с экспертной оценкой [1] объем «кучи» составляет $23 \pm 6 \text{ м}^3$. При плотности коричневой керамики $2,14 \pm 0,34 \text{ т/м}^3$ и содержании урана 9 – 13 % его общее количество в «куче» близко к 3 т.

Доступ к зоне проведения работ и радиационная обстановка

Наиболее короткий путь к скоплению ЛТСМ лежит из коридора 006/2 (отметка 0 м) через помещения 009/4 и 009/5 в помещение 012/16. Но далее проход в помещение 012/15 закрыт решеткой. Наибольшую опасность на этом маршруте представляет движение по помещению 009/4, где постоянно находится скопление радиоактивной воды глубиной 0,2 – 0,3 м, а величина мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД) достигает 0,3 Р/ч. Более длинный путь, но по сухим помещениям и при умеренных величинах МЭД, проходит по коридорам 006/2 и 101/2 в помещение 01/3 и далее в помещение 012/16. Около северной стороны «кучи» МЭД достигает 300 Р/ч.

Рабочее место оборудовали по ряду Л и оси 48₊₃₀₀₀ около решетки между помещениями 012/16 и 012/15. Здесь расположили воздуходувку и другие устройства. Отбор аэрозолей из помещения 012/15 производили через трубу, на конце которой размещали воронку с фильтрами.

Методы и средства отбора проб и измерений

Аэрозоли отбирали воздуходувкой Н810 SAIC со скоростью около 100 л/мин. Использовали пакеты фильтров Петрянова площадью 20 см², состоящие из слоев ФПА-70-0,12, ФПА-70-0,2, АФА РСР-20 и АФА РМА-20. Пакет устанавливали в фильтродержателе, который закрепляли на входе пластмассовой трубы с внутренним диаметром 2 см и длиной около 4 м (рис. 2). Трубу через решетку укладывали на козлах высотой около 1 м в проходе между помещениями 012/16 и 012/15. В итоге фильтродержатель располагался в пространстве помещения 012/15 примерно в 5 м от северного края «кучи». Воздух прокачивали около 2 ч. Затем трубу вытаскивали, воронку снимали и фильтры отправляли на анализ.

Во время отбора аэрозолей воздух из воздуходувки через конфузор поступал на вход сейсми-

ческой радоновой станции СРС-05 «Торон-1» [13, 14]. Она измеряла активности ^{218}Po и ^{216}Po – дочерних продуктов радона и торона (ДПР), оседавших на полупроводниковый детектор в камере

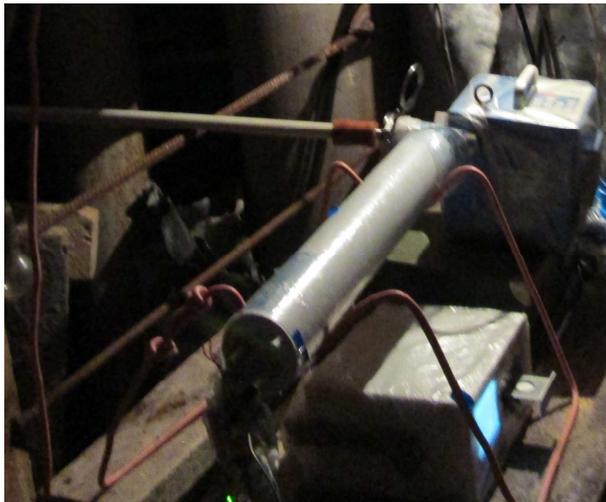


Рис. 2. Размещение аппаратуры при исследовании аэрозолей в помещении 012/15.

объемом 0,25 л. Станция работала в режиме «Торон», выполняя за сутки 144 цикла измерений. В станции имеется блок климатконтроля с записью температуры, относительной влажности воздуха и атмосферного давления. Воздуходувку и станцию СРС-05 размещали на высоте примерно 1 м от пола (см. рис. 2). После окончания отбора аэрозолей станцию вынимали из конфузора и продолжали контролировать радиоактивные благородные газы, прокачивая воздух помещения 012/16. На следующие сутки все операции повторяли с новым пакетом фильтров. Таким образом, радиоактивные аэрозоли и радон в помещении 012/15 контролировали раз в сутки, а концентрации радона и торона в помещении 012/16 – непрерывно 2 – 4 сут.

(ЭРОА_{Rn}) и торона (ЭРОА_{Tn}), а также коэффициент равновесия (F) ДПР. Прибор размещали рядом со станцией СРС-05 и включали одновременно с воздуходувкой Н810. Через 5 мин продувка воздуха автоматически отключалась, и комплекс переходил в режим измерения ДПР, накопившихся на его фильтре АФА РСР-3. Еще через 5 мин измерение заканчивалось, и на табло появлялись данные ЭРОА_{Rn} и ЭРОА_{Tn}, а также коэффициент F. «Альфарад плюс А» работал раз в сутки одновременно с отбором аэрозолей из помещения 012/15.

С апреля 2014 г. комплексом «Альфарад плюс А» [15] начали контролировать эквивалентные равновесные объемные активности радона

Для сопоставления состава и концентрации аэрозолей в помещении 012/15 и в выбросе из объекта «Укрытие» синхронно отбирали пробы в системе «Байпас», через которую воздушные потоки из развала 4-го блока поступают в атмосферу. Использовали, как в помещении 012/15, пакеты фильтров Петрянова и воздуходувку Н810. Полученные результаты представлены в [16].

Анализ радиоактивных веществ

Через 10 – 15 мин после окончания прокачки воздуха фильтры поступали в помещение Г328 объекта «Укрытие» для радиометрии. Пакеты разделяли на три слоя согласно их исходному цвету: голубой (ФПА-70-0,12), розовый (ФПА-70-0,2) и белый (АФА РСР-20 и АФА РМА-20). Композицию из двух фильтров в белом слое использовали для обеспечения наиболее полного улавливания субмикронных аэрозолей. При осмотре фильтра АФА РСР-20 оценивали изменение его окраски (оттенки серого цвета), что качественно характеризовало количество поступившей на него пыли.

Измерение β -активности фильтров выполняли на приборе КРК-1. Слои поочередно измеряли по 100 с. При скорости счета свыше 100 имп/с экспозицию снижали до 10 с. Общее время анализов составляло 60 – 90 мин. По кривым распада рассчитывали количество ДПР на момент окончания прокачки воздуха. Через 4 – 5 сут, когда полностью распадались ДПР, измерения повторяли. При этом каждый слой экспонировали, как правило, 1000 с. В результате определяли $\Sigma\beta$, а также ^{212}Pb – одного из дочерних продуктов торона с периодом полураспада 10,6 ч.

Для определения количества ^{137}Cs все фильтрующие пакеты измеряли на сцинтилляционном гамма-спектрометре. Наиболее активные пробы для выявления не только ^{137}Cs , но и ^{154}Eu , и ^{241}Am измеряли на полупроводниковом гамма-спектрометрическом комплексе.

Контроль воздушной среды

Температуру, относительную влажность воздуха и его давление в помещениях 012/15 и 012/16 контролировали по показаниям датчиков станции СРС-0,5 и комплекса «Альфарад плюс А». Они фиксировались автоматически при каждом цикле прокачки воздуха, т.е. через каждые 10 мин на станции СРС-05 и при работе «Альфарад плюс А».

Кроме того, с помощью пушинок периодически контролировали наличие воздушного потока в проеме между помещениями 012/15 и 012/16 и по маршруту следования в помещение 012/16. Обычно пушинки падали вертикально, что свидетельствовало об отсутствии воздушных потоков и слабом проветривании помещений ББ-2.

Метеопараметры во внешней среде контролировали по показаниям (обновление через 5 мин) автоматического метеопункта, размещенного в 500 м южнее объекта «Укрытие» на площадке ОРУ-750, и метеостанции «Чернобыль», находящейся в 18 км на юго-восток от ЧАЭС, где замеры проводят каждые 3 ч. Иногда эти данные дополняли собственными наблюдениями (туман, высота облачности, осадки, глубина снежного покрова и т.д.).

Результаты и обсуждение Состояние воздушной среды

На рис. 3 представлены данные о температуре и относительной влажности воздуха в помещении 012/15 в моменты отбора проб аэрозолей.

Наиболее низкая температура около 9 °С наблюдалась в марте – апреле. Затем воздух стал постепенно прогреваться. Максимальная температура около 14 °С была зарегистрирована в сентябре – октябре.

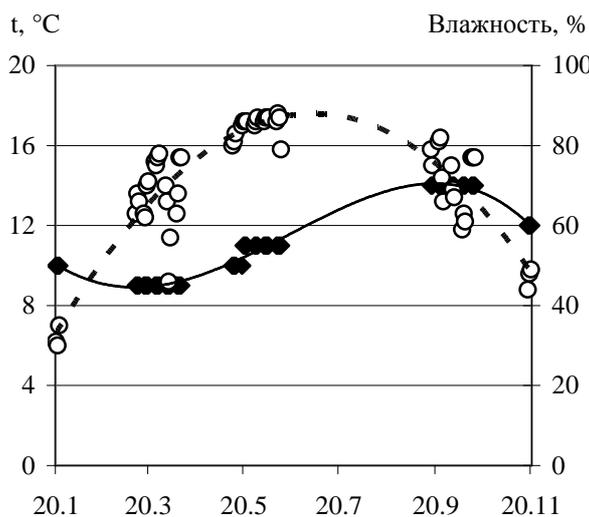


Рис. 3. Температура (◆) и относительная влажность (○) воздуха в помещении 012/15 при отборе проб аэрозолей в 2014 г.

Таким образом, различие между температурами в теплый и холодный периоды составляло всего 5 °С. «Сезонная» динамика температуры сдвинута примерно на два месяца относительно внешней среды. Это связано с теплоемкостью огромной массы бетонных и металлических сооружений объекта «Укрытие» и расположением помещений ББ-2 на высотной отметке +3 м, т.е. практически в подвале реакторного блока, где воздухообмен с внешней средой незначительный. Суточных колебаний температуры не наблюдалось.

За период исследований температура воздуха во внешней среде изменялась существенно. По данным метеостанции «Чернобыль» наиболее низкие температуры были зарегистрированы ночью 13 марта (-1,9 °С) и ночью 2 апреля (-6 °С). Высокие температуры (около 29 °С) держались в дневные часы с 22 по 27 мая. Максимум (30,7 °С) пришелся на 15 ч 6 июня. Из сопоставления этих данных и приведенных на рис. 3 следует, что разница температур снаружи и внутри достигала иногда 15 – 20 °С. Наибольшие перепады приходились как на холодное, так и на теплое время года. Только в первом случае это была положительная разница, а во втором – отрицательная.

Относительная влажность воздуха в помещении 012/15 варьировала от 30 до 90 %. Наиболее низкие значения наблюдали в январе, марте, апреле, октябре и ноябре. Максимальная влажность зафиксирована в мае – июне, когда среднесуточная температура в атмосфере составляла около 20 °С. Динамика и абсолютные значения температуры и относительной влажности воздуха оказались очень близки к тому, что наблюдалось в помещении 012/7 в 2011 г. [10] и в помещении 210/7 в 2013 г. [17].

Воздухообмен в районе расположения ЛТСМ в помещении 012/15 был слабый. Об этом свидетельствуют измерения с помощью «колдунчиков»-пушинок. Осмотры фильтров после окончания отборов проб показали, что у 38 из 69 на третьем слое (фильтр АФА РСП-20) наблюдался сероватый налет. Однако в мае – июне окраска фильтров ни разу не изменялась. В этот период в помещении 012/15 наблюдалась максимальная относительная влажность воздуха 85 – 88 %. Очевидно, основной причиной потемнения фильтров был пылеподъем в помещениях объекта «Укрытие», связанный с высыханием стен, перекрытий, технологических конструкций при относительной влажности воздуха ниже 80 %. Однако фильтры из помещения 012/15 ни разу не оказались черного или темно-серого цветов, что наблюдали в 2011 г. в помещении 012/7 [10]. Следует отметить также, что цвет фильтров из помещения 012/15 не изменился даже 17 – 20 марта и 24 сентября 2014 г., когда около ЧАЭС максимальные порывы ветра достигали 10 – 11 м/с и наблюдался подъем пыли. Все это показывает, что воздухообмен в помещении 012/15 низкий и воздух из внешней среды поступает сюда в малых количествах.

Концентрация аэрозолей-носителей продуктов аварии

Результаты измерений радиоактивности аэрозолей, отобранных в помещении 012/15, приведены в табл. 1. Всего за 2014 г. исследованы 69 проб.

Таблица 1. Характеристика радиоактивных аэрозолей в помещении 012/15 объекта «Укрытие» в 2014 г.

Дата отбора	Концентрация, Бк/м ³				Σβ		ДПР		Условия отбора	Ветер		
	¹³⁷ Cs	Σβ	ДПР	²¹² Pb	АМАД, мкм	σ*	АМАД, мкм	σ*		средний, м/с	порывы, м/с	направ., град
19.02	0,21	0,70	90	23	1,3	1,8	0,11	3,4	штиль	1,0	4,0	230
12.03	0,36	1,1	175	13	0,96	1,3	0,03	16	ясно	2,5	6,0	340
13.03	0,10	0,45	83	12	0,70	1,0	0,15	1,7	ясно	1,5	4,0	300
14.03	0,36	-	80	19		-	0,05	7,1		3,0	8,0	275
17.03	0,4	1,2	67	9,2	1,0	1,3	0,08	5,2		3,0	10,5	235
18.03	0,13	0,65	140	6,1	1,1	2,0	0,07	8,0		4,0	12,5	290
19.03	0,64	1,9	110	20	2,1	2,7	0,08	9,0		2,0	6,5	235
20.03	0,32	1,4	110	22	1,1	6,0	0,16	1,2		4,0	9,5	260
24.03	0,34	0,9	85	29	2,4	2,2	0,05	7,0		2,0	7,5	140
25.03	0,20	1,0	140	26	1,2	3,5	0,17	1,2	ясно	3,0	7,0	130
26.03	0,83	1,9	110	33	2,7	3,3	0,03	>8	ясно	2,0	5,5	70
27.03	0,22	1,0	110	27	0,98	2,4	0,18	1,2	ясно	2,0	6,5	85
31.03	1,0	3,5	88	16	0,15	2,2	0,14	2,4	ясно	-	-	-
01.04	-	0,25	230	8,6	0,53	1,6	1,20	3,2		2,0	6,5	345
02.04	0,22	1,0	82	8,1	1,1	1,2	0,12	3,6	ясно	1,5	5,5	340
03.04	0,12	0,48	83	21	1,2	3,6	0,03	>8	ясно	2,0	6,5	230
07.04	0,38	1,2	75	18	0,97	1,8	0,04	7,6	ясно	1,5	6,0	360
08.04	0,35	1,0	130	20	1,6	4,5	0,05	9,2		2,5	7,0	265
09.04	0,46	1,4	160	26	1,0	1,8	0,09	4,1		1,5	5,5	250
10.04	0,11	0,86	170	7,7	1,2	1,5	0,09	6,0		2,0	6,0	10
13.05	0,22	0,99	150	22	0,78	1,6	0,03	10,5		1,5	7,0	230
14.05	0,12	0,85	170	15	0,71	1,7	0,13	2,3	штиль	1,5	3,5	145
15.05	0,36	1,3	260	20	1,4	2,5	0,02	14	дождь	1,0	5,0	30
19.05	2,62	10	110	19	1,6	2,1	0,16	2,0	ясно	2,0	6,0	165
20.05	0,75	3,5	140	24	2,2	3,0	0,19	1,4		2,5	8,5	175
21.05	0,52	2,8	180	28	0,92	1,8	0,11	3,3	штиль	1,0	3,0	145
22.05	0,71	2,5	170	31	1,9	2,4	0,19	1,4	ясно	1,5	4,0	90
26.05	0,43	1,7	120	21	1,2	1,8	0,05	10	штиль	0,5	3,5	50
27.05	0,41	1,4	150	24	1,2	2,5	0,16	2,2	штиль	1,0	3,0	105
28.05	0,27	0,87	180	23	0,81	3,3	0,14	2,0	штиль	1,0	3,0	340
29.05	0,31	1,0	180	24	1,2	3,7	0,05	12		1,5	4,5	190
30.05	0,15	1,0	270	8,6	1,0	3,9	0,11	3,1	штиль	2,0	5,5	350
02.06	0,52	1,7	170	27	1,7	2,5	0,16	1,5		2,5	7,0	155
03.06	0,41	1,5	210	20	1,7	2,5	0,09	5,1	штиль	1,0	3,5	180
04.06	0,36	1,2	180	26	1,3	1,5	0,10	4,0		1,5	4,0	115
05.06	0,26	1,2	220	20	1,6	3,1	0,15	1,5	штиль	1,0	3,0	175
10.06	0,16	0,48	270	26	>8	-	0,06	8,4	ветрено	2,0	8,5	325
11.06	0,98	1,7	330	6,6	0,06	6,8	0,05	9,2		2,0	7,5	300
12.06	0,18	0,69	240	13	2,8	5,9	0,09	4,4	штиль, ясно	1,0	4,0	315
16.09	0,18	0,73	55	5,0	3,6	3,4	0,23	8,2	ясно	1,0	3,5	15
17.09	0,035	0,22	94	3,6	0,99	1,1	0,10	8,5	штиль, ясно	1,0	4,0	60
18.09	<0,04	0,09	85	0,83	1,4	4,6	0,1	3,8	штиль, ясно	1,5	4,5	75
22.09	0,086	0,09	180	4,0	-	-	0,17	1,1	ветрено	2,5	8,5	140
23.09	0,29	0,89	120	3,2	2,9	3,4	0,17	2,7	дождь	1,5	5,0	270
24.09	0,051	0,25	38	0,73	1,3	8,5	0,25	7,5	ветрено	3,5	11,0	310
25.09	0,12	0,36	23	1,4	2,3	3,0	0,18	5,0	ясно	1,5	4,5	350
29.09	0,10	0,27	91	6,7	1,4	3,2	0,16	2,1	штиль	1,0	7,0	295
30.09	0,19	1,1	170	5,4	0,20	18	0,01	14		2,0	7,0	345
01.10	0,14	0,14	94	2,0	0,53	1,1	0,22	1,9		1,0	5,0	360
02.10	0,09	0,59	70	1,2	1,2	1,5	0,08	5,1	ясно	1,0	3,0	120
07.10	0,18	2,1	80	6,3	1,0	1,4	0,16	2,6	ясно	2,5	8,0	115
08.10	-	-	-	-	-	-	-	-		2,0	6,0	130
09.10	0,14	0,17	240	7,4	3,5	5,6	0,14	5,3	ясно	2,5	6,5	165

Дата отбора	Концентрация, Бк/м ³				Σβ		ДПР		Условия отбора	Ветер		
	¹³⁷ Cs	Σβ	ДПР	²¹² Pb	АМАД, мкм	σ*	АМАД, мкм	σ*		средний, м/с	порывы, м/с	направ., град
13.10	0,46	0,69	130	10	1,9	1,5	0,20	2,5	штиль	0,5	3,5	200
14.10	0,16	0,19	240	7,7	0,52	1,1	0,11	4,5	ясно	1,5	3,5	220
15.10	0,11	0,12	140	11	0,97	1,1	0,04	11		1,5	4,5	210
18.11	0,91	1,90	200	3,1	3,1	2,6	0,14	2,6		2,0	5,5	85
19.11	0,22	0,6	59	1,7	1,2	3,0	0,22	1,9		2	6,5	120
20.11	-	0,06	55	3,1	0,52	1,3	0,22	1,7	морось	2,0	6,0	60
21.11	0,13	0,19	52	2,5	0,82	1,2	0,09	8,4	ясно	2,0	5,5	90
24.11	0,18	0,31	71	1,6	0,95	1,1	0,14	3,8	штиль	0,5	2,5	110
25.11	0,24	0,45	55	2,0	4,2	2,8	0,10	8,5		2,0	5,5	140
26.11	-	0,16	170	1,4	0,74	3,5	0,20	2,2	штиль	0,5	2,5	60
27.11	0,16	0,27	71	2,1	4,1	5,0	0,15	3,3		0,5	2,5	120
01.12	0,1	0,16	84	2,2	0,48	1,1	0,13	3,8	ясно	1,5	4,0	15
02.12	0,12	0,25	56	3,3	2,4	7,1	0,17	2,0	штиль	1,0	3,0	25
03.12	0,22	0,49	51	1,8	0,74	3,3	0,19	1,2	дымка	2,0	5,0	130
04.12	0,64	1,6	83	2,0	1,5	2,0	0,19	3,6	дымка	1,5	4,0	115
05.12	-	0,11	130	6,7	2,7	2,7	0,16	4,7	штиль, дымка	0,5	2,5	45

* σ – стандартное геометрическое отклонение. При логнормальном распределении представляет собой интервал размеров, которые имеют 67 % частиц.

На рис. 4 видно, что величины Σβ варьировали в диапазоне 0,1 – 10 Бк/м³, однако в большинстве случаев составляли 0,2 – 3 Бк/м³. Всего 4 пробы имели активность более 3 Бк/м³ и 11 – менее 0,2 Бк/м³. Максимальная объемная активность 10 Бк/м³ была зафиксирована 19 мая, когда воздух во внешней среде прогрелся до 27 °С и из-за этого прекратилась тяга из объекта «Укрытие» через верхние этажи и новую вентиляционную трубу (НВТ). Возник застой воздуха.

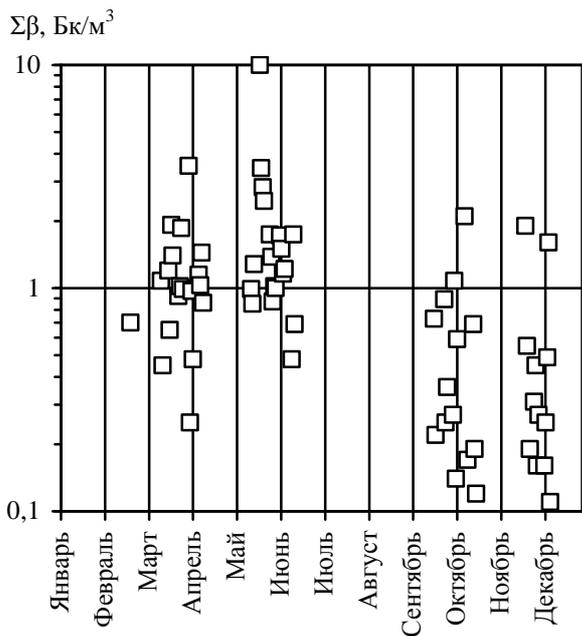


Рис. 4. Объемная активность аэрозолей-носителей Σβ в помещении 012/15 в 2014 г.

Минимальная активность 0,064 Бк/м³ была зафиксирована 20 ноября. Вряд ли на это повлияли метеорологические условия, поскольку близ ЧАЭС наблюдалась морось при температуре около 0 °С и юго-восточном ветре со средней скоростью около 2 м/с. Но в помещении 012/15 относительная влажность воздуха составляла 49 % при температуре 12 °С.

Содержание ¹³⁷Cs в пробах было определено при измерениях на сцинтиляционном гамма-спектрометре. Из табл. 1 следует, что величина отношения ¹³⁷Cs/Σβ колебалась в основном в диапазоне 0,2 – 0,5. Таким образом, примерно треть бета-активности в аэрозолях приходилась на ¹³⁷Cs.

Низкие концентрации аэрозолей-носителей Σβ (см. табл. 1 и рис. 4) затруднили определение в пробах ²⁴¹Am и ¹⁵⁴Eu. Например, чтобы с приемлемой точностью выявить ²⁴¹Am в пробах, отобранных 26 и 31 марта, потребовалось их измерение на полупроводниковом гамма-спектрометре в течение 11 ч (40000 с). Однако идентифицировать ¹⁵⁴Eu так и не удалось. В связи с этим было решено измерять объединенные комплекты проб, собранных за месяц. Их собирали в виде шайбы диаметром около 60 мм и толщиной 10 – 15 мм и измеряли 4 – 11 ч. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Как следует из табл. 2, отношения ¹³⁷Cs/²⁴¹Am в аэрозолях из помещения 012/15 варьировали от 53 до 200. Среднее значение составило 146. Примерно таким же в 2012 г. было соотношение в помещении 210/7 [17]. Однако оно оказалось на порядок величины больше, чем годом ранее в помещении 012/7, где ¹³⁷Cs/²⁴¹Am = 15 (при минимальном значении 9,2 и максимальном 29) [10].

К сожалению, только в одном комплекте удалось определить содержание ¹⁵⁴Eu. С точностью

до 50 % отношение $^{241}\text{Am}/^{154}\text{Eu} = 4,5$. Отметим, что при одновременном отборе проб в системе «Байпас» среднее за 2014 г. отношение $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am} = 97$, а $^{241}\text{Am}/^{154}\text{Eu} = 6,2$ [16].

Таблица 2. Содержание радионуклидов (Бк) в месячных комплектах проб из помещения 012/15

Период	Число проб	^{137}Cs	^{241}Am	^{154}Eu	$^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$	$^{241}\text{Am}/^{154}\text{Eu}$
Март	10	94	0,56	-	170	-
Апрель	7	40	0,28	-	140	-
Май	12	140	0,72	-	190	-
Июнь	7	53	0,28	-	190	-
Сентябрь	8	34	0,63	-	54	-
Ноябрь	8	30	0,35	-	86	-
Март - май	24	180	0,85	0,19	210	4,5

Из базы данных ОЯРБ ИПБ НАНУ и [1] следует, что в середине 2014 г. в ЛТСМ, находящихся в помещении 012/15, отношения $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am} = 11,2$ и $^{241}\text{Am}/^{154}\text{Eu} = 5,5$. Из сопоставления этих данных с радионуклидным составом аэрозолей из помещения 012/15 видно, что в аэрозолях величина отношения $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$ существенно больше, чем в лаве. Следовательно, ЛТСМ не могли служить основным источником аэрозолей-носителей продуктов Чернобыльской аварии, которые на протяжении 2014 г. детектировали в помещении 012/15. Очевидно, здесь с поверхности лавы генерация аэрозолей происходила незначительно и не влияла на концентрацию и радионуклидный состав аэрозолей.

Концентрации радона, торона и аэрозолей их дочерних продуктов

Интерес к ДПР обусловлен тем, что среди них имеются альфа-излучающие изотопы, которые могут вносить значительный вклад во внутреннее облучение персонала объекта «Укрытие» [23].

Из результатов, представленных в табл. 1 и на рис. 5, следует, что объемные активности ДПР находились в диапазоне 30 – 300 Бк/м³. Поскольку на промплощадке объекта «Укрытие» концентрации ДПР намного ниже [24], то их высокое содержание в помещении 012/15 обусловлено эманацией радона и торона из строительных конструкций и грунта, в который заглублен фундамент сооружения. Кроме того, торон может эманировать из ЛТСМ, в которых находится ^{232}U , накопленный в топливе за время работы реактора до аварии 1986 г. [24].

На рис. 5 видно, что динамика концентраций ДПР имеет сезонный тренд: максимум приходится на теплый период года, а минимум – на холодный. Это коррелирует с температурой в помещениях 012/15 и 012/16 (см. рис. 3) и во внешней среде.

Измерения ^{212}Pb , образующегося в цепочке радиоактивного распада торона, показали, что его концентрации находились в диапазоне 0,7 – 33 Бк/м³ (см. рис. 5). У аэрозолей-носителей ^{212}Pb имеется сезонный ход аналогичный с ДПР. Однако из рис. 6 следует, что корреляции между концентраци-

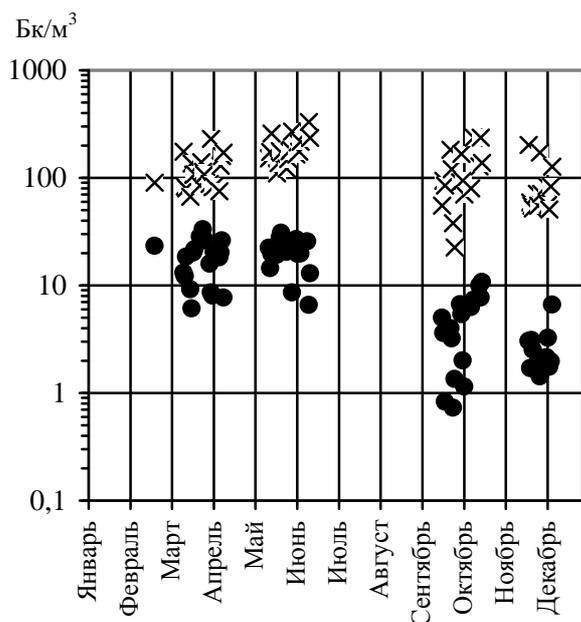


Рис. 5. Концентрации ДПР (×) и ^{212}Pb (●) в помещении 012/15 в 2014 г.

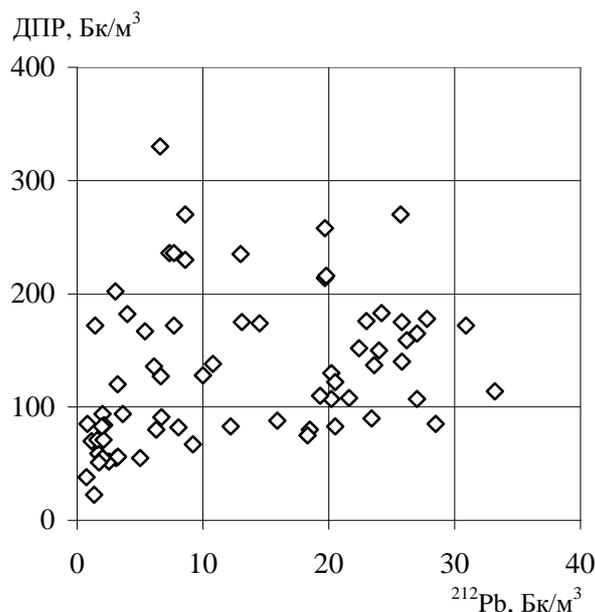


Рис. 6. Соотношения концентраций ДПР и ^{212}Pb в помещении 012/15 в 2014 г.

ями ДПР и ^{212}Pb нет. Точно также ее не было и при исследовании аэрозолей в помещениях 012/7 в 2011 г. [10] и в 210/7 в 2013 г. [17]. Очевидно, ДПР поступают в помещения 012/7, 012/15 и 210/7 из нескольких источников.

Важные результаты были получены также с помощью комплекса «Альфарад плюс А». Его включали одновременно с началом прокачки воздуха из помещения 012/15 через пакет фильтров Петрянова. Через 10 мин в автоматическом режиме на его табло появлялись данные об ЭРОА_{Rn} и ЭРОА_{Tn}, а также коэффициенте равновесия F. В соответствии с определением ЭРОА_{Rn} = F · C, где C – концентрация радона.

С мая по декабрь комплексом «Альфарад плюс А» были отобраны 49 проб. На рис. 7 видно, что величины ЭРОА_{Rn} варьировали от 14 до 135 Бк/м³. Как следует из рис. 8, значения F находились в диапазоне от 0,37 до 0,92, т.е. соотношение короткоживущих дочерних продуктов радона тяготеет к равновесному. По найденным величинам ЭРОА_{Rn}, ЭРОА_{Tn} и F были рассчитаны концентрации радо-

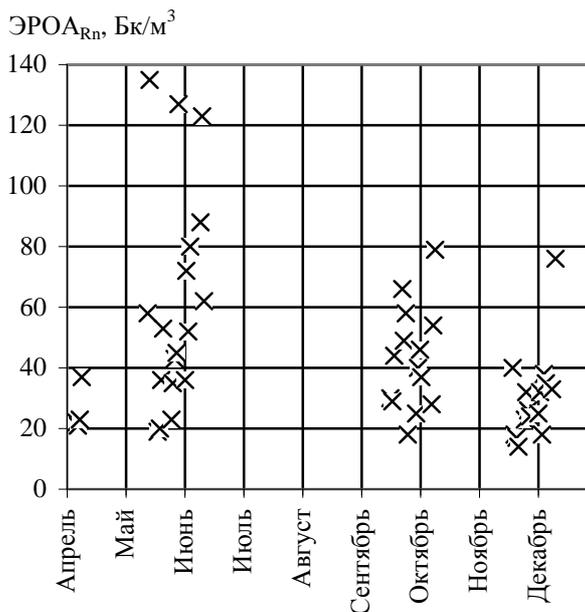


Рис. 7. ЭРОА_{Rn} в помещении 012/15 в 2014 г.

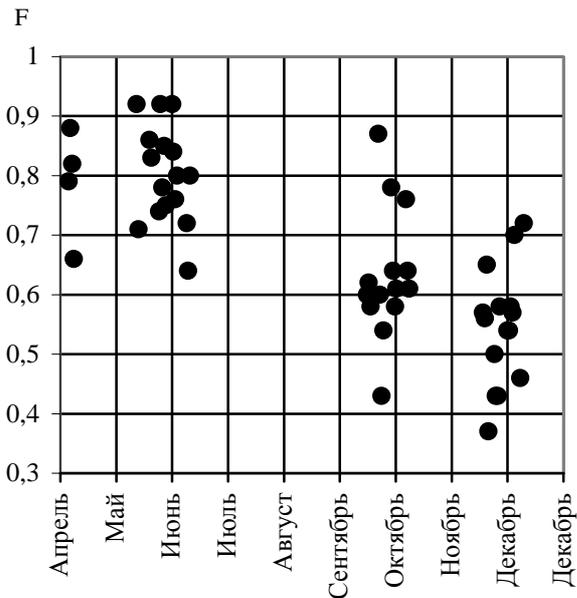


Рис. 8. Коэффициент равновесия ДПР.

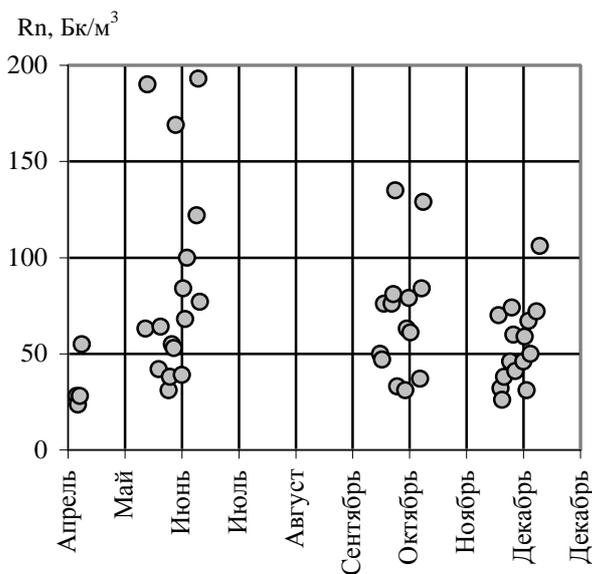


Рис. 9. Концентрации радона по измерениям комплексом «Альфарад плюс А» в 2014 г.

на. Как видно из рис. 9, они колебались от 24 до 193 Бк/м³, что согласуется с данными, представленными на рис. 5.

В любом помещении, где постоянно эманурует радон и одновременно существует приток свежего воздуха (с малым содержанием радона), имеется связь между F и коэффициентом воздухообмена λ [25]. Поскольку при наших исследованиях в большинстве случаев F > 0,65, то, следовательно, λ < 0,5 ч⁻¹. Это значит, что для полного обмена воздуха требовалось более 2 ч. Полученный результат согласуется с практическим отсутствием воздушных потоков в помещениях 012/15 и 012/16.

Из сопоставления ЭРОА_{Rn} и ЭРОА_{Tn} следует, что между ними корреляционная связь слабая (рис. 10). Торон, присутствовавший в ББ-2 в детектируемых количествах, вносил вклад Q в суммарную ЭРОА изотопов радона, который рассчитывают по уравнению Q = ЭРОА_{Rn} + 4,6·ЭРОА_{Tn} и который составлял около 7 %.

Динамика сезонных концентраций радона и торона была отслежены также с помощью станции СРС-05. При работе станции 68 – 70 ч происходило около 400 отборов и измерений. Результаты 10-минутных циклов измерений были обработаны по

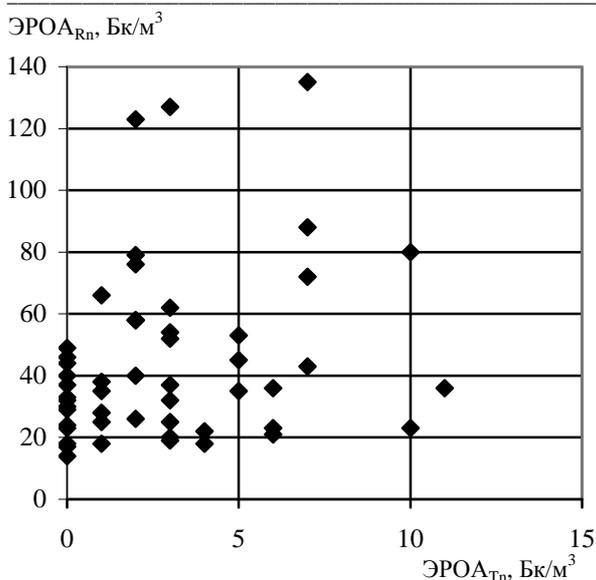


Рис. 10. Соотношения величин ЭРОА_{Rn} и ЭРОА_{Tn}.

ние σ . Полученные результаты приведены в табл. 1 и на рис. 13.

Носителями $\Sigma\beta$ наиболее часто были частицы с АМАД от 0,8 до 2 мкм. Из этого следует, что в основном они возникали при диспергации. Не оказалось аэрозолей-носителей крупнее 4 мкм. Хотя при параллельных пробоотборах в системе «Байпас» были даже аэрозоли с АМАД свыше 8 мкм [16]. Интересно, что в 2011 г. при аналогичных исследованиях в помещении 012/7 [10], радионуклидный состав которых свидетельствовал о разрушении ЛТСМ, также наблюдали аэрозоли крупнее 8 мкм, а аэрозоли с АМАД менее 1,5 мкм отсутствовали.

Существенно иную дисперсность имели аэрозоли-носители ДПР. На рис. 13 видно, что их АМАД находились в диапазоне 0,03 – 0,2 мкм. Аналогичные результаты были в 2011 г. при наблюдениях в помещении 012/7 [10] и в 2012 г. в помещении 210/7 [17]. Это обусловлено тем, что основным механизмом их образования был конденсационный, т.е. осаждение атомов полония, возникающих при распаде радона и торона, на атмосферных ядрах конденсации.

методике, изложенной в [17]. На рис. 11 представлены данные за 10 – 12 июня 2014 г. Концентрации радона варьировали в диапазоне 70 – 350 Бк/м³ при общей тенденции снижения от 230 до 150 Бк/м³. Средние величины концентраций радона, полученные с января по ноябрь при 17 экспозициях станции СРС-05 длительностью 2 – 4 сут, приведены на рис. 12. Здесь, как и на рис. 5, отчетливо видна сезонная динамика концентраций радона.

Дисперсность радиоактивных аэрозолей

Применение многослойных фильтров Петрянова позволило исследовать не только радионуклидный состав и объемные активности аэрозолей, но одновременно и их распределение по размерам (дисперсность). Методика определения размеров аэрозолей изложена в [26]. Исходя из количества радионуклидов, в слоях были рассчитаны активностный медианный аэродинамический диаметр (АМАД) и стандартное геометрическое отклонение

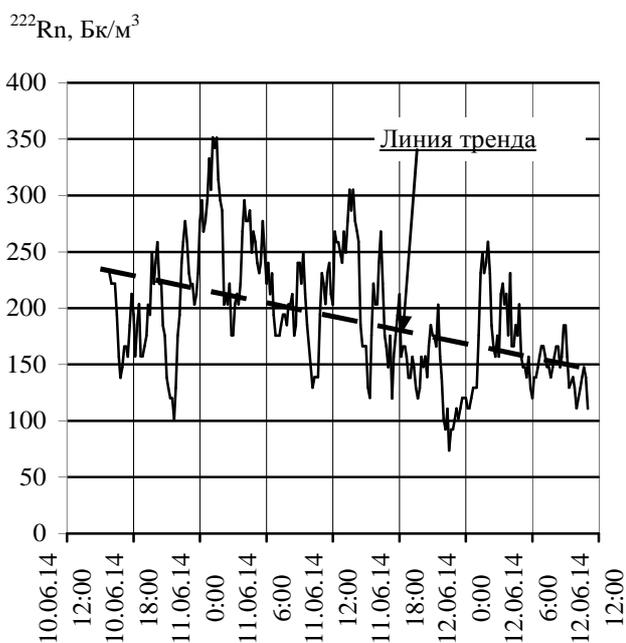


Рис. 11. Концентрации радона 10 – 12 июня 2014 г. в ББ-2 по измерениям станцией СРС-05.

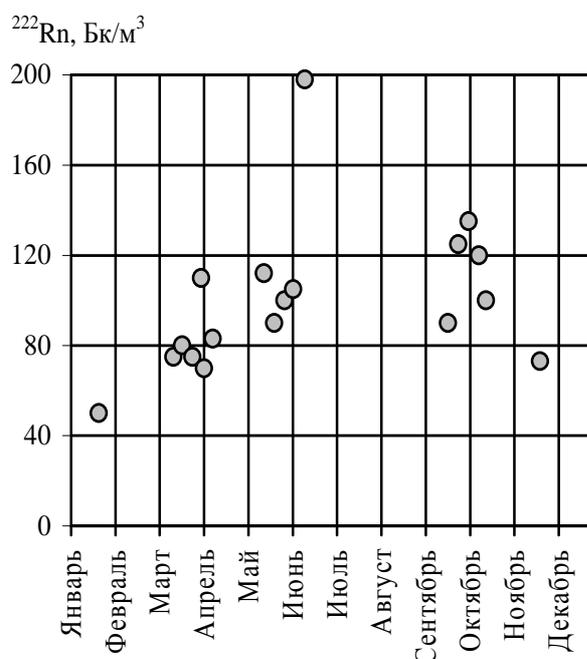


Рис. 12. Средние концентрации радона за 2 – 4-суточные измерения станцией СРС-05 в ББ-2 в 2014 г.

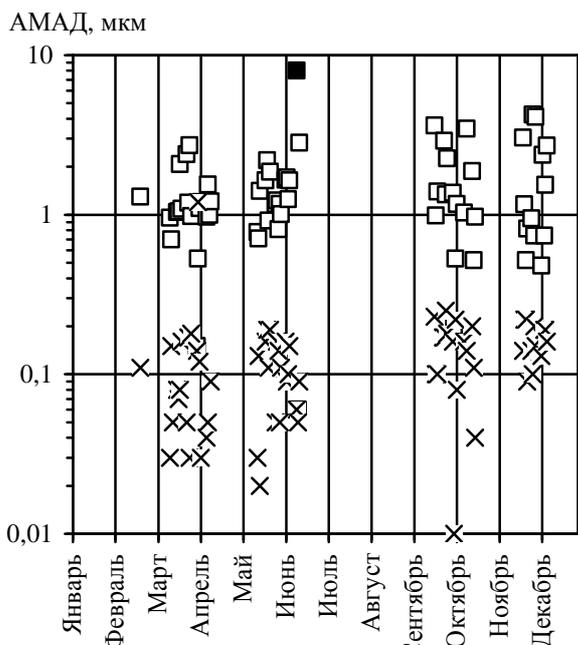


Рис. 13. АМАД аэрозолей-носителей $\Sigma\beta$ (□) и ДПР (×) в помещении 012/15 в 2014 г.: ■ – пробы с АМАД больше 8 мкм.

оказались более высокими (на порядок величины), чем в выбросах. Следовательно, воздух, выходящий из помещения 012/15, при подъеме в верхние помещения разбавлялся потоками, обедненными ДПР. Об этом же свидетельствуют измерения АМАД: в системе «Байпас» носителями радионуклидов ДПР были менее крупные частицы, чем в помещении 012/15.

Из табл. 1. следует, что величина $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta$ в выбросах из объекта «Укрытие» через систему «Байпас» в 2014 г. колебалась в диапазоне 0,3 – 0,5 [16]. Таким образом, примерно треть бета-активности в аэрозолях приходилась на ^{137}Cs . Полученное соотношение практически не отличалось от значений в многолетних выбросах через систему «Байпас»: в 2004 – 2009 гг. – 0,36 [18], в 2010 г. – 0,41 [19], в 2011 г. – 0,39 [20], в 2012 г. – 0,42 [21] и в 2013 г. – 0,43 [22]. Для сравнения укажем, что полученное соотношение практически не отличалось от значений, полученных в помещении 012/15, но было существенно выше, чем в помещении 012/7, где в 2011 г. среднее значение $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta = 0,13$ [10].

Заклучение

В 2014 г. в помещении 012/16 ББ-2 объекта «Укрытие» был развернут аппаратный комплекс, с помощью которого из помещения 012/15, где находится скопление ЛТСМ, отобраны и проанализированы 69 проб радиоактивных аэрозолей-продуктов Чернобыльской аварии и ДПР. При этом относительная влажность воздуха варьировала от 30 % в осенне-зимний период до 90 % в весенне-летний. Температура воздуха в теплый период составляла 12 – 13 °С, а в холодный – около 9 °С.

В помещении 012/15 концентрации $\Sigma\beta$ составляли 0,2 – 3 Бк/м³. Всего 4 пробы имели активность более 3 Бк/м³ и 11 – менее 0,2 Бк/м³. Средние величины $\Sigma\beta$ в аэрозолях, находившихся в помещении 012/15 и выбрасываемых из объекта «Укрытие» через систему «Байпас», были практически одинаковыми.

Среднее значение отношения концентраций $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta$ в помещении 012/15 составляло около 0,3. Таким образом, примерно треть бета-активности аэрозолей приходилась на ^{137}Cs . Это практически не отличалось от многолетних данных по выбросам через систему «Байпас», но было существенно выше, чем в помещении 012/7 в 2011 г., где среднее значение $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta = 0,13$.

Отношения концентраций $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$ в помещении 012/15 варьировали от 53 до 200 – это существенно больше, чем в помещении 012/7 в 2011 г., где $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am} = 15$.

Из величин $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta$ и $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$ следует, что генерация аэрозолей с поверхности ЛТСМ в помещении 012/15 была незначительная и не оказывала существенного влияния на концентрации и радионуклидный состав аэрозолей.

По измерениям фильтров объемные активности ДПР в помещении 012/15 находились в диа-

Сопоставление аэрозолей в помещении 012/15 и в выбросах через систему «Байпас»

При исследовании аэрозолей в помещении 012/15 одновременно отбирали пробы в системе «Байпас», через которую выбросы из объекта «Укрытие» поступают в свободную атмосферу. Общая схема воздушных потоков в объекте «Укрытие» представлена в [27]. Вентилирование внутренних помещений происходит только за счет естественной тяги в НВТ. Поэтому воздух из нижних помещений поступает в верхние и затем выходит наружу через люки и щели легкой кровли объекта «Укрытие» (на высотной отметке около +70 м) и срез НВТ на +125 м.

Методики отбора и анализа проб из помещения 012/15 и системы «Байпас» были идентичные.

Из сопоставления результатов, представленных в табл. 1 и [16], следует, что на протяжении 2014 г. средние концентрации аэрозолей $\Sigma\beta$, выбрасываемых через систему «Байпас» и находящихся в помещении 012/15, были практически одинаковыми. Концентрации ДПР и ^{212}Pb в помещении 012/15

пазоне 20 – 300 Бк/м³. Динамика концентраций имела сезонный ход с максимумом в теплый период года, а с минимумом – в холодный. Это же следовало из измерений, выполненных сейсмической радоновой станцией СРС-05.

Около 50 измерений с помощью комплекса «Альфарад плюс А» показали, что соотношение короткоживущих ДПР тяготело к равновесному (значения коэффициента F находились в диапазоне 0,37 – 0,92).

Использование многослойных фильтров Петрянова позволило одновременно определить концентрации, радионуклидный состав и дисперсность аэрозолей. Наиболее часто носителями продуктов аварии были частицы с АМАД от 0,8 до 2 мкм. Это показывало, что основным механизмом их возникновения был диспергационный. Следует отметить, что в 2011 г. при аналогичных исследованиях в помещении 012/7, где радионуклидный состав аэрозолей свидетельствовал о разрушении ЛТСМ, наблюдали аэрозоли крупнее 8 мкм, а частиц с АМАД менее 1,5 мкм не было.

Аэрозоли-носители ДПР имели АМАД в диапазоне 0,03 – 0,2 мкм. Аналогичные результаты были при наблюдениях в помещении 012/7 в 2011 г. и в помещении 210/7 в 2012 г. Это обусловлено тем, что основным механизмом их образования был конденсационный, т.е. осаждение атомов свинца и висмута, возникающих при радиоактивном распаде радона и торона, на атмосферных ядрах конденсации.

Авторы благодарят А. А. Котлярова и А. А. Афонина из приборостроительной компании «НТМ-Защита» (Россия, Москва) за любезно предоставленные сейсмическую радоновую станцию СРС-05 и измерительный комплекс «Альфарад плюс А».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арутюнян Р. Э., Большов Л. А., Боровой А. А. и др. Ядерное топливо в объекте «Укрытие». - М.: Наука, 2010. - 240 с.
2. Богатов С. А., Боровой А. А., Киселев А. Н. и др. Оценка скорости эрозии топливосодержащих масс внутри «Саркофага» и характеристики образующихся частиц. – Москва, 1991. - 21 с. - (Препр. / Ин-т атомной энергии им. И. В. Курчатова; 5434/3).
3. Богатов С. А., Боровой А. А., Евстратенко А. С., Херувимов А. Н. Динамика поведения топливных масс в объекте «Укрытие». – Киев, 1992. - 20 с. - (Препр. АН УССР. Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова; 92-29).
4. Кузьмина И. Е., Токаревский В. В. Частицы дисперсной фазы аэрозолей объекта «Укрытие» // Проблемы Чернобыльской зоны відчуження. - 1996. - Вип. 4. - с. 141 - 150.
5. Бадковский В. П., Ключников А. А., Кравчук Т. А. и др. Исследование характеристик аэрозолей в содержащих топливо помещениях объекта «Укрытие» // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2009. – Вип. 12. - С. 103 - 112.
6. Бадковский В. П., Ключников А. А., Меленевский А. Э. и др. Оценка состояния поверхности ЛТСМ в реальных условиях объекта «Укрытие» // Междунар. конф. «Двадцать пять лет Чернобыльской катастрофы. Безопасность будущего», 20 – 22 апреля 2011 г., Киев, Украина (Сб. докл. Выводы и рекомендации). - Ч. 2. - К., 2011. - С. 46 - 50.
7. Меленевский А. Э., Ушаков И. А., Бадковский В. П. Дослідження пилогенеруючої здатності ПВМ об'єкта «Укриття» // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2012 - Вип. 18. - С. 119 - 120.
8. Бадковский В. П., Ключников А. А., Меленевский А. Э. и др. Генерация топливосодержащей пыли лавообразными материалами объекта «Укрытие» // Там же. – 2013. – Вип. 20. - С. 68 - 76.
9. Бадковский В. П., Меленевский А. Э., Морозов Ю. В., и др. Генерация радиоактивной пыли лавообразными топливосодержащими материалами объекта «Укрытие» Чернобыльской АЭС // Радиохимия. – 2014. – Т. 56, вып. 3. - С. 264 – 270.
10. Огородников Б. И., Хан В. Е., Ковальчук В. П. Аэрозоли – свидетели разрушения лавообразных топливосодержащих материалов в объекте «Укрытие» // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2013. – Вип. 20. – С. 94 – 106.
11. Арутюнян Р. В., Киселев В. П., Попов В. Д. Результаты обследования 2-го этажа бассейна-барботера (отм. 3 м) 4-го блока ЧАЭС // Отчет Комплексной экспедиции при ИАЭ им. И.В. Курчатова, № 11-06/224. - Чернобыль, 1988. – 3 с.
12. Бассейн-барботер 4-го блока ЧАЭСЖ: радиационная обстановка, физические и химические характеристики топливосодержащих масс, оценка количества топлива // Отчет Радиового института им. В.Г. Хлопина, инв. № 1420-и. - СПб, 1990. –3 с.
13. Сейсмическая радоновая станция СРС-05. Руководство по эксплуатации. – М.: Приборостроительная компания «НТМ-Защита», 2009. – 20 с.
14. Афонин А. А., Котляров А. А., Максимов А. Ю. Установка для изучения характеристик переноса ²¹⁸Po в воздухе // Приборы и техника эксперимента. – 2010. – № 1. – С. 139 – 143.

15. *Измерительный комплекс «Альфарад плюс А» для мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов в различных средах. Руководство по эксплуатации. БВЕК 590000.001 РЭ.* - М.: Приборостроительная компания НТМ «Защита», 2011. – 86 с.
16. Хан В. Е., Огородников Б. И., Калиновский А. К., Краснов В. А. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2014 г. // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2015. – Вип. 24. – С. 100 – 109.
17. Огородников Б. И., Хан В. Е., Ковальчук В. П. и др. Состав и концентрации радиоактивных аэрозолей в 2013 г. около скопления лавообразных топливосодержащих материалов в помещении 210/7 объекта «Укрытие» // Там же. – С. 70 – 84.
18. Хан В.Е., Огородников Б.И. Калиновский А.К., Краснов В.А. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2009 г. // Там же. – 2010. – Вип. 13. – С. 111 – 122.
19. Хан В.Е., Огородников Б.И. Калиновский А.К., Краснов В.А. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2010 г. // Там же. – 2011. – Вип. 17. – С. 98 – 105.
20. Хан В.Е., Огородников Б.И. Калиновский А.К., Краснов В.А. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2011 г. // Там же. – 2012. – Вип. 19. – С. 94 – 103.
21. Хан В.Е., Огородников Б.И. Калиновский А.К., Краснов В.А. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2012 г. // Там же. – 2013. – Вип. 21. – С. 107 – 116.
22. Хан В.Е., Огородников Б.И. Калиновский А.К., Краснов В.А. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2013 г. // Там же. – 2014. – Вип. 22. – С. 110 – 121.
23. Огородников Б.И., Хан В.Е., Пазухин Э.М., Краснов В.А. Радон и его дочерние продукты в объекте «Укрытие» в 2003 – 2010 гг. // Там же. – 2011. – Вип. 16. – С. 130 – 136.
24. Огородников Б.И., Будыка А.К., Хан В.Е. и др. Дополнительный фактор радиационной опасности в объекте «Укрытие – 220Rn // Радиохимия. – 2009. – Т. 51. – № 4. – С. 344 – 352.
25. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 120 с.
26. Budyka A K., Ogorodnikov B I., Skitovich V.I. Filter pack technique for determination of aerosol particle sizes // J. of Aerosol Sci. – 1993. – Vol. 24. – Suppl. 1. – P. S205 – S206.
27. Огородников Б.И., Пазухин Э.М., Ключников А.А. Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие»: 1986 – 2006 гг. – Чернобыль: ИПБ АЭС НАН Украины, 2008. – 456 с.

Б. И. Огородников^{1,2}, В. Е. Хан¹, В. П. Ковальчук¹

¹ *Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна*

² *Фізико-хімічний інститут ім. Л. Я. Карпова, пров. Обуха, 63-1/12, буд. 6, Москва, 105064, Росія*

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДІОАКТИВНИХ АЕРОЗОЛІВ БЛЯ СКУПЧЕННЯ ЛАВОПОДІБНИХ ПАЛИВОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРИМІЩЕННІ 012/15 ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ» У 2014 Р.

Представлено радіонуклідний склад, концентрації і дисперсності аерозолів у приміщенні 012/15 об'єкта «Укриття», де розташоване скупчення лавоподібних паливовмісних матеріалів (ЛПВМ), у 2014 р. Проби відбирали на тришарові фільтри Петрянова. Одночасно за допомогою сейсмічної радонової станції та комплексу «Альфарад плюс А» визначали вміст у повітрі радону, торону та їхніх дочірніх продуктів. Установлено, що сумарна концентрація ($\Sigma\beta$) аерозолів-носіїв $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ і ^{137}Cs коливалася в діапазоні 0,2 – 3 Бк/м³. При цьому на частку ^{137}Cs припадало 30 – 40 %. Співвідношення концентрацій $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$ було близько 150. Їхніми носіями були частинки з медіанним за активністю аеродинамічним діаметром (АМАД) близько 1 мкм. Середні співвідношення радіонуклідів-продуктів аварії 4-го блока ЧАЕС в аерозольних пробах і зразках ЛПВМ суттєво різнилися. Це вказує на незначну деструкцію ЛПВМ у приміщенні 012/15. Максимальний вміст радону досягав 200 – 300 Бк/м³. Концентрації ^{212}Pb - дочірнього продукту торону - коливалися від 0,7 до 33 Бк/м³. Носіями дочірніх продуктів радону і торону були переважно частинки з АМАД 0,1 - 0,3 мкм.

Ключові слова: об'єкт «Укриття», лавоподібні паливовмісні матеріали, радіоактивні аерозолі, концентрація, АМАД.

B. I. Ogorodnikov^{1,2}, V. E. Khan¹, V. P. Kovalchuk¹

¹ *Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, 36a, Kirova str., Chornobyl, 07270, Ukraine*

² *Karpov Institute of Physical Chemistry, 3-1/12, build 6, Obuha pereulok, Moscow, 105064, Russia*

CHARACTERISTICS OF RADIOACTIVE AEROSOLS IN 2014 NEAR LAVALIKED FUEL CONTAINED MATERIALS IN PREMISE 012/15 OF THE “UKRYTTYA” OBJECT

Composition, concentrations and dispersity of radioactive aerosols in 2014 in premise 012/15 of the “Ukryttya” object, were are existed the lavaliked fuel contained materials (LCFM) are presented. The samples were taken on Pet-

ryanov's three-layer filters. At the same time concentrations of radon, thoron and their daughter products were defined with help of the seismic radon station and of radiometer "Alfarad plus A". It was stated that concentration of beta-radiating ($\Sigma\beta$) aerosol-carriers (^{90}Sr - ^{90}Y and ^{137}Cs) was fluctuating with the range 0.2 – 3 Bq/m³. Besides, ^{137}Cs share made 30 – 40 %. Ratio of $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$ concentrations was close to 150. Radionuclide carriers were aerosols with AMAD near 1 μm . Gamma-spectrometric measurements have demonstrated that ratios of radionuclides-products ChNPP Unit 4 accident in aerosol samples and LCFM specimens were characteristically different. It means that LCFM destruction is altered slightly. Maximum volume activity of radon reached 200 – 300 Bq/m³. ^{212}Pb concentrations – thoron daughter products were fluctuating within the range 0.7 – 33 Bq/m³, and its carriers were the particles of diameter, prevailing, 0.1 – 0.3 μm .

Keywords: "Ukryttya" object, lavaliked fuel contained materials, radioactive materials, concentration, dispersivity, radon, thoron, daughter products of radon and thoron.

REFERENCES

1. Arutyunyan R. E., Bolshov L. A., Borovoy A. A. et al. Nuclear fuel in the object "Ukryttya". - Moskva: Nauka, 2010. – 240 p. (Rus)
2. Bogatov S. A., Borovoy A. A., Kiselev A. N. et al. Estimates of the rate of erosion of fuel mass inside the "Sarcophagus" and characteristics of the particles. - Moskva, 1991. - 21 p. - (Prepr. / I. V. Kurchatov Institute of Atomic Energy, 5434/3). (Rus)
3. Bogatov S. A., Borovoy A. A., Evstratenko A. C., Kheruvimov A. N. "Shelter" object fuel-containing mass' behaviour dynamics. – Kyiv, 1992. - 20 p. - (Prepr. NAS of Ukraine. In-t of cybernetics by V. M. Glushkov; 92 - 29).
4. Kuzmina, I. E., Tokarevskiy V. V. Aerosol particles dispersed phase "Shelter" // Problems Chornobyl exclusion zone. - 1996. - Iss. 4. - P. 141 - 150. (Rus)
5. Badovsky V. P., Kliuchnykov A. A., Kravchuk T. A. et al. Aerosol characteristic researching in basic fuel-containing rooms of object "Ukryttya" // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2009. - Iss. 12. - P. 103 - 112. (Rus)
6. Badovsky V. P., Kliuchnykov A. A., Melenevsky A. E. et al. Estimating of surface LCFM in real conditions at object "Ukryttya" // Intern. Conf. "Twenty-five years after Chernobyl Accident. Safer for the Future." April 20 - 22, 2011, Kyiv, Ukraine: Reports proceeding. Conclusions and recommendations. - Part 2. - Kyiv, 2011. - P. 46 – 50. (Rus)
7. Melenevsky A. E., Ushakov I. A., Badovsky V. P. Research FCM dust generating ability of object "Ukryttya" // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2012. - Iss. 18. - P. 119 - 120. (Ukr)
8. Badovsky V. P., Kliuchnykov A. A., Melenevsky A. E. et al. Fuel containing dust generated by object "Ukryttya" lava materials // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2013 - Iss. 20. - P. 68 - 76. (Rus)
9. Badovsky V. P., Melenevsky A. E., Morozov Y. V. et al. Generation of radioactive dust lava-like fuel containing materials "Shelter" Chornobyl NPP // Radiochemistry. - 2014. - Vol. 56, Iss. 3. - P. 264 - 270. (Rus)
10. Ogorodnikov B. I., Khan V. E., Kovalchuk V. P. Aerosols as evidences of destruction in the object "Ukryttya" // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - P. 94 - 105. (Rus)
11. Arutyunyan R. V., Kiselev V. P., Popov V. D. Results of the survey of the 2nd floor pool-bubbler (elev. 3 m) of 4-th block Chernobyl // Report Complex Expedition at IAE. I. V. Kurchatov, № 11-06 / 224. Chernobyl - 1988 – 3 p. (Rus)
12. Chernobyl NPP 4-th block' pool-barboter: radiation environment, physical and chemical characteristic of fuel containing materials, estimates of the amount of fuel // Report of the Radium Institute. V. G. Khlopina, Arch. № 1420-u. - St. Petersburg - 1990 - 3 p. (Rus)
13. Radon seismic station CPC-05. Operating manual. - Moskva: Instrument company "NTM-zaschita", 2009. – 20 p. (Rus)
14. Afonin A. A., Kotlyarov A. A., Maksimov A. Y. Research unit of the properties of the air transport ^{218}Po // Pribori i tekhnika eksperimenta (Instruments and Experimental Techniques). - 2010. - № 1. - P. 139 - 143. (Rus)
15. Measuring complex "Alfarad plus A" for monitoring of radon, thoron and their daughter products in different environments. Operating Instructions. BVEK 590000.001 RE. - Moskva: Instrument company HTM "Protection". - 2011. – 86 p. (Rus)
16. Khan V. E., Ogorodnikov B. I., Kalinovskiy A. K., Krasnov V. A. Control of releases of radioactive aerosols from "Ukryttya" object in 2014 // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2015. - Iss. 24. – P. 100 – 109. (Rus)
17. Ogorodnikov B. I., Khan V. E., Kovalchuk V.P. et al. Composition and concentrations of radioactive aerosols near lavaliked fuel contained materials in premise 210/7 of the "Ukryttya" // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - P. 70 – 84. (Rus)

18. Khan V. E., Ogorodnikov B. I., Kalinovskiy A. K., Krasnov V. A. Control of releases of radioactive aerosols from "Ukryttya" object in 2009 // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2010. - Iss. 13. - P. 111 – 122. (Rus)
19. Khan V. E., Ogorodnikov B. I., Kalinovskiy A. K., Krasnov V. A. Control of releases of radioactive aerosols from "Ukryttya" object in 2010 // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2011. - Iss. 17. - P. 98 – 105. (Rus)
20. Khan V. E., Ogorodnikov B. I., Kalinovskiy A. K., Krasnov V. A. Control of releases of radioactive aerosols from "Ukryttya" object in 2011 // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2012. - Iss. 19. - P. 94 – 103. (Rus)
21. Khan V. E., Ogorodnikov B. I., Kalinovskiy A. K., Krasnov V. A. Control of releases of radioactive aerosols from "Ukryttya" object in 2012 // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2013. - Iss. 21. - P. 107 – 116. (Rus)
22. Khan V. E., Ogorodnikov B. I., Kalinovskiy A. K., Krasnov V. A. Control of releases of radioactive aerosols from "Ukryttya" object in 2013 // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2014. - Iss. 22. - P. 110 – 121. (Rus)
23. Ogorodnikov B. I., Khan V. E., Pazukhin E. M., Krasnov V. A. Radon and its daughter products in "Ukryttya" object in 2003 – 2010 // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2011. - Iss. 16. - P. 130 – 136. (Rus)
24. Ogorodnikov B. I., Budyka A K., Khan V. E. et al. ^{220}Rn as an additional factor of radiation hazard in the Shelter // Radiokhimiya (Radiochemistry). – 2009. – Vol. 51, No. 4. – P. 344 – 352 (Rus)
25. Krisyuk E. M. Background radiation areas. - Moskva: Energoatomizdat, 1989. - 120 p. (Rus)
26. Budyka A. K., Ogorodnikov B. I., Skitovich V. I. Filter pack technique for determination of aerosol particle sizes // J. of Aerosol Sci. – 1993. – Vol. 24. – Suppl. 1. – P. S205 – S206.
27. Ogorodnikov B. I., Pazukhin E. M., Kliuchnykov A. A. Radioactive aerosols of the Shelter: 1986 - 2006. – Chornobyl: National Academy of Sciences of Ukraine. Institute for Safety Problems of NPP, 2008. – 456 p. (Rus)

Надійшла 14.04.2015
Received 14.04.2015