

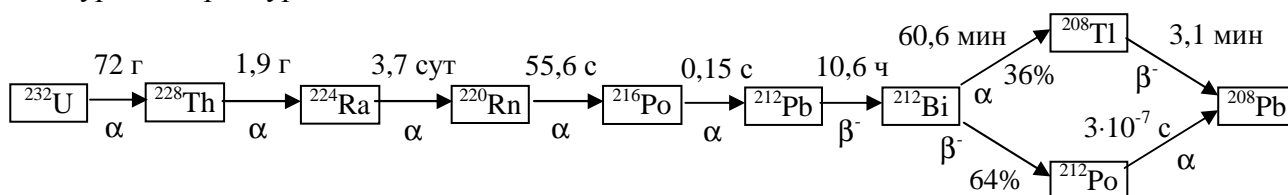
АЭРОЗОЛИ-НОСИТЕЛИ ^{212}Pb В ОБЪЕКТЕ «УКРЫТИЕ»Б. И. Огородников^{1,2}, А. К. Будыка², В. Е. Хан¹, Э. М. Пазухин¹, В. П. Ковальчук¹¹ Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль² Физико-химический институт им. Л. Я. Карпова, Москва

Установлено, что в 2003 – 2007 гг. содержание ^{212}Pb внутри объекта «Укрытие», как правило, находилось в диапазоне 0,5 – 5 Бк/м³. Не выявлено сезонной и временной динамики концентрации ^{212}Pb , а также связи с техногенной деятельностью. При одновременных отборах аэрозолей объемные активности ^{212}Pb были на один-два порядка величины выше в «Байпасе», чем во внешней среде (в локальной зоне). Следовательно, источники эманирования торона, в частности ^{232}U , находятся внутри объекта «Укрытие». Среди 220 проб, отобранных в системе «Байпас», 94 % имели активностный медианный аэродинамический диаметр аэрозолей-носителей дочерних продуктов (ДП) радона и торона в диапазоне от 0,05 до 0,4 мкм. Для персонала объекта «Укрытие» ДП радона и торона, а также субмикронные размеры их носителей являются негативными факторами, которые не учитывались при определении доз ионизирующего облучения. Дополнительные ингаляционные дозы могут достигать десятков процентов от допустимой годичной.

Введение

Среди радиоактивных аэрозолей объекта «Укрытие» особое место занимают дочерние продукты (ДП) радона и торона. В первую очередь они влияют на радиационную обстановку в помещениях объекта «Укрытие» и детектирование аэрозолей чернобыльского генезиса. На это вскоре после взрыва 4-го энергоблока ЧАЭС указывали специалисты СНИИП [1].

Радон (^{222}Rn) и торон (^{220}Rn) – инертные газы, образующиеся в цепочках радиоактивного распада урана и тория. Материнским веществом для обоих газов является радий [2], которого в ядерном топливе практически нет. Поэтому фрагменты тепловыделяющих сборок (ТВС) и лавообразных топливосодержащих материалов (ЛТСМ), находящиеся в развале 4-го блока, не являются источниками радона. Некоторое количество радона и торона эманурует из строительных конструкций, поскольку в них содержатся ^{226}Ra и ^{232}Th , а также из почвы (на ЧАЭС – это преимущественно песок), в которую заглублены фундамент и нижние помещения. Помимо этого торон образуется в топливе при радиоактивном распаде ^{232}U (см. схему), возникающего во время кампании в результате ядерных реакций с изотопами урана и трансурановыми элементами [3].



По расчетам специалистов МИФИ [4] во всех ТВС реактора РБМК-1000 за 2,5 года накапливается торон, активность которого достигает 10^6 Бк. Так что около 180 т урана, находящегося в развале 4-го блока ЧАЭС в виде диспергированных частиц, фрагментов ТВС, в составе ЛТСМ, являются источником торона.

По другой оценке, сделанной специалистами Радиевого института им. В. Г. Хлопина, в ТВЭЛ реактора РБМК-1000 содержится $(1 \div 1,2) \cdot 10^{-7}$ % (мас.) ^{232}U . В этом случае в топливе 4-го блока ЧАЭС в момент аварии 26 апреля 1986 г. должно было находиться $2 \cdot 10^{-1}$ г или $5 \cdot 10^{20}$ атомов ^{232}U , а к концу 2007 г. остаться $4,0 \cdot 10^{20}$ атомов. Абсолютная активность такого количества ^{232}U составит $1,3 \cdot 10^{11}$ Бк. Из сравнения периодов полураспада в радиоактивной цепочке ^{232}U следует, что материнское вещество и ДП находятся в вековом равновесии. Поэтому активность ^{220}Rn тоже будет равняться $1,3 \cdot 10^{11}$ Бк. Объем помещений объекта

«Укрытие», в которых могут находиться ТСМ, по экспертной оценке достигает $2 \cdot 10^5 \text{ м}^3$. Тогда концентрация торона должна бы составить $6,5 \cdot 10^5 \text{ Бк/м}^3$. Однако фактические концентрации будут меньше, поскольку часть ТСМ находится под слоем пластифицированного бетона и в виде ЛТСМ, через которые диффузия торона затруднена. При этом торон распадается, и только часть его ДП может оказаться в воздухе. В меньшей степени это относится к ТВЭЛ и топливным таблеткам, а также к зеркалу водных скоплений, содержащих растворенные соли урана.

Физико-химические характеристики радона и торона практически одинаковые. Существенное различие – периоды полураспада: первого – 3,8 сут, второго – 55,6 с. Из-за короткого периода полураспада измерение торона представляет трудности [5, 6]. По этой же причине при слабой конвекции и плохом проветривании концентрации торона в помещениях неравномерны: убывают от стен и перекрытий к центру. Для радоновой цепочки эффективный период полураспада короткоживущих ДП составляет около 32 мин [7 - 9], для тороновой – около 11 ч. Образующиеся при распаде атомы полония вследствие высокой подвижности соединяются в атмосферном воздухе с газами и парами воды. Далее эти кластеры оседают на ядрах конденсации и коагулируют с образованием устойчивых аэрозольных систем с размерами частиц 0,1 - 0,3 мкм [3, 6].

При вдыхании воздуха, содержащего радон и торон, основную опасность представляют их ДП. Во-первых, почти половина из них – альфа-излучающие. Во-вторых, находясь на субмикронных аэрозолях, они проникают в нижние отделы легких. Поскольку в объекте «Укрытие» концентрации аэрозолей-продуктов Чернобыльской аварии, как правило, ниже, чем ДП радона и торона, то фильтры с пробами перед измерением приходится выдерживать около 6 ч, чтобы примерно в 1000 раз уменьшилось содержание ДП радона, и около 4 сут, чтобы во столько же раз снизилось количество ДП торона. Поэтому отсутствует экспрессность радиационного мониторинга. Однако есть и положительные моменты: ДП радона и торона являются своеобразной меткой субмикронных аэрозолей. С их помощью можно, например, оценивать эффективность фильтровальных установок и респираторов. Кроме того, торон и его ДП могут быть использованы при поиске фрагментов отработавшего ядерного топлива и оценке состояния ЛТСМ.

В данной публикации представлены объемные активности и дисперсный состав аэрозолей-носителей ^{212}Pb по наблюдениям в 2003 – 2007 гг. в помещениях объекта «Укрытие», в вентиляционных выбросах через систему «Байпас» и в локальной зоне.

Методика отбора проб

Для одновременного определения объемной активности и дисперсного состава аэрозолей использовали пакеты трехслойных фильтров Петрянова. В большинстве проб использовали следующую композицию: 1-й слой – ФПА-70-0,1; 2-й – ФПА-70-0,18; 3-й – из двух фильтров (АФА РСР-20 и АФА РМР-20). Иногда 1-й и 2-й слои состояли из фильтров ФПА-70-0,13 и ФПА-70-0,17. Композиция пакета и стандартное сопротивление фильтрующих слоев всегда учитывались при проведении расчетов дисперсного состава аэрозолей. Пробоотборы в локальной зоне объекта «Укрытие» выполняли с фильтрами АФА РСР-20 и АФА РМР-20, поскольку определяли только объемную активность аэрозолей.

Пакет площадью 20 см^2 размещали на фильтродержателе воздуходувки Н810 SAIC, которая используется в регламентном контроле радиоактивных аэрозолей в объекте «Укрытие». Воздуходувка находилась обычно на высоте 1 м от пола.

В локальной зоне ее устанавливали также на высоте 1 м от земли и в 2 м от стены на юго-западном углу машинного зала ЧАЭС под козырьком из железного листа размером около 1 м^2 , защищавшего фильтры от осадков.

При отборе проб из «Байпаса» воздуходувку опускали на 0,5 м в центре вертикального вентиляционного канала диаметром 1,4 м (рис. 1), по которому воздух из центрального зала объекта «Укрытие» поступал в помещение 4004/1 и далее в ВТ-2.

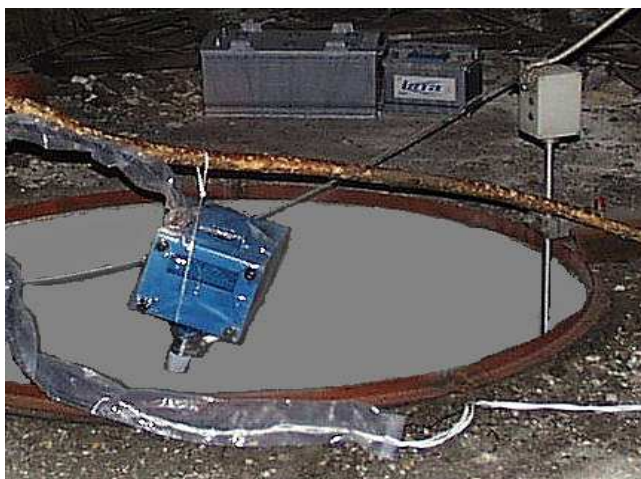


Рис. 1. Воздуходувка на срезе системы «Байпас».

Для обеспечения изокинетичности отбора аэрозолей из вентиляционного потока перед пакетом фильтров устанавливали конусную насадку, направленную навстречу потоку. Объем прокачиваемого воздуха ($5 - 15 \text{ м}^3$) задавали на панели управления воздуходувки. После выполнения программы на панели высвечивалась продолжительность проботбора (обычно $1 - 2$ ч). Скорость фильтрации аэрозолей составляла $0,8 - 0,9 \text{ м/с}$ и поддерживалась в пределах $\pm 5 \%$.

Методики измерения активности проб и обработки измерений

Измерения бета-активности были выполнены на радиометре КРК-1, находящемся в помещении Г328 объекта «Укрытие». Для каждой пробы это делали дважды: сразу после окончания прокачки воздуха, что позволяло рассчитать количества короткоживущих ДП радона и торона, и спустя 4 сут, чтобы определить долгоживущие радионуклиды «чернобыльского» генезиса. Кроме того, в ряде проб измерено содержание ^{137}Cs и ^{241}Am .

Все измерения бета-активности фильтров начинали через $15 - 20$ мин после окончания прокачки воздуха. Пакет разделяли на три исходных слоя и измеряли один за другим по 100 с . Смена слоев происходила через 120 с . Так получали кривые спада активности (рис. 2).

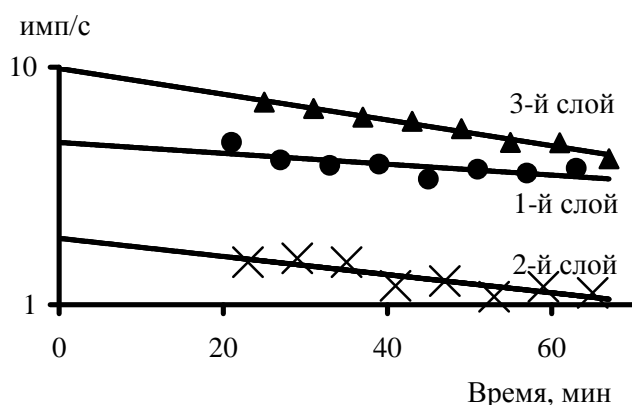


Рис. 2. Изменение бета-активности слоев пакета фильтров после окончания проботбора.

Обычно аэрозоли-носители ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Am , нарабатанных в ядерном топливе к моменту аварии, находились на первом слое пакета фильтров, поскольку были связаны с частицами крупнее 1 мкм . В отличие от них ДП радона и торона преимущественно проникали на 3-й слой, так как находились на субмикронных ядрах конденсации. В связи с этим кривые распада 2-го и тем более 3-го слоев имели более крутой наклон, чем у 1-го слоя (см. рис. 2). Последующие измерения слоев проводили через 4 сут. К этому моменту бета-активность ($\Sigma\beta_{\text{к}}$) соответствовала лишь продуктам Чернобыльской аварии.

Методика расчета количества ^{212}Pb , поступившего на 3-й слой (здесь его всегда было больше, чем на 1-м и 2-м), сводилась к тому, что путем экстраполяции кривой распада, полученной при первой серии измерений, находили $\Sigma\beta_{\text{н}}$ в момент прекращения прокачки воздуха. Далее из $\Sigma\beta_{\text{н}}$ вычитали $\Sigma\beta_{\text{к}}$. Полученная величина равнялась суммарной активности ДП радона и торона. Вклад в нее от первых и вторых находили с учетом того, что эффективный период полураспада ДП радона после $1 - 2$ ч накопления на фильтре составляет около 32 мин [7 - 9]. Принимали также, что активность ДП торона в течение 1 ч, пока проводятся измерения для построения кривой распада, остается практически неизменной. Кроме того, по кривой распада находили бета-активность на 50-й минуте после окончания проботбора ($\Sigma\beta_{50}$). Из нее вычитали $\Sigma\beta_{\text{к}}$. Этот 50-минутный рубеж использовали исходя из надежности усреднения трех-четырёх первых и последующих 100-секундных измерений. Далее путем простых арифметических действий

находили бета-активность ДП торона в момент окончания пробоотбора. Путем аналогичных расчетов определяли суммарные бета-активности ДП радона и торона на 50-й мин после окончания пробоотбора для 1-го и 2-го слоев фильтрующего пакета. Это позволяло определить долю ДП радона и торона, уловленных на каждом из трех слоев. В дальнейшем по ним рассчитывали дисперсный состав аэрозолей-носителей ДП радона и торона. Кроме того, зная долю ДП торона на 3-м слое, определяли их общее количество в отобранной пробе. В ней на ^{212}Pb приходилась половина активности, поскольку при его распаде образуются еще два короткоживущих бета-излучающих нуклида: ^{212}Bi с выходом 64 % и ^{208}Tl – 36 %. При расчетах ^{212}Pb не учитывали его распад за время прокачки воздуха через пакет фильтров.

Методика определения дисперсного состава аэрозолей

На основании данных о распределении ДП радона и торона по слоям пакетов фильтров рассчитывали дисперсный состав аэрозолей: активностный медианный аэродинамический диаметр (АМАД) и стандартное геометрическое отклонение σ . При этом предполагалось, что аэрозоли имеют логарифмически нормальное распределение по размерам. Расчеты выполняли по методике НИФХИ им. Л. Я. Карпова [10]. В соответствии с [2, 11 - 13] принимали, что носителями как ДП радона, так и ДП торона являются частицы близких размеров. Справедливость такого допущения следует из практически одинаковых коэффициентов диффузии атомов полония, образующихся при распаде ^{220}Rn и ^{222}Rn [2].

Объемные активности ^{212}Pb в помещениях объекта «Укрытие»

Впервые длительные наблюдения за ДП радона и торона были проведены в объекте «Укрытие» в помещении 207/5 в период закрытия ЧАЭС в конце 2000 г. [14, 15]. С 28 ноября по 26 декабря отобрали 20 аэрозольных проб. Установлено, что с 14 по 21 декабря содержание ДП радона и торона непрерывно снижалось и уменьшилось примерно в 10 раз. В последующие трое суток концентрации повысились в 6 - 8 раз. Динамика изменения концентраций аэрозолей-продуктов Чернобыльской аварии была иной: наблюдалось несколько увеличений и уменьшений. При этом концентрации ^{137}Cs изменялись в диапазоне от 0,2 до 20 Бк/м³. Причина различий в динамике заключалась в источниках аэрозолей. Для ДП – это эманирование радона и торона из различных материалов в помещениях объекта «Укрытие», для “чернобыльских” радионуклидов – производственные операции.

Наблюдения в помещении 207/5 были продолжены в мае - июне 2003 г. Как следует из табл. 1, концентрации ^{137}Cs не превышали 1 Бк/м³, а суммарная бета-активность долгоживущих “чернобыльских” радионуклидов ($\Sigma\beta$) – 3 Бк/м³. Однако 27 и 28 мая концентрации ДП радона и торона оказались очень высокие. Объемные активности ^{212}Pb достигли 15 и 7,4 Бк/м³, но через неделю снизились до 0,4 – 0,5 Бк/м³. Наиболее вероятной причиной такой динамики ^{212}Pb были метеорологические условия. В конце мая установилась жаркая погода. Так, 25 и 26 мая воздух прогревался днем до 30 – 31 °С, 27 мая – до 27 °С. 28 мая в 9 ч утра было около 22 °С, а в полдень – около 28 °С с грозой. Средние скорости ветра как ночью, так и днем 27 и 28 мая не превышали 1 – 2 м/с. В связи с этим тяга воздуха из холодного, еще не прогревшегося после зимы объекта «Укрытие», существенно уменьшилась, а, возможно, в наиболее жаркие часы вообще прекращалась. Это привело к накоплению радона и торона и их ДП в помещениях, в том числе в 207/5. В то же время снижение воздухообмена мало отразилось на концентрациях $\Sigma\beta$, в частности ^{137}Cs .

В последние дни мая и первые дни июня жаркая погода отступила. В ночные часы 4 и 5 июня температура воздуха составляла 3 – 5 °С, а в дневные – 20 - 25 °С. Осадков не выпадало. Средние скорости ветра не превышали 3 м/с. Очевидно в этих условиях тяга воздуха через «Байпас» восстановилась, и концентрации радона и торона и их ДП снизились.

Третья серия наблюдений за радоном и тороном в помещении 207/5 была проведена в мае и ноябре 2007 г. Полученные данные обобщены в табл. 2.

Таблица 1. Данные мониторинга радиоактивных аэрозолей в помещении 207/5 объекта «Укрытие» в мае - июне 2003 г.

Отбор			Концентрация, Бк/м ³				¹³⁷ Cs/Σβ	АМАД, мкм		σ	
Дата	Период	Объем, м ³	¹³⁷ Cs	Σβ	ДП	²¹² Pb		Σβ	ДП _{Rn+Tn}	Σβ	ДП _{Rn+Tn}
27.05	10 ¹⁰ -11 ²⁰	8,4	0,84	2,4	100	15	0,35	2,3	0,24	1,9	2,4
28.05	10 ³⁷ -11 ⁴³	8,0	0,84	1,6	80	7,4	0,54	2,3	0,24	3,0	2,4
4.06	10 ⁰⁰ -11 ⁰⁰	7,2	0,31	0,6	25	0,40	0,52	2,2	0,31	2,1	10,1
5.06	9 ⁵⁰ -10 ⁵⁰	7,2	0,44	1,4	45	0,55	0,33	3,4	0,21	1,1	3,9

Таблица 2. Данные мониторинга радиоактивных аэрозолей в помещении 207/5 объекта «Укрытие» в мае и ноябре 2007 г.

Отбор			Концентрация, Бк/м ³			АМАД, мкм		σ	
Дата	Период	Объем, м ³	Σβ	ДП _{Rn+Tn}	²¹² Pb	Σβ	ДП _{Rn+Tn}	Σβ	ДП _{Rn+Tn}
23.05	09 ³⁵ - 11 ⁰⁵	10	0,33	84	11,7	2,0	0,11	2	4
24.05	09 ²² - 10 ³⁷	10	0,39	110	13,1	2,8	0,13	1,8	4
21.11	15 ³⁷ - 16 ¹²	5	0,33	10	1,37	5,6	0,33	2,2	2,1

Из табл. 2 следует, что при умеренных концентрациях Σβ продуктов Чернобыльской аварии, которые оказались в 3 - 5 раз ниже, чем в мае 2003 г., наблюдались, как и четыре года назад (практически в те же майские дни), высокие концентрации ДП радона и торона. Объемные активности ²¹²Pb достигли 11 – 13 Бк/м³. Поскольку вынос аэрозолей-продуктов Чернобыльской аварии в помещение 207/5 был умеренный или его совершенно не было, что подтверждается отсутствием воздухопотока в дверном проеме между помещением 207/5 и коридором 206/2, то высокие концентрации радона и торона стали следствием их накопления в застойном воздухе объекта «Укрытие». 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. В результате прогрева воздуха во внешней среде и низких температур в помещениях объекта «Укрытие», не успевших прогреться после зимы, сложилась специфическая обстановка: прекратилась естественная тяга воздуха через систему «Байпас» в высотную трубу ВТ-2. Поскольку принудительная вентиляция в объекте «Укрытие» не функционирует, то очевидно с 19 мая в помещениях началось накопление радона, торона и их дочерних продуктов.

Осенью 2007 г., когда закончилась модернизация «Байпаса» и в нем вновь был установлен датчик расхода воздуха, в помещении 207/5 была отобрана контрольная проба. В это время по данным метеостанции «Чернобыль» температура была минус 1 °С, ветер южный со средней скоростью 2 м/с, низкая облачность (160 м) без осадков. Скорость потока в «Байпасе» в 17 ч равнялась 3,3 м/с. Как следует из табл. 2, величина Σβ = 0,33 Бк/м³ осталась такой же, как полгода назад. Однако концентрация ²¹²Pb снизилась на порядок величины и составила 1,4 Бк/м³. Таким образом, восстановление проветривания объекта «Укрытие», как и в июне 2003 г. (см. табл. 1), привело к нормализации содержания ²¹²Pb в помещении 207/5 на уровне 1 Бк/м³. Для сравнения отметим, что 24 ноября 2004 г. при отборе проб аэрозолей в помещении 207/4, которое практически единое с 207/5 (имеет лишь невысокую перегородку и не на полную ширину), концентрация ²¹²Pb была 1,3 Бк/м³ [16].

В 20 – 30 м от помещений 207/5 и 207/4 находится помещение 208/10, из которого также в подреакторное пространство пробурены скважины. Естественно это влияет на динамику радиоактивных аэрозолей, что было отмечено в работах [14, 15]. 18 апреля 2007 г. в помещении 208/10 в двух метрах от устья скважины Ю.12.78 была отобрана проба объемом 10 м³. В это время по данным метеостанции «Чернобыль» было ясное небо с легкими кучевыми облаками, температура 12 °С, средняя скорость южного ветра 3 – 4 м/с. Измерение

пробы показало, что $\Sigma\beta = 0,26 \text{ Бк/м}^3$ и концентрация $^{212}\text{Pb} = 4,4 \text{ Бк/м}^3$. Таким образом, $\Sigma\beta$ была сравнительно низкая, а объемная активность ^{212}Pb несколько повышенная. При этом содержание ДП радона было также высокое. Вероятно, в этот период ДП радона и торона поступали в помещение 208/10 по скважине из подреакторного пространства.

Если помещения 207/4, 207/5 и 208/10 относятся к категории «периодически обслуживаемых», то Г350 классифицировано как помещение «постоянного пребывания персонала» – одно из наиболее посещаемых мест бывшего 4-го энергоблока. Здесь производится оформление нарядов и выдача индивидуальных дозиметров. В течение 2007 г. в холле Г350 были отобраны пять проб аэрозолей (табл. 3).

Таблица 3. Данные мониторинга радиоактивных аэрозолей в холле Г350 объекта «Укрытие» в 2007 г.

Отбор			Концентрация, Бк/м ³		
Дата	Период	Объем, м ³	$\Sigma\beta$	ДП _{Rn+Tn}	^{212}Pb
9.02	09 ⁵⁰ - 10 ³⁵	5	< 0,1	56	2,7
30.05	09 ⁴⁰ - 10 ⁰⁹	5	< 0,1	130	6,8
31.05	09 ⁰⁷ - 09 ³⁸	5	0,006	100	3,9
20.11	15 ²⁷ - 16 ⁰⁷	5	0,28	19	1,2
21.11	15 ³⁰ - 16 ⁰³	5	1,9	10	0,54

Из данных табл. 3 следует, что в трех случаях из пяти в холле Г350 наблюдались повышенные концентрации ДП радона и торона. Причина высоких концентраций в последних числах мая была та же самая, что за неделю до этого в помещении 207/5 (см. табл. 2) – прекращение естественной тяги воздуха через «Байпас» из-за высокой температуры во внешней среде. Необходимо подчеркнуть, что концентрации $\Sigma\beta$, как и в помещении 207/5, оставались низкие. Все это показывало, что источники эманирования радона и торона находятся внутри объекта «Укрытие». Причем не только в его подреакторном пространстве.

Таким образом, периодически, особенно при отсутствии тяги воздуха через «Байпас», в объекте «Укрытие» может складываться неблагоприятная радиационная обстановка, связанная, в частности, с накоплением аэрозолей-носителей ДП радона и торона.

Перед тем, как приступить к систематическим наблюдениям за концентрациями и дисперсным составом радиоактивных аэрозолей в «Байпасе» объекта «Укрытие», было обследовано само помещение 4004/1 на отметке +49 м, в которое поступает воздух из центрального зала и в которое врезаны несколько вентиляционных каналов 3-го блока. Помещение 4004/1 – это огромная камера смешения объемом около 3 тыс. м³. 29 мая 2002 г. концентрация ^{137}Cs здесь составляла 0,71 Бк/м³ и ^{212}Pb – 0,55 Бк/м³, т.е. были умеренные. Через пять лет (21 мая 2007 г.) пробоотбор был повторен. Вновь концентрация ^{212}Pb оказалась невысокая – 0,49 Бк/м³. 19 ноября 2007 г. аэрозоли были отобраны в помещении 2016/2, которое находится на 6 м ниже помещения 4004/1. Величина $\Sigma\beta$ составила 0,9 Бк/м³ и ^{212}Pb – 0,55 Бк/м³, т.е. были близки к тому, что наблюдалось в помещении 4004/1. Таким образом, аэрозольная обстановка в зоне размещения системы «Байпас» была спокойная.

Объемные активности ^{212}Pb в выбросах воздуха через систему «Байпас»

Систематическим наблюдениям радиоактивных аэрозолей в системе «Байпас» предшествовали несколько рекогносцировочных пробоотборов в двух люках легкой кровли объекта «Укрытие» [17]. Первый расположен в восточной части кровли, второй – в центре. Эти и другие люки с 1992 г. используются для контроля так называемых неорганизованных выбросов аэрозолей из объекта «Укрытие» [18]. В осенне-зимние периоды 2002 и 2003 гг., когда воздушный поток шел из центрального зала в межкровельное пространство и затем в атмосферу, воздуходувки опускали на 0,5 м в люки и прокачивали воздух около часа. Затем фильтры объединяли и измеряли на радиометре КРК-1 и гамма-спектрометре (табл. 4).

Таблица 4. Данные мониторинга радиоактивных аэрозолей в выбросах через люки легкой кровли объекта «Укрытие» в 2002 – 2003 гг.

Отбор			Концентрация, Бк/м ³				АМАД, мкм		σ	
Дата	Период	Объем, м ³	¹³⁷ Cs	Σβ	ДП	²¹² Pb	¹³⁷ Cs	ДП _{Rn+Tn}	¹³⁷ Cs	ДП _{Rn+Tn}
08.10.02	10 ⁰⁵ - 11 ⁰⁵	12	1,4	-	2,6	0,42	1,2	-	1,7	-
10.12.02	10 ⁰² - 10 ⁵⁷	11	1,2	3,4	3,0	0,80	2,0	0,70	2,3	1,1
11.02.03	10 ⁰⁵ - 11 ⁰⁵	12	1,5	2,9	8,0	1,1	3,3	0,54	1,5	2,4
07.10.03	10 ⁰⁰ - 11 ⁰⁰	12	-	0,32	1,0	0,24	-	0,36	-	2,4
03.12.03	09 ⁵⁰ - 10 ⁵⁷	6,7	-	0,79	5,0	0,75	-	0,10	-	1,1

Как следует из табл. 4, величины Σβ находились в диапазоне 0,3 – 3 Бк/м³, что близко к результатам, полученным в помещении 207/5 (см. табл. 1 и 2). Концентрации ²¹²Pb колебались от 0,2 до 1,2 Бк/м³, т.е. были примерно такими, как в помещениях 207/5 и Г350 в условиях нормальной тяги воздуха через систему «Байпас» (см. табл. 1 - 3).

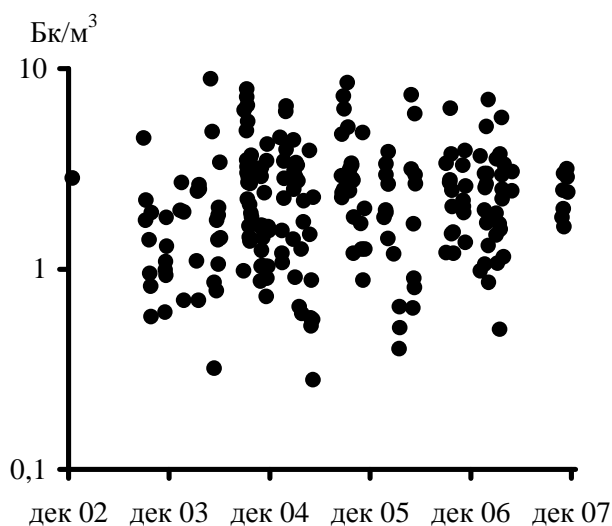


Рис. 3. Объемная активность аэрозолей-носителей ²¹²Pb в «Байпасе» в 2002 – 2007 гг.

Система «Байпас» - ключевая точка в регламентном контроле ЦРБ ЧАЭС. К сожалению, до 2003 г. здесь не определяли концентраций радона, торона и их ДП. Но за пять лет к концу 2007 г. воздухоудвкой Н810 удалось отобрать около 300 проб. Результаты определения объемных активностей и размеров частиц-носителей продуктов аварии представлены в публикациях [19 - 22]. Кроме того, в 75 % проб были найдены концентрации ²¹²Pb, которые, как правило, находились в диапазоне 0,5 – 9 Бк/м³ (рис. 3). Лишь в семи пробах они были менее 0,5 Бк/м³, но не ниже 0,3 Бк/м³. Необходимо подчеркнуть, что за пять лет наблюдений аэрозолей в системе «Байпас» таких высоких уровней ДП радона и торона, как в помещении 207/5 и холле Г350 в мае 2007 г.

(см. табл. 2 и 3), зарегистрировано не было. Однако соотношения между ²¹²Pb и ДП радона значительно колебались. Из этого следовало, что радон и торон эмануруют в объекте «Укрытие» из различных источников и имеют различные пути

Из сравнения рис. 3 и данных, представленных в [19 - 22], следует, что колебания концентраций ²¹²Pb были намного меньше, чем Σβ, ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am. При всплесках последних из-за строительных работ или проведения сеансов пылеподавления, концентрации ²¹²Pb оставались стабильными. Это показывало, что аэрозоли-носители продуктов деления ядерного топлива и ДП естественных благородных газов имели разные источники.

В публикации [23] было проанализировано наличие связи между средней скоростью ветра во внешней среде и концентрациями ²¹²Pb и ¹³⁷Cs в «Байпасе». Как и следовало ожидать, поскольку механизмы образования аэрозолей-носителей этих радионуклидов различны, корреляции между ними не установлено. Однако была обнаружена явная антикорреляция между концентрацией ²¹²Pb и скоростью ветра. Очевидно ветер выдувает радиоактивный газ из объекта «Укрытие». Подобный эффект уменьшения концентрации торона в воздухе при высоких скоростях ветра был отмечен при исследовании радиоактивных аэрозолей в канадском Ванкувере [24].

Объемные активности ^{212}Pb в локальной зоне объекта «Укрытие»

В марте – мае 2007 г. была проведена серия пробоотборов, которая позволила исключить внешнюю среду из числа гипотетических источников поступления торона внутрь объекта «Укрытие». Для этого аэрозоли одновременно отбирали в системе «Байпас» и в локальной зоне у юго-западного угла машинного зала. Минимальная детектируемая концентрация ^{212}Pb составляла $0,01 \text{ Бк/м}^3$. Полученные результаты приведены на рис. 4, из которого следует, что в локальной зоне содержание ^{212}Pb было систематически на один – два порядка величины ниже, чем в «Байпасе» (см. рис.3). В 18 из 20 проб, отобранных в локальной зоне, объемная активность ^{212}Pb не превышала $0,3 \text{ Бк/м}^3$, т.е. практически всегда была ниже, чем внутри объекта «Укрытие» (см. табл. 1 – 4).

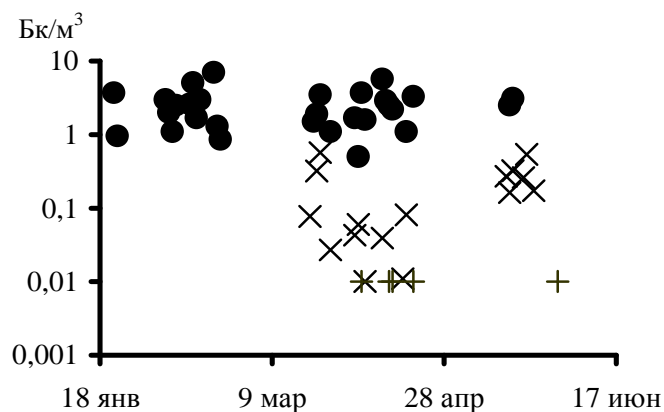


Рис. 4. Объемная активность ^{212}Pb в «Байпасе» (●) и в локальной зоне (×) в 2007 г. Знак «+» соответствует концентрации ниже $0,01 \text{ Бк/м}^3$.

ностями. Согласно публикации [12] в континентальных регионах концентрации ^{212}Pb составляют $0,05 - 0,09 \text{ Бк/м}^3$, в частности, в Геттингене на крыше университета (20 м от земли) - $0,02 - 0,23 \text{ Бк/м}^3$. В [2] отмечено, что при непрерывных измерениях в течение 3,5 мес в двух различных местностях средняя концентрация ^{212}Pb составила $0,38 \text{ Бк/м}^3$. Во время экспедиции 1999 г. по трассе Москва - Владивосток и обратно специалисты НИФХИ им. Л. Я. Карпова отобрали 38 проб. В них концентрации ^{212}Pb колебались от $0,03$ до $0,98 \text{ Бк/м}^3$ [25]. При наблюдениях за этим радионуклидом в шести городах Румынии [26] установлено, что среднемесячные концентрации варьировали от $0,02$ до $0,4 \text{ Бк/м}^3$. В обзоре [27], подготовленном специалистами предприятия РАДЭК, указано, что в 1996 г. по наблюдениям на пяти пунктах в радиусе 3 км от ЧАЭС концентрации ^{212}Pb находились в диапазоне $0,006 - 0,013 \text{ Бк/м}^3$.

Таким образом, из рис. 3 и 4, а также приведенных литературных данных следует, что источник повышенного эманирования торона находится внутри объекта «Укрытие».

Дисперсность аэрозолей-носителей ^{212}Pb в помещениях объекта «Укрытие»

Использование трехслойных пакетов фильтров Петрянова позволило одновременно с измерением концентраций определить дисперсный состав аэрозолей-носителей ДП радона и торона. Из табл. 1 и 2 следует, что в помещении 207/5 как в 2003 г., так и в 2007 г. АМАД частиц-носителей ДП радона и торона оставался в диапазоне $0,1 - 0,3 \text{ мкм}$. Аналогичные данные были получены в этом помещении еще в декабре 2000 г. Тогда же было показано, что ^{212}Pb и ^{214}Pb находились на частицах одинакового размера. В частности, авторы публикаций [11, 12] установили, что в жилых помещениях АМАД носителей ^{212}Pb и ^{214}Pb приходится на диапазон $0,17 - 0,20 \text{ мкм}$, а во внешней среде - $0,38 - 0,39 \text{ мкм}$. Это совпадало с исследованиями в 30-километровой зоне ЧАЭС [13]. Так, пробоотборы на пункте ОРУ-750, располо-

Необходимо отметить, что в 2007 г. снег в Чернобыльской зоне отчуждения сошел в начале марта. С середины месяца установились положительные среднесуточные температуры воздуха. За вторую половину марта было только три дождливых дня с суммарным количеством осадков $7,3 \text{ мм}$. Таким образом, при пробоотборах в локальной зоне условия для эксхалляции радиоактивных благородных газов из почвы, с подъездных путей с гравийным и бетонным покрытием, из строительных конструкций были благоприятные.

Выявленные в локальной зоне объемные активности ^{212}Pb близки к результатам, полученным в других мест-

женном в 500 м на юг от объекта «Укрытие», показали, что наиболее часто размер частиц-носителей ДП радона и торона составлял 0,3 - 0,4 мкм.

Результаты пятилетних наблюдений в «Байпасе», обобщены на рис. 5. На протяжении 2003 – 2007 гг. дисперсный состав носителей ДП радона и торона оставался стабильным. Среди 220 измерений минимальная величина АМАД = 0,02 мкм была получена лишь трижды. Только в семи пробах значения АМАД были менее 0,05 мкм. Максимальная величина АМАД = 0,84 мкм была зарегистрирована 17 ноября 2004 г в процессе испытаний коллектора № 2 модернизированной системы пылеподавления. Всего в девяти случаях значения АМАД превышали 0,4 мкм. Таким образом, для 94 % проб диапазон АМАД составлял 0,05 – 0,4 мкм. Это практически совпадало с тем, что было получено в работе [11] для закрытых помещений. Обработка величин АМАД в вероятностно-логарифмических координатах показала, что 50 %-ному интервалу распределения соответствует АМАД = 0,15 мкм, а две трети проб укладываются в диапазон АМАД от 0,07 до 0,3 мкм. Однако величины σ в большинстве случаев превышали 2 – 2,5, что характерно для бимодального распределения аэрозолей по размерам. Очевидно, как и в работе [12], некоторая часть ДП радона и торона была связана не только с аккумуляционной, но и с нуклеационной модой атмосферных аэрозолей, к которой относятся частицы размером менее 0,06 – 0,08 мкм. В работе [12] на эту фракцию приходилось 3 – 14 % активности ^{212}Pb и ^{214}Pb .



Рис. 5. АМАД аэрозолей-носителей ^{212}Pb в «Байпасе» в 2002 – 2007 гг.

Проведенные исследования выявили существенное различие дисперсного состава ДП радона и торона с радионуклидами чернобыльского генезиса. Последние, как правило, связаны с частицами крупнее 1 мкм [19 - 22]. Это позволяет сепарировать их от аэрозолей ДП радона и торона, что представляет практический интерес при радиационном контроле воздушной среды в объекте «Укрытие». Для реализации метода в публикации [28] предложено использовать при пробоотборе в объекте «Укрытие» регламентный АФА РСР-20, на который сверху наложен фильтр ФПА-70-0,1. При этом скорость и продолжительность прокачки воздуха практически не изменяются, но на фильтре ФПА-70-0,1 оседает 80 – 90 % аэрозолей-продуктов Чернобыльской аварии и лишь 10 – 15 % ДП радона и торона. Благодаря этому радиометрию пробы для оценки объемной активности продуктов Чернобыльской аварии можно проводить путем измерения фильтра ФПА-70-0,1 сразу после окончания прокачки воздуха, не дожидаясь пока распадутся ДП радона и торона.

Дозовые нагрузки при ингаляции дочерних продуктов торона

Для персонала объекта «Укрытие» высокие концентрации радона и торона являются негативным фактором, который до сих пор не учитывался при определении доз внешнего и

внутреннего облучения. В соответствии с рекомендациями [29] мощности ингаляционных доз (D , мкЗв/ч) от радона, торона и их ДП можно рассчитать по уравнению

$$D = 10^{-3}[(0,17 + 9F_{\text{Rn}})C_{\text{Rn}} + (0,11 + 40F_{\text{Tn}})C_{\text{Tn}}],$$

где F_{Rn} и F_{Tn} – коэффициенты равновесия радона и торона с их дочерними продуктами соответственно; C_{Rn} и C_{Tn} – средние концентрации радона и торона ($\text{Бк}/\text{м}^3$). Последнюю находят из измерений концентраций аэрозолей ^{212}Pb (C_{Pb}) или ^{212}Bi (C_{Bi}) и их коэффициентов равновесия F_{Pb} или F_{Bi} по выражениям: $C_{\text{Tn}} = C_{\text{Pb}} / F_{\text{Pb}}$ или $C_{\text{Tn}} = C_{\text{Bi}} / F_{\text{Bi}}$.

В зависимости от запыленности воздуха, объема помещения, скорости проветривания и других причин радон и торон могут не находиться в равновесии со своими дочерними продуктами. В связи с этим при расчетах доз ингаляционного облучения, используют показатель F , называемый коэффициентом равновесия. Он является отношением общей энергии альфа-частиц, образующихся при распаде короткоживущих ДП в их фактической смеси, к общей потенциальной энергии альфа-частиц ДП (часто эту величину называют "скрытой энергией альфа-распада"), находящихся в равновесии с радоном или тороном. Для последнего $F_{\text{Tn}} = (0,91C_{\text{Pb}} + 0,09C_{\text{Bi}}) / C_{\text{Tn}}$.

Сведения о F_{Tn} в литературе крайне скудные [5]. По результатам 20-дневных наблюдений [30] в бетонном подвале со слабым воздухообменом получено, что F_{Tn} колебался от 0,03 до 0,08. Каких-либо расчетов или измерений этого коэффициента в объекте «Укрытие» не проводилось. Поскольку период полураспада ^{212}Bi составляет около 1 ч, то его концентрация обычно меньше, чем ^{212}Pb . В публикации [12] отмечено, что в помещениях, в том числе в подвалах, $C_{\text{Bi}} / C_{\text{Pb}} \sim 0,3 - 0,5$. Примерно такие же значения следуют из графика, приведенного в [30] для бетонного подвала со слабым воздухообменом.

Исходя из данных, представленных в табл. 3, можно рассчитать дополнительную к внешнему облучению дозу за счет вдыхания ДП торона, которую получит человек, находящийся в холле Г350 или смежном помещении Г328 в течение 1700 ч, т.е. за рабочий год. Примем, что $F_{\text{Tn}} = 0,1$ и $C_{\text{Bi}} / C_{\text{Pb}} = 0,5$, тогда при концентрации $^{212}\text{Pb} = 1,2 \text{ Бк}/\text{м}^3$, наблюдавшейся в ноябре 2007 г. (см. табл. 3), дополнительная доза составит около 0,1 мЗв/г. Но если содержание ^{212}Pb будет $10 \text{ Бк}/\text{м}^3$, как в мае того же года, то доза достигнет 0,7 мЗв/г, т.е. 3 – 4 % предельно допустимой. Однако подчеркнем, что этот расчет сделан для очень "мягкой" величины F_{Tn} . Если $F_{\text{Tn}} = 0,5$, то ингаляционная доза увеличится в пять раз и станет существенной прибавкой к дозе внешнего облучения. Не следует забывать, что одновременно с ДП торона в мае 2003 г. и мае 2007 г. в помещении 207/5 и холле Г350 резко увеличивались концентрации ДП радона. Дополнительная доза за их счет при концентрации радона около $100 \text{ Бк}/\text{м}^3$ сопоставима с дозой от ^{212}Pb при концентрации $10 \text{ Бк}/\text{м}^3$.

Выполненные исследования и расчеты приводят к выводу, что в объекте «Укрытие» необходимы периодические радоновые съемки в 20 – 30 помещениях и систематические оперативные измерения концентраций радона и торона. В результате через один – два года появится возможность уверенно оценить их влияние на ингаляционные дозы персонала.

Выводы

1. Установлено, что в 2003 – 2007 гг. в помещениях объекта «Укрытие» и в вентиляционных выбросах через систему «Байпас» содержание ^{212}Pb , как правило, находилось в диапазоне $0,5 - 5 \text{ Бк}/\text{м}^3$. Не выявлено сезонной и временной динамики концентрации ^{212}Pb , а также связи с техногенной деятельностью. Обнаружены высокие концентрации (до $15 \text{ Бк}/\text{м}^3$) в помещениях при прекращении тяги воздуха через «Байпас». Показано, что ветер во внешней среде со средней скоростью свыше 3 – 4 м/с выдувает торон и ^{212}Pb из объекта «Укрытие».

2. При одновременных пробоотборах аэрозолей в «Байпасе» и во внешней среде (в локальной зоне объекта «Укрытие») объемные активности ^{212}Pb на один – два порядка

величины выше в «Байпасе». Следовательно, источники торона находятся внутри объекта «Укрытие». Один из них - ^{232}U , образовавшийся в облученном ядерном топливе.

3. С помощью трехслойных пакетов фильтров Петрянова определен дисперсный состав аэрозолей-носителей ДП радона и торона. Среди почти 220 проб, отобранных в «Байпасе», 94 % имели АМАД в диапазоне от 0,05 до 0,4 мкм при средней величине 0,15 мкм. Такие же размеры аэрозолей-носителей ДП радона и торона характерны для других помещений объекта «Укрытие». Величины σ в большинстве случаев превышали 2 – 2,5. Очевидно, некоторая часть ДП радона и торона связана не только с аккумуляционной, но и с нуклеационной модой атмосферных аэрозолей, имеющей размеры менее 0,06 – 0,08 мкм.

4. Выявлено существенное отличие дисперсного состава ДП радона и торона от аэрозолей-носителей радионуклидов «чернобыльского» генезиса, связанных с частицами крупнее 1 мкм. Это позволяет сепарировать их от аэрозолей ДП радона и торона с помощью фильтра ФПА-70-0,1 и обеспечить экспресс-анализ воздушной среды в объекте «Укрытие».

5. Высокие концентрации ДП радона и торона являются негативным фактором, который ранее не учитывался при определении доз ионизирующего облучения персонала. При концентрации ^{212}Pb около 10 Бк/м³, которая наблюдалась в мае 2003 г. и мае 2007 г. в помещении 207/5 и холле Г350, дополнительная доза вследствие внутреннего облучения достигала 0,7 мЗв/г, т.е. 3 – 4 % предельно допустимой. Однако при коэффициенте равновесия торона и его ДП равном 0,5 доза возрастет в пять раз и достигнет 20 % от допустимой годичной. Поскольку одновременно с ДП торона происходит повышение концентрации ДП радона, это приводит к еще большему увеличению дополнительной дозы.

6. Для дальнейшей оценки влияния ДП радона и торона на ингаляционные дозы в объекте «Укрытие» необходимы периодические радоновые съемки в 20 – 30 помещениях и оперативные измерения концентраций радона и торона в местах проведения работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Залманзон Ю.Е., Фертман Д.Е. Оценка возможности автоматизированного контроля загрязнения радиоактивными аэрозолями воздуха объекта «Укрытие» // Чернобыль-88: Докл. 1 Всесоюз. науч.-техн. совещ. по итогам ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. – Чернобыль, 1989. – Т. 7, ч. 1. – С. 61 – 65.
2. Porstendörfer J. Properties and behavior of radon and thoron and their decay products in air // J. Aerosol Sci. – 1994. – Vol. 25. – P. 219 – 263.
3. Матвеев Л.В., Центер Э.М. Уран-232 и его влияние на радиационную обстановку в ядерном топливном цикле. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 72 с.
4. Максимов А.Ю., Котляров А.А. Применение радиометров с электроосаждением для контроля герметичности оборудования АЭС // Тр. МИФИ. – 2004.
5. Огородников Б.И. Торон и его дочерние продукты в проблеме ингаляционного облучения // Атомная техника за рубежом. – 2006. – № 6. – С. 10 – 15.
6. Огородников Б.И. Свойства, поведение и мониторинг радона и торона и их дочерних продуктов в воздухе // Там же. – 2001. – № 5. – С. 14 – 25.
7. Белоусов А.З., Новиков Ю.В., Орешко В.Ф., Поливода Б.И. Радиоактивный фон атмосферного воздуха, обусловленный аэрозолями // Гигиена и санитария. – 1958. – № 10. – С. 17 – 22.
8. Зыкова А.С., Счастный В.А., Ефремова Г.П. К вопросу об определении естественных радиоактивных аэрозолей в атмосферном воздухе // Там же. – С. 62 – 64
9. Белоусов А.З., Новиков Ю.В., Орешко В.Ф., Поливода Б.И. Методика определения естественного радиоактивного фона атмосферного воздуха, обусловленного аэрозолями // Там же. – С. 64 – 69.
10. Budyka A.K., Ogorodnikov B.I., Skitovich V.I. Filter pack technique for determination of aerosol particle size // J. Aerosol Sci. – 1993. – Vol. 24. Suppl. 1. – P. S205 – S206.
11. Becker K.H., Reineking A., Scheibel H.G., Porstendörfer J. Radon daughter activity size distributions // Radiation Protection Dosimetry. – 1984. – Vol. 7, No. 1 – 4. – P. 147 – 150.
12. Reineking A., Butterweck G., Kesten J., Porstendörfer J. Thoron gas concentration and aerosol characteristics of thoron decay products // Ibid. – 1992. – Vol. 45. – No. 1 – 4. – P. 353 – 356.

13. *Огородников Б.И., Скитович В.И., Будыка А.К.* Отличия в дисперсном составе продуктов аварии IV блока, дочерних продуктов радона и торона, космогенного бериллия-7 в 30-км зоне ЧАЭС с позиций механики аэрозолей // Тез. докл. 5-й Междунар. конф. «Чернобыль-96». – К., 1996. – С. 130 – 131.
14. *Огородников Б.И., Будыка А.К.* Мониторинг радиоактивных аэрозолей в объекте «Укрытие» // Атомная энергия. – 2001. – Т. 91, вып. 6. – С. 471 – 475.
15. *Огородников Б.И., Будыка А.К.* Концентрации и дисперсный состав радиоактивных аэрозолей в объекте «Укрытие» в период закрытия ЧАЭС // Проблемы Чернобиля. – 2002. – Вып. 10, ч. 1. – С. 123 – 135.
16. *Огородников Б.И., Звеницкий М.И., Дубас В.Н.* Аэрозольная обстановка при замене в скважине 3.9.Г объекта «Укрытие» блока детектирования состояния топливосодержащих материалов в ноябре 2004 г. // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2005. – Вып. 2. – С. 41 – 45.
17. *Огородников Б.И., Будыка А.К., Павлюченко Н.И., Меленевский А.Э.* Концентрации и дисперсность радиоактивных аэрозолей на крыше объекта «Укрытие» и на прилегающей к нему территории в 2002 г. // Проблемы Чернобиля. – 2003. – Вып. 13. – С. 74 – 80.
18. *Павлюченко Н.И., Хан В.Е., Малюк И.А., Хоренко И.П.* Мониторинг неорганизованных выбросов из объекта «Укрытие» // Там же. – 2001. – Вып. 7. – С. 368 – 378.
19. *Павлюченко Н.И., Хан В.Е., Криницын А.П. и др.* Контроль неорганизованных сбросов и выбросов из объекта «Укрытие» в 2004 г. // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2005. – Вып. 2. – С. 22 – 32.
20. *Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К. и др.* Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2005 г. // Там же. – 2006. – Вып. 6. – С. 85 – 94.
21. *Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К. и др.* Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2006 г. // Там же. – 2007. – Вып. 7. – С. 116 – 121.
22. *Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К. и др.* Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2007 г. // Там же. – 2008. – Вып. 9. – С. 48 – 53.
23. *Огородников Б.И., Скорбун А.Д.* Связь выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» с метеорологической ситуацией. Влияние скорости ветра. // Там же. – 2007. – Вып. 7. – С. 103 – 109.
24. *Ho E.C.I., Measday D.F.* A simple model for describing the concentration of ^{212}Pb in the atmosphere // J. Environm. Radioactivity. – 2005. – Vol. 78, No. 3. – P. 289 – 309.
25. *Андропова А.В., Беликов И.Б., Беседин И.Б. и др.* Передвижная обсерватория ТРОЙКА и наблюдения состава атмосферы над Россией / Под ред. проф. Н. Ф. Еланского. – М. – 2006. – С. 40 - 41.
26. *Siculeanu V., Sonoc S., Georgescu M.* Radioactivity of radon and thoron daughters in Romania // Radiation Protection Dosimetry. – 1992. – Vol. 45, No. 1 – 4. – P. 483 – 485.
27. *Радіаційний моніторинг зони відчуження* // Бюлетень екологічного стану зони відчуження. – 1997. – № 4(9). – С. 8 – 28.
28. *Огородников Б.И., Будыка А.К., Павлюченко Н.И.* Экспресс-контроль техногенных радиоактивных аэрозолей // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2005. – Вып. 2. – С. 17 – 21.
29. *UNSCEAR.* Ionising radiation: sources and biological effects. – 2000. Report. United Nations. New York.
30. *Stoute J.R.D., Groen G.C.H., de Groot T.J.H.* Characterisation of indoor atmospheres // Radiation Protection Dosimetry. – 1984. – Vol. 7, No. 1 – 4. – P. 159 – 163.

Поступила в редакцию 26.02.08

23 АЕРОЗОЛІ-НОСІЇ ^{212}Pb В ОБ'ЄКТІ «УКРИТТЯ»

Б. І. Огородніков, О. К. Будика, В. Є. Хан, Е. М. Пазухін, В. П. Ковальчук

За спостереженнями в 2003 – 2007 рр. встановлено, що вміст ^{212}Pb усередині об'єкта «Укриття», як правило, знаходиться в діапазоні 0,5 – 5 Бк/м³. Не виявлено сезонної і тимчасової динаміки концентрації ^{212}Pb , а також зв'язку з роботами, що проводяться в об'єкті «Укриття». При одночасному пробовідборі аерозолів у системі «Байпас» і в зовнішньому середовищі (у локальній зоні) об'ємні активності ^{212}Pb на один-два порядки величини вище, ніж у системі «Байпас». Отже, джерела еманції торону, зокрема ^{232}U , знаходяться всередині об'єкта «Укриття». Серед 220 проб, відібраних у системі «Байпас», 94 % мали АМАД аерозолів-носіїв дочірніх продуктів (ДП) радону та торону в діапазоні від 0,05 до 0,4 мкм при середній величині 0,15 мкм. Для персоналу об'єкта «Укриття» високі концентрації ДП радону та торону є негативним чинником, який до цих пір не враховувався при визначенні доз іонізуючого опромінювання. Додаткові інгаляційні дози можуть досягати десятків відсотків від допустимої річної.

23 AEROSOL-CARRIERS OF ^{212}Pb IN THE “UKRYTTYA” OBJECT

B. I. Ogorodnikov, A. K. Budyka, V. E. Khan, E. M. Pazukhin, V. P. Kovalchuk

The concentrations and size distributions of aerosol-carriers of ^{212}Pb detected in 2003 – 2007 in promises of the “Ukryttya” object, in ventilation releases from the central hall through the system “Bypass” and in the local zone are submitted. The indoor concentrations of ^{212}Pb , as a rule, were 0.5 – 5 Bq/m³. The seasonal and temporal dynamics of ^{212}Pb concentrations was absent. The concentrations of ^{212}Pb in the local zone were lower in 10 – 100 times then in the system “Bypass”. It mean, that a source of thoron and its daughter product ^{212}Pb to be find in promises of the “Ukryttya” object. It may be a nuclear fuel contained ^{232}U . In 94 % of aerosol samples the activity median aerodynamic diameter (AMAD) of ^{212}Pb carriers were within the range 0.05 – 0.4 μm. The median AMAD was 0.15 μm. This is much lower then AMAD of aerosol-carriers of radioactive products of destroyed reactor. The high concentrations of radon, thoron and them daughter products are a negative factor for the personal of the “Ukryttya” object. At breathing the daughter products create the additional dose of the interim radiation.