

Оценка параметров ресуспензии радионуклидов при выполнении мероприятий по содержанию территории зоны отчуждения ЧАЭС

С.А. КАЛИНИЧЕНКО¹, В.Н. КАЛИНИН¹, В.Н. ЗАБРОДСКИЙ²

Исследовано содержание радионуклидов в воздушных аэрозолях при выполнении мероприятий по содержанию зоны отчуждения ЧАЭС. Объёмная активность ¹³⁷Cs в воздухе котельных имела небольшие величины ($1,2 \times 10^{-4}$ - $2,3 \times 10^{-4}$ Бк/м³). При чистке печи котельной содержание ¹³⁷Cs в аэрозолях воздуха увеличивалось до $1,1 \times 10^{-2}$ Бк/м³. При минерализации противопожарных полос в зоне отчуждения наибольшей объёмной активностью ¹³⁷Cs ($0,516$ Бк/м³), ²⁴¹Am ($0,0023$ Бк/м³) и суммарной α - β -активностью отличались образцы золы фильтров, отобранные на территории Радинского лесничества. После окончания работ удельная активность аэрозолей приземного слоя воздуха быстро снижалась. Среднее значение коэффициента ресуспензии (K_p) ¹³⁷Cs составило $4,95 \times 10^{-8}$ м⁻¹, с диапазоном значений $8,0 \times 10^{-10}$ - $1,31 \times 10^{-7}$ м⁻¹. Устойчивой зависимости между плотностью загрязнения почвы и коэффициентом ресуспензии не наблюдалось.

Ключевые слова: ресуспензия, радионуклиды, зона отчуждения ЧАЭС.

The content of radionuclides in air aerosols during the implementation of measures to maintain the exclusion zone of the CNPP was studied. The volumetric activity of ¹³⁷Cs in the air of boiler rooms was small ($1,2 \times 10^{-4}$ - $2,3 \times 10^{-4}$ Bq/m³). When cleaning the furnace of the boiler room, the content of ¹³⁷Cs in air aerosols increased to $1,1 \times 10^{-2}$ Bq/m³. During the mineralization of firebreaks in the exclusion zone, the highest volumetric activity of ¹³⁷Cs ($0,516$ Bq/m³), ²⁴¹Am ($0,0023$ Bq/m³) and total α - β -activity differed in filter ash samples taken on the territory of the Radinskoye forestry. After completion of the work, the specific activity of aerosols in the surface air layer rapidly decreased. The average value of the ¹³⁷Cs resuspension factor (RF_s) was $4,95 \times 10^{-8}$ m⁻¹, with a range of values from $8,0 \times 10^{-10}$ to $1,31 \times 10^{-7}$ m⁻¹. A stable relationship between the density of soil contamination and the resuspension coefficient was not observed.

Keywords: resuspension, radionuclides, exclusion zone of the CNPP.

Введение. Литературные данные, касающиеся переноса радионуклидов в атмосфере, несмотря на их многочисленность, остаются в значительной степени противоречивыми [1]–[9]. Вторичный ветровой перенос выпавших на почву радиоактивных веществ может произойти в результате ветрового воздействия, под влиянием естественной турбулентности атмосферы, при пожаре, проведении лесохозяйственных и противопожарных мероприятий (например, минерализации и разработке противопожарных разрывов), сельскохозяйственной деятельности (например, при проведении земляных работ, вспашке, дисковании, бороновании и т. п.). Степень вторичного ветрового переноса радионуклидов с различных поверхностей зависит от многих факторов, например, характера и возраста выпавших веществ, физических характеристик поверхности и силы ветра [2]–[5]. Параметры вторичного ветрового переноса мелких частиц с сухой поверхности значительно выше, чем с мокрой поверхности, особенно если речь идёт о сельскохозяйственных угодьях [6]–[8].

Вторичный ветровой перенос, вызванный механическими операциями, оказывает воздействие только на людей, находящихся в непосредственной близости, и не играет существенной роли при оценке радиационного воздействия на большие группы людей. Тем не менее, отдельные категории населения (т. н. критические группы или группы риска) с определённой спецификой профессионально-трудовой деятельности потенциально могут подвергаться повышенному облучению, обусловленному ингаляционным поступлением радионуклидов, вследствие пребывания в условиях повышенных концентраций радионуклидов во вдыхаемом (в ходе выполнения своих профессиональных обязанностей) воздухе. К таким категориям людей можно отнести пожарных, механизаторов и полеводов сельского хозяйства, операторов котельных и некоторые другие категории профессиональных работников.

Материалы и методы исследований. Исследования были проведены на территории зоны отчуждения аварии на Чернобыльской АЭС в «Полесском государственном радиаци-

онно-экологическом заповеднике» (ПГРЭЗ) в 2022 г. Отбор проб аэрозолей обеспечивался путём прокачки воздуха через аэрозольный фильтр FPM 1515 или FPM 1530 размером 270×230 мм (VF Nuclear, Czech) с помощью цифрового высокообъёмного воздухозаборного устройства VOPV-12 (VF Nuclear, Czech) (калибровка производителя – 2020 г.). Скорость потока воздуха колебалась от 100 до $130 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для уточнения скорости потока воздуха, прокаченного через фильтр, применялся анемометр Testo 410-2. Объём прокачанного воздуха (Q , м^3) вычисляли по формуле [10]:

$$Q = S \times V \times t,$$

где S – площадь поперечного сечения, м^2 , V – линейная скорость воздушного потока, $\text{м}/\text{с}$, t – время покачивания воздуха, с.

В полевых условиях установка размещалась на высоте около 0,4 м от подстилающей поверхности территории воздухозабора и обеспечивалась электропитанием от мобильного бензинового генератора. После окончания прокачки выполнялись измерения активности ^{137}Cs и ^{241}Am радионуклидов в аэрозольных фильтрах на γ -спектрометре Canberra с использованием программного обеспечения Genie-2000 (набор и анализ γ -спектров). Для регистрации γ -излучения применялся блок детектирования на основе кристалла из особо чистого германия, с площадью рабочей поверхности 2000 мм^2 и толщиной чувствительной зоны 20 мм (BE2020), помещённый в свинцовую защиту $m = 1$ т. Для получения оптимальной геометрии измерения фильтр перед измерением складывался в 4 раза (16 слоёв). Расчёт эффективности регистрации выполнялся методом математического моделирования с использованием программного обеспечения LabSOCS (шаблон используемой геометрии счёта – «коробка»).

Для изучения суммарной α - β - активности аэрозольных фильтров использовалась низкофоновая установка α - β - счёта LB4100 (Canberra), укомплектованная газоразрядными детекторами, работающими на проточной газовой смеси (90 % аргон \times 10 % метан). Прибор характеризуется низким уровнем фона (не более 0,7 имп/мин для β - и 0,1 имп/мин для α -частиц) и высокой эффективностью регистрации (не менее 0,45 для β - ($^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$) и 0,35 для α -частиц (^{241}Am)). В связи с небольшим объёмом измерительной камеры и необходимостью измерения тонкослойных образцов было выполнено сжигание аэрозольных фильтров в муфельной печи до золы при температуре не выше 450°C . Результатом измерений низкофоновой установки является α -счёт и β -счёт в импульсах в минуту. После вычитания фона получаем чистую скорость счёта от счётной мишени. Для расчёта активности использовались эффективности регистрации, полученные по результатам измерений стандартных источников аттестованных в БелГИМ. Измерения стандартных источников также использовались для оценки перекрёстного счёта. Возможный вклад β -излучателей в α -счёт оценивался путём измерения стандартных источников ($^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$) и колебался в интервале 0,003–0,028 %, что согласуется с данными производителя – менее 0,1 %. Таким образом, вкладом β -излучения в скорость α -счёта можно пренебречь. Следовательно, альфа-счёт от мишени свидетельствует о наличии альфа-излучающих нуклидов.

Одним из методов моделирования процесса вторичного ветрового подъёма является его описание (параметризация) при помощи коэффициента ветрового подъёма, называемого ещё коэффициентом ресуспензии (K_p) – 1 м. Коэффициент ресуспензии определяли как отношение концентрации радионуклида в воздухе (на некоторой условной высоте, обычно – 1 м) к плотности радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности этим же нуклидом.

Результаты исследований и их обсуждение. Ветровой подъём частиц пыли с поверхностного слоя почвы и других элементов подстилающей поверхности, загрязнённой радиоактивными веществами, становится одним из основных механизмов вторичного подъёма частиц, так как действует практически постоянно. Подстилающая поверхность является постоянным поверхностным источником аэрозоля с меняющейся скоростью эмиссии вещества в зависимости от метеорологических условий и характера подстилающей поверхности. K_p может принимать значения, отличающиеся на несколько порядков в зависимости от состояния подстилающей поверхности, распределения на ней радиоактивного загрязнения (как по глубине, так и по поверхности), механических воздействий на почву, метеорологических условий (влажность и температура воздуха, наличие и сила ветра).

Оценка объёмной активности (A_0) ^{137}Cs аэрозолей воздуха рабочих зон производственных помещений необходима для расчёта годового поступления ^{137}Cs в организм работающих в этих помещениях сотрудников и оценки соответствующей дозы внутреннего облучения этих сотрудников. Основная трудность дозиметрии внутреннего облучения состоит в невозможности прямыми методами измерения непосредственно зарегистрировать дозу внутреннего облучения тела или критического органа. Для исследования рабочих помещений были выбраны котельная научно-административного корпуса (НАК), котельная станции дезактивации (СД) и шишкосушилка (б.н.п. Бабчин). Также был проведён отбор пробы аэрозолей воздуха в непосредственной близости от экспериментальных сельскохозяйственных угодий, находящихся в окрестностях научно-административной части ПГРЭС (б.н.п. Бабчин). Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs территории данных сельхозугодий составила 644 кБк/м^2 . Результаты определения A_0 ^{137}Cs аэрозолей воздуха рабочих зон приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Объёмная активность ^{137}Cs аэрозолей воздуха рабочих зон хозяйственно-производственных помещений и в атмосферном воздухе вблизи них

Наименование помещения	Дата прокачки	Объём прокачанного воздуха, м ³	Дата измерения	Объёмная активность A_0 , Бк/м ³	Неопределённость A_0 , Бк/м ³
Котельная НАК	21.02–24.02	1801	25.02	$2,20 \cdot 10^{-4}$	$0,70 \cdot 10^{-4}$
	21.04–26.04	1487	26.04	$1,20 \cdot 10^{-4}$	$0,50 \cdot 10^{-4}$
Котельная СД	25.03	628	25.03	$1,10 \cdot 10^{-2}$	$0,22 \cdot 10^{-2}$
			13.04	$1,11 \cdot 10^{-2}$	$0,24 \cdot 10^{-2}$
	13.04	675	13.04	$2,30 \cdot 10^{-4}$	$1,20 \cdot 10^{-4}$
Шишкосушилка	24.03	680	24.03	$2,12 \cdot 10^{-3}$	$0,50 \cdot 10^{-3}$
			15.04	$1,92 \cdot 10^{-3}$	$0,45 \cdot 10^{-3}$
	20.04	643	20.04	$8,12 \cdot 10^{-3}$	$1,56 \cdot 10^{-3}$
Возле шишкосушилки	15.04	644	15.04	$1,10 \cdot 10^{-4}$	$0,90 \cdot 10^{-4}$
Возле НАК	6.07–11.07	2076	26.07	$7,30 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
	18.07–21.07				
Препараторская НАК	21.11–23.11	2550	23.11	менее МДА	менее МДА

Также было выполнено прокачивание воздуха через фильтр в помещении «препараторская» НАК. Однако значение A_0 в аэрозолях воздуха оказалось ниже МДА. Объёмная активность ^{137}Cs в воздухе котельных имела, как правило, небольшую величину за исключением 25 марта, когда работники котельной производили выгребание золы из печи котельной, что привело к росту запылённости воздуха котельной и увеличению A_0 ^{137}Cs в аэрозолях воздуха до $0,011 \text{ Бк/м}^3$. Увеличение A_0 аэрозолей воздуха в шишкосушилке в апреле по сравнению с мартом, возможно, связано с увеличением объёма или местом отбора обрабатываемого материала. Разница объёмной активности в воздухе около научно-административного корпуса и около шишкосушилки объясняется близостью научно-административного корпуса к полям, на которых ведётся сельскохозяйственная деятельность.

Для изучения влияния на вторичный ветровой подъём активности радионуклидов в приземный слой атмосферы мероприятий по содержанию зоны отчуждения были выполнены отборы проб аэрозолей приземного слоя воздуха при минерализации противопожарных полос. Воздухозаборное устройство располагалось на расстоянии 5 метров от обрабатываемой трактором противопожарной полосы. Скорость воздушного потока создаваемого воздухозаборным устройством контролировалась с помощью анемометра. Всего было выполнено 6 отборов в течение сезона в соответствии с графиком обработки противопожарных полос (29 апреля – Богусhevское лесничество квартал 139, 12 мая – Радинское лесничество квартал 90, 5 июля – Бабчинское лесничество квартал 66, 28 июля – Воротецкое лесничество квартал 41, 10 августа – Радинское лесничество квартал 43, 11 августа – Новопокровское лесничество квартал 12). Объёмные активности ^{137}Cs и ^{241}Am в аэрозольных фильтрах приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Объёмная активность ^{137}Cs и ^{241}Am аэрозолей воздуха, отобранных на местности во время выполнения мероприятий по минерализации противопожарных полос

Лесничество	Даты прокачки	Объём прокачанного воздуха, м ³	Дата измерения	Радио-нуклид	Объёмная активность А _о , Бк/м ³	Неопределённость А _о , Бк/м ³
Богушевское кв. 139	29.04.2022	532	5.05.2022	^{137}Cs	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
				^{241}Am	$6,9 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-5}$
Радинское кв. 90	12.05.2022	304	13.05.2022	^{137}Cs	$5,2 \cdot 10^{-1}$	$0,9 \cdot 10^{-1}$
				^{241}Am	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
Бабчинское кв. 66	05.07.2022	385	6.07.2022	^{137}Cs	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$0,5 \cdot 10^{-2}$
				^{241}Am	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$0,8 \cdot 10^{-4}$
Воротецкое кв. 41	28.07.2022	624	28.07.2022	^{137}Cs	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$
				^{241}Am	менее МДА	–
Радинское кв. 43	10.08.2022	280	10.08.2022	^{137}Cs	$3,1 \cdot 10^{-2}$	$0,6 \cdot 10^{-2}$
				^{241}Am	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Новопокровское кв. 12 (дисквание)	11.08.2022	108	11.08.2022	^{137}Cs	$9,8 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$
				^{241}Am	менее МДА	–
Новопокровское кв. 12 (после дисквания)	11.08.2022	261	12.08.2022	^{137}Cs	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
				^{241}Am	менее МДА	–

Важной особенностью полученных результатов является наличие в спектре γ -линии ^{241}Am . Америций как α -излучатель особенно опасен при попадании внутрь организма человека. Объёмные активности радионуклидов в аэрозолях приземного слоя воздуха значительно более высокие в Радинском лесничестве квартал 90. Вдыхание за год 2400 м^3 такого воздуха приведёт к поступлению в организм работника дополнительно $1238,9 \text{ Бк } ^{137}\text{Cs}$ и около $5,57 \text{ Бк } ^{241}\text{Am}$.

Суммарная A_o β -излучающих радионуклидов в атмосферном воздухе считается одним из наиболее информативных интегральных показателей радиационной безопасности территорий. Она является чувствительным критерием оценки интенсивности поступления в атмосферу техногенных радионуклидов в результате эксплуатации предприятий ядерного топливного цикла и других радиационных объектов, а также в результате прошлых радиационных аварий и глобальных выпадений техногенных радионуклидов. В условиях нормальной эксплуатации радиационных объектов, когда поступление β -излучающих радионуклидов техногенного происхождения в атмосферу находится на низком уровне, суммарная объёмная β -активность приземного слоя атмосферного воздуха практически целиком определяется содержанием в воздухе аэрозолей долгоживущих природных радионуклидов рядов урана (главным образом ^{238}U) и тория (^{232}Th), а также калия (^{40}K). Основными источниками поступления β -излучающих радионуклидов техногенного происхождения в атмосферу являются выбросы радиационных объектов. Поступление β -излучающих радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и др. в атмосферу в определённой мере может быть обусловлено ветровым подъёмом радиоактивных веществ с поверхности почв, загрязнённых в результате глобальных выпадений и аварий на радиационных объектах. Физическое значение этой величины определяется арифметической суммой A_o всех долгоживущих β -излучателей в атмосферном воздухе. Воздушные аэрозоли могут содержать изотопы, которые не определяются методом γ -спектрометрии, в частности ^{90}Sr и дочерние продукты распада радона, такие как изотопы полония. Также в аэрозолях, в которых обнаружен радионуклид ^{241}Am , могут присутствовать изотопы плутония. В процессе исследований была отработана техника сжигания фильтров до состояния золы и способ приготовления счётных мишеней из полученной золы. Если масса полученной пробы золы не превышала 200 миллиграмм, то она использовалась для измерения полностью, если масса превышала 200 миллиграмм, то из пробы отбирались одна или две навески, масса которых не превышала 200 миллиграмм. Некоторые образцы подвергались дополнительно озолению, но это существенно не повлияло на их характеристики.

Результатом измерений является скорость счёта α - и β -частиц. Результат расчёта активности (таблица 3) на основе этих данных носит относительный характер, потому что состав изотопов, определяющий этот счёт, нам не известен.

Таблица 3 – Скорости счёта α - β -частиц и рассчитанные суммарные α - β -активности образцов золы фильтров с аэрозолями воздуха

Место отбора, код фильтра, объём прокачанного воздуха, м ³	Дата измерения	Фон, импульс/мин		Скорость счёта импульс/мин		Суммарная объёмная активность, Бк/м ³	
		α 23.02.22	β 25.10.22	α -срп	β -срп	α	β
Котельная НАК, АФ20, 1801	16.08.22	0,06	0,66	1,48	22,86	$3,80 \cdot 10^{-5}$	$4,60 \cdot 10^{-4}$
	17.11.22	0,06	0,66	0,84	21,82	$2,10 \cdot 10^{-5}$	$4,38 \cdot 10^{-4}$
Шишкосушилка, АФ21, 680	16.08.22	0,05	0,66	2,52	59,46	$1,77 \cdot 10^{-4}$	$3,22 \cdot 10^{-3}$
	17.11.22	0,05	0,66	0,56	43,62	$3,70 \cdot 10^{-5}$	$2,36 \cdot 10^{-3}$
Котельная СД, АФ22, 628	17.08.22	0,02	0,64	0,66	215,58	$0,50 \cdot 10^{-4}$	$1,28 \cdot 10^{-2}$
	17.08.22	0,03	0,68	0,54	221,56	$0,40 \cdot 10^{-4}$	$1,31 \cdot 10^{-2}$
	18.08.22	0,02	0,64	1,10	232,08	$0,84 \cdot 10^{-4}$	$1,37 \cdot 10^{-2}$
	18.08.22	0,05	0,54	0,94	222,66	$0,69 \cdot 10^{-4}$	$1,32 \cdot 10^{-2}$
	17.11.22	0,02	0,64	0,46	220,72	$0,34 \cdot 10^{-4}$	$1,31 \cdot 10^{-2}$
Котельная СД, АФ23, 675	16.08.22	0,02	0,64	0,50	13,06	$0,35 \cdot 10^{-4}$	$6,86 \cdot 10^{-4}$
	17.11.22	0,03	0,68	0,36	12,8	$0,24 \cdot 10^{-4}$	$6,69 \cdot 10^{-4}$
Возле шишкосушилки, АФ24, 644	16.08.22	0,03	0,68	1,02	9,24	$0,75 \cdot 10^{-4}$	$4,96 \cdot 10^{-4}$
	17.11.22	0,05	0,74	0,44	7,46	$0,30 \cdot 10^{-4}$	$3,89 \cdot 10^{-4}$
Шишкосушилка, АФ25, 643	16.08.22	0,05	0,74	1,76	109,16	$1,30 \cdot 10^{-4}$	$6,29 \cdot 10^{-3}$
	18.08.22	0,05	0,74	0,86	92,08	$0,61 \cdot 10^{-4}$	$5,30 \cdot 10^{-3}$
	17.11.22	0,03	0,60	0,82	71,84	$0,60 \cdot 10^{-4}$	$4,13 \cdot 10^{-3}$
Котельная НАК, АФ26, 1487	16.08.22	0,03	0,60	2,24	29,66	$0,72 \cdot 10^{-4}$	$7,29 \cdot 10^{-4}$
	17.11.22	0,02	0,64	1,08	27,00	$0,35 \cdot 10^{-4}$	$6,61 \cdot 10^{-4}$
Богушевское л-во, АФ27, 532	17.08.22	0,05	0,74	0,68	21,18	$1,26 \cdot 10^{-4}$	$3,13 \cdot 10^{-3}$
	17.08.22	0,03	0,60	0,40	26,74	$0,74 \cdot 10^{-4}$	$4,00 \cdot 10^{-3}$
	17.11.22	0,05	0,54	0,48	33,32	$0,86 \cdot 10^{-4}$	$5,02 \cdot 10^{-3}$
Радинское л-во, АФ28, 304	17.08.22	0,02	0,64	1,38	259,74	$1,15 \cdot 10^{-3}$	$1,68 \cdot 10^{-1}$
	17.08.22	0,05	0,54	1,52	260,14	$1,24 \cdot 10^{-3}$	$1,68 \cdot 10^{-1}$
	18.11.22	0,06	0,66	1,22	333,46	$9,82 \cdot 10^{-4}$	$2,16 \cdot 10^{-1}$
Бабчинское л-во, АФ29, 385	16.08.22	0,02	0,64	1,00	140,04	$1,24 \cdot 10^{-4}$	$1,35 \cdot 10^{-2}$
	18.08.22	0,03	0,60	1,42	130,54	$1,76 \cdot 10^{-4}$	$1,26 \cdot 10^{-2}$
	18.11.22	0,05	0,66	0,92	104,34	$1,10 \cdot 10^{-4}$	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Возле НАК, АФ30, 2076	18.08.22	0,06	0,66	0,82	15,80	$0,80 \cdot 10^{-4}$	$1,22 \cdot 10^{-3}$
	18.08.22	0,05	0,66	0,14	13,30	$0,10 \cdot 10^{-4}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$
	18.11.22	0,02	0,64	0,44	14,78	$0,44 \cdot 10^{-4}$	$1,14 \cdot 10^{-3}$
Воротецкое л-во, АФ31, 624	16.08.22	0,05	0,54	0,58	11,44	$0,41 \cdot 10^{-4}$	$6,51 \cdot 10^{-4}$
	18.11.22	0,03	0,68	0,34	10,40	$0,24 \cdot 10^{-4}$	$5,81 \cdot 10^{-4}$
Радинское л-во, АФ32, 280	18.11.22	0,05	0,74	1,34	117,28	$2,25 \cdot 10^{-4}$	$1,55 \cdot 10^{-2}$
Новопокровское л-во, АФ33А, 108	18.11.22	0,05	0,74	0,46	17,00	$1,85 \cdot 10^{-4}$	$5,61 \cdot 10^{-3}$
Новопокровское л-во, АФ33Б, 261	18.11.22	0,02	0,64	0,34	9,72	$0,60 \cdot 10^{-4}$	$1,30 \cdot 10^{-3}$

Для расчёта активности используется значение эффективности регистрации α - β -частиц полученное с использованием стандартного источника. Для определения эффективности регистрации β -частиц обычно используется стандартный источник ^{90}Sr , а для α -частиц ^{239}Pu . Мы использовали для определения эффективности регистрации низкофонового счётчика аттестованные в БелГИМ источники ^{90}Sr и ^{241}Am . Значение эффективности регистрации составило для источника ^{90}Sr – $0,447 \pm 0,028$, для ^{241}Am эффективность равна $0,342 \pm 0,042$. Также была определена эффективность регистрации β -частиц для контрольных источников ^{137}Cs . Его величина составила $0,338 \pm 0,038$. Эти значения и были использованы для расчёта суммарной α - β -активности. Таким образом, наибольшей суммарной α - и β -активностью отличались образцы золы фильтров, отобранные при минерализации противопожарных полос, особенно при работах на территории Радинского лесничества (отбор 12 мая).

Среднее значение активности ^{137}Cs в аэрозолях приземного слоя воздуха на территории заповедной зоны при выполнении минерализации противопожарных полос $84,6 \text{ мБк/м}^3$ с диапазоном значений $0,42\text{--}516 \text{ мБк/м}^3$. Среднее значение коэффициента ресуспензии было равно $4,95 \times 10^{-8} \text{ м}^{-1}$, диапазон его значений $8,0 \times 10^{-10}\text{--}1,31 \times 10^{-7} \text{ м}^{-1}$. Зависимости величины коэффициента ресуспензии от плотности загрязнения территории в наших экспериментах не прослеживается (рисунок 1).

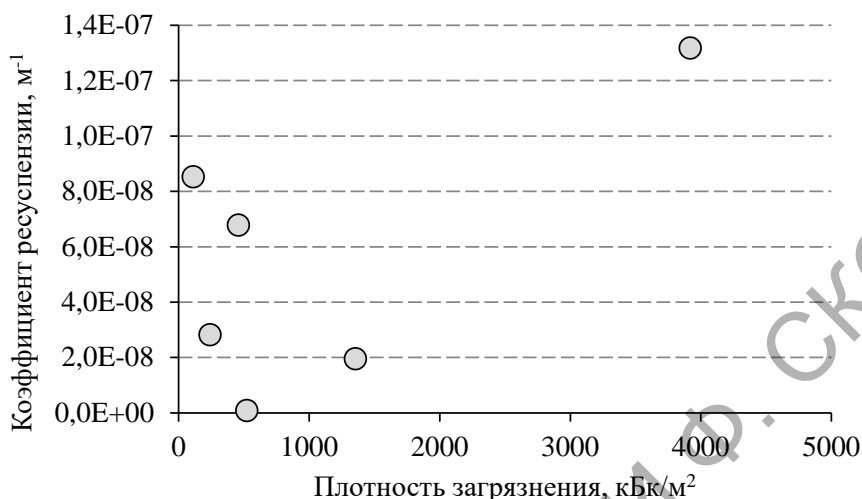


Рисунок 1 – Зависимость между плотностью загрязнения и коэффициентом ресуспензии

Вместе с тем, отбор двух проб аэрозолей приземного слоя воздуха в Новопокровском лесничестве (одного во время минерализации противопожарной полосы, другого после окончания работы) показал, что после окончания работы активность ^{137}Cs в аэрозолях приземного слоя воздуха быстро уменьшается. Наименьший K_p был получен в Воротецком лесничестве, а наименьшая плотность загрязнения почвы в Новопокровском лесничестве. Наибольшая плотность загрязнения и наибольший коэффициент ресуспензии отмечен в Радинском лесничестве (выезд 12 мая). Устойчивой зависимости между плотностью загрязнения почвы и коэффициентом ресуспензии не наблюдается. Видимо, интенсивность ресуспензии обусловлена, прежде всего, динамичностью ветрового подъёма. Существенное влияние на K_p могут оказывать погодные условия, в частности сила ветра и его порывистость.

Заключение. В работе были исследованы воздушные аэрозоли рабочих помещений б.н.п. Бабчин: котельная научно-административного корпуса, котельная станции дезактивации, шишкосушилка, «препараторская» лаборатории спектрометрии и радиохимии. Значение A_0 в аэрозолях воздуха научно-административного корпуса оказалось ниже МДА. Объёмная активность ^{137}Cs в воздухе котельных имела, как правило, небольшие величины ($1,2 \times 10^{-4}\text{--}2,3 \times 10^{-4} \text{ Бк/м}^3$) за исключением одного отбора, во время чистки печи котельной, что привело к росту запылённости воздуха и увеличению A_0 ^{137}Cs в аэрозолях воздуха до $1,1 \times 10^{-2} \text{ Бк/м}^3$. Увеличение A_0 аэрозолей воздуха в шишкосушилке в апреле ($8,12 \times 10^{-3} \text{ Бк/м}^3$) по сравнению с мартом ($2,12 \times 10^{-3} \text{ Бк/м}^3$) вероятно связано с увеличением объёма обрабатываемого материала и местом его отбора. Разница объёмной активности в воздухе около научно административного корпуса и около шишкосушилки объясняется близостью научно административного корпуса к полям, на которых ведётся сельскохозяйственная деятельность.

При исследовании содержания ^{137}Cs и ^{241}Am в аэрозолях приземного слоя воздуха во время минерализации противопожарных полос в зоне отчуждения значительно более высокие объёмные активности радионуклидов отмечены в аэрозолях приземного слоя воздуха Радинского лесничества (для ^{137}Cs – $0,516 \text{ Бк/м}^3$, для ^{241}Am – $0,0023 \text{ Бк/м}^3$), для которого характерна и более высокая плотность загрязнения почвы. Наибольшей суммарной α - и β -активностью также отличались образцы золы фильтров, отобранные нами при минерализации противопожарных полос на территории Радинского лесничества. Среднее значение ак-

тивности ^{137}Cs в аэрозолях приземного слоя воздуха при выполнении минерализации противопожарных полос составило $84,6 \text{ мБк/м}^3$ с диапазоном значений $0,42\text{--}516,0 \text{ мБк/м}^3$. Отбор проб аэрозолей приземного слоя воздуха в Новопокровском лесничестве показал, что после окончания работ активность ^{137}Cs в аэрозолях приземного слоя воздуха быстро уменьшается.

Среднее значение коэффициента ресуспензии ^{137}Cs составило $4,95 \times 10^{-8} \text{ м}^{-1}$, с диапазоном значений $8,0 \times 10^{-10}\text{--}1,31 \times 10^{-7} \text{ м}^{-1}$. Устойчивой зависимости между плотностью загрязнения почвы и коэффициентом ресуспензии не наблюдалось. Существенное влияние на K_p могут оказывать динамические параметры ветрового подъема и погодные условия.

Литература

1. Yoschenko, V. I. Resuspension and redistribution of radionuclides during grassland and forest fires in the Chernobyl exclusion zone : part II. Modeling the transport process / V. I. Yoschenko [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2006. – V. 87, № 3. – P. 260–278.
2. Evangeliou, N. Fire evolution in the radioactive forests of Ukraine and Belarus : future risks for the population and the environment / N. Evangeliou [et al.] // Ecological Monographs. – 2015. – V. 85, № 1. – P. 49–72.
3. Гаргер, Е. К. Ветровой подъем радиоактивного аэрозоля / Е. К. Гаргер // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2008. – Вип. 10. – С. 111–120.
4. Kashparov, V. A. The results of experimental research of the forest fires on the radioactive contamination of environment and the assessment of doses to fire fighters / V. A. Kashparov [et al.] // Aerosols. – 1998. – V. 4a, № 6. – P. 34–36.
5. Kashparov, V. A. Forest fires in the territory contaminated as a result of the Chernobyl accident : radioactive aerosol resuspension and exposure of fire-fighters / V. A. Kashparov [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2000. – V. 51, № 3. – P. 281–298.
6. Garger, E. Resuspension and deposition of radionuclides under various conditions / E. Garger [et al.] // The radiological consequences of the Chernobyl accident ; ed. A. Karaoglou [et al.]. – ECSC-EC-EAEC, Brussels Luxembourg, 1996. – P. 109–121.
7. Гаргер, Е. К. Вторичный подъем радиоактивного аэрозоля в приземном слое атмосферы : монография / Е. К. Гаргер // НАН Украины. – Чернобыль (Киев обл.) : Ин-т проблем безопасности АЭС, 2008. – 192 с.
8. Стамат, И. П. Суммарная объемная бета-активность атмосферного воздуха как интегральный критерий оценки выбросов в атмосферу природных и техногенных радионуклидов / И. П. Стамат // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 4. – С. 74–82.
9. Критерии оценки радиационного воздействия : Гигиенический норматив : утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 28 дек. 2021 г., № 213 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2013. – 8/26850.
10. Радиационный контроль. Отбор проб атмосферного воздуха. Общие требования : СТБ 1058-2016. – Введ. 29.12.2016. – Минск : БелГИМ, 2016. – 8 с.

¹Полесский государственный радиационно-экологический заповедник

²Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды

Поступила в редакцию 07.03.2023