

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ РАДИОНУКЛИДНОГО СОСТАВА ПОЧВЕННЫХ ФРАКЦИЙ И АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ**

© 2007 г. В.В. Стасов, Л.В. Зорина, А.Н. Морозов, Е.А. Бураева

Механизм ветрового пылеобразования заключается в следующем. При небольшой скорости ветра 2–3 м/с, соответствующей наиболее часто встречающейся в средних широтах обычной погоде, наиболее мелкие радиоактивные частицы пыли поднимаются с поверхности почвы в результате стохастического прорыва турбулентных вихрей поверхности земли. При указанной скорости ветра эта пыль не оседает под действием силы тяжести, размеры таких пылевых частиц в основном составляют сотые и десятые доли микрометра, достигая 1–2 мкм. Более крупные частицы радиоактивной пыли слишком тяжелы, чтобы долго удерживаться в воздухе, они поднимаются турбулентными вихрями в воздух и снова оседают, передвигаясь в ветровом потоке скачками.

Сальтация является основным механизмом пылеобразования при увеличении скорости ветра до значения, при которых начинается ветровая эрозия. Размеры пылевых частиц при этом возрастают до 100 мкм. При падении частицы иногда рикошетируют от поверхности почвы, повторяя свой прыжок, или же передают свой импульс другим частицам, которые начинают в свою очередь подсакивать или перекачиваться.

При большой скорости ветра, катящиеся частицы, сталкиваясь с более крупными, выступающими над поверхностью, могут в благоприятном случае получить сильный направленный вверх импульс и начать подсакивать. Таким образом, процесс переноса пыли ветром при эрозии почвы носит характер цепной реакции. При скорости ветра до 10 м/с крупные частицы диаметром около 500 мкм и более не могут подпрыгивать, а лишь перекачиваются, а частицы диаметром более 1 мм остаются неподвижными. Поэтому из полидисперсных почвенных частиц ветер выдувает более мелкую фракцию.

Летом 2006 года был проведен пробоотбор пыли и почв вдоль автодорог: Ростов-Новочеркасск и Ростов-Азов-Батайск. Целью данной экспедиции являлось изучение влияния гранулометрического состава на содержание радионуклидов в южных черноземах как одной из основных величин, определяющих радиозэкологическую обстановку окружающей среды, исследование связи радионуклидного состава почвенных фракций и атмосферных аэрозолей, расчет корреляции содержа-

ния радионуклидов в атмосферных аэрозолях с запыленностью воздуха. Для Ростова и Ростовской области до настоящего времени подобные работы не проводились.

Все измерения были выполнены в Отдельной Лаборатории Ядерной Физики при НИИ Физики ЮФУ и в «Центре Радиационной Экологии и Технологий».

Для оценки содержания ЕРН и ИРН в фракциях придорожной пыли и атмосферных аэрозолях были проанализированы более 70 проб с использованием радиометрической низкофоновой установки РЭУС-II-15 на основе GeHP – детектора фирмы Canberra.

Методики анализа применялись стандартные. Использовалась счетная геометрия Дента 0.1л, Дента 0,04л, Дента 0.02л (для проб пыли и почв) и Filtr1 (для атмосферных аэрозолей). Время набора гамма-спектров не превышало 24 часа.

Для изучения модели ветрового подъема важно сравнение содержаний радионуклидов в атмосферных аэрозолях и в различных фракциях частиц почвы. На данном этапе исследования в качестве материала сравнения использованы пробы придорожной пыли, отобранные вдоль автотрасс Азов – Ростов, Новочеркасск-Ростов и пробы атмосферных аэрозолях, отобранные в юго-восточной части г. Ростова-на-Дону.

Определялись средние содержания естественных радионуклидов (ЕРН) и  $^{137}\text{Cs}$  в пыли и радионуклидный состав атмосферных аэрозолей. По этим данным уровень корреляции ЕРН и ИРН в атмосферных аэрозолях с запыленностью воздуха  $\sim 0,60$  для  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ;  $\sim 0,66$  для  $^{40}\text{K}$  и  $0,82$  для  $^{137}\text{Cs}$ .

Данные по содержанию ЕРН и ИРН в пробах пыли и в аэрозольной пыли (за 3 летних месяца) приведены в табл. 1:

Таблица 1

радионуклид	Придорожная пыль		Аэрозольная пыль	
	интервал	ср	интервал	ср
Cs-137	2,7-18,5	9,6	4,8-11,1	6,9
Pb-210	39,1-447,8	216,8	4987,9-1261,1	8728,3
Th-234	70,5-775	521,4	546,5-1456,7	980,6
U-238	8-157,4	51,6	21,9-21,9	21,9
Ra-226	6,7-82,4	24,5	40,6-158,5	82,8
Ra-224	6,6-90,8	28,4	8,5-35,2	21,3
Th-232	5,2-88,7	41,8	35,1-81,8	53,3
K-40	6,6-486,1	312,7	130,8-578,6	311,3

Результаты сравнения показали, что концентрация  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{224}\text{Ra}$  в придорожной пыли – совпадает с содержанием данных радионуклидов в аэрозоль-

ной пыли для размера частиц 1–0.5, 0.25–0.1, и <0.06. Это говорит о том, что данные радионуклиды концентрируются преимущественно в тонкой глинистой фракции придорожной пыли, что подтверждает гипотезу ветрового подъема радионуклидов с земной поверхности.

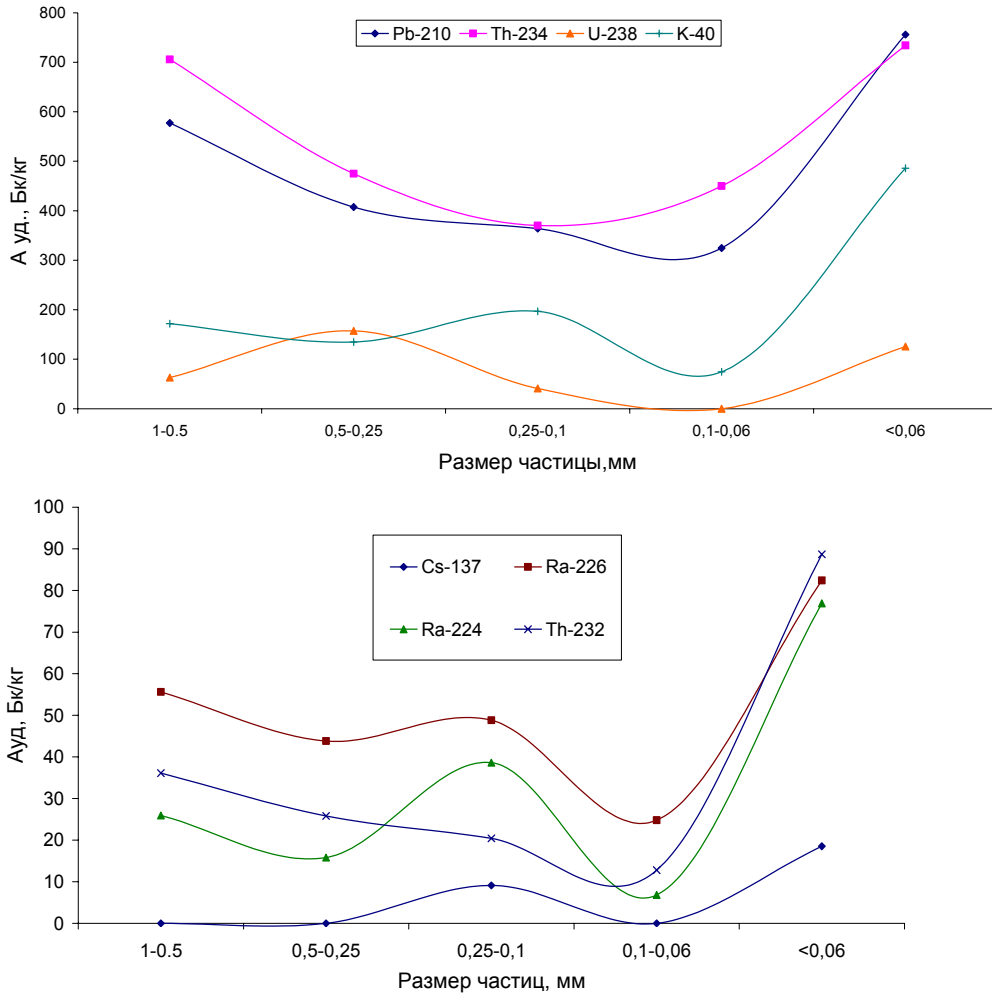


Рис. 1. Зависимость радионуклидов от размера частиц.

Содержание  $^{238}\text{U}$  в аэрозольной пыли меньше его содержания в придорожной пыли в 2.5–6 раз.

Содержание  $^{210}\text{Pb}$  в аэрозольной пыли больше в 20–40 раз, чем в придорожной пыли. Это связано с тем, что  $^{210}\text{Pb}$  является продуктом распада  $^{222}\text{Rn}$ , который в свою очередь поступает в больших количествах в приземный слой воздуха в результате сжигания органического топлива в отопительный сезон в зимнее время. В летнее время в результате весенне-летней перестройки атмосферы, содержание  $^{210}\text{Pb}$  и остальных радионуклидов повышено. В табл. 2 приведены результаты сравнения.

Таблица 2

Изотоп	Размер частицы,мм	Среднее, Бк/кг
Cs-137	1-0,5	7,5
	0,5-0,25	3,5
	0,25-0,1	6,6
	0,1-0,06	4,5
	<0,06	10,2
	аэрозль	6,9
Pb-210	1-0,5	276,1
	0,5-0,25	211,6
	0,25-0,1	221,1
	0,1-0,06	247,2
	<0,06	590,3
	аэрозль	8728,3
Th-234	1-0,5	420,6
	0,5-0,25	324,1
	0,25-0,1	346,6
	0,1-0,06	391,1
	<0,06	523,4
	аэрозль	980,6
U-238	1-0,5	63,4
	0,5-0,25	110,3
	0,25-0,1	50,4
	0,1-0,06	64,9
	<0,06	94,1
	аэрозль	21,9
Ra-226	1-0,5	42,6
	0,5-0,25	27,6
	0,25-0,1	27,8
	0,1-0,06	40,3
	<0,06	64,1
	аэрозль	82,8
Ra-224	1-0,5	22,7
	0,5-0,25	14,1
	0,25-0,1	27,2
	0,1-0,06	18,6
	<0,06	66,5
	аэрозль	21,3
Th-232	1-0,5	36,4
	0,5-0,25	20,1
	0,25-0,1	23,2
	0,1-0,06	18,8
	<0,06	50,2
	аэрозль	53,3
K-40	1-0,5	139,1
	0,5-0,25	85,4
	0,25-0,1	146,7
	0,1-0,06	83,8
	<0,06	339,9
	аэрозль	311,3

Анализ результатов определения ЕРН в различных фракциях (от 1 мм до 60 мкм) придорожной пыли показал возрастание концентраций радионуклидов (в 2–4 раза) с уменьшением размера частиц.

Содержание в пробах почвы естественных радионуклидов ряда  $^{238}\text{U}$  варьируют в пределах (Бк/кг) (табл. 3).

Таблица 3

Радионуклид	Почва-кювет		Почва-целина		Пыль, обочина	
	предел	ср.	предел	ср.	предел	ср.
$^{238}\text{U}$	22,0-33,3	27,375	24,7-28,2	26,4	18,9-56,0	38,3
$^{234}\text{Th}$	148,3-202,1	167,5	–	–	51,7-236,6	128,8
$^{226}\text{Ra}$	24,6-30,6	28,3	17,2-32,5	27,1	34,3-48,3	40

Содержания  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{Th}$  и  $^{226}\text{Ra}$  для почв близки к средним содержаниям для почв Ростовской области, но значение содержания  $^{234}\text{Th}$  не является характерным, так как существенно зависит от времени, прошедшего от момента отбора пробы до ее анализа ( $T_{1/2}=24$  сут).

Содержание естественных радионуклидов ряда  $^{232}\text{Th}$  варьируют в пределах (Бк/кг) (табл. 4).

Таблица 4

Радионуклид	Почва-кювет		Почва-целина		Пыль, обочина	
	предел	ср.	предел	ср.	предел	ср.
$A_{\text{уд}}^{232}\text{Th}$ , Бк/кг	22,1-34,8	30	26,5-39,2	33,2	8,7-31,8	20,0
$A_{\text{уд}}^{224}\text{Ra}$ , Бк/кг	26,2-33,8	33,1	17,8-41,2	33,4	14,6-34,7	23,1

Содержания этих радионуклидов также близки к их средним содержаниям для почв Ростовской области, но меньше таковых для придорожной пыли из-за зависимости содержания радионуклидов от дисперсности пробы. В более мелких частицах почвы (в пыли) содержания  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{224}\text{Ra}$  и  $^{40}\text{K}$  (см. ниже) заметно меньше, чем в почве (Бк/кг).

Таблица 5

Радионуклид	Почва-кювет		Почва-целина		Пыль, обочина	
	предел	ср.	предел	ср.	предел	ср.
$^{40}\text{K}$	333,8-532,0	438,0	379,2-510,9	466,2	181,2-367,1	262,1

Запыленность (удельная загрязненность) атмосферных аэрозолей за период (июнь-август 2006 года) представлена в табл. 6.

Таблица 6

№ фильтра	Уд.загр. г/м <sup>3</sup>
168	9,280E-05
169	8,101E-05
170	9,141E-05
171	9,056E-05
172	1,020E-04
173	1,205E-04
174	9,760E-05
175	1,406E-04
176	2,649E-04
177	1,554E-04
178	2,044E-04
179	1,224E-04
180	1,282E-04

Корреляция содержания некоторых естественных радионуклидов в атмосферных аэрозолях с запыленностью воздуха представлена в таблице и варьирует в пределах 0,60-0,81, что означает хорошую корреляцию содержания ЕРН в атмосферных аэрозолях с запыленностью воздуха (достоверная корреляция  $\geq 0,6$ ).

Таблица 7

Радионуклид	<sup>238</sup> U	<sup>234</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K
Корреляция	0,60	0,76	0,61	0,81	0,60	0,66

Среднее содержание ЕРН и ИРН в аэрозольной пыли  $A_{оп}$  (Бк/кг) определено из объемной активности его в аэрозолях  $A_{оа}$ , Бк/м<sup>3</sup> с учетом запыленностью атмосферы ( $m$ , г/м<sup>3</sup>) и представлено в таблице 8 (расчет  $m$ :  $A_{оп} = \frac{A_{оа}}{m} 10^6$  (Бк/кг):

Таблица 8

Радионуклид	<sup>238</sup> U	<sup>234</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K
Ср. содерж., Бк/кг	16,2	61,4	8,4	633,9	9,5	144,9

Содержание <sup>137</sup>Cs в атмосферных аэрозолях варьирует в пределах 8,63E-07-4,56E-06 Бк/м<sup>3</sup>. Погрешность определения не превышает 15%.

Среднее содержание  $^{137}\text{Cs}$  в аэрозольной пыли определено из объемной активности его в аэрозолях с учетом запыленностью атмосферы составило 2,5 Бк/кг.

Среднее содержание  $^{137}\text{Cs}$  в почвах кювет существенно (в 3,5 раза) превышает содержание в целиной почве. Это следствие того, что чернобыльский  $^{137}\text{Cs}$  сразу после аварии и впоследствии смывался дождевыми осадками как с полотна дороги, так и с целинных участков. Это подтверждается, в частности, результатами определения  $^{137}\text{Cs}$  в придорожной пыли: среднее по 4 участкам содержания  $^{137}\text{Cs}$  почти в 2,5 раза ниже, чем в почвах целины и почти в 3 меньше, чем в почвах из кювет. Среднее содержание  $^{137}\text{Cs}$  в придорожной пыли по результатам четырех измерений составляет 2,3 Бк/кг.

Хорошее согласие содержания  $^{137}\text{Cs}$  в аэрозолях (2,5 Бк/кг) и придорожной пыли (2,3 Бк/кг) подтверждает тот факт, что содержание многих радионуклидов в приземной атмосфере обуславливается ветровым подъемом преимущественно мелкодисперсных фракций почво-грунтов.

Содержания в атмосферных аэрозолях некоторых радионуклидов земного происхождения, таких как  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{224}\text{Ra}$ , а также  $^{137}\text{Cs}$  явно коррелируют с величиной запыленности воздуха, что связано с ветровым подъемом пыли. Коэффициенты корреляции по годам представлены в табл. 9.

Таблица 9

Год	Коэффициент корреляции				
	Ra-226	Ra-224	Th-232	Cs-137	K-40
2002	0,68	0,90	0,62	0,63	0,68
2003	0,61	0,59	0,93	0,67	0,80
2004	0,68	0,68	0,60	0,60	0,61
2005	0,64	0,63	0,64	0,65	0,61
2006	0,68	0,61	0,67	0,62	0,62

Наличие хорошей и устойчивой на протяжении 5 лет корреляции содержания некоторых радионуклидов в атмосферных аэрозолях с запыленностью приземной атмосферы подтверждает определяющую роль ветрового подъема в формировании радиоактивности приземного слоя воздуха (по крайней мере, для приведенных в таблице радионуклидов).

## Литература

1. *Махонько К.П.* Ветровой подъем радиоактивной пыли с подстилающей поверхности. Атомная энергия, 1992, т.72, в.5, С. 523-530.
2. *Махонько К.П.* Влияние ветрового подъема радиоактивной пыли с поверхности почвы на загрязнение атмосферы над территорией России. Атомная энергия, 2000, т.88, в.6, С. 458-463.
3. *Махонько К.П.* Эффекты дефляции радионуклидов на загрязненном участке местности при разовом и стационарном выбросах в атмосферу. Атомная энергия, 1984, т.56, в.1, С. 47-50.
4. *Махонько К.П., Бесчастнов С.П.* Сравнение диффузионного и градиентного способа определения коэффициента ветрового подъема радиоактивной пыли с поверхности реального неоднородного ландшафта. Атомная энергия, 1997, т.83, в.3, С. 203-210.
5. *Рузер Л.С.* Радиоактивные аэрозоли. М.: Энергоатомиздат, 2001.