

Некоторые свойства α -активных горячих аэрозольных частиц

Номер частицы	Высота полета при отборе пробы, м	Продолжительность экспозиции, ч	Число α -треков в веере	Активность, кюри	Диаметр активной части частицы, мк		
					измеренный	вычисленный по α -излучению U^{235}	вычисленный по α -излучению Pu^{239}
1	1000	39,3	688	$2,6 \cdot 10^{-13}$	12	22,0	0,74
2	1000	74	161	$3,3 \cdot 10^{-14}$	8	11,6	0,37
3	1000	74	38	$7,8 \cdot 10^{-15}$	4	7,0	0,22
4	1000	235	37	$2,4 \cdot 10^{-15}$	—	4,8	0,15
5	1000	235	26	$1,7 \cdot 10^{-15}$	—	4,2	0,14
6	1000	235	17	$1,1 \cdot 10^{-15}$	—	3,7	0,12
7	1000	235	12	$7,7 \cdot 10^{-16}$	—	3,3	0,10
8	1000	235	10	$6,4 \cdot 10^{-16}$	—	3,1	0,10
9	1000	235	8	$5,1 \cdot 10^{-16}$	—	2,9	0,09
10	1000	235	6	$3,8 \cdot 10^{-16}$	—	2,6	0,08
11	1000	235	10	$6,4 \cdot 10^{-16}$	—	3,1	0,10
12	1000	235	5	$3,2 \cdot 10^{-16}$	—	2,5	0,08
13	870	240	400	$2,5 \cdot 10^{-14}$	7	10,6	0,34
14	870	240	350	$2,2 \cdot 10^{-14}$	—	10,1	0,32
15	870	240	29	$1,8 \cdot 10^{-15}$	—	4,4	0,14
16	870	240	22	$1,4 \cdot 10^{-15}$	—	4,0	0,13
17	870	240	7	$4,4 \cdot 10^{-16}$	—	2,7	0,09
18	на уровне	240	16	$1,0 \cdot 10^{-15}$	—	3,6	0,11
19	земли	240	400	$2,5 \cdot 10^{-14}$	—	10,6	0,34
20		240	5	$3,1 \cdot 10^{-16}$	—	2,4	0,08

частицы. Для этого на прозрачной бумаге были нанесены прямые линии, продолжившие α -треки до пересечения их в центре чертежа, и проведен круг с центром в середине веера так, чтобы наиболее отклонившиеся линии оказались касательными к кругу. Диаметр круга принимался за максимально возможный диаметр частицы.

Описанным способом строилось по четырем графикам и определялся средний диаметр частицы. Погрешка измерений 20—30%.

Размеры частицы 13 определены при непосредственном визировании в микроскоп (рис. 3). Частица в области веера треков была отождествлена с α -активной из числа непрозрачных частиц, обладающих металлическим блеском в отраженном свете и люминесценцией при освещении видимым светом, что является доказательством присутствия минералов, содержащих урановые или ториевые соединения.

Как видно из таблицы, характерные эффективные диаметры α -активных горячих аэрозольных частиц 1—15 мк. Эти значения по порядку величины совпадают с размерами β - γ -активных горячих частиц [3, 4].

Значения измеренных диаметров частиц находятся между вычисленными в предположении, что веер

вызван α -излучением U^{235} или Pu^{239} . Из этого можно заключить, что α -активные горячие аэрозольные частицы неоднородны и состоят из таких изотопов, как U^{235} , U^{238} , Th^{232} , Pu^{239} . Возможно, что часть вещества, составляющего аэрозольную частицу, является нейтральным носителем, однако доказательств этого у нас нет, а распространять сведения, полученные для α - и γ -активных частиц, на α -активные пока еще нет достаточных оснований. Изотопный состав α -активных горячих аэрозольных частиц требует дальнейших исследований.

Поступило в Редакцию 5/VIII 1963 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Н. Стыро и др. «Атомная энергия», 15, 262 (1963).
2. В. Ю. Полюс, Т. Н. Недвецкайте. «Научные сообщения Института геологии и географии АН Лит. ССР. Геофизика», 11, 42 (1960).
3. M. F. Rajewsky. Nature, 195, 369 (1962).
4. T. Mamiro et al. Nature, 197, 478 (1963).

УДК 551.577.7:541.182.2.3

Горячие аэрозольные частицы в приземном воздухе Подмоскovie

С. Г. Малахов, К. П. Мазонько

Горячими аэрозольными частицами называют частицы аэрозоля, несущие на себе большое количество радиоактивных веществ. В частности, в глобальных выпадениях продуктов деления обнаруживали частицы

с активностью 10^{-8} — 10^{-13} кюри/частица [1—2]. В настоящей статье приведены результаты систематических измерений концентрации этих частиц в приземном воздухе. С сентября 1961 г. по декабрь 1962 г. в Подмо-

Таблица 1

Среднемесячные концентрации горячих аэрозольных частиц в приземном слое атмосферы

Месяц	Концентрация горячих частиц в 103 м3				Доля активности на частицах с $A > 5 \cdot 10^{-12}$ кюри/частица, %
	всех частиц	$5 \cdot 10^{-12} \leq A \leq 10^{-11}$	$10^{-11} < A < 10^{-10}$	$10^{-10} \leq A$	
1961					
Сентябрь (20—30)	70	—	—	—	7,0
Октябрь	20	18,7	0,9	0,4	6,5
Ноябрь	10	9,4	0,5	0,1	5,0
Декабрь	18,6	18,1	0,4	0,09	5,0
1962					
Январь	24,9	24,5	0,4	—	4,0
Февраль	11,4	11,3	0,14	—	2,4
Март	8,3	8,2	0,08	—	1,3
Май*	5,5	5,3	0,2	—	1
Июнь	4,1	3,9	0,06	0,06	1
Июль	3,3	2,7	0,4	0,2	2
Август	7,2	6,2	0,7	0,3	4,5
Сентябрь	51,2	45,2	6,0	2,5	20
Октябрь	46,4	44,1	2,3	1,5	23
Ноябрь	61,3	56,3	5,0	2,2	5
Декабрь	78,7	68,7	10,0	0,8	20

* В апреле измерений не было.

Таблица 2

Концентрация частиц различной активности

Период измерения	Активность частицы, кюри				
	$< 10^{-11}$	$(1-5) \cdot 10^{-11}$	$(5-10) \cdot 10^{-11}$	$(10-90) \cdot 10^{-11}$	$> 90 \cdot 10^{-11}$
12 мая—1 августа 1962 г.	3,7	0,5	0,2	0,06	0,02
1 сентября—19 октября 1962 г.	44	11	1,6	1,0	0,1

сковые ежедневно просасывали около 1200 м³ воздуха через фильтр ФПП-15. После недельной выдержки к фильтру с обеих сторон прижимали две рентгеновские пленки «Neomedix» размером 150 × 240 мм и экспонировали в течение семи суток. Затем пленки обрабатывали проявителем А-22 в течение 5 мин [3]. Число горячих аэрозольных частиц определяли по числу черных пятен и точек, обнаруженных одновременно на обеих пленках. Все частицы в зависимости от диаметра d пятен разделяли на три группы ($d_1 \leq 0,5$ мм; $0,5 < d_2 \leq 2$ мм; $d_3 \geq 2$ мм). Для уменьшения субъективной ошибки регистрации наиболее мелких почернений подсчет точек и пятен на автордиограммах проводил один и тот же человек. Горячие частицы, обнаруженные методом автордиографии, вырезали из пробы вместе с возможно наименьшим кусочком фильтра и измеряли их β -активность с помощью торцового счетчика одновременно с контрольными пробами участков фильтра, соответствующих светлой части пленки. Было установлено, что частицы первой группы в среднем имели β -активность менее 10^{-11} , второй —

$4 \cdot 10^{-11}$ и третьей — $2 \cdot 10^{-10}$ кюри/частица. Минимальная активность частицы, которая может быть обнаружена по почернению пленки, равна примерно $5 \cdot 10^{-12}$ кюри. В табл. 1 приведены среднемесячные концентрации частиц каждой группы.

Для получения более подробной картины распределения частиц по величине их β -активности были выбраны два периода: май — июль и сентябрь — октябрь 1962 г. В течение этих периодов β -активность всех частиц измерялась торцовым счетчиком. Результаты измерений приведены в табл. 2. Оказалось, что для большинства (~80—90%) частиц первой группы скорость счета незначительно отличалась от фона, т. е. такие частицы имели β -активность ниже $1 \cdot 10^{-11}$ кюри/частица. Некоторое различие данных табл. 1 и 2 связано с тем, что оценка активности частиц по размерам и плотности почернения рентгеновской пленки имеет приближенный характер. На основании данных таблиц можно сделать вывод, что максимальные концентрации горячих частиц в воздухе совпадают с периодами ядерных испытаний. В это время одна частица

Таблица 3

Периоды полураспада горячих частиц $T_{\text{ч}}$ и всей пробы аэрозоля $T_{\text{ф}}$

Дата отбора пробы (1962 г.)	Активность частицы в 10^{-10} кюри	$T_{\text{ч}}$, сутки	$T_{\text{ф}}$, сутки
7/VI	5,0	60	120
17/VII	10,0	40	130
28/VIII	3,8	35	170
3/IX	1,0	30	100
11/IX	6,5	39	45
17/IX	3,3	30	30
18/IX	3,0	17 и 40	50
27/IX	13,0	18	50
4/X	4,0	20	60

с $A > 1.4 \cdot 10^{-10}$ кюри встречается в среднем в сотнях и тысячах, а с $A > 10^{-11}$ кюри — в десятках и сотнях кубических метров воздуха. Основная масса обнаруженных частиц (в мае — июле 79%, в сентябре — октябре 69%) имеет радиоактивность порядка 10^{-12} кюри/частица.

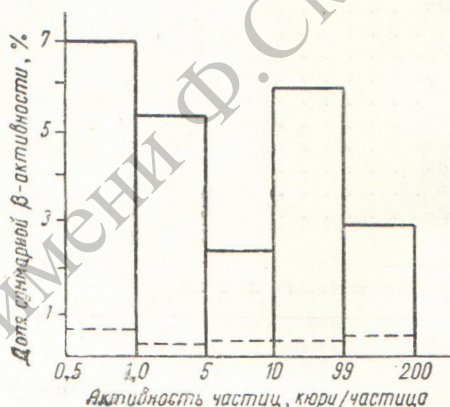
Для девяти наиболее радиоактивных частиц с активностью $10^{-10} - 10^{-9}$ кюри/частица был определен период полураспада $T_{\text{ч}}$, который сравнивался с периодом полураспада остальной части соответствующей пробы $T_{\text{ф}}$. В семи случаях из девяти $T_{\text{ч}}$ оказывался намного меньше $T_{\text{ф}}$. В двух случаях значения периодов полураспада совпадали (табл. 3). В среднем $T_{\text{ч}}$ составлял 30—40 суток. Интересно отметить, что в сентябре 1962 г. три исследованных частицы имели относительно небольшие значения $T_{\text{ч}}$ (17—20 суток). Вероятно, в составе этих частиц находились короткоживущие радиоактивные изотопы (например, Ba^{140} , Nd^{147} и т. п.). Известны случаи обнаружения горячих частиц, состоящих из короткоживущих продуктов деления [2, 4].

Была сделана попытка оценить долю атмосферной радиоактивности продуктов деления, которая находится на частицах с $A > 5 \cdot 10^{-12}$ кюри/частица. Среднемесячные значения этой доли приведены в табл. 1. При их расчете суммарная β -активность всех проб за месяц сравнивалась с суммарной β -активностью всех частиц, обнаруженных в пробах за месяц методом автордиографии. Активность частиц первой группы принималась равной $8 \cdot 10^{-12}$ кюри/частица. Из табл. 1 видно, что доля β -активности продуктов деления, находящихся на горячих частицах, достигает в отдельные месяцы 20—23%. С другой стороны, в период отсутствия испытаний она уменьшается до ~1—2%. Эта величина оказалась значительно более чувствительной по отношению к периодам ядерных испытаний, чем суммарная концентрация β -активных аэрозолей, при фоне $\sim 10^{-12}$ кюри/м³, связанном с предыдущими испытаниями.

На рисунке приведена гистограмма доли β -активности продуктов деления, находящихся на частицах различной активности, за периоды май — август и сентябрь — октябрь 1962 г.

Было проведено статистическое исследование зависимости концентрации радиоактивных продуктов деления в атмосфере от счетной концентрации горячих частиц для промежутков времени между сериями ядер-

ных испытаний и для периода проведения испытаний. В обоих случаях концентрация радиоактивных продуктов деления q прямо пропорциональна корню шестой степени из счетной концентрации n горячих частиц в атмосфере, причем в первом случае коэффициент пропорциональности составляет $1,4 \cdot 10^{-11}$ кюри/м^{-5/2}, а во втором — $4,7 \cdot 10^{-12}$ кюри/м^{-5/2}. Это справедливо, вероятно, для строго ограниченного периода времени и данного места измерения. При подсчете степени корреляции данные о концентрации горячих частиц n для обоих периодов были приведены к нормальному распределению путем извлечения корня шестой степени из каждого числа исследуемого континуума. Вид функции распределения величины q для периода между испытаниями был близок к нормальному, а для периода испытаний величина q представляла суперпозицию двух хорошо разрешенных кривых такого же вида,



Доля β -активности продуктов деления, находящихся на горячих частицах различной активности за период: — — — 1/IX — 19/X 1962 г.; — — — 12/V — 1/VIII 1962 г.

причем высота второго пика, соответствующего большим концентрациям, была в четыре раза ниже основного. Второй группе значений q , обусловленной более «свежими» продуктами деления, соответствовали относительно малые значения концентрации горячих частиц n , и при построении прямой регрессии $\sqrt[6]{n}$ по q эти данные легли вне прямой. Указанный эффект может быть вызван не только различиями в возрасте продуктов деления, но, вероятно, и наличием ядерных испытаний, отличающихся от других мощностью или характером. Кроме того, разное географическое положение районов испытаний ведет к различной длине пути переноса радиоактивного облака в атмосфере к пункту наблюдения, что может повлечь за собой разделение частиц различных размеров в процессе переноса. Действительно, хронологически максимум концентрации горячих частиц запаздывал в одном из месяцев 1962 г. по сравнению с максимумом q примерно на 10—14 суток. Поскольку более крупные частицы имеют обычно и большую величину β -активности [1, 2, 5], можно предположить, что горячие частицы обладают и большими размерами, чем основная масса радиоактивных аэрозолей продуктов деления. Горячие частицы быстро оседают в нижние слои атмосферы, имеющие меньшие скорости воздушных потоков, и вследствие этого их появление в приземном слое может запаздывать. На этом основании из изучаемой

совокупности чисел была изъята группа, соответствующая второму слабому максимуму распределения, как инородная по своим физическим параметрам.

Коэффициент корреляции, вычисленный для периода между ядерными испытаниями, был равен 0,28, а для периода проведения испытаний 0,54. Таким образом, корреляция между q и n значительно сильнее в период проведения ядерных испытаний, что свидетельствует о различном поведении в атмосфере горячих частиц по сравнению с основной массой более мелких частиц продуктов деления.

Для нескольких, наиболее активных горячих частиц через полтора-два месяца после отбора пробы был измерен спектр γ -излучения. У четырех частиц с β -активностью, равной $(1,6 \div 1,8) \cdot 10^{-10}$ кюри/частица, в пробе от 26—27 октября 1962 г. обнаружен фотошпик регистрации γ -излучения $Zr^{95} + Nb^{95}$. Два других фотошпики, которые обычно характерны для продуктов деления возрастом несколько месяцев (относящиеся к $Ce^{141} + Ce^{144}$, $Ru^{103} + Rh^{103}$), в спектре γ -излучения этих частиц практически отсутствовали. Полученный результат совпадает с данными других авторов [1, 2], согласно

которым в горячих частицах часто присутствуют $Zr^{95} + Nb^{95}$.

Поскольку горячие частицы содержат относительно большое количество радиоактивных веществ (до 10^{-8} кюри/частица), а изменение их концентрации в атмосферном воздухе в общем отличается от содержания продуктов деления, необходима систематическая регистрация этих частиц для оценки их радиационной опасности.

Поступило в Редакцию 8/VII 1963 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Г. М а л а х о в, К. П. М а х о н ь к о. «Атомная энергия», 15, 238 (1963).
2. Б. Р а е в с к и й. «Радиоактивные частицы в атмосфере». М., Госатомиздат, 1963.
3. В. П. М и к у л и н. Фоторецептурный справочник. М., Изд-во «Искусство», 1960.
4. В. R a j e w s k y et al. Atompraxis, 8, 237 (1962).
5. Т. М а м у р о, К. J o s h i k a w a. Nature, 197, No. 4871 (1963).

К сведению авторов

Рукописи для журнала «Атомная энергия» должны удовлетворять перечисленным ниже требованиям. Материалы, не отвечающие этим требованиям, не принимаются. Отклоненные статьи не возвращаются.

1. Тексты и иллюстративные материалы представляются в трех экземплярах в окончательно отработанном для печати виде и должны быть подписаны всеми авторами.

После подписей авторов должны быть указаны: фамилия, имя и отчество (полностью), домашний адрес и номер телефона.

2. Объем обзорных статей, как правило, не должен превышать 20—22 стр.; оригинальных статей — 10—12 стр.; писем в редакцию — 5 стр. машинописного текста (включая рисунки и список литературы).

3. Текст рукописи должен быть напечатан на машинке через два интервала на одной стороне листа, с полями с левой стороны не уже 4 см; рукописные вставки не допускаются.

4. К статьям должны быть приложены аннотации, в которых следует коротко и ясно сформулировать цель, результаты и область практического применения работы, а к письмам в редакцию — авторефераты. Желательно, чтобы название работы было переведено на английский язык.

5. Цитируемая литература приводится в конце статьи общим списком с указанием: а) для журнальных статей: инициалов и фамилий авторов, названия журнала, тома или номера, страницы и года; б) для книг: инициалов и фамилий авторов, полного названия книги, места издания, издательства и года издания; в) для сборников: инициалов и фамилий авторов статьи, названия сборника, инициалов и фамилии составителя или редактора сборника, места издания, издательства, года издания, страницы.

В тексте ссылки даются по порядку номеров: 1, 2, 3 и т. д.

6. Оформление текста (написание формул, выделение греческих и латинских, строчных и прописных букв, сокращение слов и т. д.) производится в соответствии с общими правилами, принятыми для научно-технических журналов. Трудноразличимые в рукописном обозначении буквы и знаки должны быть пояснены на полях.

Размерность всех приведенных величин должна соответствовать Международной системе единиц измерений. В отдельных случаях могут быть приведены пересчетные формулы.

7. Рисунки должны быть выполнены черной тушью на бумаге размером 15 × 20 см; фотографии должны иметь контрастное изображение; размер фотографий не менее 9 × 12 см. Подписи под рисунками должны быть напечатаны на отдельном листе.