

ИЗУЧЕНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫПАДЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С АТОМНЫМИ ВЗРЫВАМИ

М. Д. Бондарьков¹, М. В. Желтоножская²

¹Международная радиоэкологическая лаборатория, Славутич

²Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Исследован радионуклидный состав "горячих" частиц, отобранных на Семипалатинском полигоне (Казахстан). Показано, что соотношение изотопов плутония совпадает с их соотношением в арктических отложениях, а соотношение плутония и америция занижено в четыре - пять раз по сравнению с данными по Арктике.

Исследование трансурановых нуклидов в окружающей среде - одна из интересных и сложных задач [1, 2]. В то же время это одни из наиболее радиологически опасных нуклидов, поэтому исследование процессов миграции трансурановых элементов (ТУЭ) - одна из важных задач современной радиоэкологии. Сложность этой проблемы еще и в том, что не существует природных аналогов изотопов плутония и америция.

При исследовании активностей плутония и америция в зоне влияния аварии на ЧАЭС вдали от 30-километровой зоны, а также при изучении вертикальной миграции этих изотопов возникают также проблемы, связанные с учетом вклада глобальных выпадений ТУЭ. Кроме того, необходимость учета вклада глобальных выпадений в полученные данные о концентрации радионуклидов важна при изучении процессов миграции радионуклидов в почвах на территориях, удаленных от мест техногенных аварий или на больших глубинах почв, загрязненных в результате техногенных аварий.

Как правило, учет глобальных выпадений проводился по данным, полученным из измерения активностей ТУЭ в Арктике. Но там распределение было связано с взрывами на о. Новая Земля (Россия). В то же время большое количество взрывов было проведено и на Семипалатинском полигоне (Казахстан). Можно предположить, что соотношение активностей ТУЭ, наблюдающееся в настоящее время вблизи Семипалатинского полигона, будет близко к соотношениям в глобальных выпадениях, обусловленных этими взрывами. В настоящей работе для оценки соотношений ТУЭ в глобальных выпадениях представлены результаты измерений проб, отобранных вблизи Семипалатинского полигона на расстоянии 10 - 15 км от эпицентра.

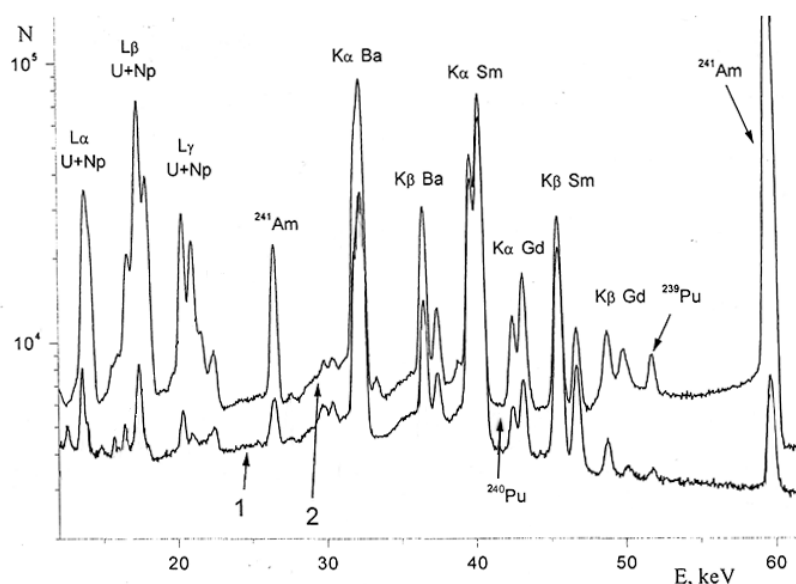
Методика измерений и результаты

"Горячие" частицы отбирались на различных участках Семипалатинского полигона на расстоянии 10 - 15 км от эпицентра и друг от друга. В каждой точке на площади 1 м² отбиралось по пять частиц. "Горячие" частицы, отобранные в разных местах полигона, выглядят сильно спеченной массой от 1 до 10 г.

Измерения проводились на антикомптоновском спектрометре с Ge-детектором, имеющем входное бериллиевое окно с энергетическим разрешением 560 эВ по γ -линии 59 кэВ ²⁴¹Am и эффективностью регистрации 30 % по сравнению с NaI(Tl) детектором 3"×3". Входное бериллиевое окно позволило не только с большой эффективностью измерить γ -излучение ²⁴¹Am, но и L_x-излучение урана и нептуния, сопровождающие распад изотопов плутония и америция. Активное подавление фона позволило нам в восемь раз уменьшить γ -фон в области 10 - 60 кэВ.

В измерениях наблюдалось два типа характерных L_x, K_x и γ -спектров, приведенных на рисунке.

Высокая удельная концентрация плутония позволила нам уверенно измерить активность ²³⁹Pu по γ -линии с энергией 51,6 кэВ, несмотря на ее слабый выход ($I_\gamma = 0,02$ % на распад). С точностью 2 % можем также утверждать, что в этих образцах отсутствует ²⁴⁰Pu (см. рисунок, γ 45 кэВ, $I_\gamma = 0,045$ %).



Фрагменты низкоэнергетического спектра "горячих" частиц:
1 – атомный взрыв; 2 – термоядерный взрыв.

Как известно, 28 % α -распада ^{238}Pu идет на возбужденное состояние ^{234}U с энергией 43,5 кэВ [3]. Распад этого состояния идет в основном через процесс внутренней конверсии γ -лучей на L-подоболочках, который всегда сопровождается характеристическим излучением (L_x). Точно также 27 % распада ^{239}Pu идет на возбужденные состояния ^{235}U . Таким образом в наших измерениях будет наблюдаться суммарная активность α -нуклидов плутония по L_x -излучению урана, а активность ^{239}Pu нами надежно измеряется по γ -линии 51,6 кэВ. Учитывая тот факт, что ^{240}Pu нами не наблюдается в γ -спектре (см. рисунок) из суммарной активности изотопов плутония мы определили вклад активности ^{238}Pu . Точность измерения ^{238}Pu оказалась 20 - 30 %, это обусловлено тем, что вклад ^{238}Pu в L_x -излучение составляет 10 - 20 %, а выход L_α (^{238}Pu) = 4,2 %, L_α (^{239}Pu) = 1,6 %. Кроме того, определенную погрешность вносит учет ^{241}Am , распад которого сопровождается L_x -излучением нептуния (выход L_α ^{241}Pu = 13%) [3]. Энергии L_x -переходов нептуния смещены на 300 - 400 эВ от переходов урана, поэтому L_x -спектры урана и нептуния на нашем спектрометре не разделяются (см. рисунок).

Полученные данные измерений приведены в таблице.

Как легко заметить, "горячие" частицы, отобранные в пунктах 1 - 3, имеют очень сходные соотношения активностей с аномально большим выходом ^{241}Am . "Горячие" частицы, отобранные в точках 4 и 5, также подобны между собой, но четко отличаются от первой группы, если сравнивать их ^{60}Co . Сравнение активностей отобранных частиц с результатами исследований "горячих" частиц от первого атомного (1949 г.) и первого термоядерного (1953 г.) взрыва [4] позволяет сделать вывод, что частицы в пунктах 1 - 3 термоядерного происхождения, а в пунктах 4,5 – атомного. Разброс значений отношений активностей $^{60}\text{Co}/^{241}\text{Am}$, вероятнее всего, обусловлен малым периодом полураспада ^{60}Co ($T_{1/2} = 5,3$ года), однако характерные соотношения для атомного и термоядерного взрывов ($f \sim 100$) сохраняются.

Как уже упоминалось выше, отобранные частицы имеют вид сильноспеченной массы типа вулканической пемзы. Можно предположить, что миграция радионуклидов из таких образцов маловероятна. Поэтому мы можем сделать вывод о том, что соотношение Am/Pu в глобальных выпадениях как от атомных, так и от термоядерных взрывов не превышает 0,17. Более того, с относительной стандартной погрешностью не более 20 % это соотношение равно $f(f(\text{Am})/A(\text{Pu})) = 0,08$. Возможные изменения активности ^{241}Am за счет распада ^{241}Pu в настоящее время не превышает 5 % от полной активности ^{241}Am . Полученное значение f сильно отличается от величины $f = 0,36$, характерной для проб, отобранных вблизи о. Новая

Удельная активность ТУЭ и ^{60}Co в "горячих" частицах

№ частицы	^{60}Co , Бк/г	^{241}Am , Бк/г·10 ²	^{239}Pu , Бк/г·10 ²	^{238}Pu , Бк/г·10 ²	Am/ Pu	Co/ Am	$^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$
1	3,4	3,0	2,7	2,4	11	1,1	0,89
	0,7	1,8	2,0	2,2	9	0,4	1,10
	3,2	4,8	6,0	3,9	8	0,7	0,65
	5,1	4,6	4,6	4,0	10	1,1	0,87
	7,1	4,5	8,5	3,7	5,3	1,6	0,44
2	3,4	1,1	4,8	1,8	2,3	3,0	0,38
	2,0	0,60	1,9	1,2	3,2	3,3	0,63
	2,1	0,86	4,5	3,9	1,9	2,4	0,87
	2,6	0,71	2,5	1,8	2,8	3,7	0,72
	2,0	0,52	2,4	1,7	2,2	3,8	0,71
3	7,6	3,6	3,0	2,6	12	2,1	0,87
	7,4	2,4	2,2	2,3	11	3,1	1,05
	6,7	2,8	2,7	2,3	11	2,4	0,85
	8,7	3,3	2,7	2,5	12	2,6	0,93
	7,1	4,0	2,3	2,6	17	1,4	1,13
4	3,5	0,05	0,88	0,8	5,6	0,7	0,91
	4,7	0,05	0,30	0,4	17	0,9	1,33
	12	0,05	0,68	0,8	7,4	2,4	1,18
	3,7	0,04	0,44	0,4	9,1	0,9	0,91
	4,7	0,04	0,43	0,6	9,1	1,2	1,40
5	6,9	0,03	0,30	0,4	10	2,3	1,33
	3,9	0,02	0,21	0,3	9,5	2,0	1,43
	5,8	0,03	0,21	0,3	14	1,9	1,43
	3,6	0,01	0,07	0,1	14	3,6	1,43
	5,1	0,02	0,25	0,4	8	2,6	1,60

Земля [5, 6] в меньшую сторону. В то же время соотношение $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ для Семипалатинского полигона несколько завышено по сравнению с соотношением для о. Новая Земля ($f = 0,04 - 0,05$). Особенно это заметно для образцов, идентифицированных как последствия атомных взрывов. Как известно, на о. Новая Земля проводилось большое количество термоядерных взрывов большой мощности. Поэтому можно предположить, что глобальные выпадения в Арктике, в основном, обусловлены термоядерными взрывами. Видно, что соотношения $^{238}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ для частиц 1 - 3 достаточно близки к данным по Арктике. При этом необходимо отметить, что погрешность измерений ^{238}Pu составляет 20 - 30 % в отличие от погрешности измерений ^{239}Pu и ^{241}Am , для которых она не превышала 10 %. Поэтому, в целом, можно сделать вывод, что соотношение $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ в глобальных выпадениях примерно одно и то же как от взрывов на о. Новая Земля, так и на Семипалатинском полигоне. В то же время вклад в глобальные выпадения ^{241}Am Семипалатинского полигона в четыре - пять раз меньше. Эти данные показывают, что нужно осторожно относиться к оценкам вклада ТУЭ от глобальных выпадений и чернобыльских выпадений, определенных из соотношений плутония и америция. На наш взгляд, необходимо использовать для анализа и другие радионуклиды, такие как ^{90}Sr . Кроме того, необходимо учитывать абсолютные значения активностей ТУЭ, и если они превышают в три - четыре раза характерные значения для глобальных выпадений ^{239}Pu , то можно отделить вклад различных α -нуклидов по их соотношениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бондарьков М.Д., Желтоножская М.В., Липская А.И. и др.* Исследование вертикальной миграции искусственных радионуклидов чернобыльского происхождения в почвах Полесья // Зб. наук. праць Ін-ту ядерних досл. НАН України. – 2003. - № 2(6). – С. 51 - 56.
2. *Трансурановые элементы в окружающей среде / Под ред. У. С. Хэнсона.* – М.: Энергоатомиздат, 1965.
3. *Table of radioactive isotopes / Ed. By V. S. Shirley.* – New York: J. Wiley and Sons, 1986.
4. *Zheltonozhsky V., Mück K., Bondarkov M.* Classification of hot particle from the Chernobyl accident and nuclear weapons detonations by non-destructive methods // Journ. of Environmental Radioactivity. - 2001. - Vol. 57. - P. 151 - 166.
5. *Gwynn J.P. et al.* Plutonium-238,239,240 and 241Am in terrestrial matrices from Svalbard // 6th International Conference on Radioactivity in the Arctic and Antarctic, 2005, Nice, France, p. 161 - 163.
6. *Hardy E.P. et al.* Global inventory and distribution on fallout plutonium // Nature. - 1973. -Vol. 241. - P. 444 - 445.

Поступила в редакцию 14.02.06

5 ДОСЛІДЖЕННЯ ГЛОБАЛЬНИХ ВИПАДІВ, ЩО ПОВ'ЯЗАНІ З АТОМНИМИ ВИБУХАМИ**М. Д. Бондарьков, М. В. Желтоножська**

Досліджено радіонуклідний склад "гарячих" частинок, що були відібрані на Семіпалатинському полігоні (Казахстан). Показано, що співвідношення ізотопів плутонію збігається з їх співвідношенням в арктичних відкладах, а співвідношення плутонію та америцію занижено у чотири - п'ять разів порівняно з даними по Арктиці.

5 THE STUDY OF GLOBAL FALLOUT CONNECTED WITH ATOMIC EXPLOSIONS**M. D. Bondarkov, M. V. Zheltonozhskaya**

Content of radionuclides collected on the Semipalatinsk test side (Kzakhtan) were studied. It was demonstrated that ratio of Pu isotopes coincides with one in Arctic fallouts and ratio Pu and Am in 3 - 4 times lower then in Arctic.