

влияние*. В применении к обычным помещениям выражение для плотности замедления на границе среды можно записать так:

$$S = \frac{S}{4\pi r^2 \pi^2 \tau} \left\{ 1 - \frac{V\pi\tau}{a} \cdot e^{(V\tau/a)^2} \left[1 - \operatorname{erf} \frac{V\tau}{a} \right] \right\}, \quad (1)$$

где S — мощность источника; a — расстояние от центра источника до стен; τ — возраст нейтронов. Для кирпичного состава стен (77% SiO_2 ; 4% Fe_2O_3 ; 15% Al_2O_3 ; 4% H_2O) значение $\tau = 170 \text{ см}^2$. Экспериментальные и теоретические данные приведены в таблице.

Потоки нейтронов в помещениях

Объем помещения, м ³	$N_{\text{эксп}}$	$N_{\text{теор}}$
4900	$4,82 \cdot 10^{-2}$	$5,9 \cdot 10^{-2}$
15	$75,13 \cdot 10^{-2}$	$90,3 \cdot 10^{-2}$
139	$6,84 \cdot 10^{-2}$	$20,8 \cdot 10^{-2}$

Данные выражены через соответствующие скорости счета. Для помещений объемом 4900 и 15 м³, имеющих приблизительно кубическую форму, наблюдается удо-

* P. Philip, R. Wallace. Nucleonics, 4, 38 (1949).

влетворительное согласие эксперимента с расчетом. Для помещений большого объема $\sqrt{\tau} \ll a$ и формула (1) упрощается. Ошибка при этом не превышает 35% для помещений объемом $> 10-20 \text{ м}^3$ и 10-15% для помещений объемом $> 50-60 \text{ м}^3$.

Для определения величины фона замедленных нейтронов, выраженного через скорость счета детектора, в помещениях с обычными кирпичными стенами можно пользоваться приближенной формулой

$$N = \int_E^{E_0} 13,1 \frac{nS\sigma(E)}{\sqrt{V^2 E}} dE, \quad (2)$$

где n — количество атомов детектирующего вещества; $\sigma(E)$ — эффективное сечение для материала детектора; V — объем помещения (м³). Интегрирование проводится от нижней границы надкадмиевой области до средней энергии источника быстрых нейтронов, выраженной в электронвольтах. Зная кадмиевое отношение, можно определить скорость счета при использовании детектора тепловых нейтронов.

4. В помещении спектр замедленных нейтронов имеет вид

$$\Phi(E) \sim \frac{1}{E}.$$

Автор благодарен В. Н. Андрееву и Ю. Я. Ставискому за полезные советы и ценные замечания.

Поступило в Редакцию 4/IV 1963 г.

УДК 550.35.550.835

О содержании Sb^{125} в почвенном покрове и растениях

С. В. Иохельсон, Д. К. Попов

Принимая во внимание многолетнее накопление осколочных продуктов в поверхностном слое почвы, можно считать, что эти продукты в основном определяются долгоживущими радиоактивными изотопами, период полураспада которых превышает несколько месяцев. По существующему представлению, состав продуктов деления в растениях и верхнем слое почвы образован $\text{Ce}^{144} + \text{Pr}^{144}$, Cs^{137} , $\text{Sr}^{90} + \text{Y}^{90}$, $\text{Ru}^{106} + \text{Rh}^{106}$, Rm^{107} . Неопределенность в количественной оценке изотопного состава осколочных продуктов, находящихся на поверхности земли, связана с тем, что в реальных ядерных устройствах используется комбинация деления нескольких делящихся материалов нейтронами разных энергий [1].

В табл. 1, рассчитанной сотрудником Института прикладной геофизики (ИПГ) АН СССР М. П. Гречухиной по данным работ [2,3], приведены относительные активности и выходы долгоживущих изотопов для различных типов реакций через четыре года после облучения. Из таблицы следует, что выходы отдельных изотопов (например, Ru^{106} и Sb^{125}) в зависимости от типа реакции деления существенно отличаются. Поэтому в составе осколочных продуктов, находящихся в почвенно-растительном покрове, следует ожидать повышенное (по сравнению с обычно приводимым составом осколков деления U^{235} тепловыми нейтронами [1]) содержание Ru^{106} и наличие Sb^{125} , присутствие которой в почве и растениях обычно не учитывают.

Разработанным в ИПГ методом радионуклидного анализа образцов почвенно-растительного покрова по

спектру γ -излучения анализировали пробы, отобранные в районах со средним уровнем глобальных загрязнений [4, 5].

Для проб брали верхний слой почвы (толщиной до 5 см) и золу растений. Перед анализом пробы высушивали при температуре 200°С и размалывали.

Спектральный анализ проводили на 100-канальном амплитудном анализаторе импульсов АИ-100. В качестве детектора излучений использовали кристалл иодистого натрия (диаметр 70 и высота 50 мм), смонтированный на ФЭУ-24. Разрешение спектрометра по фотонику γ -квантов Ba^{137m} с энергией 661 кэв составляло 11-12%. Спектрометр обладал удовлетворительной линейностью в области энергий 60-2620 кэв. Анализировали образцы с суммарной активностью осколочных продуктов не менее $(1-3) \cdot 10^{-11}$ кюри/г образца.

На γ -спектрограммах образцов, отобранных и измеренных осенью 1959 г. (после учета вклада фона и γ -излучения естественно-радиоактивных элементов), было выделено несколько пиков, которые идентифицировали как фотоники γ -излучений осколочных изотопов: Ce^{144} ($E_\gamma = 135 \text{ кэв}$), Rh^{106} ($E_\gamma = 516 \text{ кэв}$), Ba^{137m} ($E_\gamma = 661 \text{ кэв}$)* и $\text{Zr}^{95} + \text{Nb}^{95}$ ($E_{\gamma\text{ср}} = 750 \text{ кэв}$) (рис. 1).

* Хотя фотоник со средней энергией $E_\gamma = 661 \text{ кэв}$ обусловлен в основном γ -излучением Ba^{137m} , в его формировании принимают участие и другие осколочные элементы: Rh^{107} ($E_\gamma = 620 \text{ кэв}$), Pr^{144} ($E_\gamma = 695 \text{ кэв}$) и Sb^{125} ($E_\gamma = 595$ и 637 кэв).

Активность и выходы некоторых осколков деления U^{235} , U^{238} и Pu^{239} для различных типов реакций через четыре года после облучения

Изотоп	Период полураспада	Энергия γ -квантов, Мэв	Число γ -квантов на один распад	Деление U^{235} при облучении тепловыми нейтронами			Деление U^{238} при облучении спектром нейтронов деления			Деление U^{238} при облучении нейтронами с энергиями 14 Мэв			Деление Pu^{239} при облучении спектром нейтронов деления		
				выход, %	активность, расп/мин на 10^4 делений	относительная активность, %	выход, %	активность, расп/мин на 10^4 делений	относительная активность, %	выход, %	активность, расп/мин на 10^4 делений	относительная активность, %	выход, %	активность, расп/мин на 10^4 делений	относительная активность, %
Pm^{147}	2,6 года	γ -излучения нет	—	2,38	$4 \cdot 10^{-5}$	18,8	2,84	$4,7 \cdot 10^{-5}$	20,8	2,07	$3,5 \cdot 10^{-5}$	15,5	2,52	$4,2 \cdot 10^{-5}$	16,1
Ce^{144}	275 дней	0,081 0,100 0,134	0,04 0,013 0,10	5,39	$2,7 \cdot 10^{-5}$	12,6	4,42	$2,2 \cdot 10^{-5}$	9,75	3,32	$1,7 \cdot 10^{-5}$	7,5	3,66	$1,8 \cdot 10^{-5}$	6,9
Pr^{144}	17,5 мин	0,70 1,5 2,20	0,016 0,002 0,008												
Cs^{137}	33 года	γ -излучения нет	—	6,15	$2,8 \cdot 10^{-5}$	13,1	6,45	$2,9 \cdot 10^{-5}$	12,9	5,71	$2,6 \cdot 10^{-5}$	11,5	6,14	$2,8 \cdot 10^{-5}$	10,7
Ba^{137m}	2,6 мин	0,661	0,84	5,7	$2,7 \cdot 10^{-5}$	12,7	6,0	$2,8 \cdot 10^{-5}$	12,4	5,25	$2,5 \cdot 10^{-5}$	11,2	5,7	$2,7 \cdot 10^{-5}$	10,7
Sr^{90}	19,9 года	γ -излучения нет	—	5,74	$2,7 \cdot 10^{-5}$	12,7	3,1	$1,5 \cdot 10^{-5}$	6,65	2,91	$1,4 \cdot 10^{-5}$	6,2	2,23	$1,05 \cdot 10^{-5}$	4,02
Y^{90}	64 ч	То же	—			12,7			6,65			6,2			4,02
Ru^{106}	1 год	» »	—	0,38	$3,0 \cdot 10^{-5}$	1,4	2,61	$2,1 \cdot 10^{-5}$	9,3	3,1	$2,5 \cdot 10^{-5}$	11,1	6,17	$4,8 \cdot 10^{-5}$	18,4
Rh^{106}	30 сек	0,516 0,619 0,88 1,04 1,54	0,21 0,10 0,003 0,017 0,002	1,4			9,3		11,1			18,4			
Sb^{125}	2,7 года	0,175 0,427 0,463 0,595	0,06 0,29 0,09 0,32												
Te^{125m}	58 дней	0,110 0,035	1,0 1,0	0,006	$6,0 \cdot 10^{-8}$	0,028	0,013	$1,3 \cdot 10^{-7}$	0,058	0,26	$2,6 \cdot 10^{-6}$	1,15	0,067	$6,7 \cdot 10^{-7}$	0,26
Sm^{154}		γ -излучения нет	—	0,45	$8,0 \cdot 10^{-7}$	0,37	0,94	$1,7 \cdot 10^{-6}$	0,75	0,83	$1,5 \cdot 10^{-6}$	0,66	1,29	$2,3 \cdot 10^{-6}$	0,88
Eu^{155}	1,7 года	0,06	Мало	0,031	$5,0 \cdot 10^{-7}$	0,23	0,11	$1,8 \cdot 10^{-6}$	0,80	0,21	$3,4 \cdot 10^{-6}$	1,5	0,18	$2,9 \cdot 10^{-6}$	1,11
Kr^{85}	10,3 года	0,517	Мало	1,3	$3,0 \cdot 10^{-6}$	1,4	0,64	$1,47 \cdot 10^{-6}$	0,65	1,14	$3,63 \cdot 10^{-6}$	1,60	0,32	$7,4 \cdot 10^{-7}$	0,28

В 1961 г. на γ -спектрограммах образцов почв и растений, помимо фотопиков γ -излучения Cs^{134} , Rh^{106} и Sb^{125} , был обнаружен новый широкий, иногда седлообразный пик со средней энергией примерно 440 кэв.

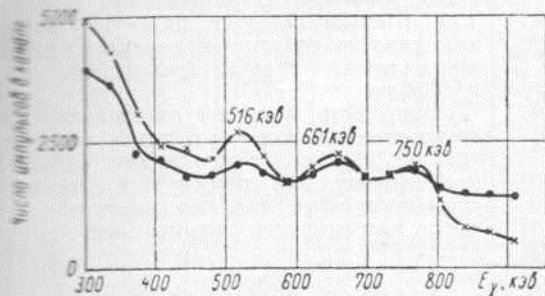


Рис. 1. Энергетический спектр γ -излучения долгоживущих осколков деления в пробах 2 (x) и 6 (●) (см. табл. 3).

Экспериментально определили, что этот пик можно разложить на две компоненты с энергиями 430 и 460 кэв (рис. 2). Предположили, что он принадлежит

Как следует из работ [6,7], γ -излучение с энергией 380—500 кэв (в пределах разрешения спектрометра) имеют следующие элементы: Sb^{125} ($T = 2,7$ года; $E_\gamma = 427$ и 463 кэв), Be^7 ($T = 54$ дня; $E_\gamma = 479$ кэв), La ($T = 40$ ч; $E_\gamma = 487$ кэв), Ba^{140} ($T = 12,8$ дня; $E_\gamma = 537$ кэв), Ru^{103} ($T = 45$ дней; $E_\gamma = 499$ кэв). Все эти элементы, кроме Sb^{125} , короткоживущие и не содержатся в смеси старых осколков с возрастом более двух-трех лет.

Анализируя таблицы изотопов [6,7] и учитывая наличие Sb^{125} в атмосферной пыли [8,9] и в почвах острова Кэйба (близ места взрыва) [10], предположили, что указанный пик обусловлен γ -излучением Sb^{125} .

Для идентификации этого изотопа из смеси старых осколочных продуктов, полученных при облучении урана в ядерном реакторе, была выделена Sb^{125} . Химическая чистота Sb^{125} была подтверждена постоянством удельной активности осадков, полученных при последовательных перекристаллизациях в присутствии удерживающих носителей церия, иттрия, стронция и цезия.

Радиохимическая чистота Sb^{125} проверялась двумя способами: по кривой поглощения β -излучения в алюминии и по энергетическому спектру γ -излучения. Кривая поглощения β -частиц в алюминии была разложена на две составляющие (25 и 7 мг/см^2), которые

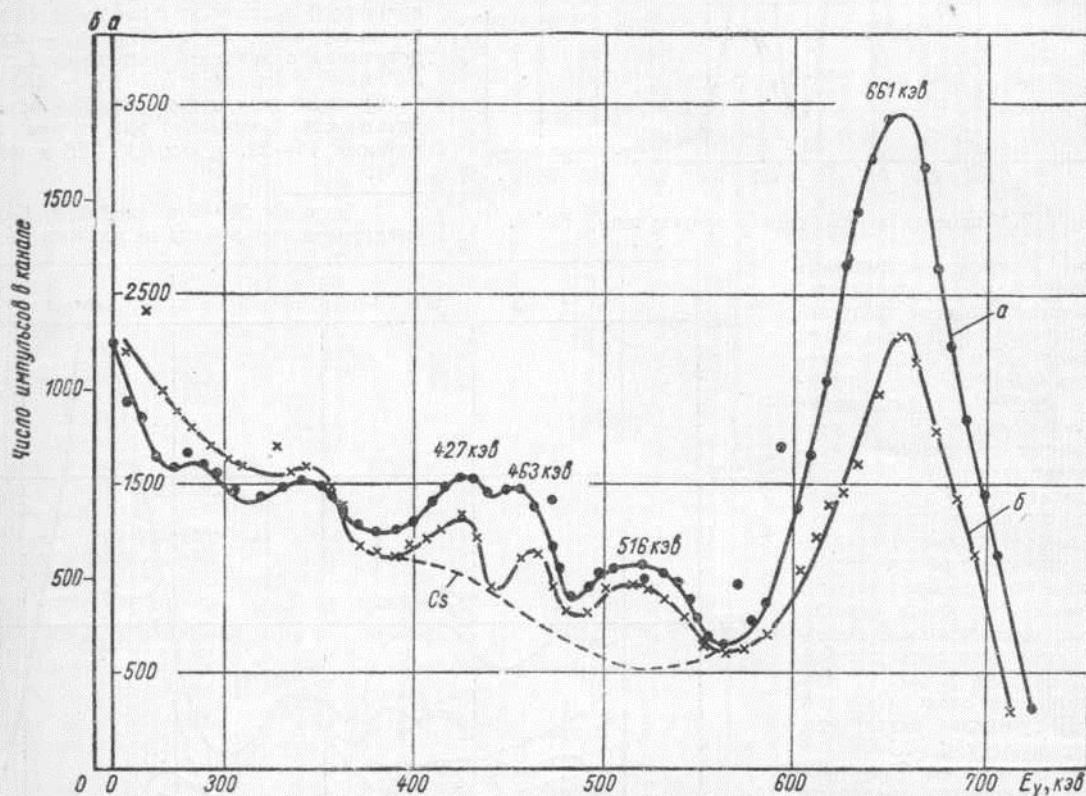


Рис. 2. Энергетический спектр γ -излучения долгоживущих осколков деления в пробах 10 (a) и 16 (б) (см. табл. 3).

долгоживущему осколочному изотопу (с продолжительностью жизни, большей, чем у Cl^{144} и Ru^{106}), относительная активность которого со временем увеличивается.

соответствовали двум максимальным энергиям β -спектра Sb^{125} (0,6 и 0,3 Мэв). Бета-частицы с энергией 0,128 Мэв этим способом выделены не были. Энергетический спектр γ -излучения Sb^{125} (рис. 3) также ука-

Таблица 2

Составление расчетных и экспериментальных данных при регистрации γ -излучения Sb^{125}

Экспериментальный выход на 100 распадов n_γ	Эффективность датчика ϵ_γ	Эффективный фотоэффект датчика P_γ	$n_\gamma \epsilon_\gamma P_\gamma$		Площадь фотопика, отн. ед.
			абсолютное значение	в относительных единицах	
6	1,00	0,95	5,7	24	25
29	0,90	0,33	8,7	41,1	46
9	0,87	0,31	2,4		
32	0,80	0,23	5,8	6,9	29
7	0,75	0,21	1,1		

ЛИТЕРАТУРА

1. О. И. Лейпунский. Гамма-излучение атомного взрыва. М., Атомиздат, 1959.
2. K. Löw, R. Björnerstedt. Arkiv fis., 13, 85 (1957).
3. R. Björnerstedt. Arkiv fis., 16, 293 (1959).
4. С. В. Иохельсон, Е. В. Шитов. «Изв. АН СССР. Сер. геофиз.», № 1, 96 (1959).
5. С. В. Иохельсон. Сборник работ по некоторым вопросам дозиметрии и радиометрии ионизирующих излучений. Вып. II. М., Госатомиздат, 1961, стр. 62.
6. Б. С. Дзелепов, Л. К. Пекер. Схемы распада радиоактивных ядер. М., Изд-во АН СССР, 1958.
7. D. Strominger, I. Hollander, G. Seaborg. Rev. of Modern Phys., 30, No. 2 (1958).

Таблица 3

Активность и компонентный состав долгоживущих осколков деления в пробах почвы и растительности *

Номер пробы	Проба	Активность, 10^{-13} кюри/г					Отношение активностей изотопов $Sb^{125} : Ru^{106} + Rh^{106} : Cs^{137} : Zr^{95} + Nb^{95}$
		Ce144+Pr144	Sb125	Pu106+Pl106	Cs137	Zr95+Nb95	
1	Почва	74	Не определена	10	43	168	— : 0,14 : 0,18 : 2,3 : 1,0
2		19	То же	7	2	20	— : 0,37 : 0,10 : 1,0 : 1,0
3		75	» »	16	12	86	— : 0,21 : 0,16 : 1,2 : 1,0
4		40	» »	34	3	57	— : 0,85 : 0,08 : 1,4 : 1,0
5		28	» »	32	2	51	— : 1,14 : 0,07 : 1,8 : 1,0
6		67	» »	42	3	42	— : 0,63 : 0,04 : 0,6 : 1,0
7		90	7	7	19	0	0,07 : 0,08 : 0,19 : — : 1,0
8		185	6	27	51	0	0,03 : 0,15 : 0,28 : — : 1,0
9		164	7	30	49	0	0,04 : 0,18 : 0,30 : — : 1,0
10		76	6	17	46	0	0,08 : 0,17 : 0,60 : — : 1,0
11		24	4	15	5	0	0,16 : 0,62 : 0,21 : — : 1,0
12		64	6	17	22	0	0,09 : 0,27 : 0,34 : — : 1,0
13		Хвоя сосны	1410	132	371	384	0
14	Хвоя и ветки молодой ели	1770	78	182	550	0	0,04 : 0,10 : 0,31 : — : 1,0
15	Хвоя ели	495	14	20	224	0	0,03 : 0,04 : 0,45 : — : 1,0
16	Ветки и листья березы	1780	12	48	191	0	0,01 : 0,03 : 0,11 : — : 1,0
17	Ветки и хвоя сосны	650	30	—	76	0	0,05 : — : 0,12 : — : 1,0

* Время отбора и измерения проб 1-6—октябрь 1959 г. Для проб 7-17 отбор проведен в июле 1960 г., а измерения— в мае 1961 г.

Приносим благодарность за помощь в работе М. Н. Гречушкиной и Ю. А. Израэлю.

8. W. Anderson et al. Nature, 187, 550 (1960).
9. K. Edvarson, L. Kertin. Nature, 188, 125 (1960).
10. R. Lapp. Bull. Atomic Scientists, 15, 181 (1959).

Поступило в Редакцию 28/VI 1962 г.

