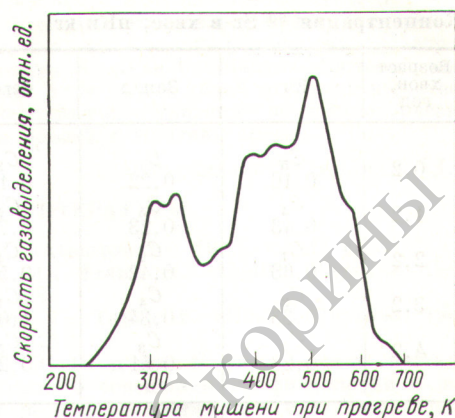


НИЕМ

$$Aj(t) = kS [p(t) - p_0] + kV \frac{dp(t)}{dt},$$

где $k = 3,27 \cdot 10^{19}$ мол/(л·мм рт. ст.) при 20°C ; p_0 — базовое давление до прогрева, мм рт. ст.; j — скорость газовой выделенности из образца, мол/(см²·с); A — его площадь, см². Поэтому если характеристическое время откачки камеры $\tau = V/S$ мало, то $j = \text{const } p^*(t)$, где $\text{const} = kS/A$, $p^*(t) = p(t) - p_0$, т.е. $j(t)$ приблизительно прямо пропорционально давлению $p^*(t)$ в любой момент времени t . Полное количество выделенных частиц пропорционально площади под кривой $j(t)$. Такой метод изучения газовой выделенности можно назвать динамическим, поскольку наряду с выделением газа в рабочую камеру происходит его откачка из нее, в результате чего и достигается пропорциональность $j \sim p^*$, в отличие от статического метода накопления, когда $S = 0$ и $j \sim dp/dt$. Это исключает необходимость дифференцирования сигнала ИПДО при измерении температурных или временных зависимостей скорости газовой выделенности.

Эксперименты по газовой выделенности гелия, дейтерия, водорода, проведенные на данном приемнике ионов, показали, что кривые $j(t)$ состоят из нескольких пиков. На рис. 2 для примера представлены кривые газовой выделенности дейтерия из молибдена. Это свидетельствует о разнообразии механизмов захвата и удержания частиц в металле. Температурное положение каждого пика характеризует и оценивает количественно энергию связи групп частиц в металле (Писарев А. А., Писарев В. А. «Атомная энергия», 1974, т. 37, вып. 4, с. 340). При этом возникает вопрос о точности выполнения соотношения $j \sim p^*$. Расчеты свидетельствуют, что при достаточно медленном нагреве образцов и малой постоянной времени откачки камеры обеспечивается



Р и с. 2. Кривая газовой выделенности дейтерия из молибдена при прогреве его после облучения нейтронами D_2^+ с энергией 15 кэВ при температуре 220 К дозой $6 \cdot 10^{15}$ ион/см²

пропорциональность j и p^* . В данном приемнике для $\tau \approx 0,1$ с ($V = 1,5$ л и $S = 15$ л/с) скорость газовой выделенности пропорциональна давлению p^* с точностью не хуже 4% для максимума отдельного пика $j(t)$ и не хуже 1% на перегибе кривой $j(t)$. Разница между временами появления максимумов $j(t)$ и $p^*(t)$ не более 0,5%. Поэтому общая погрешность измерений определяется лишь классом используемого измерителя парциальных давлений.

Поступило в Редакцию 4.XI.77

УДК 621.039.76:632.15:539.173.8

Биоиндикация аэрозольных продуктов ядерного деления по хвое сосны обыкновенной

ПИСКУНОВ Л. И., ТРЕЙГЕР С. И.

Благодаря адсорбционным свойствам сосновая хвоя является эффективным биоиндикатором радиоактивного загрязнения приземного воздуха [1—4], она может задерживать около 90% оседающих радиоизотопов стронция и цезия [2,5]. С учетом разных условий (возраст деревьев, сомкнутость крон и др.) для сосновой хвои коэффициент задерживания радионуклидов может изменяться от 70 до 100% [6]. В районе Белоярской АЭС (БАЭС) хвоя сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) давно используется для оценки радиационной обстановки [7]. К настоящему времени получены новые данные о закономерностях накопления аэрозольных продуктов ядерного деления в связи с возрастом хвои и в зависимости от ориентировки кроны деревьев относительно факела выбросов.

В конце июля 1974 г. в четырех точках наблюдаемой зоны БАЭС (к северу, востоку, югу и западу от главного корпуса), расположенных согласно многолетней розе ветров, на участках наиболее вероятного приземления факела выбросов [8], отбирали пробы хвои

в возрасте 0,2; 1,2; 2,2; 3,2 и 4,2 года. Хвою ощипывали с нижней части кроны, обращенной к БАЭС, с соснового подростка в возрасте 15—20 лет. Сырая биомасса проб составляла 400—800 г. Одновременно такие же пробы отбирали на контрольной точке (КТ) вне зоны влияния выбросов БАЭС, а также на участке с подветренной стороны (ПС) в 20 км в северо-восточном направлении от станции. Пассивный эксперимент проводили по схеме латинского квадрата 5×5 [9]. Первичная обработка проб и радиохимический анализ препаратов на ^{90}Sr и $^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$ выполняли по стандартным методикам. При этом ^{90}Sr определяли по равновесному ^{90}Y , поэтому учитывалась доля активности ^{91}Y в смеси $^{90}\text{Y} + ^{91}\text{Y}$ [10]. Для β -радиометрии препаратов была использована малофоновая установка Б-4 со счетчиком СБТ-13, для γ -спектрометрии — кристалл NaI(Tl) с коллоидом объемом ~ 20 см³ и анализатор АИ-128. Продолжительность измерений выбирали такой, чтобы статистическая погрешность не превышала 10%. Для расчета удельной активности определяли воздушно-

Концентрация ⁹⁰Sr в хвое, нКи/кг

Таблица 1

Возраст хвои, год	Юг	Запад	Север	Восток	КТ	\bar{A}_i
0,2	C_5 0,16	C_1 0,22	C_3 0,19	C_2 0,18	C_4 0,15	0,18±0,01
1,2	C_4 0,43	C_5 0,23	C_2 0,71	C_1 0,33	C_3 0,23	0,39±0,09
2,2	C_1 0,63	C_2 0,42	C_4 0,58	C_3 0,46	C_5 0,30	0,48±0,06
3,2	C_3 0,33	C_4 0,34	C_1 1,00	C_5 0,40	C_2 0,53	0,52±0,13
4,2	C_2 0,28	C_3 0,51	C_5 0,27	C_4 0,46	C_1 0,46	0,40±0,05
\bar{B}_j	0,37±0,08	0,34±0,06	0,55±0,15	0,37±0,05	0,33±0,07	0,39
\bar{C}_k	0,53±0,14	0,42±0,09	0,34±0,06	0,39±0,07	0,27±0,04	0,39

Результаты дисперсионного анализа латинских квадратов 5×5*

Таблица 2

Источник дисперсии	Фактор	f	$\Sigma\beta$			⁹⁰ Sr			¹³⁷ Cs			144Ce + 144Pr		
			MS	F _э	$\frac{F_{\text{э}}}{F_{0,05}}$	MS	F _э	$\frac{F_{\text{э}}}{F_{0,05}}$	MS	F _э	$\frac{F_{\text{э}}}{F_{0,05}}$	MS	F _э	$\frac{F_{\text{э}}}{F_{0,05}}$
Возраст хвои	A	4	2,18**	1,60	0,49	0,094	4,48	1,37	0,42	3,82	1,17	8,43	6,29	1,93
			1,31	1,12	0,34	0,086	4,10	1,26	0,38	4,22	1,29	0,050	4,54	1,39
Влияние выбросов	B	4	2,58	1,90	0,58	0,035	1,67	0,51	0,14	1,27	0,39	1,52	1,13	0,35
			4,78	4,08	1,25	0,040	1,90	0,58	0,13	1,44	0,44	0,013	1,18	0,36
Однородность	C	4	2,08	1,53	0,47	0,045	2,14	0,66	0,10	1,10	0,19	0,34	3,94	0,67
			2,28	1,95	0,60	0,045	2,14	0,66	0,09	1,00	0,31	0,004	2,75	0,46
Остаток	—	12	1,36	—	—	0,021	—	—	0,11	—	—	1,34	—	—
			1,47	—	—	0,021	—	—	0,09	—	—	0,011	—	—

* f — число степеней свободы; MS — средний квадрат; F_э и F_{0,05} — экспериментальное и табличное значения F-критерия.
 ** Первая строка — данные для латинского квадрата с включением подветренной стороны (ПС), вторая — для квадрата с контрольной точкой (КТ).

Средняя концентрация радионуклидов в хвое, нКи/кг

Таблица 3

Точки наблюдений	Расстояния от БАЭС, км	$\Sigma\beta$	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	144Ce + 144Pr
Север	5	7,1±0,5	0,55±0,15	0,56±0,09	4,5±0,7
ПС	20	6,5±0,6	0,41±0,08	0,61±0,13	4,4±0,9
Восток	3,5	8,2±0,9	0,37±0,05	0,63±0,07	5,4±0,7
Юг	7	7,1±0,4	0,37±0,08	0,52±0,08	4,9±0,7
Запад	15	6,4±0,3	0,34±0,06	0,44±0,04	3,9±0,4
КТ	110	5,6±0,2	0,33±0,07	0,49±0,11	3,7±0,6

сухую биомассу хвои. Статистическая обработка наблюдений в соответствии с типовым алгоритмом вычислений [9] была выполнена на ЭВМ «Мир-1».

Таким образом, изучены накопление ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$ в хвое в зависимости от ее возраста, влияния воздушных выбросов БАЭС (в связи с розой ветров), а также однородность распределения радионуклидов в хвое. Однородность оценивали способом рандомизации. В указанной последовательности факторы обозначались символами A , B и C (табл. 1 и 2). Для сравнения в табл. 2 приведены результаты дисперсионного анализа суммарной β -активности хвои ($\Sigma\beta$).

Видно, что дисперсия концентрации радионуклидов значительно отличается только в связи с возрастом хвои. В приведенном примере (см. табл. 1) концентрация ^{90}Sr с возрастом хвои увеличивается нелинейно, а в четырехлетней хвое становится несколько меньше, возможно за счет естественной потери радиоактивности к концу жизни хвои. Подобная картина для разновозрастной хвои наблюдается также в накоплении ^{137}Cs и $^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$. Во всяком случае наибольший градиент концентрации радионуклидов достигается в однолетней хвое.

Статистически существенное влияние выбросов БАЭС нигде не фиксируется, однако отношение $F_0/F_{0,05}$ несколько больше при использовании в анализе данных по контрольной точке (см. табл. 2). Поэтому можно утверждать о незначительном проявлении аэрозольных выбросов БАЭС в виде радиоактивной метки. В частности, это видно из сравнения средней концентрации ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$ в хвое по основным направлениям розы ветров и относительно контрольной точки (табл. 3). С наветренной стороны (к западу от БАЭС) концентрация радионуклидов в хвое такая же, как и вне наблюдаемой зоны.

Эксперимент свидетельствует о положительных результатах и чувствительном механизме радиацион-

ного контроля в зонах АЭС по сосновой хвое (с учетом ее возраста). В связи с этим целесообразно разработать методику количественной оценки радиоактивного загрязнения приземного воздуха с помощью сосновой хвои с последующим включением такой методики в соответствующие инструктивные указания по дозиметрическому контролю объектов внешней среды.

Поступило в Редакцию 9.XI.77

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Szepe R. «Atompraxis», 1965, v. 11, p. 391.
2. Witkamp M., Frank M. «Health Physics», 1967, v. 13, p. 985.
3. Witherpoon J., Taylor F. «Health Physics», 1969, v. 17, p. 825.
4. Пискунов Л. И. и др. В кн.: Тезисы докладов III Уральского совещания по физиологии и экологии древесных растений. Уфа, изд. Ин-та биологии Башкирского филиала АН СССР, 1970, с. 238.
5. Тихомиров Ф. А. и др. «Лесоведение», 1971, № 1, с. 56.
6. Алексахин Р. М., Нарышкин М. А. В кн.: Современные вопросы лесоведения и лесной биогеоценологии. М., «Наука», 1974, с. 184.
7. Трейгер С. И. и др. В кн.: Материалы V научно-практической конференции по радиационной гигиене. Л., изд. НИИ радиационной гигиены, 1967, с. 172.
8. Пискунов Л. И. «Атомная энергия», 1972, т. 33, вып. 5, с. 913.
9. Маркова Е. В., Лисенков А. Н. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей. М., «Наука», 1973.
10. Пискунов Л. И. «Радиохимия», 1967, т. IX, вып. 2, с. 266.

УДК 539.173.84

Оценка спектра нейтронов деления ^{235}U по результатам интегральных экспериментов

ГРИГОРЬЕВ Е. И., НОЗДРАЧЕВ С. Ю., ЯРЫНА В. П.

Спектр нейтронов деления ^{235}U тепловыми нейтронами до сих пор является объектом внимания исследователей. Среди значительного числа теоретических и эмпирических представлений спектра чаще других используются описания Ватта, Крамберга и Грандла [1]:

$$\varphi_W(E) = 0,484 \exp(-E) \operatorname{sh} \sqrt{2E}; \quad (1)$$

$$\varphi_C(E) = 0,453 \exp(-E) \operatorname{sh} \sqrt{2,29E}; \quad (2)$$

$$\varphi_G(E) = 0,77E^{0,5} \exp(-0,776E). \quad (3)$$

Здесь и далее E — энергия нейтронов, МэВ, а спектры нормированы по условию

$$\int_0^{\infty} \varphi(E) dE = 1. \quad (4)$$

Расхождение этих описаний особенно значительно при энергии нейтронов >10 МэВ и достигает 50—80% (см. рисунок). Поэтому продолжают уточнения спектра нейтронов деления ^{235}U (например, [2], [3]). Наибо-

лее поздней оценкой, основанной на анализе дифференциальных экспериментов, является работа Грандла [4]:

$\varphi_{G2}(E) = \mu(E) [0,7501 E^{0,5} \exp(-0,7614 E)]$, (5) где поправочная функция $\mu(E)$ задана в различных диапазонах энергии нейтронов выражениями

$$1 + 0,8E - 0,153 \text{ при } E \text{ до } 0,25 \text{ МэВ};$$

$$1 - 0,14E + 0,082 \text{ при } E \text{ от } 0,25 \text{ до } 0,8 \text{ МэВ};$$

$$1 + 0,040E - 0,062 \text{ при } E \text{ от } 0,8 \text{ до } 1,5 \text{ МэВ};$$

$$1 + 0,01E - 0,017 \text{ при } E \text{ от } 1,5 \text{ до } 6,0 \text{ МэВ};$$

$$1,043 \exp[-0,0575(E - 6)] \text{ при } E > 6 \text{ МэВ}.$$

Исходными данными для определения спектра нейтронов деления в настоящей работе служат экспериментальные значения средних сечений пороговых реакций, установленные авторами в работе [5]. С учетом условия (4) среднее сечение σ и дифференциальный