

УДК 621.039.76

Радиационный мониторинг окружающей среды в динамике

ПСКУНОВ Л. И., ГУЩИН В. М.

Выявление различных изменений в состоянии окружающей природной среды выражается в обобщающем понятии мониторинга [1]. Аналогичную систему специальных наблюдений за радиационной обстановкой можно назвать радиационным мониторингом.

Идея оптимизации радиационного контроля в зонах наблюдения АЭС путем математического планирования отбора проб внешней среды [2,3] находит продолжение в виде мониторинга в динамике: если продолжать отбор проб внешней среды в течение n лет по схеме $n \times n$ латинского квадрата (л.к.), то можно преобразовать последние в $n \times n \times n$ латинский куб [4]. Рассмотрим структуру и результаты радиационного мониторинга в зонах наблюдения Белоярской АЭС им. И. В. Курчатова в 1974—1977 гг.

Основная масса населения живет в южной части зоны наблюдения на расстоянии 6—10 км от БАЭС, поэтому окружающую местность разделили на четыре пояса через 2 км и четыре сектора через 90° (румбы: север, восток, юг и запад), т. е. по схеме л. к. 4×4 [2]. В качестве объектов мониторинга приняли почвенный покров глубиной 0—5 см (дерн), снежный покров, образовавшийся за зимний сезон, на всю его мощность, однолетнюю сосновую хвою как эффективный фитоиндикатор радиоактивного загрязнения [5] и повсеместно распространенное травяни-

стое растение — щучку дернистую. Отбор почвенно-растительного покрова проводили во второй половине июля каждого года. В обозначениях л.к. [4] пояса соответствуют фактору A , сектора — фактору B , объекты среды — фактору C .

Каждый год дисперсионный анализ результатов наблюдений (и, следовательно, их оценку и выводы) делали по обычной схеме л. к. [2,4]. В 1974 г. выбор объектов мониторинга выполнили способом рандомизации (табл. 1 и производная от нее табл. 2). В последующие годы отбор проб проводили согласно циклической перестановке объектов в ячейках л. к. За четыре года (1974—1977) получим латинский куб $4 \times 4 \times 4$ (см. рисунок). Для получения безразмерных величин использовали отношения концентраций радионуклидов (в дерне, травянистом растении, хвое

Таблица 1

Планирование и результаты наблюдений по схеме л. к. 4×4 в 1974 г.

Пояс, км	Содержание ^{90}Sr в объектах внешней среды по секторам, отн. ед.				$\bar{A}_i$ (среднее по строкам)
	Север (315—45°)	Восток (45—135°)	Юг (135—225°)	Запад (225—315°)	
2—4	Дерн 3,33	Снег 1,73	Хвоя 0,81	Щучка* 4,50	$2,6 \pm 0,8$
4—6	Щучка 2,00	Дерн 1,27	Снег 2,77	Хвоя 2,30	$2,1 \pm 0,3$
6—8	Хвоя 2,86	Щучка 5,67	Дерн 4,60	Снег 1,77	$3,7 \pm 0,9$
8—10	Снег 5,91	Хвоя 2,89	Щучка 2,94	Дерн 17,70	$7,4 \pm 3,5$
$\bar{B}_j$ (среднее по графам)	$3,5 \pm 0,8$	$2,9 \pm 1,0$	$2,8 \pm 0,8$	$6,6 \pm 3,6$	$3,9 \pm 1,3$

* Щучка дернистая — травянистое растение.

		Секторы				
		север	восток	юг	запад	
Пояс, км	2—4	1	2	3	4	1974 г.
	4—6	4	1	2	3	
	6—8	3	4	1	2	
	8—10	2	3	4	1	
	2—4	4	1	2	3	1975 г.
	4—6	3	4	1	2	
	6—8	2	3	4	1	
	8—10	1	2	3	4	
	2—4	3	4	1	2	1976 г.
	4—6	2	3	4	1	
	6—8	1	2	3	4	
	8—10	4	1	2	3	
	2—4	2	3	4	1 *	1977 г.
	4—6	1	2	3	4 *	
	6—8	4	2	1	3 *	
	8—10	3	4	1	2 *	

Планирование мониторинга в 1974—1977 гг. по схеме латинского куба $4 \times 4 \times 4$: 1 — дерн; 2 — снежный покров; 3 — однолетняя сосновая хвоя; 4 — травянистое растение (щучка дернистая); * — контроль

Таблица 2

Содержание ^{90}Sr в объектах мониторинга (1974 г.)

Объект	Север	Восток	Юг	Запад	$\bar{C}_h$ (среднее по строкам)
Дерн	3,33	1,27	4,60	17,7	$6,7 \pm 3,7$
Снег	5,91	1,73	2,77	1,77	$3,0 \pm 1,2$
Хвоя	2,86	2,89	0,81	2,30	$2,2 \pm 0,5$
Щучка	2,00	5,67	2,94	4,50	$3,8 \pm 0,8$
$\bar{B}_j$ (среднее по графам)	$3,5 \pm 0,8$	$2,9 \pm 1,0$	$2,8 \pm 0,8$	$6,6 \pm 3,6$	$3,9 \pm 1,3$

и снежном покрове) к результатам соответствующих измерений 1977 г. с наветренной стороны, т. е. к западу от БАЭС.

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью ЭВМ «Наири». Она заключалась в подсчете среднего содержания ^{90}Sr , ^{137}Cs и других радионуклидов в объектах мониторинга в связи со случайным расположением последних относительно источника примеси в течение четырехлетнего периода, характеризующегося дискретным фактором D (табл. 3). Затем выполняли дисперсионный анализ для латинского куба по стандартному алгоритму [4]. Пример такого анализа ^{90}Sr приведен в табл. 4.

Метод латинских квадратов и кубов благодаря их свойствам [4] пригоден для выявления неоднородностей в изучаемых факторах. Кроме того, на основе объективного статистического анализа, при котором используются мощные F - и t -критерии, интерпретация промежуточных и конечных результатов не вызывает затруднений. Так, из табл. 1 и 2 видно, что наибольшее содержание ^{90}Sr обнаружено в поясе 8–10 км ($\bar{A}_i = 7,4 \pm 3,5$) к западу от БАЭС ($\bar{B}_j = 6,6 \pm 3,6$) и обусловлено загрязнением дерна. Здесь преимущественно распространен сосновый лес, значи-

Таблица 4

Дисперсионный анализ данных о содержании ^{90}Sr в объектах внешней среды по схеме латинского куба $4 \times 4 \times 4$

Источник изменчивости	Фактор	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	Критерий Фишера	
					F_D	$F_D/F_{0,05}$
Пояса	A	3	62,9	20,95	2,59	0,91
Секторы	B	3	14,3	4,76	1,70	0,20
Объекты	C	3	31,3	10,43	1,29	0,45
Годы	D	3	100,2	33,41	4,13	1,45
Остаток	—	51	412,5	8,09	—	—
Итого:		63	621,2			

тельная часть участка покрыта болотистыми почвами, являющимися хорошими сорбентами ^{90}Sr . Такой участок оказался единственным, он расположен с наветренной стороны БАЭС и, кроме того, на относительно большом расстоянии. Поэтому отмечено случайное проявление повышенного содержания ^{90}Sr , возможно, за счет недостаточной репрезентативности проб дерна. Содержание ^{90}Sr в объектах среды на остальных участках не различается с доверительной вероятностью 0,95.

Данные табл. 3 свидетельствуют об уменьшении в 1977 г. среднего содержания ^{90}Sr более чем в три раза. Дисперсионный анализ также показывает существенное различие по годам (см. табл. 4), так как для этого случая отношение $F_D/F_{0,05} > 1$, точнее $F_D/F_{0,05} = 1,45$, где F_D и $F_{0,05}$ — соответственно расчетное и табличное (при уровне значимости 0,05) значения критерия Фишера. Проверка гипотезы о средних значениях по t -критерию также показывает существенное различие ($t_D/t_{0,05} > 1$). Полученные данные объясняются значительным повышением концентрации продуктов ядерного деления в 1974 г., ко-

Таблица 3

Среднее содержание ^{90}Sr в объектах мониторинга в 1974–1977 гг., отн. ед.

По поясам		По секторам		В объектах		По годам	
Расстояние, км	$\bar{A}_i$	Румб	$\bar{B}_j$	Объект	$\bar{C}_h$	Год	$\bar{D}_0$
2–4	$2,0 \pm 0,4$	Север	$2,5 \pm 0,4$	Дерн	$2,5 \pm 1,2$	1974	$3,9 \pm 1,2$
4–6	$1,5 \pm 0,3$	Восток	$2,6 \pm 1,2$	Трава	$2,6 \pm 0,4$	1975	$3,5 \pm 1,2$
6–8	$2,2 \pm 0,4$	Юг	$1,7 \pm 0,3$	Хвоя	$1,4 \pm 0,2$	1976	$1,2 \pm 0,2$
8–10	$4,1 \pm 1,2$	Запад	$3,0 \pm 1,2$	Снег	$3,4 \pm 1,2$	1977	$1,2 \pm 0,2$
	$\Sigma 9,8$		$\Sigma 9,8$		$\Sigma 9,8$		$\Sigma 9,8$

торое наблюдалось также в других районах страны за счет свежих глобальных выпадений [6]. По другим источникам изменчивости, в частности по поясам и секторам, различия отсутствуют. Приведенные данные свидетельствуют о том, что содержание ^{90}Sr в объектах внешней зоны БАЭС варьирует на фоновом уровне. Примерно такая же картина наблюдается для других продуктов деления.

Для радиационного мониторинга в динамике можно использовать и другие индикаторы загрязнения внешней среды, а также прямые методы, в частности измерения γ -фона и определения поглощенной дозы (с помощью термoluminesцентных дозиметров), обусловленной выбросом радиоактивных благородных газов.

Если учесть уточнение процедуры рандомизации в виде случайной перестановки объектов по

каждому уровню фактора D [7], то возможности практического применения описанной системы мониторинга оказываются еще более перспективными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Израэль Ю. А. Докл. АН СССР, 1976, т. 226, № 4, с. 955.
2. Пискунов Л. И., Гущин В. М., Трейгер С. И. Атомная энергия, 1978, т. 44, вып. 1, с. 83.
3. Пискунов Л. И. и др. Гигиена и санитария, 1978, № 9, с. 94.
4. Маркова Е. В., Лисенков А. Н. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей. М., Наука, 1973.
5. Пискунов Л. И., Трейгер С. И. Атомная энергия, 1978, т. 45, вып. 3, с. 223.
6. Зыкова А. С. и др. Гигиена и санитария, 1979, № 10, с. 28.
7. Маркова Е. В., Прис Д. А. Заводск. лаборатория, 1978, т. 44, № 10, с. 1231.

Поступила в Редакцию 26.06.79

Рефераты статей

(Окончание. Начало см. на 2-й стр. обложки.)

УДК 621.039

Герасимов А. С., Рудик А. П. Вырожденные оптимальные режимы облучения изотопов. — Атомная энергия, 1981, т. 50, вып. 1, с. 39.

Анализируется специфика решения задачи об оптимальном облучении изотопов в том случае, когда нет распадных звеньев, а спектр нейтронов может быть представлен в двухгрупповом приближении. Получен общий характер оптимального режима, и на простейшем примере продемонстрированы его основные свойства (рис. 2, список лит. 6 назв.).

УДК 539.1.074.3

Соборнов О. П. Сцинтилляционный детектор гамма-излучения в различных условиях экранирования. — Атомная энергия, 1981, т. 50, вып. 1, с. 43.

В некоторых лучших отечественных низкофоновых лабораториях определены фоновые характеристики сцинтилляционного блока с кристаллом NaI(Tl) диаметром 76×76 мм. Сравнены и проанализированы результаты измерений вкладов отдельных компонентов излучения в фон гамма-спектрометра (рис. 3, табл. 4, список лит. 14 назв.).

УДК 621.039.7.14

Конюхов А. Л., Баранов М. А., Синюкова Н. К., Хамьянов Л. П. О связи контрольных значений сброса жидких радиоактивных отходов и контрольных концентраций радионуклидов в воде открытых водоемов. — Атомная энергия, 1981, т. 50, вып. 1, с. 50.

В работе вычисляется относительная радиационная емкость водоема-охладителя АЭС. Рассматривается влияние процессов перераспределения радиоактивных растворов, а также седиментации радиоактивных золь на величину концентрации радионуклидов в воде и в грунте дна. Показано, что для рассматриваемого водоема процесс седиментации является основным при оценке опасности, которую может представлять водоем-охладитель АЭС для внешней среды (рис. 2, список лит. 6 назв.).

УДК 621.039.76

Пискунов Л. И., Гущин В. М. Радиационный мониторинг окружающей среды в динамике. — Атомная энергия, 1981, т. 50, вып. 1, с. 53.

Рассматривается оптимизация радиационного контроля в зоне наблюдения Белоярской АЭС путем математического планирования отбора проб внешней среды в течение 1974—1977 гг. Дисперсионный анализ показывает отсутствие существенных различий в содержании ^{90}Sr на всех участках зоны наблюдения. В одном случае отмечена концентрация ^{90}Sr , превышающая в два раза фоновые значения, за счет его накопления в гумусовом слое дерна. Радиационный мониторинг по схеме латинских квадратов и кубов отличается чувствительным механизмом для выявления неоднородностей в изучаемых факторах при сокращенном объеме наблюдений (рис. 1, табл. 4, список лит. 7 назв.).

ПОПРАВКА

В ст. Д. Якеша и др. "Ионные термометры в реакторной технике" (1980, т. 49, вып. 6) на с. 369 в табл. 2 (5-я графа 8-я строка снизу) следует читать: 1,42% в Кест.