

## Исследование радиоактивных загрязнений вокруг ядерного реактора ИРТ-1000

И. Т. Мишев, М. А. Радичева, Т. М. Трошев  
(Физический институт Болгарской академии наук, София)

За несколько месяцев до пуска реактора ИРТ-1000 близ Софии была измерена удельная  $\beta$ -активность проб почвы, растений, воды открытых водоемов и аэрозолей. Этот контроль продолжается в настоящее время. На основании результатов измерений сделан вывод, что со дня пуска (сентябрь 1961 г.) до конца 1962 г. вокруг реактора не обнаружено радиоактивных загрязнений, количество которых превышает фоновые величины.

Вокруг предприятий атомной промышленности, реакторов, радиохимических лабораторий, урановых рудников существует потенциальная опасность радиоактивного загрязнения атмосферы и земной поверхности радиоактивными веществами. Такое загрязнение особенно опасно близ населенных пунктов и в районах, где выращиваются различные сельскохозяйственные культуры. Источниками загрязнений подобного рода могут быть значительные количества радиоактивных аэрозолей и газов, выбрасываемых из вентиляционных труб [1—3].

При нарушении герметичности тепловыделяющих элементов ядерных реакторов в атмосферу могут выбрасываться осколки деления горючего, в том числе газообразные криптон, ксенон, йод и т. д. [4]. Кроме того, при нормальной работе ядерного реактора в атмосферу обычно выбрасывается радиоактивный  $\text{Ag}^{41}$ , образующийся в результате активации находящегося в воздухе  $\text{Ag}^{40}$ . При нормальной работе реактора возможен также выброс в атмосферу радиоактивных аэрозолей из трубы реактора [5].

Ядерные испытания в атмосфере привели к загрязнению воздуха, почвы и растительности на больших территориях [6]. Это необходимо иметь в виду при определении загрязненности района вокруг реактора. Для исследования проб почвы, растений и воды требуется предварительная обработка проб с целью концентрирования активности в небольшом объеме, удобном для радиометрического или радиохимического анализа. В последнем случае необходимы значительно большие количества вещества [7]. Определение удельной активности проб почвы радиометрическим путем связано с предварительным озонением органических веществ при постоянных условиях. Измерения можно про-

водить после нанесения определенного количества вещества на подложку. Удобнее для этой цели предварительно изготавливать таблетки с помощью соответствующего связывающего вещества. В таком случае пробу можно сохранять и измерять многократно [8]. Удельную активность проб растительности также можно измерять одним из указанных выше способов. Для определения удельной активности проб воды чаще всего используют выпаривание [9]. Активность сухого остатка определяют либо непосредственно, либо после изготовления таблеток. Концентрацию аэрозолей можно измерять несколькими методами [7, 10].

В сентябре 1961 г. началась эксплуатация построенного недалеко от Софии ядерного реактора ИРТ-1000, доставленного из СССР. Для контроля радиационной чистоты района периодически измерялась активность проб почвы, растительности и воздуха.

### Радиоактивные загрязнения почвы

Места отбора проб, расположенные вокруг трубы реактора, показаны на рис. 1. Слои почвы толщиной 10 см отбирали на площади  $100 \text{ см}^2$  и очищали от примесей. Из этой массы 20 г озоляли до постоянного веса при температуре  $400^\circ \text{C}$ , после чего пробу истирали, просеивали, отбирали 600 мг и готовили круглые таблетки диаметром 24 мм и толщиной 1 мм\*. Для этого применяли плексигласовые шайбы толщиной 1 мм с шириной венка 3 мм (рис. 2); в качестве связывающего вещества использовали раствор цапон-лака в ацетоне. Результаты измерений удельной  $\beta$ -активности проб почвы (проведенных через 72 ч после отбора пробы) показаны в табл. 1. Для пересчета показаний радиометрической установки ( $\text{имп/мин}$ ) к активности препарата здесь и далее был использован калиевый стандарт. Видно, что средняя удельная активность почвы в выбранных точ-

\* При такой массе толщина таблетки обеспечивает максимальную скорость счета. Поскольку при этом проявляется самопоглощение  $\beta$ -излучения, истинную скорость счета определяли после введения поправки на этот эффект.

ках почти одинакова. Суммарная удельная  $\beta$ -активность почвы с течением времени не увеличивалась. Это указывает на то, что радиоак-

тивность в этом месте удельная активность составила  $(27 \pm 6,1)$  пкюри/г, что практически совпадает с результатами измерений близ реактора.

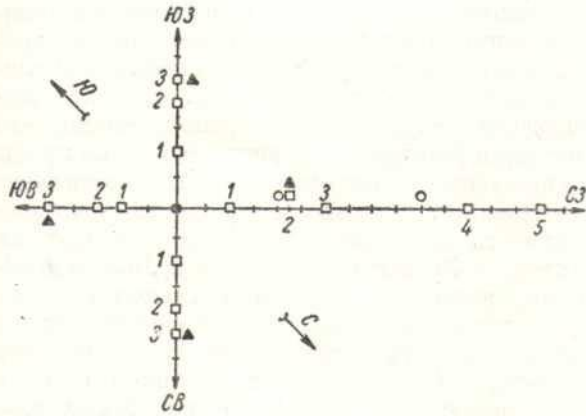


Рис. 1. Схема расположения пунктов отбора проб вблизи трубы реактора:

● — труба реактора; □ — растение; ▲ — почва; ○ — воздух. Направления: СЗ (1 — гряда 200 м, 2 — гряда 450 м, 3 — гряда 600 м, 4 — фруктовый сад 1200 м, 5 — поля 1500 м); СВ (1 — гряда 200 м, 2 — поля 400 м, 3 — поля 500 м); ЮЗ (1 — гряда 200 м, 2 — поля 300 м, 3 — поля 500 м); ЮВ (1 — декоративные растения 80 м, 2 — поля 200 м, 3 — поля 500 м).

тивное загрязнение в общем и со стороны ядерного реактора, в частности, не возрастает.

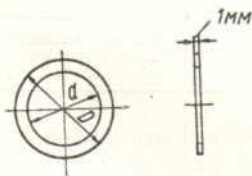


Рис. 2. Плоскостная шайба для почвенных и растительных проб ( $d = 24$  мм;  $D = 30$  мм).

Для сравнения в точке, отстоящей от реактора на расстоянии 100 км, также отбирали и радиометрически анализировали пробы почвы. В

### Радиоактивные загрязнения растительности

Для контроля радиационной чистоты около реактора были посажены различные сельскохозяйственные растения\*. Кроме того, в качестве опытных участков использовались также и поля, засаженные различными культурами. Таким образом, вокруг реактора были созданы опытные участки, показанные на рис. 1. С этих участков отбирали пробы, которые после промывания озоляли при температуре  $600^\circ \text{C}$ . Из полученной золы изготавливали таблетки указанным выше способом, отбирая всего 200 мг золы\*\*. Измерение  $\beta$ -активности проводилось также через 72 ч после отбора пробы. Сравнительные результаты этих определений показаны в табл. 2.

Видно, что в течение двух лет ни у одного из указанных видов растений не обнаружилось увеличения содержания радиоактивных элементов. Абсолютная  $\beta$ -активность некоторых проб растительности приведена в табл. 3. Измерением кривых поглощения  $\beta$ -излучения в алюминии было установлено, что активность, накопленная различными видами растений, довольно существенно отличается. Так, например, листья и шелуха фасоли начиная с 23 июня 1962 г. содержали радиоактивные элементы с энергией  $\beta$ -излучения меньше  $0,6 \text{ Мэв}$ , в то время как стебли пшеницы с того же времени показали наличие  $\beta$ -излучателей с энергией

\* Уход за опытными участками осуществляли сотрудники Института растениеводства Академии сельскохозяйственных наук БНР.

\*\* При такой массе нет необходимости вводить поправку на  $\beta$ -излучения в пробе.

Таблица 1

Удельная  $\beta$ -активность проб почвы в 1962 г., пкюри/г

Номер пробы	Направление от трубы реактора (см. рис. 1)	Расстояние от реактора, м	Месяц											
			Январь	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь		
1	ЮЗ	500	$21 \pm 5,5$	$30 \pm 5,4$	$19 \pm 5,4$	$23 \pm 5,6$	$27 \pm 4,8$	$28 \pm 5,6$	$21 \pm 6,2$	$20 \pm 3,8$	$26 \pm 6,4$	$16 \pm 4,9$		
2	ЮВ	500	$17 \pm 5,5$	—	$27 \pm 8$	$18 \pm 4,8$	$33 \pm 7,6$	$25 \pm 5,8$	$15 \pm 6,1$	$18 \pm 6,5$	$18 \pm 4,8$	$19 \pm 7,0$		
3	СВ	500	$17 \pm 5,5$	$24 \pm 5,1$	$27 \pm 9,5$	$32 \pm 7,0$	$26 \pm 4,0$	$26 \pm 5,7$	$17 \pm 5,8$	$15 \pm 4,0$	$22 \pm 5,1$	$17 \pm 5,1$		
4	С	100	$15 \pm 5,8$	$32 \pm 6,8$	$19 \pm 5,3$	$28 \pm 5,5$	$18 \pm 4,0$	—	—	—	$18 \pm 5,1$	$17 \pm 5,1$		
5	СЗ	800	$18 \pm 5,5$	$25 \pm 5,4$	$32 \pm 5,6$	—	$24 \pm 4,6$	—	$15 \pm 5,7$	—	$17 \pm 5,4$	—		

1,3 Мэв. Детальный спектрометрический и радиохимический анализы, без которых нельзя установить компонентный состав радиоактивных загрязнений, будет предметом нашей будущей работы.

**Радиоактивные загрязнения канализационной воды и воды открытых водоемов**

Радиационная чистота воды из канализационной системы и открытых водоемов контролировалась методом выпаривания и измерения активности сухого остатка. Из табл. 4, в которой приведены результаты измерений, видно, что суммарная  $\beta$ -активность твердого остатка пробы водопроводной питьевой воды составляет 12 *пкюри/л*\*. Такого же порядка удельная активность канализационной воды в зданиях реактора и Физического института. Большие колебания концентрации радиоактивных веществ в воде реакторного бассейна (бассейн второго циркуляционного контура) можно объяснить различным содержанием атмосферной пыли в воде. Кроме того, вследствие колебаний температуры воздуха изменяется скорость естественного испарения воды бассейна. Для сравнения были измерены дополнительные пробы снега. Результаты показали, что удельная  $\beta$ -активность воды от таяния снега после филь-

\* Напомним, что предельно допустимая концентрация наиболее опасного из  $\beta$ -активных изотопов  $Sr^{90}$  в питьевой воде равна 30 *пкюри/л* [11].

Таблица 2

Сопоставление данных об удельной  $\beta$ -активности проб растительности в 1961 и 1962 гг.

Направление от реактора	Расстояние от реактора, м	Растение	Месяц	Удельная $\beta$ -активность, <i>пкюри/г</i>	
				1961 г.	1962 г.
ЮЗ	200	Подсолнечник (листья)	Июнь	224,0±14	264±16
СЗ	200	Кукуруза (зерна)	Август	182±14	213±14
СЗ	200	Свекла (листья)	Июнь	270±17	262±14
СЗ	200	Свекла (клубень)	Июнь	276±17	219±15
ЮЗ	200	Подсолнечник (листья)	Июнь	174±14	178,0±1

Таблица 3

**Удельная активность проб растительности**

Направление от реактора	Расстояние от реактора, м	Дата отбора пробы	Растение	Удельная активность по $K^{40}$ , <i>пкюри/г</i> золь
С	500	23/VI 1961 г.	Пшеница (колос)	58±5
С	200	22/VI 1961 г.	Вика (листья)	158±14
СЗ	200	22/VI 1961 г.	Свекла (клубень)	276±17
СЗ	200	22/VI 1961 г.	Свекла (листья)	270±17
СЗ	200	22/VI 1961 г.	Дерево (листья)	30±3,5
СЗ	200	22/VI 1961 г.	Дерево (ветки)	140±12
ЮЗ	200	22/VI 1961 г.	Овес (колос)	74±7
ЮЗ	200	22/VI 1961 г.	Кукуруза (листья)	194±19
ЮЗ	200	22/VI 1961 г.	Овес (листья + стебли)	161±13
ЮЗ	200	22/VI 1961 г.	Горох (листья + стебли)	116±9
ЮЗ	200	22/VI 1961 г.	Горох (шелуха)	81±7
ЮВ	200	6/VII 1961 г.	Кукуруза (листья)	360±21
ЮЗ	200	15/IX 1961 г.	Кукуруза (зерно)	182±14
СЗ	200	15/IX 1961 г.	Кукуруза (листья)	154±11
ЮЗ	200	15/IX 1961 г.	Кукуруза (зерно)	145±14
СЗ	1200	15/IX 1961 г.	Яблоки (сухой плод)	308±15
СЗ	1200	15/IX 1961 г.	Морковь (клубень)	174±14
СЗ	1200	15/IX 1961 г.	Сливы	264±15
ЮЗ	200	22/VI 1961 г.	Подсолнечник (листья)	174±14
ЮЗ	200	22/VI 1961 г.	Подсолнечник (стебли)	70±12
СЗ	1200	15/IX 1961 г.	Тыква	166±14
СЗ	200	23/VI 1962 г.	Фасоль (зеленые листья)	436±17
СЗ	600	10/VIII 1962 г.	Фасоль (желтые листья)	185±16
СЗ	600	10/VIII 1962 г.	Фасоль (шелуха)	149±15

Таблица 4

Удельная  $\beta$ -активность сухих остатков проб воды

Место отбора пробы	Дата	Удельная $\beta$ -активность, <i>пкюри/л</i>
Бассейн реактора (второй контур) . . . . .	2/IV 1962 г.	49 $\pm$ 7,2
То же	11/V 1962 г.	28 $\pm$ 7,4
» »	12/VI 1962 г.	29 $\pm$ 6,2
» »	7/IX 1962 г.	10 $\pm$ 2,3
» »	9/X 1962 г.	10 $\pm$ 2,5
» »	9/XI 1962 г.	38 $\pm$ 3,2
» »	10/XII 1962 г.	20 $\pm$ 2,9
Канализационная система здания реактора	29/VI 1962 г.	15 $\pm$ 3,0
Канализационная система Физического института . . . . .	29/VI 1962 г.	12 $\pm$ 3,0
	20/IX 1962 г.	14 $\pm$ 2,0
	18/XII 1962 г.	17 $\pm$ 2,0
Водопровод . . . . .	8/VI 1962 г.	12 $\pm$ 2,0
Дренаж . . . . .	24/XII 1962 г.	6 $\pm$ 1,8

трации и осадка на фильтре (пробы снега взяты 12 августа 1962 г. в районе Витоша) составила соответственно 1660  $\pm$  37 и 32600  $\pm$  386 *пкюри/л*.

Интересно отметить, что у снега обнаружена относительно высокая удельная активность. Она была приписана радиоактивным выпадениям от ядерных взрывов, проведенных до сентября 1962 г.

**Загрязнение воздуха радиоактивными аэрозолями**

Концентрация долгоживущих радиоактивных аэрозолей близ реактора определена в точке *a* методом прокачки воздуха через фильтр. Этот пункт находился на высоте 20 м от поверхности и на расстоянии 400 м от трубы реактора. В этом же направлении (в сторону Софии) в точке *b* на высоте 2 м и расстоянии 1000 м от трубы таким же методом сотрудники Научно-исследовательского института гидро-метеорологии (НИИГМ) ежедневно измеряют концентрации радиоактивных аэрозолей. Эти измерения начались за несколько лет до пуска реактора. Наблюдения были использованы для оценки возможной связи выброса из трубы реактора и концентрации радиоактивных аэрозолей в самом важном для контроля направлении — к столице.

Для измерений в точке *1a* использовался советский фильтр марки ФПП-15а. Воздух продували непрерывно в течение 24 ч; за это время через фильтр проходило 123 м<sup>3</sup>. Измере-

Таблица 5

Концентрация  $\beta$ -активных аэрозолей в атмосферном воздухе при различной мощности реактора

Дата	Время работы на данной мощности, ч	Мощность, <i>квт</i>	Концентрация аэрозолей, <i>пкюри/м<sup>3</sup></i>		
			в точке <i>a</i>	в точке <i>b</i>	
Октябрь 1961 г.	22	24	0*	3,40	9,38
	23	6	1500	3,64	3,83
	24	24	0	5,18	5,85
	25	24	0	6,50	5,93
	26	6	1500	7,95	7,95
	27	8	1500	3,50	9,68
	28	6	1500	8,22	8,22
	29	24	0	5,97	6,23
	Май 1962 г.	16	24	0	3,32
17		4	1000	4,38	4,85
18		24	0	5,15	5,85
24		24	0	1,96	2,28
Декабрь 1962 г.	25	4	1000	2,43	2,35
	26	5	10	1,63	1,41
	27	6	10	1,27	1,57
	28	5	1000	1,46	1,64
	29	24	0	1,63	2,94

\* Реактор не работал.

ние  $\beta$ -активности проводили через 72 ч после снятия фильтра. Для градуировки радиометрической установки в этом случае был использован препарат Sr<sup>90</sup> + Y<sup>90</sup> известной активности. При сопоставлении результатов измерений в этих двух точках (табл. 5) не обнаружено никакого загрязнения атмосферы радиоактивными аэрозолями, обусловленного выбросом из трубы реактора. Поскольку концентрация аэрозольной активности не коррелирует с работой реактора на различной мощности, сделан вывод о том, что радиоактивные аэрозоли определяются исключительно ядерными испытаниями в атмосфере.

Довольно большие различия концентрации аэрозолей в точках *a* и *b* в некоторые дни, вероятно, объясняются улавливанием так называемых горячих частиц, активность которых может во много раз превышать активность всех остальных продуктов, осаждаемых на фильтре. Так, например, при анализе отобранной 13 июля 1962 г. пробы аэрозолей в точке *a* получен результат (35,8  $\pm$  0,4) *пкюри/м<sup>3</sup>*, в то время как в остальные дни этого месяца концентрация составляла 5 *пкюри/м<sup>3</sup>*. Содержание радиоактивных аэрозолей в пробах, отобранных в точке

б в этот период, было такого же порядка и не превышало 8 *пкюри/м<sup>3</sup>*.

Так как все измерения по осуществлению внешнего контроля проводили одновременно с аналогичными измерениями в здании реактора, не может быть сомнения в том, что в упомянутых случаях повышение активности не вызвано выбросами реактора.

Сердечно благодарим товарищей из НИИГМ, которые разрешили нам использовать их данные о концентрации аэрозолей, и товарищей из Института растениеводства за помощь по наблюдению за опытными участками на территории Физического института.

Поступила в Редакцию 2/IX 1963 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Е. Гормен. В кн. «Материалы Международной конференции по мирному использованию

- атомной энергии. Женева, 1955». Т. 13. М., Изд-во иностр. лит., 1958, стр. 630.
2. П. А. Забелин. Дозиметрический и специальный технологический контроль на атомной электростанции. М., Госэнергоиздат, 1961.
3. Ж. Лабейри, Дж. Уейл. В кн. «Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1955». М., Гостехтеориздат, 1956.
4. Паркер. См. [1], стр. 133.
5. Ю. В. Сивинцев и др. «Атомная энергия», 3, 253 (1961).
6. В. Сантгольцер. «Атомная энергия», 5, 432 (1962).
7. Сборник радиохимических и дозиметрических методик. Под ред. Н. Г. Гусева и др. М., Медгиз, 1959.
8. P. Endt, C. Вгаамс. Rev. Mod. Phys., 29, 532 (1957).
9. В. П. Шведов и др. «Радиохимия», 4, 110 (1959).
10. Б. И. Стыро. Вопросы ядерной метеорологии. Вильнюс, 1959.
11. Санитарные правила работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений. М., Атомиздат, 1960.

## 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 ним самим в редакцию — краткие 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.