

Рис. 4. Изменение скорости α-счета при эталонировании камеры с электростатическим полем и без него, а также кривые спада α-активности продуктов распада после откачки эманации из камеры.

#### Сравнительная характеристика различных камер

Тип камеры	Объем камеры, л	Электростатическое поле	Коэффициент использования α-излучения, %	Доля продуктов распада радона от суммарной интенсивности счета α-излучателей, %	Чувствительность, имп/мин на $10^{-10}$ кюри радона
Стандартная	0,6	Отсутствует	47	70	350
Нестандартная	1,1	То же	43	75	290
Нестандартная	1,1	Приложено	65—70	85	430

тате проведенных опытов было установлено, что доля продуктов распада в измеряемой суммарной активности равновесного радона в камере с полем составляет около 80—85%, в камере без поля 75% (см. табл.).

Фон камеры с электростатическим полем равен 1—3 имп/мин и несколько увеличивается при многократном использовании камеры (за счет долгоживущих α-излучателей). При работах с малым количеством радона увеличение фона за счет фона происхождения не сразу. Для полного распада RaA, RaB и RaC оставшихся на стенках камеры, достаточно выдерживать ее в течение 5 ч после проведения измерений.

Чувствительность сцинтилляционной камеры без поля составляет 290 имп/мин на  $10^{-10}$  кюри радона при наличии поля чувствительность возрастает до 430 имп/мин на  $10^{-10}$  кюри радона. Такое увеличение чувствительности за счет создания поля и некоторого увеличения объема камеры очень существенно, так как чувствительность приборов типа РАЛ-1 со стандартной сцинтилляционной камерой составляет 300—350 имп/мин на  $10^{-10}$  кюри радона.

Таким образом, чувствительность любого прибора с α-сцинтилляционной, эманационной камерой можно увеличить за счет некоторого изменения ее конструкции и применения электростатического поля.

В заключение авторы приносят благодарность В. Л. Шапкину за полезные консультации и помощь в работе.

Поступило в Редакцию 31/X 1964 г.  
В окончательной редакции 25/I 1965 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

- В. А. Шапкин. Методы анализа естественных радиоактивных элементов. М., Госатомиздат, 1961
- H. Lucas. Rev. Scient. Instrum., 28, 680 (1957)
- М. Кюри. Радиоактивность. М., Физматгиз, 1960
- A. Collinson, A. Hagne. Rev. Scient. Instrum., 40, 521 (1963).

УДК 621.039.5

## Радиационная обстановка вблизи ядерного реактора ВВР-М

П. В. Рамзаев, И. А. Беляева, В. Н. Гуськова, М. С. Ибатуллин,  
Ю. О. Константинов, С. П. Николаев, А. Ф. Орешина

Как показывает практика эксплуатации исследовательских реакторов в СССР, особого внимания заслуживают лишь газообразные радиоактивные отходы, поскольку проблема локализации жидких и твердых радиоактивных отходов успешно разрешена. Система сбора и удаления жидких и твердых радиоактивных отходов, замыкающаяся централизованными станциями захоронения, при соблюдении соответствующих правил [1, 2] исключает загрязнение биосферы. Таким образом, радиационная обстановка в районах расположения исследовательских реакторов практически полностью определяется газообразными и аэрозоль-

ными выбросами. Эти выбросы формируются при вентиляции монтажных пространств и каналов реактора насосной первого контура, при вентиляции емкостей содержащих жидкие отходы, и особенно при деаэрации воды первого контура для освобождения ее от гремучей смеси. Оборудование реакторов замкнутым контуром деаэрации и дожигания гремучей смеси снижает величину выброса радиоактивных газов и аэрозолей через вентиляционную систему более чем в 10 раз, что, по нашим наблюдениям, соответственно резко снижает радиоактивность воздуха в районе расположения объекта.

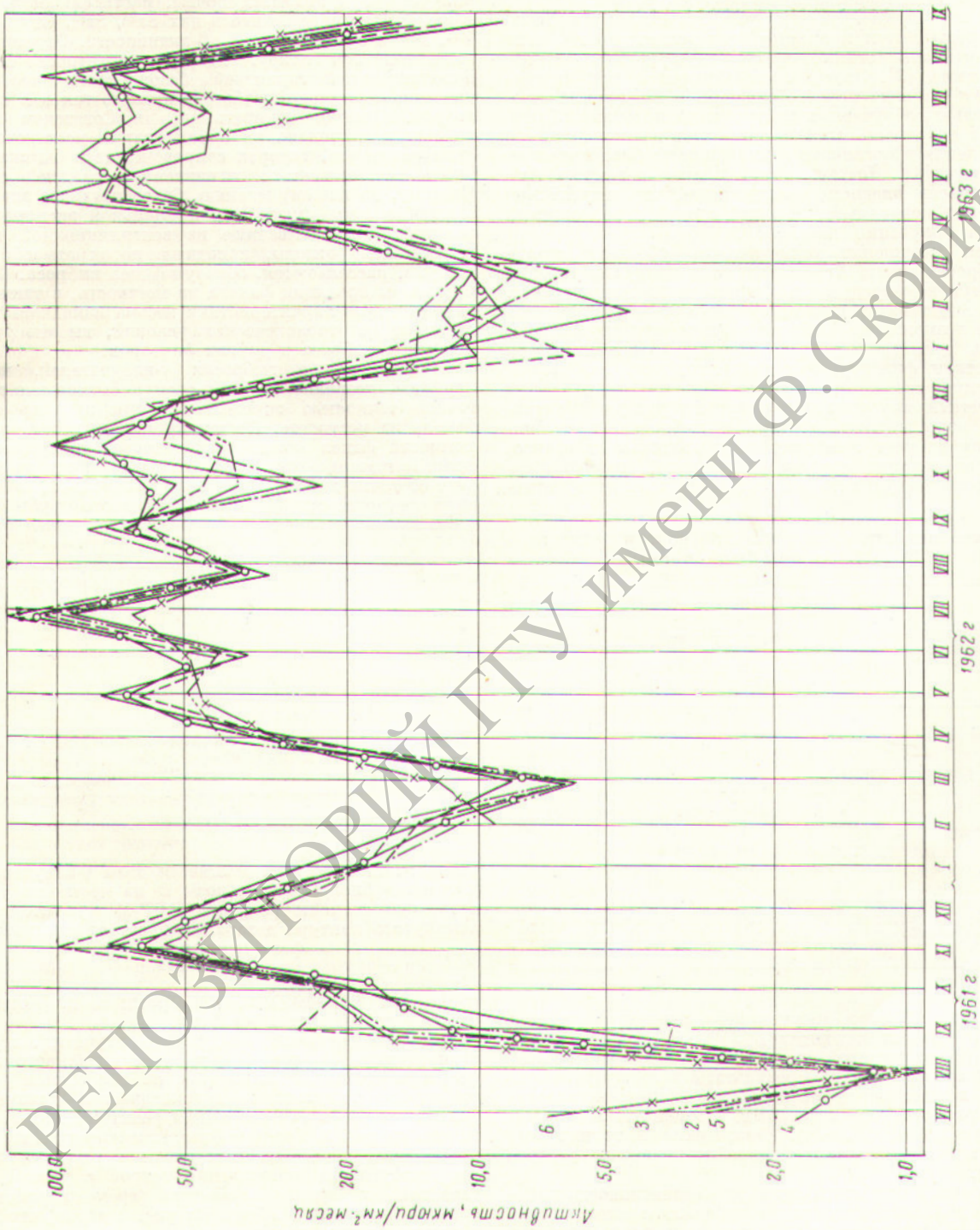


Рис. 4. Интенсивность радиоактивных выпадений (по суммарной  $\beta$ -активности) в районе расположения ядерного реактора ВВР-М. Кюветы с месячной экспозицией на следующих расстояниях от реактора: — 100 м; — 500 м; — 1 км; — 2 км; — 4 км; — X — 20 км.

При работе ядерного реактора с герметичными оболочками твэлов и эффективным улавливанием дисперсной фазы (аэрозолей) из воздуха, выбрасываемого через вентиляционную трубу, радиоактивность внешней среды почти полностью определяется  $Ag^{41}$ , если не учитывать весьма короткоживущую кислородную активность [3]. Этот изотоп образуется при активации  $Ag^{40}$  в воде первого контура и воздушных пространствах, облучаемых нейтронными потоками. Химическая инертность аргона исключает возможность его накопления в организме и миграции по биологическим цепочкам [4]. Поэтому радиационная опасность  $Ar^{41}$  обусловлена внешним  $\gamma$ -излучением, что значительно облегчает контроль за внешней средой и возможными дозами облучения населения.

При нарушении герметичности оболочек твэлов в выбросах кроме  $Ar^{41}$  появляются продукты деления и в первую очередь радиоактивные изотопы инертных газов (ксенона и криптона) и йода. Не исключена также возможность выброса в атмосферу других продуктов деления в составе аэрозолей, особенно при отсутствии фильтрующих установок или их низкой эффективности.

Система непрерывного контроля удельной активности воды первого контура и выбросов, предусмотренная на всех советских исследовательских реакторах, оказывается весьма эффективной и позволяет своевременно удалять из активной зоны негерметич-

#### Интенсивность выпадения $Sr^{90}$ вблизи реактора ВВР-М, $\mu\text{кюри}/(\text{км}^2 \cdot \text{мес})$

Расстояние от реактора, км	Интенсивность выпадения				Итого за 16 месяцев
	с июня по ноябрь 1961 г.	с декабря 1961 г. по апрель 1962 г.	с мая по август 1962 г.	сентябрь 1962 г.	
0,1	$\leq 3 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	0,8	1,5	4,8
0,5	$\leq 3 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^{-2}$	0,4	1,4	3,1
1,0	$\leq 3 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	0,3	0,8	2,1
2,0	$\leq 3 \cdot 10^{-3}$	$5,1 \cdot 10^{-2}$	0,8	0,9	4,3
4,0	$\leq 3 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	0,7	0,6	2,3
20,0 (контроль)	$\leq 3 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	0,3	2,3	3,6

Примечание. Ошибки отдельных измерений оценены в  $\pm 50\%$ . За каждый месяц наблюдения на каждом из указанных в таблице расстояний отбиралось по шесть проб выпадений.

ные твэлы. В итоге наши поиски продуктов деления реакторного происхождения  $J^{131}$ ,  $Sr^{89}$ ,  $Sr^{90}$ ,  $Cs^{137}$ ,  $Ce^{144}$ ,  $Y^{91}$  во внешней среде оказались безуспешными. Характерный пример — результаты некоторых наблюдений в зоне радиусом до 20 км вокруг исследовательского реактора типа ВВР-М мощностью 10 Мвт (см. рис. 1 и таблицу). Физические и технические характеристики реактора подробно изложены в работе [5].

Из рис. 1 и таблицы видно, что интенсивности выпадения долгоживущих радиоактивных изотопов (суммарной  $\beta$ -активности и  $Sr^{90}$ ) примерно одинаковы как вокруг реактора, так и в контрольных отдаленных пунктах. Эти выпадения носят глобальный характер,

и их динамика соответствует динамике проводившихся ядерных испытаний. Аналогичные результаты были получены при анализах почвы, растительности, воды и воздуха на содержание в них  $Sr^{90}$ ,  $Sr^{89}$ ,  $Cs^{137}$ ,  $Ce^{144}$ ,  $Y^{91}$ ,  $J^{131}$  и суммарной  $\alpha$ - и  $\beta$ -активности. Организация защитных зон вокруг ядерных реакторов служит дополнительной гарантией безопасности населения как при нормальной работе реактора, так и в случае аварий. Следует отметить, что в Советском Союзе не зарегистрировано ни одной аварии исследовательских реакторов, которая сопровождалась бы сколько-нибудь существенным загрязнением внешней среды. Поэтому, по нашему мнению, более реальное значение защитные зоны имеют при нормальной эксплуатации реактора. Выбрасываемые из вентиляционной трубы газообразные отходы, попадая в поток атмосферного воздуха, рассеиваются, образуя факел выброса. Форма и размеры проекции факела на местность, а также его радиационные характеристики весьма изменчивы и зависят от метеорологических условий, высоты трубы, мощности выброса и других факторов.

Присутствие в выбросах  $\gamma$ -излучателей, например  $Ag^{41}$ , позволяет путем  $\gamma$ -съемки быстро и с достаточной точностью определить примерную проекцию факела на местность. По нашим наблюдениям, радиоактивный факел может регистрироваться существующими методами  $\gamma$ -дозиметрии на расстояниях до 3,5—4 км от точки выброса (для реактора ВВР-М, работающего на мощности 10 Мвт, при высоте трубы 60 м, и без замкнутого контура деаэрации). Ширина факела

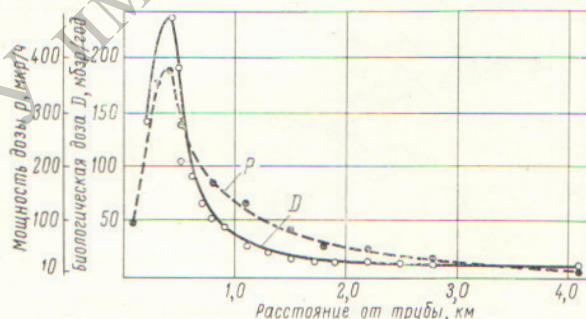


Рис. 2. Максимальные мощности дозы  $\gamma$ -излучения  $P$  и годовые биологические дозы  $D$  на местности с подветренной стороны реактора ВВР-М при отсутствии замкнутого контура деаэрации (дозы от естественного фона исключены).

составляет 300—1000 м; его проекция на местность похожа на расходящийся веер.

Наибольшая мощность дозы  $\gamma$ -излучения, зарегистрированная по оси факела, для указанного выше реактора составила 380 мкР/ч на расстоянии 400 м от трубы. Результаты систематической дозиметрии факела выбросов за 1962 г. для реактора ВВР-М приведены на рис. 2. Годовые биологические дозы на местности, приведенные на этом рисунке, рассчитаны для господствующего направления ветров с учетом фактической эксплуатации объекта (времени работы и средней мощности 5 Мвт). Из рис. 2 видно, что даже в худшем случае граница предельно допустимой дозы (50 мбар/год) проходит на расстоянии около 1 км от реактора с подветренной стороны. При меньших

мощностях выбросов эта граница приближается к объекту, а при включении замкнутого контура дезакриации мощность дозы на местности даже с подветренной стороны нигде не достигает предельных уровней и практически не превышает уровня естественного фона более чем на  $2-4$  мкр/ч.

Размер защитной зоны при безаварийной эксплуатации ядерного реактора должен быть, очевидно, не меньше расстояния, где проходит граница создаваемой предельной годовой дозы облучения. На практике при выборе места для реакторов учет всех условий, влияющих на границу предельной дозы, оказывается настолько трудным, что связанные с этим погрешности могут быть весьма существенными. Поэтому в Советском Союзе размеры защитных зон установлены только для наилучших условий эксплуатации в зависимости от типа и мощности реакторов. Одновременно ограничена мощность выбросов отдельных изотопов [1, 2].

Руководствуясь соображениями максимальной осторожности и предполагая, что порог генетических повреждений отсутствует, можно использовать и более жесткий подход к определению размеров зоны: в ее пределах не должна превышаться допустимая часовая мощность дозы. Такой подход облегчает дозиметрический контроль.

Из рис. 2 видно, что для реактора ВВР-М граница часовой предельной мощности дозы проходит на расстоянии, в три-четыре раза большем границы годовой предельной дозы. Это особенно желательно учитывать при строительстве новых реакторов. Что касается уже функционирующих объектов, то вполне резонно настаивать на разработке технических средств, снижающих

мощность выбросов радиоактивных изотопов на местность.

Изотопный состав выбросов ( $Ag^{41}$ ), а также наши наблюдения за компонентным составом радиоактивных загрязнений почвы, растительности и воды позволяют использовать территорию защитных зон вокруг исследовательских реакторов, являющихся по существу источниками только внешнего облучения радиоактивными инертными газами, в сельскохозяйственных целях. Мы не видим серьезных препятствий к выращиванию на данной территории сельскохозяйственных (например, зерновых) культур, урожай которых для гарантии может быть подвержен радиометрическому контролю.

Поступило в Редакцию 20/VII 1964 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Санитарные правила проектирования и эксплуатации исследовательских ядерных реакторов, № 420—62. М., Медгиз, 1963.
2. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных электростанций, № 392—62. М., Медгиз, 1962.
3. Ю. В. Сивинцев и др. «Атомная энергия», 10, 253 (1964).
4. Ю. В. Сивинцев. Там же, стр. 631.
5. Л. И. Русинов и др. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии». Докл. советских ученых. Т. 2. М., Атомиздат, 1959, стр. 293.

### Внимание авторов

Рукописи для журнала 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., аннотаций депонированных статей — 2 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 и письмам в редакцию прилагаются краткие авторефераты, в которых следует коротко и ясно сформулировать цель, результаты и область практического применения работы, а также перевод названия на английский язык.

5. Оформление текста (написание формул, выделение греческих и латинских, строчных и прописных букв, сокращение слов, оформление цитируемой литературы и т. д.) производится в соответствии с общими правилами, принятыми для научно-технических журналов. Трудноразличимые в рукописном обозначении буквы и знаки поясняются на полях.

Размерность всех приведенных величин должна соответствовать Международной системе единиц измерений. В отдельных случаях могут быть приведены пересчетные формулы.

6. Рисунки выполняются черной тушью на бумаге размером  $15 \times 20$  см; фотографии должны иметь контрастное изображение; размер фотографий не менее  $9 \times 12$  см. Подписи должны быть напечатаны на отдельном листе.