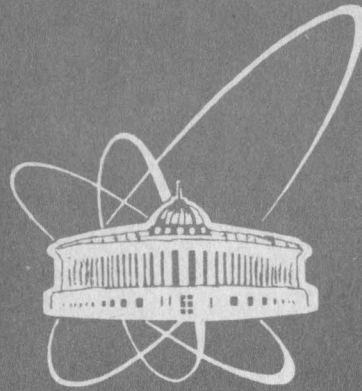


93-132

ЛВЭ



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

P16-93-132

М.М.Комочков

ПРОГНОЗ РАДИАЦИОННОЙ  
ОБСТАНОВКИ И УЩЕРБА  
ПРИ ВЫБРОСЕ РАДИОНУКЛИДОВ  
В ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ КОЛИЧЕСТВАХ  
В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

1993

## 1. Введение

Принятые в ОИЯИ меры радиационной безопасности при работе с потенциальными источниками выброса радионуклидов в значительных количествах минимизируют вероятность повышенного облучения, которая, тем не менее, отлична от нуля. В этой связи необходима оценка радиационной обстановки и ущерба на случай подобных инцидентов.

Потенциальными источниками выброса радионуклидов в окружающую среду (ОС) являются прежде всего импульсные быстрые реакторы (ИБР) и работы с большим количеством трития.

Прогноз радиационной обстановки и ущерба будем выполнять, опираясь на величину эффективной эквивалентной дозы  $H_E/1-3/$  и рассчитанные ее значения в ОС на единицу выброшенной активности радионуклидов/4/. Оценку ущерба проведем для стохастических эффектов воздействия излучения в денежном выражении, а в общем случае - в значениях вероятности неблагоприятных событий для людей/1-3/.

## 2. Радиационная обстановка при выбросе трития

Прогноз радиационной обстановки основан на экстраполяции результатов расчета ожидаемой эффективной эквивалентной дозы  $H'_E(\zeta)$ , представленных в работе/4/ для фиксированных значений основных параметров, на значения параметров, отличных от указанных/4/. Экстраполяция выполнена в соответствии с формулой (1):

$$H_E(\zeta) = H'_E(\zeta) \frac{Q}{Q'} \cdot \frac{G}{G'}, \quad (1)$$

где  $H_E(\zeta)$  - интересующая нас ожидаемая эффективная эквивалентная доза при параметрах  $Q$  и  $G$ ,  $Q$  - выбрасываемая в нашем случае активность при условиях, которые

соответствуют фактору разбавления  $G/5/$ ,  $Q' = 10^9$  Бк/4/;  $G'$  - фактор разбавления, соответствующий условиям выброса активности  $Q'$ , который определяли согласно справочнику/5/;  $\zeta$  - интервал времени интегрирования мощности эффективной эквивалентной дозы от попавшего в организм трития. Результаты расчета представлены на рис. 1 - 3. Две составляющих  $H_E(\zeta)$  на различных расстояниях от источника выброса трития даны на рис. 1 для погодных условий, приводящих к максимальной радиационной нагрузке; значком "в" обозначена ожидаемая эффективная эквивалентная доза от вдыхания  $H_{И}$  и поглощения  $H_{К}$  трития кожей, причем  $H_{И}$  рассчитывалась, а  $H_{К}$  принималась равной  $0,5 H_{И}/6/$ ; значком "п" обозначена ожидаемая эффективная эквивалентная доза от излучения трития, содержащегося в потребляемой человеком пище. Эффективная/5/ высота выброса трития - 10 м и 30 м - принималась близкой к условиям ОИЯИ; рельеф местности - лесистый. Таким образом:

$$H_E(\zeta) = H_{в} + H_{п} = H_{И} + H_{К} + H_{п}. \quad (2)$$

На рис. 2 представлена зависимость от времени накопления трития коллективной ожидаемой эффективной эквивалентной дозы  $S(\zeta)$  населения, проживающего на площади, которая находится между 1 км и 50 км расстояния от места кратковременного выброса трития на высоте 10 м в количестве  $3,7 \cdot 10^{14}$  Бк; плотность проживания населения принята равной 250 человек на  $1 \text{ км}^2$ . Как видно, скорость накопления  $S(\zeta)$  в случае выброса трития в газообразном состоянии (НТ) в первые дни существенно выше, чем в случае выброса трития в форме НТО. Это объясняется сравнительно высоким вкладом в дозу той ее части, которая формируется при прохождении факела в случае НТО. Данные рис. 1 и 2 относятся к определенным условиям, представляющим частные случаи состояния атмосферы. В общем случае состояние атмосферы может быть представлено рядом дискретных состояний, стохастически меняющихся во времени. В работе/4/ состояние атмосферы характеризовалось четырьмя переменными: направлением ветра, его скоростью, интен-

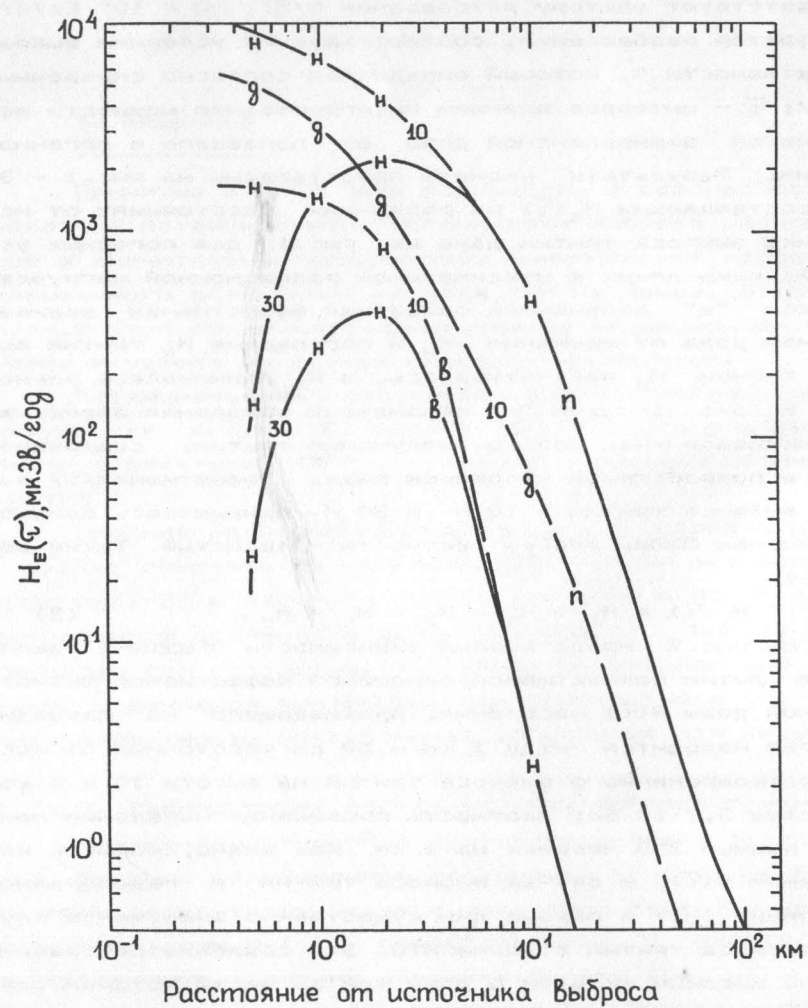


Рис. 1. Годовая индивидуальная ожидаемая эффективная эквивалентная доза  $H_E(t)$  наиболее облучаемых людей при выбросе трития в течение двух минут на высоте 10 м и 30 м ночью (н - Пасквилл F) и во время дождя (д - Пасквилл D) в форме НТО в количестве  $10^4$  Кюри ( $3,7 \cdot 10^{14}$  Бк): в - доза от вдыхания и поглощения трития кожей, п - доза от содержащегося в пище трития

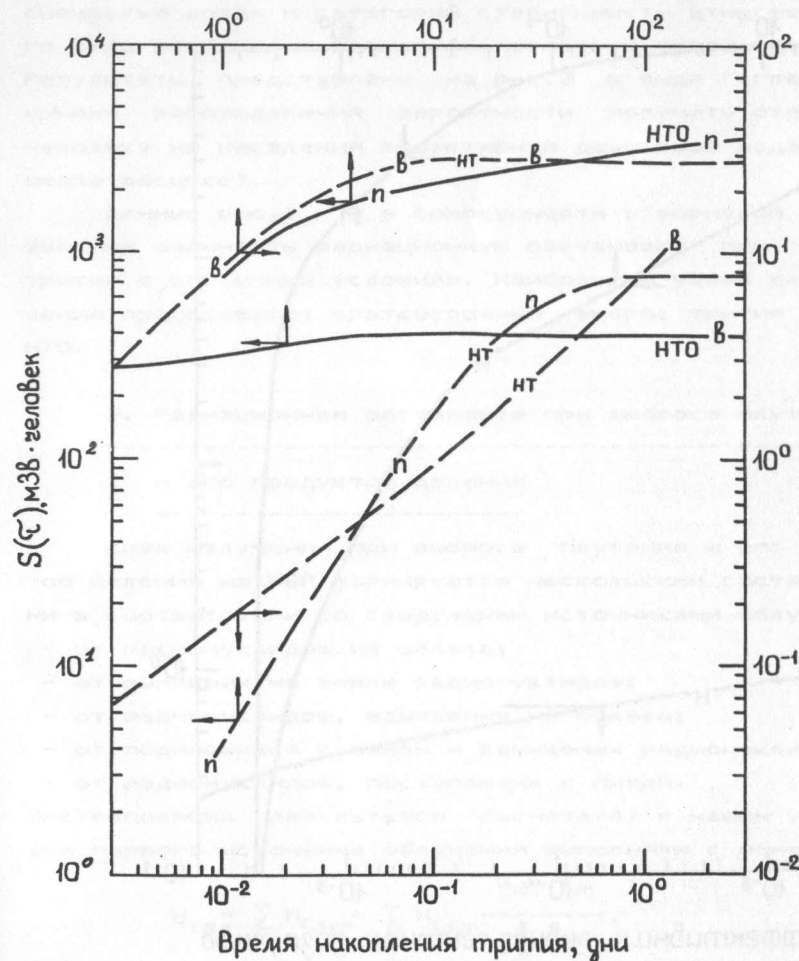


Рис. 2. Ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза  $S(t)$  населения, проживающего на площади между 1 км и 50 км расстояния от места кратковременного (в течение двух минут) выброса трития на высоте 10 м в количестве  $10^4$  Кюри ( $3,7 \cdot 10^{14}$  Бк) ночью: в - дозы от вдыхания и поглощения трития кожей; п - дозы от пищи; HT - газообразное состояние трития; НТО - тритий в молекуле воды

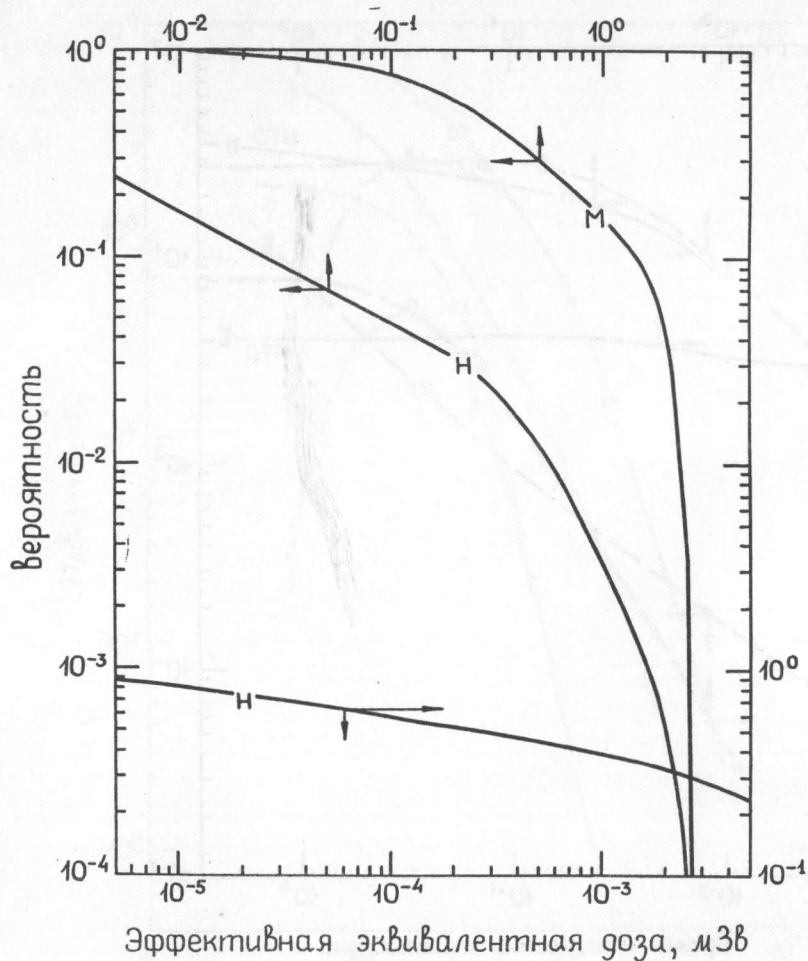


Рис. 3. Распределение вероятности получения индивидуальной ожидаемой эффективной эквивалентной дозы выше заданной на расстоянии 1 км от места кратковременного (в течение 1 часа) выброса трития в форме НТО на высоте 10 м в количестве  $10^4$  Кюри ( $3,7 \cdot 10^{14}$  Бк):

- н - индивидуумы из населения в целом;
- м - индивидуумы из максимально облучаемого населения

сивностью дождя и категорий стабильности атмосферы; всего было включено в расчет/4/ несколько тысяч состояний. Результаты представлены на рис.3 в виде "сглаженных" кривых распределения вероятности получить отдельному человеку из населения эффективную дозу выше заданной (по шкале абсцисс).

Данные рис.1 - 3 в совокупности с формулой (1) позволяют оценивать радиационную обстановку при выбросе трития в различных условиях. Наибольший ущерб для населения представляет краткосрочный выброс трития в форме НТО.

### 3. Радиационная обстановка при выбросе плутония и его продуктов деления

Доза излучения при выбросе плутония и его продуктов деления из ИБР формируется несколькими составляющими в соответствии со следующими источниками облучения:

- от радионуклидов из облака;
- от выпавших на землю радионуклидов;
- от радионуклидов, вдыхаемых из облака;
- от поднявшихся с земли и вдыхаемых радионуклидов;
- от радионуклидов, поступающих с пищей.

Экстраполяцию результатов расчета/4/ к нашим условиям для первого источника облучения выполняли с помощью (3)

$$H_{E,1} = \sum_m H_{E,1,m} = \sum_m \frac{H'_{E,1,m} \cdot Q_m \cdot F_m}{Q'_m \cdot F'_m}, \quad (3)$$

где  $H_{E,1}$  - эффективная эквивалентная доза от гамма-излучения радионуклидов числом  $m$  из облака (1-й источник) при параметрах  $Q_m$  и  $F_m$ ;  $H'_{E,1,m}$  - эффективная эквивалентная доза от гамма-излучения  $m$ -го радионуклида при параметрах  $Q'_m$  и  $F'_m$ ;  $Q_m$  и  $Q'_m$  - активности  $m$ -го радионуклида, выбрасываемого в нашем случае и принятого в работе/4/ ( $Q'_m = 10^9$  Бк) соответственно,  $F_m$  - функция излучения линейного бесконечного источника в воздухе/5/ в нашем

случае, а  $F'_m$  — при условиях работы/4/, для  $m$ -го радионуклида. Экстраполяцию результатов расчета/4/ к нашим условиям для остальных четырех источников (путей) облучения выполняли с помощью (1) для каждого радионуклида из таблицы 1, кроме Kг и Хе. Значения активностей выброса основных продуктов деления плутония в качестве гипотетического примера оценивали в двух вариантах. В первом варианте за основу приняты значения выбросов йода-131 для ИБР-30 ( $7,4 \cdot 10^{12}$  Бк) и для ИБР-2 ( $3,7 \cdot 10^{14}$  Бк); выброс остальных радионуклидов из таблицы 1 оценивали на основе известных выходов радионуклидов по отношению к йоду-131 в случае аварии на ЧАЭС/7/ с учетом большего накопления долгоживущих продуктов в ИБР-30 и ИБР-2. Во втором варианте за основу приняты значения выбросов на ЧАЭС/7/ —  $Q_ч$ ; экстраполяция на ИБР выполнялась согласно (4) и (5)

— для короткоживущих радионуклидов ( $T_{1/2} \ll 1$  года)

$$Q = Q_ч \cdot \frac{W_{ИБР}}{W_ч}, \quad (4)$$

— для долгоживущих радионуклидов

$$Q = Q_ч \cdot \frac{(W \cdot t)_{ИБР}}{(W \cdot t)_ч}. \quad (5)$$

Здесь  $W$  — тепловая мощность реактора;  $t$  — интервал времени его работы от пуска (перегрузки активной зоны) до аварии. В обоих вариантах активность выброса плутония-239 (основной делящийся радионуклид) из ИБР-30 принята равной  $13,3 \cdot 10^{10}$  Бк, а из ИБР-2 —  $11,1 \cdot 10^{10}$  Бк; в расчетах с помощью (4), (5) учитывалась разница в кумулятивных выходах радионуклидов при делении плутония нейтронами (ИБР) и при делении урана-235 тепловыми нейтронами. Очевидно, суммарная ожидаемая за время  $\tau$  эффективная эквивалентная доза по всем путям воздействия ( $n$ ) и всем радионуклидам ( $m$ ) будет

$$H_E(\tau) = \sum_n \sum_m H_{E,n,m}(\tau). \quad (6)$$

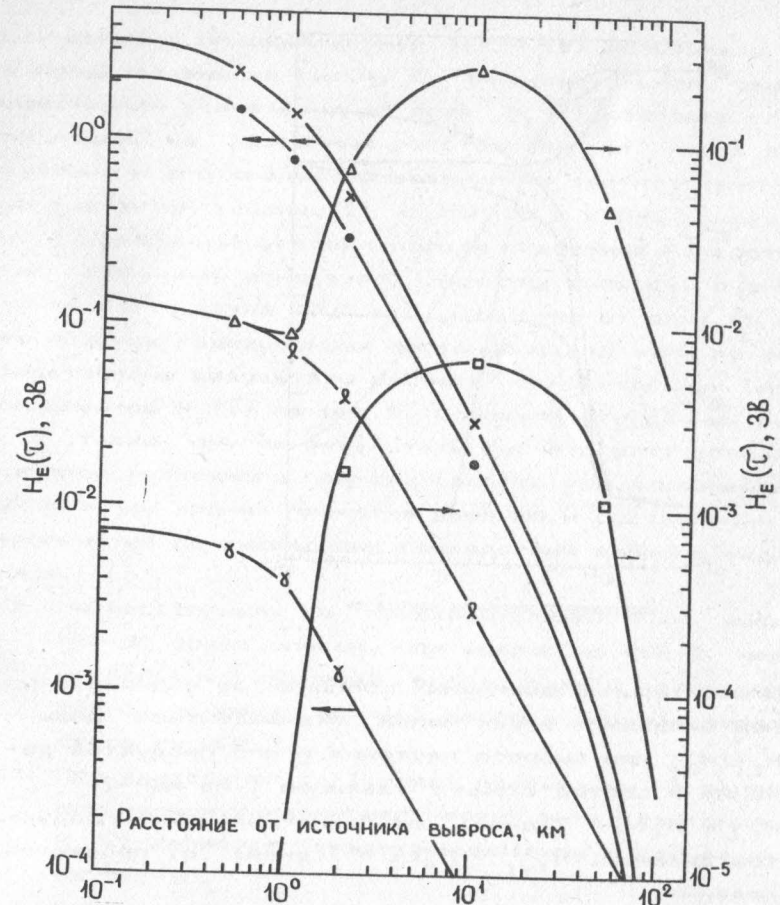


Рис. 4. Индивидуальная ожидаемая эффективная эквивалентная доза  $H_E(\tau)$  наиболее облучаемых людей при выбросе плутония и его продуктов деления в соответствии с таблицей 1 (первый вариант) из импульсного быстрого реактора (ИБР):

- x x x —  $H_E(\tau = 50$  лет) от плутония и его продуктов деления; ИБР-30, высота выброса — 10 м
- o o o —  $H_E(\tau = 50$  лет) от продуктов деления;
- γ γ γ —  $H_E(\tau = 7$  дней) от гамма-излучения продуктов деления;
- Δ Δ Δ —  $H_E(\tau = 50$  лет) от продуктов деления; ИБР-2, высота выброса — 80 м
- □ □ □ —  $H_E(\tau = 50$  лет) от плутония;
- λ λ λ —  $H_E(\tau = 7$  дней) от гамма-излучения продуктов деления.

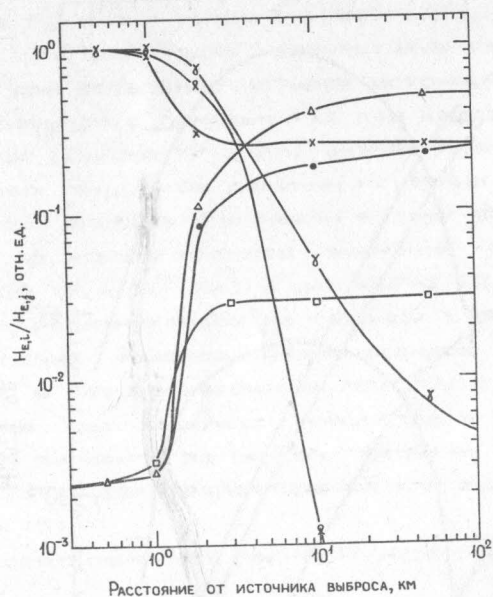


Рис. 5. Относительные величины компонентов индивидуальной ожидаемой эффективной эквивалентной дозы —  $H_{E,i} / H_{E,j}$  при выбросе плутония и его продуктов деления в соответствии с таблицей 1 из ИБР-2:

- $\gamma-\gamma-\gamma$   $H_{E,i}$  —  $H_E(\bar{C} = 7 \text{ дней})$  от гамма-излучения продуктов деления,  $H_{E,j}$  —  $H_E(\bar{C} = 7 \text{ дней})$  от продуктов деления;
- $\times-\times-\times$   $H_{E,i}$  —  $H_E(\bar{C} = 7 \text{ дней})$  от гамма-излучения продуктов деления,  $H_{E,j}$  —  $H_E(\bar{C} = 50 \text{ лет})$  от продуктов деления;
- $\times-\times-\times$   $H_{E,i}$  —  $H_E(\bar{C} = 50 \text{ лет})$  от гамма-излучения продуктов деления,  $H_{E,j}$  —  $H_E(\bar{C} = 50 \text{ лет})$  от продуктов деления;
- $\Delta-\Delta-\Delta$   $H_{E,i}$  —  $H_E(\bar{C} = 7 \text{ дней})$  от йода-131,  $H_{E,j}$  —  $H_E(\bar{C} = 7 \text{ дней})$  от продуктов деления;
- $\bullet-\bullet-\bullet$   $H_{E,i}$  —  $H_E(\bar{C} = 7 \text{ дней})$  от йода-131,  $H_{E,j}$  —  $H_E(\bar{C} = 7 \text{ дней})$  от плутония и его продуктов деления;
- $\square-\square-\square$   $H_{E,i}$  —  $H_E(\bar{C} = 50 \text{ лет})$  от йода-131,  $H_{E,j}$  —  $H_E(\bar{C} = 50 \text{ лет})$  от плутония и его продуктов деления.

Полученные с помощью формул (1) — (6) результаты расчета представлены на рис. 4, 5. Индивидуальная ожидаемая эффективная эквивалентная доза  $H_E(\bar{C})$  наиболее облучаемых людей на различных расстояниях от места выброса плутония и его продуктов деления (в соответствии с первым вариантом таблицы 1) из ИБР-30 и ИБР-2 приведена на рис. 4. Выбранные условия погоды (Пасквилл F) соответствуют стабильной атмосфере, ночному выбросу, очень низкой скорости ветра (0,5 м/с), что создает одну из наиболее опасных радиационных обстановок. Для этих же условий представлены результаты расчета относительных значений компонентов  $H_E(\bar{C})$  на рис. 5. Совокупность данных рис. 4 и 5, а также другие результаты расчета дают возможность для представленного примера сделать ряд заключений, важных с точки зрения принятия решений и составления плана мероприятий по ликвидации последствий выброса радионуклидов.

- 3.1. На расстояниях до (приблизительно) 4 км выброс из ИБР-30 более опасен, чем выброс из ИБР-2, несмотря на большие значения выбрасываемой активности из ИБР-2; основная причина этого — большая высота выброса из ИБР-2.
- 3.2. При длительном ( $\gg 1$  года) пребывании на загрязненной радионуклидами местности вклад плутония-239 в  $H_E(\bar{C})$  является существенным лишь в случае выброса из ИБР-30.
- 3.3. Вклад плутония-239 в  $H_E(\bar{C})$  является решающим в случае выброса из ИБР-30 и существенным в случае с ИБР-2 на расстоянии от него более 2 км при эвакуации жителей из загрязненной радионуклидами местности в пределах 7 дней.
- 3.4. Йодная профилактика может иметь сколько-нибудь заметный эффект лишь при эвакуации в пределах 7 дней с расстояний не более 3 км от ИБР-2.
- 3.5. Простым и достаточно чувствительным индикатором состояния радиационной обстановки в ОС являются измерители доз, а в особенности мощности доз, гамма-излучения.

#### 4. Оценка ущерба

Ущерб ( $Y$ ), наносимый обществу загрязнением ОС радионуклидами, считается целесообразным определять либо в деньгах/8,9/ для стохастических эффектов, либо в значениях вероятности неблагоприятных событий для людей в общем случае/2,3/. Для глобальной оценки ущерба в случае стохастических эффектов достаточно знать ожидаемую коллективную эквивалентную дозу  $S(\zeta)$ . Именно такая ситуация имеет место в рассмотренном примере с тритием: дозы наиболее облучаемых людей (см. рис. 1) приблизительно на два порядка ниже порога стерилизации — эффекта с наименьшим порогом/4/. В рассмотренных случаях выброса плутония и его продуктов деления ситуация иная, поэтому ущерб при выбросе трития оценим отдельно.

##### 4.1. Пример с выбросом трития

Оценку ущерба  $Y$  выполним на основе  $S(\zeta)$ , стоимости одного человек·Зв —  $\alpha$  и коэффициента радиационного риска  $KPP/2,3/$ :

$$Y = \alpha \cdot S(\zeta), \quad (7)$$

$$Y = KPP \cdot S(\zeta). \quad (8)$$

Согласно работе/10/ значение  $\alpha$  можно принять равным  $2 \cdot 10^4$  долларов США/человек·Зв с разбросом значений в интервале ( $10^3 - 10^5$ ) долларов США/человек·Зв. Тогда, оценивая  $S(\zeta)$  по рис. 2 значением  $\sim 4$  человек·Зв за длительное время облучения, получим размер ущерба  $Y \approx 8 \cdot 10^4$  долларов.

Принимая значение  $KPP$  для населения равным  $7,3 \cdot 10^{-2}$  случаев смерти (с.с.)  $\times$  (человек·Зв) $^{-1}$ , получим  $Y = 0,3$  с.с. за длительное время среди населения, проживающего на загрязненной тритием территории с плотностью 250 человек/км $^2$ . Полученное значение  $Y$  совпадает с ущербом 20000 жителей, выкуривших по десять сигарет за длительное время.

Таблица 1. Активность выброса основных продуктов деления  $Q_i$  из ИБР, оцененная в двух вариантах\* на февраль 1993 г.

Радионуклид	Kr-85	Kr-88	Sr-90	Zr-95	J-131	Xe-133	Xe-135	Cs-137	Ce-144
$Q_i$ , Бк: 1-й из ИБР-30	$7,6 \cdot 10^{42}$	$4,4 \cdot 10^{44}$	$1,9 \cdot 10^{42}$	$3,8 \cdot 10^{42}$	$7,4 \cdot 10^{42}$	$4,6 \cdot 10^{42}$	$7 \cdot 10^{44}$	$8,6 \cdot 10^{42}$	$2,4 \cdot 10^{42}$
2-й из ИБР-30	$1,6 \cdot 10^{42}$	$48 \cdot 10^{42}$	$0,39 \cdot 10^{42}$	$0,43 \cdot 10^{42}$	$0,84 \cdot 10^{42}$	$5,1 \cdot 10^{42}$	$80 \cdot 10^{42}$	$1,8 \cdot 10^{42}$	$0,27 \cdot 10^{42}$
$Q_i$ , Бк: 1-й из ИБР-2	$1,7 \cdot 10^{44}$	$220 \cdot 10^{44}$	$4,3 \cdot 10^{43}$	$1,9 \cdot 10^{44}$	$3,7 \cdot 10^{44}$	$23 \cdot 10^{44}$	$3,6 \cdot 10^{46}$	$2 \cdot 10^{44}$	$1,2 \cdot 10^{44}$
2-й из ИБР-2	$0,8 \cdot 10^{44}$	$96 \cdot 10^{44}$	$1,9 \cdot 10^{43}$	$0,87 \cdot 10^{44}$	$1,7 \cdot 10^{44}$	$10 \cdot 10^{44}$	$1,6 \cdot 10^{46}$	$0,89 \cdot 10^{44}$	$0,55 \cdot 10^{44}$

\* — В обоих вариантах активность выброса плутония-239 (основной делящийся радионуклид) из ИБР-30 принята равной  $13,3 \cdot 10^{10}$  Бк (3,6 Ки), а из ИБР-2 —  $11,1 \cdot 10^{10}$  Бк (3 Ки).

жж — По международной ядерной шкале событий (МАГАТЭ) авария с таким выбросом является аварией, опасной для окружающей среды, и соответствует пятому уровню.

Таблица 2. Коллективные ожидаемые эффективные эквивалентные дозы  $S(\bar{C})$ , человек·Зв, населения, проживающего с плотностью 250 человек/км<sup>2</sup> на территории между 1 км и 100 км расстояния от места кратковременного выброса плутония и его продуктов деления в количествах, указанных в таблице 1 (первый вариант)

Радионуклид	ИБР-30		ИБР-2	
	$S(\bar{C})_{ed}^*$	$S(\bar{C})_{cd}^*$	$S(\bar{C})_{ed}^*$	$S(\bar{C})_{cd}^*$
Kr-85, Kr-88, Rb-88**, Xe-133, Xe-135	1,4	1,4	3,5	3,5
стронций-90	1,4	25	32	565
йод-131	0,88	4,1	50	205
цезий-137	1,2	560	28	13050
плутоний-239	123	146	102	121
сумма	128	736	216	13944

\*  $S(\bar{C})_{ed}$  - коллективная ожидаемая (за 50 лет) эффективная эквивалентная доза от пребывания на загрязненной радионуклидами местности в течение 7 дней.

$S(\bar{C})_{cd}$  - коллективная ожидаемая (за 50 лет) эффективная эквивалентная доза от пребывания на загрязненной радионуклидами местности в течение 50 лет.

\*\* Здесь рубидий-88 является дочерним продуктом распада криптона-88.

Таблица 3. Дозовые критерии для принятия мер безопасности (уровни вмешательства)

Основные меры безопасности	Дозовые критерии * Рекомендованная (Р) или обязательная (О) доза					
	1	2	3	4	5	6
Укрытие, защита органов дыхания и кожных покровов						
Иодная профилактика						
Эвакуация:						
взрослые,						
дети, беременные женщины						
Ограничение потребления загрязненных продуктов питания и питьевой воды						

$H_m$ , мЗв, прогнозируемая за первые 10 суток

5 50 0 СССР 11,12

\*\* \*\*

50 500 0 -- 11,12

10 50 -- 11,12

$H_m$ , мЗв, прогнозируемая за первый год

5 50 0 -- 11,12



	1	2	3	4	5	6
Переселение или эвакуация		50	500	0	СССР	11,12
Мероприятия согласно п.п. 7.1 - 7.3 НРБ-76/87 и п.п. 14.2-14.4 ОСП-72/87		5	---	0	---	14
		$H_E(\infty)$ , мЗв/год				
Контроль и надзор за защищенностью людей на территории потенциальной радиационно-экологической опасности		1	---	проект закона	РФ	9
16	Комплекс мер безопасности по зонам:					
проживания с льготным социально-экономическим статусом;		3,7 кБк/м	1	---	---	9
		цезия-137				
		(≈0,3 мЗв/год)				
проживания с правом на отселение;		1	5	---	---	9
отселения;		5	50	---	---	9
отчуждения;		50	---	---	---	9

	1	2	3	4	5	6
		$H_E(\infty)$ за первые 24 часа				
Укрытие		несколько мЗв	несколько десятков мЗв	Р	МАГАТЭ	10,13
Эвакуация		10 мЗв	несколько сотен мЗв	Р	---	10,13
		$H_E(\infty = 50 \text{ лет})$ , мЗв				
17	Контроль пищи при ежегодном потреблении каждого из семи основных категорий продуктов	1	несколько десятков	Р	---	10,13
		$H_E(\infty)$ , мЗв/год				
Отселение		несколько	100	Р	---	10,13

\* Значения дозовых критериев указаны в величинах МЭД ( $H_M$ ) при условии облучения всего тела в работах/11,12,14/ и в величинах  $H_E(\infty)$  в работах/9,10,13/.

\*\* Для цитовидной железы нижний уровень - 50 мЗв за первые 10 суток, верхний - 500 мЗв.

#### 4.2. Пример с выбросом плутония и его продуктов деления

В этом случае прежде всего следует оценить территориальные границы применимости формул (7) и (8).

В случае выброса радионуклидов из ИБР-2, территория, на которой возможны пороговые эффекты действия радиации на жителей, заключена между 4,5 км и 19 км расстояния от источника выброса ( $N_E(\zeta) \gg 0,2 \text{ Зв}$ , рис.4) в зоне факела. Пренебрежение этим эффектом приведет к недооценке ущерба в несколько процентов. С такой точностью правомерно воспользоваться формулами (7) и (8) для оценки ущерба. Коллективные дозы, необходимые для вычислений, представлены в таблице 2 в совокупности с данными и для ИБР-30. Согласно этим данным и (8) получим  $Y_{\text{ИБР-2}} = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{ с.с. (Зв} \cdot \text{человек)}^{-1} \cdot 216 \text{ Зв} \cdot \text{человек} = 160 \text{ с.с.}$  среди населения с плотностью 250 человек/км<sup>2</sup>, которое эвакуируется из зоны загрязнения спустя 7 дней после выброса радионуклидов;  $Y_{\text{ИБР-2}} = 1018 \text{ с.с.}$  среди населения с плотностью 250 человек/км<sup>2</sup>, которое в течение 50 лет будет проживать на загрязненной территории. С помощью данных таблицы 2 легко оценить эффект той или иной меры защиты, например, йодной профилактики, эффективность которой является весьма низкой. В денежном выражении ущерб будет: при эвакуации жителей спустя 7 дней от момента выброса  $Y \approx 2 \cdot 10^4 \text{ долларов} \cdot \text{Зв}^{-1} \times 216 \text{ Зв} = 4,3 \cdot 10^6 \text{ долларов}$ , к этой цифре следует добавить расходы, связанные с эвакуацией; без эвакуации  $Y = 2 \cdot 10^4 \text{ долларов} \cdot \text{Зв}^{-1} \times 13944 \text{ Зв} = 2,8 \cdot 10^8 \text{ долларов}$ .

В случае выброса радионуклидов из ИБР-30, территория, на которой возможны пороговые эффекты, заключена в радиусе 3,5 км от места выброса в зоне факела. Для этой зоны ущерб следует вычислять с помощью формулы (22) из работы/3/. Однако с некоторым приближением оценим  $Y$  с помощью (8).  $Y_{\text{ИБР-30}} = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{ с.с. Зв}^{-1} \cdot \text{человек}^{-1} \times 128 \text{ Зв} \cdot \text{человек} = 9 \text{ с.с.}$  среди населения с плотностью 250 чело-

век/км<sup>2</sup>, которое эвакуируется из зоны загрязнения спустя 7 дней после выброса радионуклида;  $Y_{\text{ИБР-30}} = 54 \text{ с.с.}$  среди населения с плотностью 250 человек/км<sup>2</sup>, которое в течение 50 лет будет проживать на загрязненной территории. Аналогичные оценки с помощью (7) дают  $Y = 2,56 \cdot 10^6 \text{ долларов}$  + расходы на эвакуацию, а без эвакуации  $Y \approx 1,5 \cdot 10^7 \text{ долларов}$ .

Ответ на вопрос о целесообразности эвакуации может быть получен путем анализа ущерба в денежном выражении с учетом затрат на эвакуацию, как это сделано, например, в работе/10/.

#### 5. Меры безопасности и уровни вмешательства

Необходимость снижения степени вредного воздействия излучения, в частности, от радионуклидов, выброшенных в окружающую среду, привела к установлению дозовых критериев для принятия мер безопасности/11,12/, которые называют также уровнями вмешательства/13/ УВ. Значения УВ являются скорее результатом соглашения, декрета, чем научным обоснованием/10/. Это обстоятельство, обязательный характер УВ на территории Российской Федерации в настоящее время, подготовка Закона РФ, в проекте которого также фигурируют УВ/9/, приводит к необходимости их критического анализа и сравнения. Такая возможность представлена данными таблицы 3. Сравнение показывает, что о совпадении УВ, могущих стать обязательными в РФ и рекомендованных МАГАТЭ даже для одних и тех же мер безопасности, говорить не приходится, хотя бы потому, что, скорее всего, они относятся к разным величинам: дозовые критерии (ДК) из работ/11,12,14/ являются собой максимальные эквивалентные дозы, а ДК из работ/9,10,13/ - эффективные эквивалентные дозы, которые, в принципе, не совпадают/3/. Относительно обеих величин нет ясности, является ли указанное прогнозируемое время временем

пребывания в загрязненной зоне, или оно является временем интегрирования  $\bar{C}$  при облучении, скажем, радионуклидами, попавшими в организм, или и то и другое? Нет ответа на этот вопрос и в проекте Закона/9/. Однако если допустить, что все дозовые критерии в таблице 3 указаны в величинах  $H_E(\bar{C})$ , то для приведенных в разделах 2, 3, 4 примеров можно сказать следующее по мерам безопасности.

5.1. При выбросе трития на высоте 10 м в количестве  $3,7 \cdot 10^{14}$  Бк в качестве меры безопасности для населения следует ожидать ограничения потребления загрязненных продуктов питания и питьевой воды на расстояниях до 2 км от места выброса в зоне факела. Эта мера может оказаться излишней, если эффективная высота выброса окажется  $\sim 30$  м.

5.2. При выбросе плутония и его продуктов деления в количестве, указанном в таблице 1 (первый вариант), все меры безопасности из таблицы 3 окажутся задействованы в зоне факела.

5.2.1. Укрытие, защита органов дыхания и кожных покровов ожидается до расстояний 25 км от ИБР-2 и до 2 км от ИБР-30.

5.2.2. Йодная профилактика может быть обязательной лишь до 2 км от ИБР-30, однако эффективность не превысит при этом 1% ; вряд ли кто-либо будет настаивать на обязательности йодной профилактики. Эта процедура при выбросе из ИБР-2 вовсе не необходима.

5.2.3. Эвакуации следует ожидать на расстояниях до 5 км от ИБР-30 (нет необходимости в случае выброса из ИБР-2).

5.2.4. Ограничение потребления загрязненных продуктов питания и питьевой воды следует ожидать на расстояниях до 65 км от ИБР-2 и от 5 км до 14 км от ИБР-30.

## 6. Заключение

Представленная в работе методика прогноза радиационной обстановки позволяет простейшим способом получать сведения в общем случае, опираясь на результаты точных расчетов для частных условий. Полученные в конкретных примерах данные дают возможность оценить ущерб и уточнить мероприятия по защите населения и ликвидации последствий в случае выброса радионуклидов в окружающую среду. Радиационная авария может иметь место в том случае, если количество выброшенного трития превысит  $\sim 10^{14}$  Бк, плутония-239 из ИБР-2 -  $10^{11}$  Бк (из ИБР-30 -  $2 \cdot 10^8$  Бк), продуктов деления в расчете на цезий-137 -  $4 \cdot 10^{12}$  Бк из ИБР-2 и  $2 \cdot 10^{10}$  Бк из ИБР-30. При выбросе радионуклидов ниже приведенных значений случай (по шкале ядерных событий МАГАТЭ) может рассматриваться как происшествие.

## ЛИТЕРАТУРА

1. МКРЗ. Международная комиссия по радиологической защите. Радиационная защита. Публикация 26. М.: Атомиздат, 1978.
2. ICRP. International Commission on Radiological Protection. 1990. Recommendation of the ICRP. Pub.60. Annals of the ICRP, v.21, No.1-3. Pergamon Press, Oxford, 1991.
3. Комочков М.М. ОИЯИ, P16-92-190, Дубна, 1992.
4. Raskob W., Hasemann I. KFK 5028, Karlsruhe, 1992.
5. Гусев Н.Г., Белаяев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере. Справочник. Энергоатомиздат, М., 1986.
6. Raskob W. KFK 4605, Karlsruhe, 1990.
7. Абагян А.А. и др. Атомная энергия, 1986, 61, с.301.
8. МКРЗ. Оптимизация радиационной защиты на основе анализа соотношения затраты-выгода. Публикация 37 МКРЗ. М.: Энергоатомиздат, 1985.

9. Закон Российской Федерации о статусе территорий, загрязненных в результате Чернобыльской и других радиационных аварий и катастроф или подверженных риску радиоактивного загрязнения (Проект комитета экологии и радиационного использования природных ресурсов). Атом Пресса N 36 (46), ноябрь, 1992.
10. Gjørup H.L. et al. - Riso - R - 641(EN), Roskilde, Denmark, 1992.
11. Булдаков Л.А. и др. Национальные нормы и правила радиационной безопасности при работе с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений. Proceedings of a Symposium, Munich, 7 - 11 May 1990, IAEA, Vienna, 1990, p.1857
12. Вopiлин Е.Г. и др. Атомная энергия, 1991, 71, с.74.
13. IAEA, Radiological Protection Principles for Sources not under Control: Their Application to Accidents. Safety Series N 72, Rev.1. IAEA, Vienna, 1991.
14. Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87 и Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72/87. М.: Энергоатомиздат, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел  
15 апреля 1993 года.

Перевод автора

Komochkov M.M.

P16-93-132

Prediction of Radiation Environment and Harm for Release  
of Considerable Amount of Radionuclides in Environment

The method of radiation environment prediction is presented; it allows in the simplest way to receive information for a general event on the basis of the results of exact calculations for particular events. The distributions of a committed effective dose equivalent for accidental releases of tritium in HTO form as well as plutonium and its main fission products are obtained. Radiation accident will be possible, if the amount of tritium (HTO) release is more than  $\sim 10^{14}$ Bq, plutonium-239 from PFR-2  $\sim 10^{11}$ Bq (from PFR-30 —  $2 \cdot 10^8$ Bq), fission products taking into consideration caesium-137 —  $4 \cdot 10^{12}$ Bq from PFR-2 and  $2 \cdot 10^{10}$ Bq from PFR-30. For the release of radionuclides less than these figures the event can be considered as an incident (on IAEA Nuclear Event Scale).

The investigation has been performed at the Department of Radiation Safety and Radiation Researches, JINR