

Проблема защиты внешней среды при эксплуатации АЭС*

ГУСЕВ Н. Г.

УДК 551.510.72

Защита населения и внешней среды при проектировании и эксплуатации объектов атомной индустрии становится важной социальной проблемой современности. В настоящем обзоре рассмотрена необходимость распределения по источникам излучения установленных пределов дозы и оценки коллективных и популяционных доз от всех видов атомной энергии.

О необходимости распределения пределов доз для населения

Ученые всех стран с первых шагов мирного использования атомной энергии сосредоточили свое внимание на проблеме защиты от ионизирующей радиации. В результате за короткое время была создана самая безопасная для персонала и населения отрасль индустрии — ядерная энергетика.

Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) установила допустимые пределы доз (ПД), которые считаются безопасными для профессиональных работников и населения. На этих рекомендациях основаны национальные регламенты. Однако при проектировании объектов атомной индустрии применение этих регламентов усложняется рядом факторов, обусловленных широким внедрением атомной энергии во многие сферы жизнедеятельности человека. Если допустить, что к 2000 г. электрическая мощность атомных электростанций во всем мире достигнет 3000 ГВт, то по приблизительной оценке одной лишь ядерной энергетикой будет генерироваться в этот период (в млрд. кюри) смеси продуктов деления ~40 000 (без выдержки) и 600 (после годовой выдержки), в том числе долгоживущих продуктов деления (без выдерж-

ки): ^{85}Kr — 3, ^{89}Sr — 400, ^{90}Sr — 30, ^{137}Cs — 35, ^{131}I — 250, ^{129}I — 10^{-5} и т. д. Будет образовываться большое количество долгоживущих изотопов (^3H , ^{14}C , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{134}Cs) и трансурановых элементов. Растет число других источников искусственной радиации, в сферу воздействия которых вовлекается все больше людей. Таким образом, из двух главных принципов защиты от радиации, провозглашенных МКРЗ, — поддержание дозы облучения на возможно низком уровне (с учетом технологических и экономических аспектов) и уменьшение числа облучаемых людей — реально достижим только первый.

Однако в настоящем обзоре ставится вопрос не о дальнейшем снижении доз, а о необходимости распределения установленных сейчас ПД на население с учетом парциального вклада отдельных видов источников излучения, чтобы суммарная доза не превосходила установленный предел.

Проанализировано большое количество материалов по фактическим и прогнозируемым выбросам, уровням загрязнения внешней среды, облучаемости населения различными источниками ионизирующего излучения, методам и подходам к оценке популяционных доз. Часть этих материалов приведена в работах [1—17]. На основе их анализа в настоящем обзоре сделана попытка выделить наиболее важные источники излучения (табл. 1). Приведенный в табл. 1 перечень источников излучения охватывает лишь часть, доступную для количественного анализа.

Особенно сложным оказалось решение вопроса об облучаемости населения при медицинском применении рентгеновских лучей, главным образом в рентгенодиагностике и стоматологической практике. По данным работы [1], среднее значение генетически значимой дозы (ГЗД) от диагностических процедур достигает 20 мрад/год. Поскольку ГЗД является средне-взвешенной величиной с учетом относительной

* Опубликованные в этом номере обзоры являются переработанными текстами докладов, прочитанных на пленарном заседании Всесоюзной научной конференции по защите от ионизирующих излучений ядерно-технических установок (Москва, 17—19 декабря 1974 г.)

Распределение предела дозы на население по источникам излучения, % полного предела дозы

Таблица 1

Источник излучения	Газо-аэрозольные отходы	Жидкие и твердые отходы	Сумма
Водо-водяные реакторы (ВВЭР)	4	2	6
Одноконтурные реакторы (РБМК)	5	3	8
Газоохлаждаемые реакторы	2	1	3
Тепловые атомные электростанции	3	1	4
Быстрые реакторы	2	1	3
Экспериментальные реакторы	3	2	5
Реакторы других типов	4	2	6
Заводы по регенерации горючего	10	8	18
Руда, гидрометаллургия, твэлы	2	3	5
Радиационная химия, облучатели	1	1	2
Могильники жидких и твердых отходов	1	3	4
Строительные материалы	—	—	5
Сельскохозяйственные удобрения	—	—	4
Ускорители, электронно-лучевые трубки	—	—	1
Телевизоры	—	—	1
Резерв для других источников	—	—	25

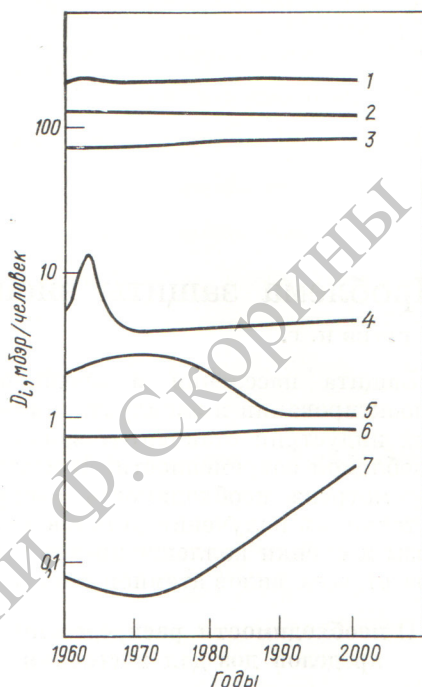
рождаемости и относительной облучаемости лиц до 30-летнего возраста *, реальные дозы на гонады и тем более на костный мозг или брюшную область будут значительно выше.

На рисунке показаны индивидуальные дозы облучения населения США от различных источников облучения [2], оцененные с 1960 по 2000 г. Сравнение сделано по дозам облучения всего тела, кроме дозы от медицинских процедур. При подсчете последней за основу принята соматическая доза на душу населения, обусловленная облучением брюшной области (abdominal dose). Видно, что эта доза составляет около 90% полной дозы от искусственных источников облучения и по крайней мере 35% всех источников, включая дозу от естественной радиации. Будучи в 2—3 раза меньше abdo-

* По определению [1] ГЗД =

$$\frac{\sum_j \sum_k (N_{j,k}^F W_{j,k}^F D_{j,k}^F + N_{j,k}^M W_{j,k}^M D_{j,k}^M)}{\sum_k (N_k^F W_k^F + N_k^M W_k^M)}, \text{ где } j \text{ и } k -$$

вид облучения и возраст; F и M — женский и мужской пол; N_j — число лиц, получивших дозу на гонады D_j рад/год; W — ожидаемое число детей на человека. Все расчеты проводятся до 30-летнего возраста.



Среднегодовая индивидуальная [доза облучения всего тела (США):

1 — полная доза; 2 — естественная радиация; 3 — медицинские процедуры; 4 — глобальные выпадения; 5 — различные источники; 6 — профессиональное облучение; 7 — АЭС и другие источники загрязнения внешней среды

минал dose, ГЗД превосходит дозу от любых других искусственных источников излучения.

Необходимо планировать распределение ПД с учетом всех источников излучения и обратить особое внимание на принятие технических и организационных решений о снижении облучаемости населения при медицинских процедурах. Этот вид радиационного воздействия не приведен в табл. 1, но он должен учитываться (как и облучаемость от загрязнений, обусловленных атомными взрывами) при рассмотрении социальных аспектов применения энергии атома.

Существуют и другие источники, не вошедшие в табл. 1. К ним относятся, например, выбросы естественных радиоактивных веществ, удаляемых в атмосферу тепло- и электростанциями, которые работают на минеральном топливе [9,17]; ядерные взрывы, используемые в мирных целях; аварии в атомной промышленности; облучения в авиации и космонавтике, при транспортировке ядерного горючего и др. Оставленный для них, а также для новых источ-

Годовые пределы доз, бэр

Таблица 2

Категории	Группа критических органов			
	I	II	III	IV
А. Персонал	5	15	30	75
Б. Отдельные лица из населения	0,5	1,5	3*	7,5
В. Население в целом	0,17	0,5	1	—

* Для щитовидной железы детей ПД = 1,5 бэр/год.

ников резерв (25%) не включает, однако, доз от медицинских процедур.

Существуют нормативы, рекомендованные МКРЗ и принятые в НРБ-69 (табл. 2).

Величина ПД = 0,17 бэр/год для населения в целом (I группа критических органов) соответствует ГЗД = 5 бэр за 30 лет. Ниже дано рекомендуемое распределение этого предела дозы, бэр/30 лет:

Персонал	1,0
Отдельные лица	0,5
Население	2
Резерв	1,5

ГЗД для населения распределяется так: 0,5 и 1,5 бэр в результате внешнего и внутреннего облучений соответственно.

Отсутствует распределение предела соматически значимой дозы (СЗД) по различным категориям населения. По-видимому, со временем МКРЗ даст рекомендации по этому вопросу.

При разработке нормативов по облучению возникают новые трудности. Очередная — понятие «глобальные» изотопы. Этот термин возник после того, как стало известно, что в результате атомных взрывов произошло глобальное загрязнение биосферы (включая весь животный и растительный мир, атмосферу и гидросферу) такими искусственными изотопами, как ^3H , ^{14}C , ^{85}Kr , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{137}Cs . Но в ядерной энергетике до сих пор к классу глобальных изотопов относили обычно еще ^{129}I , хотя вследствие большого весового соотношения (6 кг/Ки) распространение этого изотопа на значительные расстояния с воздушными потоками маловероятно. Однако в условиях высокой плотности источников атомной индустрии к классу глобальных следует отнести и ряд других изотопов, которые присутствуют в воздушных выбросах или жидких сбросах атомных объектов. Кроме радиологических свойств (в особенности высокой

радиотоксичности) следует учитывать общее число изотопов, образующихся во всем технологическом цикле; долю, попадающую во внешнюю среду; физические и физико-химические характеристики изотопов; способность активно участвовать в биологических процессах (активный метаболизм); возможность накопления на почве или в других средах; создание повышенных полей γ -излучения на местности и т. п. Самый важный критерий для отнесения того или иного изотопа (или источника) к категории глобальных — относительно большой вклад в коллективную или популяционную дозу. Необходимо также учитывать известное требование, чтобы при установленных сейчас ПД профессиональные работники составляли не более 1,7%, а отдельные лица из населения — 3,3% по отношению ко всему населению.

В табл. 3 приведены ПД, рекомендуемые для отдельных лиц из населения, соответствующие 100%, а также изотопы, которые следует отнести к глобальным. ПД для К-группы изотопов (100 вместо 117 мбэр) принят из указанного выше распределения ГЗД, где для всех категорий отведен генетически значимый ПД, равный 3,5 бэр за 30 лет; для L-группы — из табл. 2 за вычетом дозы 100 мбэр/год, обусловленной вкладом генетически значимых изотопов; для M- и N-групп также из табл. 2 соответственно для категорий В и Б в зависимости от расстояний, на которые могут распространяться изотопы (чем больше расстояние, тем обычно больше вклад в коллективную дозу).

Пределы доз, рекомендуемые для отдельных лиц, мбэр/год Таблица 3

Индекс группы	Изотопы	Группа критических органов		
		I	II	III
K	Глобальные генетически значимые изотопы: ^3H , ^{35}S , ^{85}Kr , ^{133}Xe , ^{134}Cs , ^{137}Cs	100	—	—
L	Глобальные соматически значимые изотопы: ^{14}C , ^{129}I , ^{131}I , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{144}Ce , $^{238-241}\text{Pu}$, ^{241}Am	—	400	900
M	Локальные изотопы*, распространяющиеся в радиусе > 10 км	170	500	1000
N	То же < 10 км	500	1500	3000**

* Локальными условно названы изотопы, не входящие в К- и L-группы.
** Для щитовидной железы детей ПД = 1500 мбэр/год.

При использовании табл. 1 и 3 на практике применяется общепринятое правило: ПД на все тело или отдельные группы органов от суммы изотопов (или нескольких видов ионизирующих излучений) не должен превосходить ПД от одного изотопа.

К другим дискуссионным вопросам можно отнести неопределенность учета вклада в ПД радиоактивных отходов других АЭС или вообще других объектов атомной индустрии; правильный отбор изотопов, относящихся к группе глобальных, в особенности, если речь идет о жидких отходах; неопределенность в прогнозах доз при аварийных ситуациях; известные трудности в прогнозировании развития атомной индустрии и в особенности появления новых источников излучения, и т. п.

В заключение отметим, что КАЭ США в дополнение к основным нормативам еще в 1971 г. издала циркуляр [18], в котором годовой ПД от радиоактивных отходов вновь проектируемых реакторов с водяным охлаждением рекомендуется принимать равным примерно 1/100 ПД, установленного для суммы всех источников, а именно 5 мбэр (вместо 500 мбэр) для отдельных лиц из населения, проживающего на границе защитной зоны (условно 0,5 км), и 1 мбэр (вместо 170 мбэр) в качестве среднегодовой дозы для всего населения. Широкое обсуждение этой концепции КАЭ США дано в работах [6—8].

Анализ фактических газоаerosольных и жидких отходов АЭС, а также фактических и прогнозируемых доз показывает, что предлагаемое распределение пределов доз не вызовет каких-либо экономических или технологических проблем для АЭС, так как фактические (расчетные) дозы значительно ниже тех, которые предлагаются.

О необходимости оценки популяционной дозы

Популяционная доза — это мера общего облучения всего тела или определенного органа для населения (популяции) в целом. Если число людей, получивших дозы облучения в диапазоне от D до $D + dD$, составляет $N(D) dD$, то популяционная доза D_p определяется выражением [19]

$$D_p = \int DN(D) dD, \quad (1)$$

где интегрирование выполняют в пределах общего распределения доз для всей популяции.

Если речь идет о части популяции, используют термин «коллективная доза».

Популяционную дозу можно определить также суммированием индивидуальных доз $D_{i,j}$ по всем группам облучаемых лиц N_j , т. е.

$$D_p = \sum_j N_j D_{i,j}, \quad (2)$$

где j — уровень облучения, а буква i обозначает, что данные величины (D_i, \bar{D}_i, G_i) относятся к индивидууму. Иногда используют также термин «средняя индивидуальная доза» \bar{D}_i :

$$\bar{D}_i = D_p / P, \quad (3)$$

где $P = \sum_j N_j$ — число людей в популяции.

В настоящее время существуют различные математические модели количественной оценки индивидуальных и популяционных доз, обусловленных радиоактивными отходами атомных объектов. В настоящей статье кратко рассматривается модель, разрабатываемая в работах [20—23].

Расчет индивидуальной дозы D_i от газоаerosольных выбросов удобно проводить по формуле

$$D_i = \bar{F} [(бэр/с)/(Ки/м^3)] G_i [с/м^3] Q [Ки]. \quad (4)$$

Здесь Q — выброс изотопа; G_i — «метеорологический фактор разбавления», численно равный отношению концентрации изотопа в атмосферном воздухе к величине выброса изотопа за единицу времени; \bar{F} — переходный дозиметрический множитель, соответствующий мощности дозы при единичной концентрации изотопа в воздухе. Следует заметить, что определение переходного дозиметрического множителя является предметом серьезных исследований, так как он должен учитывать все пути воздействия изотопа на человека (ингаляцию, пищевые цепочки, поля γ -излучения от радиоактивного облака или почвы и т. п.). Для одного и того же изотопа его значения могут очень сильно различаться. Численные данные о множителе \bar{F} приведены в работах [6, 21, 24].

К сожалению, нет единства взглядов на выбор модели для определения коэффициента G_i . Так, в зарубежной практике расчеты G_i ведутся на основе гауссовой модели Пасквилла — Гиффорда [25, 26], рекомендованной МАГАТЭ [27]. В нашей стране используются другие методы (см., например, обзор в работе [28]). Формула (4) для индивидуальной дозы D_i , строго говоря, справедлива при расчете доз от газоаerosольных выбросов для любых путей воздействия, кроме тех случаев, когда загрязненные про-

дукты отправляются в другие районы. В работах [20, 21] аналогичная формула предлагается для популяционной дозы в виде

$$D_p = \bar{F} \left[\frac{\text{бэр/с}}{\text{Ки/м}^3} \right] \bar{\rho} [\text{человек/м}^2] G_p [\text{с/м}] Q [\text{Ки}]. \quad (5)$$

Здесь $\bar{\rho}$ — средняя плотность населения в данной популяции; G_p — так называемый популяционный фактор разбавления, который получается путем интегрирования индивидуального фактора разбавления G_i по всей площади. Его можно представить в следующем виде:

$$G_p = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\infty} \frac{F(t)}{\sigma_z(t)} \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{H_{\text{эф}}^2}{\sigma_z^2(t)} \right] dt, \quad (6)$$

где $F(t)$ — безразмерная функция, учитывающая истощение факела вследствие радиоактивного распада и осаждения изотопов за время t на почву; $H_{\text{эф}}$ — эффективная высота выброса.

В более сложном случае, например, когда загрязненные в районе размещения АЭС продукты питания поступают в другие районы, вклад в популяционную дозу может быть определен из соотношения

$$D_p = \sum_j D_c N_j I_j = D_c I_m, \quad (7)$$

где D_c — нормировочный множитель, численно равный интегральной дозе на единицу поступившей в организм активности $*$, $\frac{\text{бэр}}{\text{Ки/человек}}$; I_j — поступление данного изотопа с пищей в организм группы лиц из N_j человек (здесь j — относится к величине индивидуального поступления); $I_m = \sum_j N_j I_j$ — суммарное поступление изотопа в организмы всех людей, Ки.

В простейшем случае (если пренебречь радиоактивным распадом, изменением содержания изотопа при переработке пищи и т. п.) I_m можно заменить A_m — полным содержанием изотопа во всех загрязненных продуктах питания, Ки:

$$I_m \approx A_m. \quad (8)$$

* Интегральная доза, или dose commitment, в общем виде (для любого количества поступившего в организм изотопа) определяется по формуле $D_c =$

$$= \int_0^{\infty} \dot{D}(t) dt, \text{ рад, или } D_c = \int_0^{\infty} \dot{H}(t) dt, \text{ бэр, где } \dot{D}(t) \text{ и}$$

$\dot{H}(t)$ — мощности поглощенной дозы и дозового эквивалента.

Одно из назначений популяционной дозы — определение общественного риска применения атомной энергии. При этом используется линейная (а не пороговая) зависимость доза — эффект. Тогда при вычислении популяционной дозы от загрязненных продуктов по формуле (7) или с учетом приближения (8) нет необходимости знать распределение индивидуальных доз, число индивидуумов и местности, где они проживают. Важно знать лишь, какое суммарное количество изотопа I_m находится в загрязненных продуктах питания в период их потребления. Чтобы учесть различные метаболические пути воздействия, формулу (7) можно переписать в следующем виде [22]:

$$D_p = D_c K_1 K_2 K_3 Q. \quad (9)$$

Здесь K_1 — часть выброшенных изотопов, осевших на пашнях или пастбищах; K_2 — доля осевших на почву изотопов от выброса, перешедшая в съедобную часть растений; K_3 — отношение кумулятивного содержания изотопа в поглощаемой населением пище к кумулятивному содержанию его в съедобной части культурных растений или кормов в момент сбора урожая или во время выпаса скота. Коэффициент K_3 учитывает распад и выведение изотопа во время перевозки, переработки и при хранении продуктов, а также «потерю» его при миграции в организмах животных.

Эти безразмерные коэффициенты определяются соотношениями

$$K_1 = G_p v_g v; \quad (10)$$

$$K_2 = \eta_1 K_4 + \eta_2, \quad (11)$$

где

$$K_4 = C \left[\frac{(\text{Ки/кг}) \text{ год}}{\text{Ки/м}^2} \right] w \left[\frac{\text{кг/год}}{\text{м}^2} \right] \quad (12)$$

— доля однократно отложившейся на почве активности, которая переходит в съедобную часть однолетних растений, выращенных за время полного выведения ее из вегетативного слоя почвы; v_g — скорость оседания, м/с.

При пастбищном содержании молочных коров

$$K_3 = \frac{T_v [\text{сут/год}]}{365 [\text{сут/год}]} \bar{\rho}_k [\text{корова/м}^2] \times$$

$$\times \bar{S} [\text{м}^2/(\text{корова} \cdot \text{сут})] \frac{T_{\text{эф}} [\text{сут}]}{0,693} K_k; \quad (13)$$

при содержании животных на фермах

$$K_3 = \sum_{\phi} \frac{1}{\lambda T_{\phi}} [1 - \exp(-\lambda T_{\phi})] \times \\ \times K_r \sum_l \xi_{r,l} \exp(-\lambda T_l); \quad (14)$$

для продуктов растительного происхождения

$$K_{\Phi} = \sum_p \frac{1}{\lambda T_p} [1 - \exp(-\lambda T_{\Phi})]. \quad (15)$$

Здесь v — часть территории, занятая соответствующими сельскохозяйственными угодьями; η_1 и η_2 — соответственно доля всей оседающей примеси, которая переходит в съедобную часть растений через корни и листья; w — урожайность сельскохозяйственной культуры; C — интегральное содержание изотопа в съедобной части растений на 1 кг веса при одномоментном загрязнении 1 м² поверхности почвы активностью 1 Ки; $\bar{\rho}_k$ — средняя плотность размещения молочных коров на загрязненной территории; \bar{S} — площадь пастбища, с которой корова поедает траву за одни сутки; T_{Φ} — период полувыведения изотопа из съедобной части травы; K_r — доля изотопа, поглощенного с кормом животных r -го вида, которая перейдет в получаемые от них продукты (для коровы $K_r = K_k$); $\xi_{r, l}$ — доля всех продуктов, даваемых r -видом животных, перерабатываемая в первый вид пищевых продуктов; T_p и T_{Φ} — время хранения на складах растительных продуктов и фуража; T_l — время, затрачиваемое на переработку и транспортировку первого вида пищевых продуктов животноводства; T_v — период выпаса скота; λ — постоянная распада данного изотопа.

В настоящее время для рассматриваемой модели уточняются входные параметры и составляется машинная программа. Заметим, что в отличие от формул (1) и (2), где надо знать индивидуальные дозы облучения, при расчете популяционной дозы от загрязненных продуктов с использованием формул (7) — (15), как уже отмечалось, не требуется знания плотности населения или число индивидуумов в популяции, а необходимо лишь знать количество изотопа, находящегося в загрязненной пище в момент ее потребления.

Среди других математических моделей расчета популяционных и индивидуальных доз от радиоактивных отходов следует выделить модель, разработанную и уже примененную на практике учеными США [10]. На основании этой модели с помощью компьютерного языка BASIC для ЭВМ составлена программа HERMES, охватывающая все возможные пути воздействия радиоактивных веществ во внешней среде и призванная решать также вопросы о потенциальном развитии ядерной энергетики

в США к 2000 г.; об оптимальном выборе площадок для атомных объектов; утечке и распространении радиоактивных веществ и возникающих при этом концентрациях в воздухе, воде, на почве и в донных отложениях; о концентрациях в пищевых продуктах и, наконец, о дозах излучения от радиоактивных веществ, поступающих в организм с воздухом, водой, пищевыми продуктами, а также от внешних излучений в воздухе, воде или на почве. Результаты применения этой и других программ приведены в работах [2, 6, 16, 17].

Популяционные или коллективные дозы являются необходимым социальным критерием в проблеме радиационной безопасности населения и защиты внешней среды, так как на основе их оценки можно решать задачи об обоснованном парциальном распределении ПД на население по источникам излучения, чтобы обеспечить соблюдение установленного предела дозы от всех видов использования энергии атома в жизнедеятельности общества; прогнозировать облучаемость населения при дальнейшем развитии атомной индустрии и на этой основе определять коэффициент общественного риска от вклада в популяционную дозу отдельных источников излучения. Поскольку концепция риска основана на предположении линейной зависимости доза — эффект, коэффициент общественного риска R_p может быть определен из соотношения

$$R_p = \bar{R}_i [\text{повреждение}/(\text{бэр} \cdot \text{человек})] \times$$

$$\times N [\text{человек}/\text{популяция}] \bar{D}_i [\text{бэр}] = \bar{R}_i D_p. \quad (16)$$

Здесь R_i — полный индивидуальный коэффициент риска с учетом соматических и генетических эффектов (по данным МКРЗ, при хроническом облучении $\bar{R}_i = 10^{-4}$). О коэффициентах риска более подробно сообщено в работах [2, 3, 6, 11—14, 16, 17, 28—30].

Вопросы, затронутые в настоящем обзоре, требуют широкого обсуждения и активного участия специалистов различных направлений. Их необходимо решать при планировании развития атомной индустрии будущего, чтобы обеспечить защиту всех поколений населения от ионизирующих излучений и внешней среды от загрязнения радиоактивными веществами.

Поступил в Редакцию 8/1 1975 г.

СПИСОК ЛИТЕАТУРЫ

1. United Nations Scientific Committee on Effect of Atomic Radiation. UN, N.Y., 1972.
2. Estimates of Ionizing Radiation Doses in the United States, 1960—2000. US Environmental Protection Agency, Washington, 1972.

3. **The Potential Radiological Implications of Nuclear Facilities on the Upper Mississippi River Basin in the Year 2000.** US AEC, 1973.
4. **Natural Radiation Exposure in the United States.** US Environmental Protection Agency. Washington, 1972.
5. **Rep. on Releases of Radioactivity in Effluents and Solid Waste from Nuclear Power Plants for 1972.** US AEC, Washington, 1973.
6. **US AEC, Final Environmental Statement Concerning Proposed Rule Making Action: Numerical Guides for Design Objectives and Limiting Conditions for Operation to Meet the Criterion «As Low as Practicable for Radioactive Material on Light-Water-Cooled Nuclear Power Reactor Effluents», V. 1—3.** WASH-1258, 1973.
7. **Whipple G.** Third Intern. Congr. of the Intern. Radiation Protection Association. Washington, 9—14 Sept. 1973, Rep. 156.
8. **Hull A.** «Nucl. News», 1972, v. 11, p. 53.
9. **Pellerin P.** In: Proc. IAEA Symp. on Environmental Surveillance around Nuclear Installations. Warsaw, 5—9 Nov. 1973, Rep. SM-180/76.
10. **Soldat J. e. a.** In: Proc. IAEA Symp. on Environmental Behaviour of Radionuclides Released in the Nuclear Industry. Aix-en-Provence, France, 14—18 May 1972, Rep. SM-172/82.
11. **The Effect on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation BEIR Rep.** Washington, D.C., Nov. 1972.
12. **Comar C.** [7], Rep. 1.
13. **Crow J.** Ibid., Rep. 2.
14. **Upton A.** Ibid., Rep. 3.
15. **Hull A.** Ibid., Rep. 158.
16. **Environmental Radiation Dose Commitment: An Application to the Nuclear Power Industry.** USA EPA-520/4-73-002, Washington, 1974.
17. **Reactor Safety Study. An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants.** US AEC, Washington, 1974.
18. **Licensing of Protection and Utilisation Facilities.** US-10-CFR-50, Federal Register, 1974, v. 36, N 141.
19. **Lindell Bo.** [9], Rep. SM-180/77.
20. **Гусев Н. Г. и др.** [7], докл. 157.
21. **Гусев Н. Г., Беляев В. А.** [9], докл. 82.
22. **Беляев В. А.** В сб.: Опыт эксплуатации АЭС и пути дальнейшего развития атомной энергетики. Т. II. Обнинск, изд. ФЭИ, 1974, с. 355.
23. **Беляев В. А.** В сб.: Международная конференция «Физические аспекты загрязнения атмосферы». Вильнюс, 18—20 июня 1974, с. 176.
24. **Bryant P.** [9], Rep. 12.
25. **Pasgill F.** «Meteorolog. Mag.», 1961, v. 90, p. 33.
26. **Gifford F.** «J. Appl. Meteorolog.», 1967, v. 6, p. 644.
27. **Application of Meteorology to Safety at Nuclear Plants.** Safety Series, N 29. IAEA, Vienna, 1968.
28. **Артемова Н. Е.** «Атомная энергия», 1974, т. 36, в. 1, с. 32.
29. **Москалев Ю. И. и др.** Концепция биологического риска воздействия ионизирующего излучения. М., Атомиздат, 1973.
30. **Радиочувствительность и пространственное распределение дозы** (Публикация № 14 МКРЗ) М., Атомиздат, 1974.
31. **Recent Advances in Nuclear Medicine.** N.Y. — Lond., 1974.