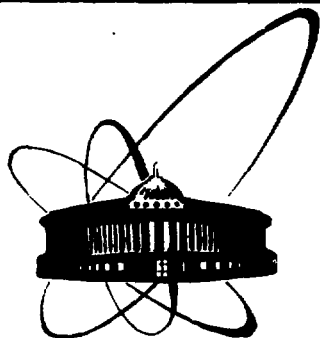


R1102042.1



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P16-91-459

М. М. Комочков

**ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЙ, РАДИАЦИОННАЯ
ОБСТАНОВКА И УРОВЕНЬ РИСКА В ДУБНЕ**

1991

На стр.4 первый абзац раздела 5 следует читать так:

Имелись два основных пути поступления в Дубну радионуклидов, выброшенных из реактора в Чернобыле, где случилась авария в 1986 г.¹⁹. Первый путь – выпадение радионуклидов из воздуха на землю – исчерпал себя в 1986 г.; второй путь – поступление радионуклидов с продуктами питания из зон загрязнения – может в какой-то мере иметь место в настоящее время.

1. ВВЕДЕНИЕ

Цель настоящей работы — дать всестороннюю информацию об источниках ионизирующих излучений, которые формируют радиационную обстановку и определяют радиационный риск в Дубне. Отсутствие такой информации порождает всевозможные домыслы, слухи и приводит порой к неоправданным действиям и решениям. Стремление всестороннюю информацию свести к упрощенной неизбежно приводит к иллюзорности эффекта, на который возлагают надежды. Доказательства этого утверждения можно найти, внимательно прочитав представляемую работу.

Пребывание в полях ионизирующих излучений от любых источников, как естественного, так и искусственного (техногенного) происхождения, сопряжено с риском ущерба здоровью или даже жизни; степень риска зависит от полученной дозы излучения. В области малых доз излучения (ниже 0,25 Зв)^{1/} их значения устанавливаются для оценки возможного ущерба здоровью человека от хронического воздействия ионизирующего излучения в единицах эквивалентной дозы — зивертах (1 Зв = 100 бэр) или их производных. Мерой радиационного риска в СССР является пока еще максимальная эквивалентная доза (МЭД) — наибольшее значение суммарной эквивалентной дозы H в критическом органе (теле) от всех источников внешнего и внутреннего облучения. Значения МЭД регламентируются основными дозовыми пределами^{1/}.

Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) рекомендовала^{2/} в качестве меры радиационного риска эффективную дозу E , на которую ориентированы мировые данные об источниках излучений, их воздействиях на человека, а также дозовые пределы^{2,3/}. В настоящей работе мы вынуждены пользоваться как H , так и E , т.к. первая величина пока еще обязательна^{1/}, а вторая — предпочтительна.

В Дубне, как и везде, на человека действуют несколько источников излучений:

- космическая радиация;
- естественные радионуклиды;
- радионуклиды от испытаний ядерного оружия;
- загрязнения от аварии в Чернобыле;
- медицинские источники излучений.

Особенностью Дубны является наличие источников ионизирующих излучений, в частности, в ОИЯИ.

В следующих разделах будут описаны характеристики этих источников, радиационная обстановка и риск, создаваемый ими для населения Дубны.

2. КОСМИЧЕСКАЯ РАДИАЦИЯ

Этот компонент естественного фона излучения включает в себя на уровне Дубны в основном мю-мезоны, электроны и нейтроны; все они являются продуктами взаимодействия первичного космического излучения с атмосферой Земли и (в отношении нейтронов) с верхним слоем Земли. Мю-мезоны и электроны с небольшой примесью других заряженных частиц составляют заряженный компонент эффективной дозы космического излучения E_3 . На уровне моря среднее (по земному шару) значение мощности эффективной дозы \dot{E}_3 принято равным $0,24 \text{ мЗв/год}^{13/}$. Для Дубны \dot{E}_3 , измеренная* на середине Волги, оказалась равной $0,27 \text{ мЗв/год}$. Место измерения над водой было выбрано для исключения вклада в показания прибора от излучения радионуклидов в земле; при этом детектор прибора — ионизационная камера, наполненная аргоном под давлением, — практически не регистрировал нейтроны.

Нейтронный компонент космического излучения был измерен в Дубне ранее^{14,5/}. Мощность эквивалентной дозы нейтронов с энергией менее 15 МэВ составила $19 \text{ мкЗв/год}^{14/}$. В работе^{15/} приведены результаты спектра и плотности потока нейтронов с энергией более 20 МэВ , которая составила $5,5 \cdot 10^{-3}$ нейтрон/(см²с). Пользуясь коэффициентом перехода от флюенса к МЭД, равным $4,4 \cdot 10^{-10} \text{ Зв} \cdot \text{см}^2$ для нейтронов в энергетическом интервале $20 \div 500 \text{ МэВ}^{11/}$, получим мощность максимальной эквивалентной дозы, равную 75 мкЗв/год . Это значение оказалось близким к максимальному из всех значений, приведенных в работе^{16/}. Если за наиболее вероятное значение мощности эффективной дозы нейтронов космического происхождения для Дубны принять $60 \text{ мкЗв/год}^{13/}$, то суммарная мощность эффективной дозы космического излучения будет $0,33 \text{ мЗв/год}$.

3. ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ

К естественным радионуклидам относят радиоактивные элементы собственно земного происхождения (примордиальные) и радиоактивные элементы, образованные космическим излучением в атмосфере и земной коре (космогенные). Основной вклад в дозу излучения, получаемую человеком, вносят лишь примордиальные радионуклиды: продукты распада ^{238}U , в частности, радон (^{222}Rn и ^{220}Rn), ^{40}K , продукты распада ^{232}Th . Источники излучения расставлены в порядке снижения их вклада в дозу, которая создается излучением радионуклидов, находящихся как вне человека (внешнее облучение), так и внутри него (внутреннее облучение).

* Измерения выполнены Ф.Перничкой.

Внешнее облучение определяется прежде всего гамма-квантами ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th и их продуктами распада. Средняя для суши мощность поглощенной дозы γ -излучения в воздухе на открытой местности на высоте 1 м от земли D_γ составляет 0,38 мГр/год, из них на ^{232}Th и его продукты распада приходится 0,19 мГр/год, на ^{40}K — 0,18 мГр/год и на ^{238}U и его продукты распада — 0,11 мГр/год. Типичный диапазон изменения дозы D_γ находится в интервале (0,21 ÷ 0,74) мГр/год⁷⁷. В Дубне и окрестностях D_γ колеблется в диапазоне (0,22 ÷ 0,41) мГр/год при среднем значении ~0,31 мГр/год. Сезонные вариации этой величины составляют ~5%. Помимо гамма-излучения природные радионуклиды испускают бета-излучение, вклад в дозу внешнего облучения которого невелик и составляет $7 \cdot 10^{-3}$ мГр/год. Еще меньший вклад в дозу внешнего облучения вносят α -частицы. Внутри помещений, стены которых могут являться одновременно и защитой от наружного излучения и источником радиации, мощность дозы зависит от материала жилищ. В деревянных домах D_γ на 25 ÷ 30% ниже, чем вне помещения⁷⁷.

Представительное отношение дозы внутри помещений из кирпича к дозе вне помещений находится в диапазоне 1 ÷ 1,6⁷⁷. Аналогичное отношение в Дубне по результатам измерений составляет 0,97 ÷ 1,8 при средней мощности дозы внутри кирпичных зданий — 0,43 мГр/год. Принимая во внимание, что человек вне жилища находится 20% времени, а также имея в виду, что $E_\gamma = 0,7 D_\gamma$ ⁷³, получим

$$E_\gamma = 0,29 \text{ мЗв/год.}$$

Внутреннее облучение определяется прежде всего радоном (79% от суммарной эффективной дозы внутреннего облучения E_B), испускающим α -частицы; далее идут ^{40}K (~11%) — β - γ -излучение и ^{210}Pb (~8%) — α -частицы. Средняя (по земле) годовая доза человека E_B составляет величину 1,6 мЗв, диапазон изменения этой величины находится в интервале 0,2 ÷ 4 мЗв⁷⁷. Большой диапазон колебаний E_B обусловлен сильной зависимостью концентрации радона от состава земли, материала жилищ и степени их проветривания. В непроветриваемых жилищах накапливается большое количество радона.

В Дубне содержание радона и калия, как источников внутреннего облучения, непосредственно не измеряли. Поэтому дозу E_B можно оценить, имея в виду приблизительное постоянство отношения (E_B/E_γ)⁷⁷ или, что то же самое, (E_B/E_γ) \cong A. Принимая значение $A \cong 3,8$ согласно работе⁷⁷ и имея в виду измеренное значение $E_\gamma = 0,29$ мЗв/год, получим $E_B = 1,1$ мЗв/год. Диапазон изменения составят числа 0,54 ÷ 3,35 мЗв/год. Указанные значения не включают в себя дозы внутреннего облучения от курения, обусловленные вдыханием природных радионуклидов ^{210}Pb и ^{210}Po . Между тем курение является одним из самых серьезных факторов риска для здоровья и жизни людей⁷⁸. Достаточно сказать, что выкуривание одной сигареты в среднем эквивалентно получению эффективной дозы 0,025 мЗв.

4. РАДИОНУКЛИДЫ ОТ ИСПЫТАНИЙ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

Испытания ядерного оружия, которые проводятся с 1945 г., приводят к загрязнению воздуха и земли радионуклидами, основными из которых в настоящее время являются ^{14}C , ^{137}Cs и ^{90}Sr . Указанные радионуклиды являются источниками как внутреннего, так и внешнего облучения. Эффективная доза облучения оценивалась на основании результатов измерений* концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr в траве и верхнем слое почвы с использованием мировых данных^{17/} по переходу от концентраций к эффективным дозам и предположения об экспоненциальном спаде дозы от времени в соответствии с постоянной распада радионуклида. В результате получили следующие величины ожидаемых в 1991 г. доз облучения в Дубне на одного жителя:

$E(^{137}\text{Cs}) = 8,7$ мкЗв/год, из них 2,8 мкЗв/год за счет внутреннего облучения и 5,9 мкЗв/год за счет внешнего облучения;

$E(^{90}\text{Sr}) = 1,8$ мкЗв/год за счет внутреннего облучения (доза внешнего облучения пренебрежимо мала). Эффективную дозу внутреннего облучения за счет ^{14}C оценили на основании данных^{17/}, для средних широт северного полушария она равна

$E(^{14}\text{C}) = 4,2$ мкЗв/год.

Суммарная доза по всем радионуклидам — продуктам ядерных испытаний — составит в 1990 г. 14,7 мкЗв, за счет внутреннего облучения 8,8 мкЗв и за счет внешнего облучения 5,9 мкЗв. Таким образом, доза облучения за счет радионуклидов от испытаний ядерного оружия составляет менее 1% от дозы естественных источников радиации.

5. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОТ АВАРИИ В ЧЕРНОБЫЛЕ

Имелись два основных пути поступления в Дубну радионуклидов, выброшенных из реактора в Чернобыле, где случилась авария в 1986 г.^{19/}. Первый путь — выпадение радионуклидов из воздуха на землю — исчерпал себя в 1986 г.; второй путь — выпадение радионуклидов с продуктами питания из зон загрязнения — может в какой-то мере иметь место в настоящее время.

Концентрацию радионуклидов измеряли в Дубне в воздухе, осадках, траве, почве, воде. Результаты измерений показали наличие в окружающей среде (ОС) таких, например, радионуклидов, как ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{103}Ru , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{140}La , которые в ОС в 80-х годах не регистрировали; их наличие можно было объяс-

* Измерения выполняли В.А. Архипов, С.И. Аленицкая, А.Н. Каргин, Е.В. Попова.

нить только аварийей в Чернобыле. Концентрации ^{134}Cs и ^{137}Cs в ОС Дубны и Москвы ¹¹⁰ совпадали с точностью до коэффициента 2. Концентрации зарегистрированных радионуклидов в Дубне оказались приблизительно на порядок величины ниже, чем в Ленинградской области ¹¹¹. Результаты измерений концентрации радионуклидов в ОС и коэффициенты перехода от единиц радиоактивности к эквивалентной дозе, которые использовались в работах ^{110,111}, дали возможность оценить радиационную нагрузку на население Дубны от загрязнений первым путем. За два наиболее значимых года после аварии (1986 ÷ 1988 гг.) эффективная доза E_d на одного жителя Дубны составила 0,14 мЗв. Оценки E_d на 1990 г. дают $\sim 0,007$ мЗв, что в сотни раз ниже допустимого значения; на внешнее облучение приходится 0,004 мЗв/год, на внутреннее — 0,003 мЗв/год. Дозу облучения жителей Дубны, полученную вторым путем, можно оценить лишь на основе отдельных измерений концентрации радионуклидов в продуктах питания q , поступивших в наш город из районов, загрязненных больше, чем Дубна; измерения показали, что q в десятки и сотни раз ниже допустимых пределов. Эта оценка подкрепляется результатами прямых измерений содержания радионуклидов цезия Q в организме двух жителей Дубны; на 15.12.1986 величины Q составили $2 \cdot 10^3$ и $2,3 \cdot 10^3$ Бк, что в ~ 500 раз ниже допустимого содержания в организме персонала ¹¹¹.

В работе ¹¹² сделана оценка ожидаемой (пожизненной) эффективной дозы E_o облучения населения различных экономических районов СССР. В частности, на одного жителя центрального района E_o составит около 1,4 мЗв, что не противоречит приведенным выше радиационным нагрузкам, если 1,4 мЗв рассматривать как верхнее значение E_o для жителя Дубны.

6. МЕДИЦИНСКИЕ ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЙ

В настоящее время облучение людей в медицине занимает первое место по величине дозы среди других созданных человеком источников ¹³. Не является исключением и население Дубны, как это будет видно из итоговой таблицы, несмотря на наличие действующих ядерно-физических установок. Из других медицинских источников облучения жителей города — лучевой диагностики и терапии остановимся лишь на первой, т.к. она вносит 90-95% эффективной дозы всех медицинских процедур ¹³. Дозиметрические измерения в Дубне проводились на аппаратах МСЧ-9 для рентгеновской диагностики. Первые измерения позволили оценить дозы при различных рентгенодиагностических процедурах ¹¹³. При рентгенографических процедурах средние кожные дозы облучения различных органов колеблются от 1,8 (верхние конечности) до 47 мЗв (позвоночник). Средние кожные дозы при рентгеноскопии грудной клетки и желудка составили, соответственно, 18 и 124 мЗв. Оценки средней эффективности дозы за год на одну рентгенодиагностическую процедуру и одного жителя дают, соответственно, 1,44 мЗв и 0,7 мЗв.

Переход от кожной дозы при облучении различных органов к эффективной дозе выполняли на основе данных^{17,14}. Средняя кожная эквивалентная доза за год медицинского персонала при выполнении ими рентгенологических процедур по данным индивидуального контроля составляет 2,3 мЗв. Эта величина несколько выше эффективной эквивалентной дозы, которую получает этот персонал.

7. ИСТОЧНИКИ ОИЯИ

В Институте действует около десятка ядерно-физических установок, из которых два — импульсные быстрые реакторы ИБР-2 и ИБР-30, а остальные — ускорители заряженных частиц. Кроме этих источников ионизирующих излучений, сотрудники Института в своей работе имеют дело с радиоактивными веществами как в открытой, так и в закрытой форме. Характеристики некоторых из этих источников, радиационная обстановка вблизи них и облучаемость персонала представлены в работе¹⁵. На радиационную обстановку в институтской части города сколько-нибудь заметное влияние оказывают радиация от фазотрона (0,04 мЗв/год), от ИБР-2 (0,025 мЗв/год от ^{41}Ar) и от синхрофазотрона (0,015 мЗв/год) при их нормальной работе. Для района Большая Волга наибольшая доза радиации составляет 0,032 мЗв/год, а для левобережной части — 0,018 мЗв/год. Средняя эффективная доза излучения в год на одного жителя Дубны (исключая ту часть сотрудников ОИЯИ, которые непосредственно работают с источниками ионизирующих излучений, — персонал) с учетом ослабления излучения в домах составит 0,02 мЗв. Средняя эффективная доза персонала (~2560 человек) по итогам контроля 1990 г. равна 2,2 мЗв. Принимая во внимание общую численность населения Дубны 65000 человек, получим среднюю эффективную дозу на одного жителя города 0,1 мЗв/год; минимальная доза при этом составит 0,01 мЗв/год, а максимальная — 50 мЗв/год, что является предельно допустимой дозой для персонала при общем облучении¹¹. Выполненные оценки относятся к ядерно-физическим установкам, и, в частности, к реакторам, действующим в нормальном режиме.

Представляется необходимым оценить вероятность аварии на реакторах и облучения населения Дубны с целью определения потенциального радиационного риска. Вероятность аварии W оценим на основе данных о числе имевших место аварий n_i с уровнем i по шкале, предложенной МАГАТЭ (апрель 1990 г.), и о числе реакторолет N , наработанных действующими реакторами:

$$W_i = \frac{n_i}{N}.$$

Из наиболее значимых аварий рассмотрим три.

— Авария в Чернобыле, которая занимает в единственном числе ($n_i = 1$) наиболее высокий 7-й уровень с выбросом радионуклидов, эквивалентных по своему радиологическому действию более чем 10^{17} Бк иода-131. Средняя поглощенная доза для критической группы населения Припяти при этом составила 130 мГр, а для подавляющего большинства населения Припяти 15-50 мГр¹².

– Авария в Виндскейле (Англия, 1957 г.), занимающая пятый уровень с выбросом радионуклидов, эквивалентных по своему радиологическому действию от 10^{14} до 10^{15} иода -131, что позволяет оценить среднюю поглощенную дозу человека не более чем 0,5 мГр.

– Авария на Три-Майл Айленде (США, 1979 г.) занимает также 5-й уровень.

Для двух последних аварий ($n_5 = 2$) пятого уровня примем одинаковые нагрузки на население.

Значение N оценим на основании данных бюллетеней МАГАТЭ* о количестве энергетических и исследовательских реакторов. Согласно этим данным на 31.12.88 наработано 5257 реакторолет на энергетических реакторах. За период с 31.12.88 по настоящее время (август 1991 г.) дополнительно наработано ~ 1130 реакторолет. На 31.12.89 число действовавших исследовательских реакторов составляло 325, а энергетических – 436. Полагая, что $\frac{N_3}{N_4} \cong \frac{436}{325}$, где N_3 и N_4 – число наработанных к настоящему времени реакторолет на энергетических и исследовательских реакторах соответственно, получим $N = N_3 + N_4 = 6387 + 4761 \cong 11150$ реакторолет (август 1991 г.). Таким образом, вероятность аварии в течение одного года со средней поглощенной дозой населения в диапазоне $15 \div 130$ мГр для двух реакторов составит:

$$W_7 = \frac{1 \times 2}{11150} \cong 18 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Вероятность аварии с радиологическими последствиями, соответствующими 5-му уровню, составит:

$$W_5 = \frac{2 \times 2}{11150} \cong 36 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Аварии 4-го (Франция, 1980) и 3-го уровней (Испания, 1989) принимать во внимание не будем, т.к. их вероятность $18 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$, а последствия на три и четыре порядка ниже, чем для 7-го уровня.

8. РАДИАЦИОННЫЙ РИСК И ЕГО СООТНОШЕНИЕ С ДРУГИМИ ВИДАМИ РИСКА

Для определения радиационного риска (вероятности смерти от воздействия радиации) необходимо прежде всего определить его меру – эффективную дозу E , рекомендованную МКРЗ¹², или максимальную эквивалентную дозу H , принятую в СССР¹¹, от всех источников ионизирующих излучений в Дубне. Имеющейся информации для вычисления H недостаточно, поэтому мы будем опираться в дальнейшем лишь на E , используя ее свойство аддитивности:

* IAEA Bulletin, v.31, 32, 1989, 1990, Vienna.

Таблица 1. Годовые эффективные дозы \dot{E} на одного жителя Дубны

| Источники излучений | \dot{E} , мЗв/год | | | | | | \dot{E} , % сумма, |
|---|-------------------------------|-------------|----------------------------------|---------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------|
| | Внешнее облучение \dot{E}_1 | | Внутреннее облучение \dot{E}_2 | | Сумма $\dot{E}_1 + \dot{E}_2$ | | |
| | среднее | диапазон | среднее | диапазон | среднее | диапазон | среднее |
| Космическая радиация | 0,33 | — | — | — | 0,33 | — | 12 |
| Естественные радионуклиды | 0,29 | 0,24 ÷ 0,35 | 1,1 | 0,3 ÷ 3,0 | 1,39 | 0,54 ÷ 3,35 | 55,1 |
| Радионуклиды от испытаний ядерного оружия | 0,006 ^а | — | 0,009 ^а | ? | 0,015 ^{а,б} | ? | 0,6 ^а |
| Загрязнения в результате Чернобыльской аварии | 0,004 ^а | — | 0,003 ^а | 0,001 ÷ 0,013 | 0,007 ^{а,б} | 0,005 ÷ 0,02 | 0,3 ^а |
| Рентгеновские аппараты (диагностика) | 0,7 | 0,05 ÷ 10 | — | — | 0,7 | 0,05 ÷ 10 | 28 |
| Источники ОИЯИ | 0,1 | 0,01 ÷ 50 | — | — | 0,1 ^б | 0,01 ÷ 50 ^в | 4 |
| Всего (округлено) | 1,4 | 0,61 ÷ 61 | 1,1 | 0,3 ÷ 3,0 | 2,5 | 0,92 ÷ 64 | 100 |

а) На 1990 г. б) Предел дозы (H) для отдельных лиц от совокупности этих источников — 5 мЗв/год¹¹; предел дозы (E) для населения — 1 мЗв¹²; в) 50 мЗв/год — предельно допустимая доза (H) для персонала¹¹; предел дозы (E) для персонала — 20 мЗв/год¹²; величины доз указаны для общего облучения человека.

$$E = \sum_i E_i,$$

где E_i – эффективная доза от i -го источника. В табл. 1 представлены \dot{E} для рассмотренных в работе источников, а также суммарные величины как в абсолютных единицах, так и в процентах. На источники ОИЯИ приходится в среднем лишь около 4% от суммарной радиационной нагрузки, которую в основном определяют природные источники и рентгеновская диагностика.

Радиационный риск РР и, в частности, его уровень УРР (вероятность смерти в течение одного года от воздействия радиации) можно определить, зная коэффициент радиационного риска КРР (число случаев смерти на единицу мощности эффективной дозы):

$$УРР = КРР \times \dot{E}.$$

Согласно рекомендациям МКРЗ^{/2/} значения КРР можно принять равными: $5,6 \cdot 10^{-5}$ случаев смерти (с.с.) на одного работающего (в том числе из персонала) при получении им эффективной дозы 1 мЗв и $7,3 \cdot 10^{-5}$ с.с. на одного жителя при получении им эффективной дозы 1 мЗв.

Тогда в среднем на одного жителя Дубны: $УРР = 7,3 \cdot 10^{-5} \times 2,5 = 18 \cdot 10^{-5}$ с.с. за год, а для персонала дополнительный УРР составит: $УРР = 5,6 \cdot 10^{-5} \times 2,2 = 12 \cdot 10^{-5}$ с.с. за год. Для того чтобы оценить, много это или мало, необходимо этот вид риска сравнить с другими видами риска с помощью доступных данных^{/8,16,17/}, что и сделано в табл. 2. Помимо значений уровня риска (УР), в табл. 2 приведена другая принятая^{/2,8,16/} форма ущерба – потери продолжительности жизни (L) на одного человека, которые с УР находили из следующего соотношения^{/8/}:

$$L = УР \times L_1 \times T,$$

где L_1 – потери продолжительности жизни на один случай смерти, а T – продолжительность жизни, принятая в расчетах равной 70 годам или 25500 дней. L_1 принимали следующие значения:

13 лет – в случаях последствий от действия ионизирующих излучений^{/2/} и от курения сигарет,

20 лет – в случаях болезней, употребления алкоголя и наркотиков^{/8/},

30 лет – во всех несчастных случаях (заимствовано из данных о профессиональном риске^{/8/}).

Из данных таблицы следует, что ущерб здоровью жителя Дубны от работы всех источников ионизирующих излучений ОИЯИ не превышает потери трех дней жизни. Такой ущерб более чем в 2 раза меньше ущерба от употребления кофе^{/8/} и приблизительно в тысячу раз меньше, чем от курения сигарет.

Таблица 2. Уровень риска (число случаев смерти за год на 10^5 человек из указанного контингента) или потери продолжительности жизни (L) на одного человека

| Город, Страна | Причина смерти | Контингент людей, год | Уровень риска | L дни | |
|---------------|---|--------------------------|------------------------|-------|-----|
| Дубна | Последствия от действия ионизирующих излучений | Только источников ОИЯИ | Все жители 1990 г. | 0,7 | 2,4 |
| | | Всех источников | Персонал ОИЯИ, 1990 г. | 12 | 42 |
| | | | Все жители 1990 г. | 18 | 60 |
| | | | Персонал ОИЯИ, 1990 г. | 26 | 86 |
| СССР | Все несчастные случаи | Все жители 1985--1988 | 102 | 780 | |
| | Все болезни | | 408 | 4630 | |
| | Все причины ¹⁷ | | 1010 | 5410 | |
| | Все причины ¹⁸ | Все жители, 1979 г. | 836 | 4476 | |
| | Все болезни | | 777 | 4041 | |
| | Все несчастные случаи | | 57 | 435 | |
| США | Последствия курения ¹⁸ | мужчины 1979 г. | 678 | 2250 | |
| | | женщины | 241 | 800 | |
| | Последствия употребления алкоголя и наркотиков | Все жители 1979 г. | 25 | 130 | |
| | Последствия от действия ионизирующих излучений* | Все жители без персонала | 30 | 100 | |
| | | Персонал | 35 | 115 | |

* Значения уровня риска получены на основании данных работ об облучаемости населения США¹⁸, включая рентгенологические процедуры¹⁷ и КРР¹².

Уровень радиационного риска от возможной аварии на реакторах ОИЯИ оценим на основе данных о ее вероятности W и средней дозе на одного жителя Дубны для соответствующих уровней аварии, которые указаны в предыдущем разделе:

$$УРР = W_7 \times E_7 \times KPP + W_5 \times E_5 \times KPP = 18 \cdot 10^{-5} \times 50 \times 7,3 \cdot 10^{-5} + 36 \cdot 10^{-5} \times 0,5 \times 7,3 \cdot 10^{-5} \cong 6,6 \cdot 10^{-7} \text{ случаев смерти в год на одного жителя.}$$

При расчете приняли среднюю эффективную дозу на одного жителя Дубны для аварии 7-го уровня равной 50 мЗв, а для 5-го уровня — 0,5 мЗв. Сравнивая полученное значение УРР с данными табл. 2, можно видеть, что вклад риска от потенциальной аварии в УРР от действующих источников ОИЯИ составляет около 10%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе дан краткий анализ радиационной обстановки в Дубне, создаваемой всеми основными известными источниками ионизирующих излучений. На основании полученной информации об облучаемости населения Дубны и персонала ОИЯИ оценен уровень радиационного риска и ущерб, выраженный в уменьшении продолжительности жизни. Установлен пренебрежимо малый вклад в ущерб от действующих источников ионизирующих излучений ОИЯИ, по сравнению с природной радиацией и обыденными источниками вреда, такими, например, как курение и употребление алкоголя.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Нормы радиационной безопасности НРБ — 76/87. Основные санитарные правила ОСП — 72/87. М.: Энергоатомиздат, 1988.*
2. *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Annals of the ICRP, 1991, v.21, №1-3.*
3. *United Nations. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR, 1988, Report General Essembly. New-York, 1988.*
4. *Комочков М.М. и др. — ОИЯИ, Р16-12078, Дубна, 1979.*
5. *Timoshenko G.N., Krylov A.R. — JINR, E16-89-59, Dubna, 1989.*
6. *Nakamura T. et al. — Health Phys., 1987, 53, p.509.*
7. *Организация Объединенных Наций. Доклад за 1982 г. научного комитета по действию атомной радиации "Ионизирующее излучение: источники и биологические эффекты" том 1, ООН, Нью-Йорк, 1982.*
8. *Cohen B.L., Lee I-Sing. — Health Phys., 1979, 36, p.707.*
9. *Абагян А.А. и др. — Атомная энергия, 1986, 61, с.301.*
10. *Телушкина Е.Л. и др. — Атомная энергия, 1991, 70, с.43.*

11. Недбаевская Н.А. – *Атомная энергия*, 1991, 70, с.63.
12. Ильин Л.А., Паеловский О.А. – *Атомная энергия*, 1988, 65, с.119.
13. Афанасьев В.П. и др. – *Медицинская радиология*, 1960, 11.
14. Организация Объединенных Наций. Доклад за 1977 г. научного комитета по действию атомной радиации "Источники и действие ионизирующей радиации" том П. ООН, Нью-Йорк, 1978.
15. Комочков М.М. – ОИЯИ Р16-89-539, Дубна, 1989.
16. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication 45. Annals of the ICRP, 1985, 15, №3, Pergamon Press, Oxford.*
17. Харисов Г.Х. – *Атомная энергия*, 1990, 68, с.363.
18. *National Council on Radiation Protection and Measurements USA. NCRP Report 91, Bethesda USA, 1987.*

Рукопись поступила в издательский отдел
22 октября 1991 года.

Комочков М.М.

P16-91-459

Источники излучений, радиационная обстановка
и уровень риска в Дубне

Представлена всесторонняя информация об источниках ионизирующих излучений, которые формируют радиационную обстановку и определяют радиационный риск в Дубне. Систематизация результатов измерений выполнена на основе эффективной дозы и уменьшения ожидаемой продолжительности жизни. Выявлен вклад различных источников в суммарный ущерб здоровью жителей Дубны. Источники ионизирующих излучений ОИЯИ вносят 4% от суммарной эффективной дозы природных и медицинских источников излучений; вред от них много меньше вреда от курения сигарет.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1991

Перевод автора

Komochkov M.M.

P16-91-459

Radiation Sources, Radiation Environment
and Risk Level at Dubna

The overall information about ionizing radiation sources, which form radiation environment and risk at Dubna, is introduced. Systematization of the measurement results is performed on the basis of the effective dose and losses of life expectancy. The contribution of different sources to total harm of Dubna inhabitants has been revealed. JINR sources carry in $\sim 4\%$ from the total effective dose of natural and medicine radiation sources; the harm from them is much less than the harm from cigarette smoking.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1991

Редактор Е.К.Аксенова. Макет Н.А.Киселевой,
Набор Е.Н.Водоватовой.

Подписано в печать 19.11.91.

Формат 60х90/16. Офсетная печать. Уч.-изд.листов 1,13

Тираж 350. Заказ 44793.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Дубна Московской области.