

PACS: 87.53.-j; 87.66.Jj

## DEFINING THE ROLE OF RADIATION RISK FACTOR IN CANCER CAUSATION AMONG KIPT WORKERS: PROGNOSIS OF STOCHASTIC EFFECTS AND FORMING OF RISK GROUPS

**A. Mazilov, I. Stadnyk**

*National Science Center "Kharkov Institute of Physics and Technology"*

*Academic str., 1, Kharkov, 61108, Ukraine*

*E-mail: [mazilov@kipt.kharkov.ua](mailto:mazilov@kipt.kharkov.ua)*

Received November 11, 2013

The UNSCEAR-94 methodology for estimating of the individual radiation risks has been described. The characteristic of KIPT staff in the terms of "dose-response matrix" has been done. The main results of the calculations of the relative, attributive and absolute radiation risks of the KIPT personnel for different locations and different risk groups have been shown. The distribution of the main characteristics of the personnel: age, length of service at the individual monitoring and the cumulative dose for different groups of the radiation risk has been described.

**KEY WORDS:** individual monitoring, radiation risk, risk group, KIPT staff, social protection

### ВИЗНАЧЕННЯ РОЛІ РАДІАЦІЙНОГО ФАКТОРУ РИЗИКУ В ІНДУКЦІЇ ЗЛОЯКІСНИХ НОВОУТВОРЕНЬ СЕРЕД ПРАЦІВНИКІВ ННЦ ХФТІ: ПРОГНОЗ СТОХАСТИЧНИХ ЕФЕКТІВ ТА ФОРМУВАННЯ ГРУП РИЗИКУ

**А.В. Мазилів, І.А. Стадник**

*Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»*

*вул. Академічна, 1, м. Харків, 61108, Україна*

Описано методологію оцінки індивідуальних радіаційних ризиків для пролонгованого опромінення UNSCEAR-94. Дана характеристика персоналу ННЦ ХФТІ, що перебуває на ІДК, в термінах «дозової матриці». Наведено основні результати розрахунків відносного, атрибутивного й абсолютного радіаційних ризиків персоналу ННЦ ХФТІ для різних локалізацій і різних груп ризику. Показано розподіл основних характеристик персоналу: віку, стажу на ІДК і накопленої дози для різних груп радіаційного ризику.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** індивідуальний дозиметричний контроль, радіаційний ризик, група ризику, персонал ННЦ ХФТІ, соціальний захист

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РОЛИ РАДИАЦИОННОГО ФАКТОРА РИСКА В ИНДУКЦИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ СРЕДИ РАБОТНИКОВ ННЦ ХФТИ: ПРОГНОЗ СТОХАСТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ И ФОРМИРОВАНИЕ ГРУПП РИСКА

**А.В. Мазилів, І.А. Стадник**

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»*

*ул. Академическая, 1, г. Харьков, 61108, Украина*

Описана методология оценки индивидуальных радиационных рисков для пролонгированного облучения UNSCEAR-94. Дана характеристика персонала ННЦ ХФТИ, состоящего на ИДК, в терминах «дозовой матрицы». Приведены основные результаты расчетов относительного, атрибутивного и абсолютного радиационных рисков персонала ННЦ ХФТИ для различных локализаций и различных групп риска. Показаны распределения основных характеристик персонала: возраста, стажа на ИДК и накопленной дозы для различных групп радиационного риска.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** индивидуальный дозиметрический контроль, радиационный риск, группа риска, персонал ННЦ ХФТИ, социальная защита

В качестве радиационного риска в международных стандартах рассматривается, в первую очередь, увеличение вероятности онкозаболевания – канцерогенный риск. Для доз равномерного облучения всего тела, превышающих порог в 200 мЗв, установлена однозначная связь между дозой и возникновением онкозаболевания. Такая связь носит название «детерминированный эффект радиационного воздействия», степень тяжести детерминированного эффекта прямо пропорциональна полученной дозе.

Для области малых доз (менее 200 мЗв) однозначная зависимость между облучением и онкозаболеваемостью не выявлена. Вместе с тем, существует вероятность того, что трансформация клеток в результате облучения малой дозой после некоторого латентного периода может вызывать у облученного лица онкозаболевание, если облученные клетки являются соматическими, либо привести к генетическим мутациям, если это зародышевые клетки. Такие эффекты носят название «стохастических». Предполагается, что вероятность возникновения стохастического эффекта пропорциональна полученной дозе, при этом порогового значения не существует [1].

Методология оценки радиационного риска определена в отчетах Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН), стандартах безопасности Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) и рекомендациях Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ), и реализована в модели UNSCEAR-94 НКДАР ООН [2, 3, 4]. Данная модель позволит оценивать индивидуальные

радиационные риски солидных раков и лейкозов с учетом индивидуальных характеристик облученного лица: пола, возраста на момент начала облучения, достигнутого возраста, динамики облучения.

Основной целью работы по оценке индивидуальных радиационных рисков является реализация концепции социально приемлемого риска: в соответствии с международной практикой и действующими Нормами радиационной безопасности Украины (НРБУ-97) приемлемый индивидуальный абсолютный радиационный риск при техногенном облучении персонала в штатном режиме работы не должен превышать значения  $10^{-3}$  в год [5].

Важной характеристикой индивидуального профессионального риска является этиологическая доля или атрибутивный риск, т.е. риск, обусловленный профессиональной деятельностью (в данном случае – облучением), выраженный в процентах к суммарному риску. В ряде случаев онкозаболевание считается профессионально обусловленным уже при этиологической доле 20 – 40 % [6].

В работе представлены результаты расчетов относительных, атрибутивных и абсолютных индивидуальных радиационных рисков персонала ННЦ ХФТИ, состоящего на ИДК в 2013 году. Расчеты рисков проведены на 2013 год для сотрудников, имеющих стаж на ИДК не менее двух лет (средний латентный период возможного развития лейкоза). На основе значений абсолютных индивидуальных радиационных рисков персонала сформированы группы пренебрежимо малого, приемлемого и повышенного абсолютных радиационных рисков. На основе значений атрибутивных индивидуальных радиационных рисков сформированы группы пренебрежимо малого, потенциального и высокого потенциального атрибутивных радиационных рисков.

#### МОДЕЛЬ РАСЧЕТА РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ UNSCEAR–94

Модель UNSCEAR–94 оценки индивидуального радиационного риска была разработана Научным комитетом по действию атомной радиации при ООН (НКДАР ООН) по данным исследований, проведенных среди облученного в результате бомбардировок населения японских городов (когорты Life Span Study - LSS).

В данной модели используются следующие термины:

*EAR* – избыточный абсолютный риск (*Excess Absolute Risk*) – вероятность заболевания радиационно-обусловленным раком;

*ERR* – избыточный относительный риск (*Excess Relative Risk*) – обусловленный облучением прирост вероятности онкозаболевания относительно фоновой вероятности онкозаболевания данной локализации в данном возрасте лица данного пола;

*AR* – атрибутивный риск (*Attributable Risk*) – доля фактора облучения (избыточного абсолютного риска) в суммарной вероятности онкозаболевания у облученного лица (которая складывается из фоновой вероятности ракового заболевания и *EAR*). В случае исследования облученной когорты или популяции атрибутивный риск показывает, какая доля от всех случаев заболеваний в когорте обусловлена радиационным воздействием.

Согласно модели UNSCEAR–94, если  $m_0$  – фоновая онкозаболеваемость для лиц определенного возраста и пола, а  $m$  – наблюдаемое число заболеваний в группе облученных лиц того же пола и той же возрастной категории, то наблюдаемое количество заболеваний среди облученных людей можно выразить через фоновое в аддитивной форме:

$$m = m_0 + EAR, \quad (1)$$

где *EAR* – превышение количества наблюдаемых случаев заболеваний над ожидаемым, вызванное облучением, либо для одного индивидуума – вероятность онкозаболевания, обусловленная облучением.

Взаимосвязь  $m$  и  $m_0$  может быть выражена и через значение избыточного относительного риска *ERR* или в мультипликативной форме:

$$m = m_0(1 + ERR). \quad (2)$$

Из (1) и (2) следует, что:

$$EAR = m - m_0, \quad (3)$$

$$ERR = (m - m_0)/m_0. \quad (4)$$

Из (3) и (4) следует связь между величинами, характеризующими превышение фонового уровня заболеваемости:

$$EAR = m_0 \cdot ERR. \quad (5)$$

Согласно определению атрибутивный риск представляет собой долю радиационно-обусловленной вероятности онкозаболевания в суммарной вероятности онкозаболевания для лица данного возраста и пола:

$$AR = EAR/m. \quad (6)$$

Из (3), (5) и (6) атрибутивный риск можно выразить через относительный следующим образом:

$$AR = ERR/(1 + ERR). \quad (7)$$

Согласно модели UNSCEAR-94 радиационно-обусловленная заболеваемость солидными раками различной локализации при остром кратковременном облучении представляется в виде избыточного

относительного риска  $ERR$  и имеет вид:

$$ERR_{SOL}(s, l, g) = a_{s,l} \times D_g \times \exp(b_l \times (g - 25)). \tag{8}$$

где  $D_g$  – доза облучения (в Зв) в возрасте  $g$ . Параметры  $a$  и  $b$ , зависящие от пола  $s$  и локализации онкозаболевания  $l$  приведены в табл. 1.

Величина  $|b^{-1}| = \tau$  (табл. 1) – характерное время, в течение которого эффективность воздействия облучения изменяется примерно в 3 раза. После облучения риск онкозаболевания органов дыхания, мочевого пузыря, пищевода увеличивается с возрастом, для других локализаций – падает.

Таблица 1.

Значения параметров модели UNSCEAR-94 избыточного относительного риска для солидных раков различной локализации

Локализация	МКБ-10	Параметр $a$ , Зв <sup>-1</sup>		Параметр $b$ , год <sup>-1</sup>	Характерное время $\tau =  b^{-1} $ , год
		муж.	жен.		
Органы дыхания	C33, C34	0,37	1,06	0,021	47,6
Желудок	C16	0,16	0,62	-0,035	28,6
Мочевой пузырь	C67	1,00	1,19	0,012	83,3
Печень	C22	0,97	0,32	-0,027	37,0
Пищевод	C15	0,23	1,59	0,015	66,7
Ободочная кишка	C18	0,54	1,00	-0,033	30,3
Молочная железа	C50	–	1,95	-0,079	12,6
Остальные	–	0,59	0,39	-0,059	16,9
Все солидные	C00–C80	0,45	0,77	-0,026	38,5

Статистический анализ данных наблюдений когорты LSS показал, что облучение приводит к увеличению заболеваемости солидными раками только спустя примерно 5–15 лет после облучения. Это так называемый латентный период действия радиации.

Согласно [7], для пролонгированного облучения относительный избыточный риск солидных раков будет:

$$ERR_{SOL}(u) = a_{s,l} \times \sum_{g=g_0}^{g=u-10} D_g \times \exp(b_l \times (g - 25)), \tag{9}$$

где  $u$  – возраст, на который рассчитывается риск заболевания солидным раком;  $u-10$  означает, что в расчет берутся только дозы, полученные за 10 лет (средний латентный период для солидных раков) до расчетного возраста  $u$  и ранее.

Зная  $ERR_{SOL}(u)$  и фоновую онкозаболеваемость данной локализации для данного пола и возраста  $m_0(s, l, u)$ , можно вычислить  $AR_{SOL}(u)$ ,  $EAR_{SOL}(u)$  и вероятность заболевания солидным раком в возрасте  $u$  для локализации  $l$  с учетом фактора облучения –  $m_{SOL}(s, l, u)$ :

$$AR_{SOL}(u) = \frac{ERR_{SOL}(u)}{1 + ERR_{SOL}(u)} \times 100\%, \tag{10}$$

$$EAR_{SOL}(u) = m_{0SOL}(s, l, u) \cdot ERR_{SOL}(u), \tag{11}$$

$$m_{SOL}(s, l, u) = m_{0SOL}(s, l, u) + EAR_{SOL}(u). \tag{12}$$

Для вычисления абсолютного избыточного риска возникновения радиационно-обусловленной лейкемии  $EAR_{LEU}$  в возрасте  $u$  после однократного облучения в возрасте  $g$  модель UNSCEAR-94 предлагает следующую формулу:

$$EAR_{LEU}(s, g, u) = a_{s,g} \times D_g \times (1 + 0.79 \cdot D_g) \times \exp(-b_{s,g} \times (u - g - 25)), \tag{13}$$

где,  $a$  и  $b$  – параметры, зависящие от возраста на момент облучения ( $g$ ) и пола ( $s$ ), их значения приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Значения параметров модели UNSCEAR-94 избыточного абсолютного риска лейкемии (для расчета  $EAR_{LEU}$  на 100 000 человек в год)

Возраст, лет	Параметр $a$ , Зв <sup>-1</sup>		Параметр $b$ , год <sup>-1</sup>		Характерное время $\tau =  b^{-1} $ , год	
	муж.	жен.	муж.	жен.	муж.	жен.
0 – 19	3,3	6,6	0,17	0,07	5,9	14,3
20 – 39	4,8	9,7	0,13	0,03	7,7	33,3
40 –	13,1	26,4	0,07	0,03	14,3	33,3

Согласно [7], для пролонгированного облучения абсолютный избыточный риск лейкемии будет:

$$EAR_{LEU}(u) = \sum_{g=g_0}^{g=u-2} a_{s,g} \times D_g \left( 1 + 1,58 \sum_{g=g_0}^g D_g \right) \times \exp(-b_{s,g} \times (u - g - 25)), \quad (14)$$

где  $u$  – возраст, на который рассчитывается риск заболевания лейкемией;  $\sum_{g=g_0}^g D_g$  – накопленная доза к возрасту  $g$ ;  $u-2$  также означает, что в расчет берутся только дозы, полученные за 2 года (средний латентный период для лейкемии) до расчетного возраста  $u$  и ранее.

Зная значение абсолютного риска лейкемии  $EAR_{LEU}$  и фоновую заболеваемость лейкемией в возрасте  $u$  для пола  $s$  –  $m_{0LEU}(s,u)$ , можно вычислить атрибутивный  $AR_{LEU}$  и относительный  $ERR_{LEU}$  избыточные риски лейкемии, а также вероятность заболевания лейкемией в возрасте  $u$  с учетом факта облучения –  $m_{LEU}(s,u)$ :

$$AR_{LEU}(u) = \frac{EAR_{LEU}(u)}{m_{0LEU}(s,u) + EAR_{LEU}(u)} \times 100\%, \quad (15)$$

$$ERR_{LEU}(u) = \frac{EAR_{SOL}(u)}{m_{0LEU}(s,u)}, \quad (16)$$

$$m_{LEU}(s,u) = m_{0LEU}(s,u) + EAR_{LEU}(u). \quad (17)$$

#### ГРУППЫ РАДИАЦИОННОГО РИСКА

По данным Международной организации труда ежегодно на 1 млн. работников происходит порядка 100-1000 случаев травматизма со смертельным исходом, поэтому Международной комиссией по радиологической защите был принят уровень социально приемлемого риска, равный  $10^{-4}$ - $10^{-3}$  в год. Производственный риск, превышающий пороговое значение  $10^{-3}$ , считается повышенным, а риск, не превосходящий пороговое значение  $10^{-4}$ , считается пренебрежимо малым.

В соответствии с Нормами радиационной безопасности Украины (НРБУ-97), величина суммарного абсолютного радиационного риска  $EAR_{ALL}$  для штатного режима работы персонала не должна превышать  $10^{-3}$  в год [5]. По величине абсолютного радиационного риска  $EAR_{ALL}$  персонал, работающий с источниками ионизирующего облучения (ИИИ), может быть отнесен к одной из следующих групп риска:

- пренебрежимо малого риска:  $EAR_{ALL} < 10^{-4}$ ;
- приемлемого риска:  $10^{-4} \leq EAR_{ALL} \leq 10^{-3}$ ;
- повышенного радиационного риска:  $EAR_{ALL} > 10^{-3}$ .

Атрибутивный радиационный риск является важным показателем при установлении связи онкозаболевания с профессиональным облучением, и в некоторых европейских странах персонал, работающий с ИИИ, может рассчитывать на компенсационные выплаты в случае онкозаболевания, если величина атрибутивного риска будет превышать установленные пороговые уровни [6, 8].

В зависимости от значений атрибутивных рисков солидных раков  $AR_{SOL}$ , лейкемии  $AR_{LEU}$  и органов дыхания  $AR_{RESP}$ , персонал, подвергшийся облучению, может быть отнесен к группе:

- пренебрежимо малого риска:  $AR_{SOL} < 10\%$ ,  $AR_{LEU} < 50\%$ ,  $AR_{RESP} < 20\%$ ;
- потенциального риска:  $AR_{SOL} \geq 10\%$ , либо  $AR_{LEU} \geq 50\%$ , либо  $AR_{RESP} \geq 20\%$ ;
- высокого потенциального риска:  $AR_{SOL} \geq 20\%$ , либо  $AR_{LEU} \geq 75\%$ , либо  $AR_{RESP} \geq 30\%$ .

#### ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРСОНАЛА ННЦ ХФТИ, СОСТОЯЩЕГО НА ИДК

В настоящее время на индивидуальном дозиметрическом контроле (ИДК) состоит 331 сотрудник ННЦ ХФТИ: 282 мужчины возрастом от 20 до 87 лет, со стажем работы с источниками ионизирующего облучения от 0 до 55 лет, и 49 женщин возрастом от 25 до 80 лет, со стажем работы с ИИИ от 0 до 50 лет. Средняя накопленная доза для мужчин составляет 61,44 мЗв у мужчин и 49,40 мЗв у женщин (табл. 3).

Распределения численности персонала, состоящего на ИДК, по полу, возрасту, стажу и накопленной дозе приведены в таблицах 4 – 6. Почти половина персонала на ИДК имеет возраст старше 60 лет и стаж работы с источниками ионизирующего излучения (ИИИ) более 20 лет, тем не менее, только 41% персонала имеет накопленную дозу более 50 мЗв, и из них только 16% – накопленную дозу более 150 мЗв. Зависимости накопленных доз персонала от возраста и стажа показаны на рис. 1.

Динамика изменения среднегодовой дозы за годы работы сотрудников, состоящих на ИДК в 2013 г. (рис. 2), показывает, что среднегодовая доза сотрудников за последние 20 лет не превышала 2 мЗв, что сравнимо со средним значением естественного радиационного фона Земли – 2,42 мЗв/год.

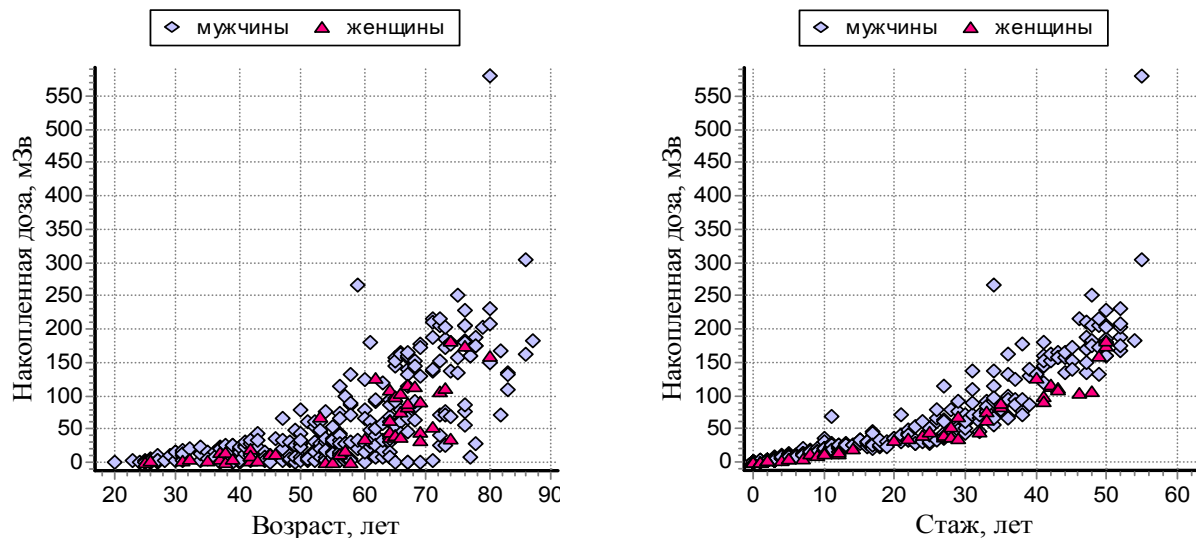


Рис. 1. Зависимости накопленной дозы от возраста и стажа

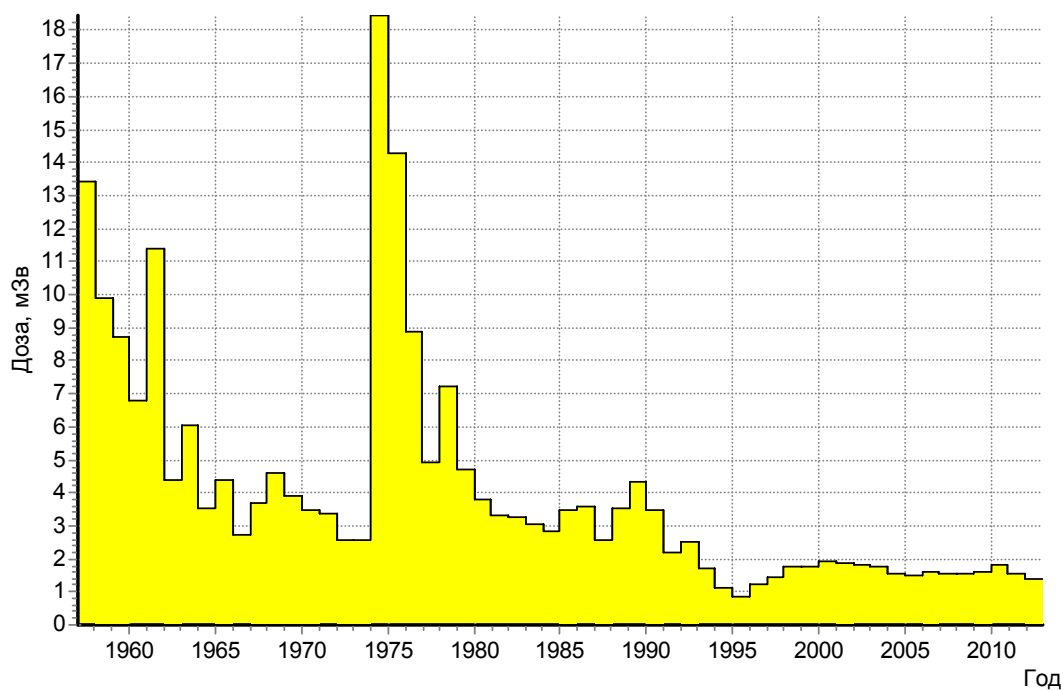


Рис. 2. Динамика среднегодовой дозы за годы работы сотрудников, состоящих на ИДК в 2013 г.

Таблица 3.

Основные характеристики персонала, состоящего на ИДК

Персонал	Численность		Возраст, лет			Стаж на ИДК, лет			Накопленная доза, мЗв		
	абс. ед.	%	мин.	средний	макс.	мин.	средний	макс.	мин.	средняя	макс.
Мужчины	282	85,2	20	56	87	0	21	55	0,07	61,44	580,04
Женщины	49	14,8	25	56	80	0	22	50	0,04	49,40	181,33
Весь	331	100,0	20	56	87	0	21	55	0,04	59,66	580,04

Таблица 4.

Распределение численности персонала по полу и возрасту

Возрастная группа, лет	Оба пола		Мужчины		Женщины	
	абс. ед.	%	абс. ед.	%	абс. ед.	%
<25	3	0,9	3	1,1	0	0,0
25-29	18	5,4	15	5,3	3	6,1
30-34	15	4,5	13	4,6	2	4,1
35-39	21	6,3	15	5,3	6	12,2
40-44	28	8,5	24	8,5	4	8,2
45-49	19	5,7	17	6,0	2	4,1
50-54	36	10,9	34	12,1	2	4,1
55-59	39	11,8	35	12,4	4	8,2
60-64	43	13,0	37	13,1	6	12,2
65-69	47	14,2	34	12,1	13	26,5
70-74	27	8,2	22	7,8	5	10,2
75-79	22	6,6	21	7,4	1	2,0
80-	13	3,9	12	4,3	1	2,0
Все	331	100,0	282	100,0	49	100,0

Таблица 5.

Распределение численности персонала по полу и стажу на ИДК

Стаж на ИДК, лет	Оба пола		Мужчины		Женщины	
	абс. ед.	%	абс. ед.	%	абс. ед.	%
<5	71	21,5	60	21,3	11	22,4
5-9	41	12,4	36	12,8	5	10,2
10-14	39	11,8	33	11,7	6	12,2
15-19	19	5,7	19	6,7	0	0,0
20-24	20	6,0	17	6,0	3	6,1
25-29	31	9,4	24	8,5	7	14,3
30-34	27	8,2	24	8,5	3	6,1
35-39	20	6,0	18	6,4	2	4,1
40-44	22	6,6	15	5,3	7	14,3
45-49	21	6,3	18	6,4	3	6,1
50-54	18	5,4	16	5,7	2	4,1
55-59	2	0,6	2	0,7	0	0,0
60-	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Все	331	100,0	282	100,0	49	100,0

Таблица 6.

Распределение численности персонала по полу и накопленной дозе

Накопленная доза, мЗв	Оба пола		Мужчины		Женщины	
	абс. ед.	%	абс. ед.	%	абс. ед.	%
<5	60	18,1	48	17,0	12	24,5
5-	68	20,5	59	20,9	9	18,4
20-	76	23,0	66	23,4	10	20,4
50-	54	16,3	46	16,3	8	16,3

Накопленная доза, мЗв	Оба пола		Мужчины		Женщины	
	абс. ед.	%	абс. ед.	%	абс. ед.	%
100-	24	7,3	17	6,0	7	14,3
150-	34	10,3	31	11,0	3	6,1
200-	11	3,3	11	3,9	0	0,0
250-	2	0,6	2	0,7	0	0,0
300-	1	0,3	1	0,4	0	0,0
350-	0	0,0	0	0,0	0	0,0
400-	0	0,0	0	0,0	0	0,0
450-	0	0,0	0	0,0	0	0,0
500-	1	0,3	1	0,4	0	0,0
Все	331	100,0	282	100,0	49	100,0

### ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРСОНАЛА ПО ГРУППАМ РАДИАЦИОННОГО РИСКА

Результаты расчетов радиационных рисков персонала ННЦ ХФТИ на 2013 г. приведены в табл. 7. В расчет вошли 305 человек: у 26 сотрудников стаж работы с ИИИ составляет менее двух лет, т.е. радиационные риски проявятся не ранее 2014 года. В расчет рисков лейкемии вошли накопленные дозы персонала, полученные вплоть до 2011 г., в расчет рисков солидных раков – дозы, полученные вплоть до 2003 г (т.к. средний период проявления рисков лейкемии и солидных раков составляет соответственно 2 года и 10 лет).

Данные фоновой по возрастной онкозаболеваемости для различных локализаций солидных раков и лейкемии были взяты за 2011 г. из Бюллетеня Национального канцер-регистра Украины № 14 [9].

В таблице 7 также приведены используемые в эпидемиологии значения стандартизированных отношений заболеваемости для различных локализаций *SIR* (*Standardized Incident Ratio*) – отношение наблюдаемого числа заболеваний в облученной группе *m* к фоновому значению заболеваемости в данной половозрастной группе *m<sub>0</sub>*.

Таблица 7.

#### Избыточные радиационные риски персонала по различным локализациям

Локализация	ERR, %			AR, %			EAR, *10 <sup>-3</sup>			SIR		
	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.
Все раки	0,00	1,97	18,41	0,00	1,89	15,55	0,000	0,260	3,240	1,00	1,02	1,18
Все солидные раки	0,00	1,81	18,45	0,00	1,72	15,58	0,000	0,250	3,200	1,00	1,02	1,18
Лейкемия	0,00	5,80	26,97	0,00	5,23	21,24	0,000	0,009	0,046	1,00	1,06	1,27
Мочевой пузырь	0,00	6,38	67,18	0,00	5,48	40,19	0,000	0,070	1,000	1,00	1,06	1,67
Органы дыхания	0,00	3,30	28,46	0,00	3,02	22,15	0,000	0,080	0,740	1,00	1,03	1,28
Молочная железа	0,00	1,40	17,58	0,00	1,27	14,95	0,000	0,030	0,370	1,00	1,01	1,18
Печень	0,00	3,25	39,33	0,00	2,97	28,23	0,000	0,010	0,090	1,00	1,03	1,39
Пищевод	0,00	2,62	34,15	0,00	2,37	25,45	0,000	0,000	0,040	1,00	1,03	1,34
Ободочная кишка	0,00	2,04	20,48	0,00	1,93	17,00	0,000	0,020	0,310	1,00	1,02	1,20
Желудок	0,00	0,72	6,95	0,00	0,71	6,50	0,000	0,010	0,090	1,00	1,01	1,07
Остальные солид. раки	0,00	1,48	17,28	0,00	1,42	14,74	0,000	0,110	1,680	1,00	1,01	1,17

По значениям суммарного абсолютного радиационного риска  $EAR_{ALL}$  были сформированы группы пренебрежимо малого ( $EAR_{ALL} < 10^{-4}$ ), приемлемого ( $10^{-4} \leq EAR_{ALL} \leq 10^{-3}$ ) и повышенного ( $EAR_{ALL} > 10^{-3}$ ) радиационных рисков. Значения основных характеристик и рисков персонала по группам абсолютного радиационного риска приведены в табл. 8. В группу повышенного радиационного риска вошло 19 человек (6,2 % персонала, для которого были рассчитаны риски), в группу приемлемого радиационного риска вошло 116 чел. – 38,0 % персонала, в группу пренебрежимо малого риска вошло 170 чел. – 55,8 % персонала. В столбце «Накопленная доза» приведены значения накопленных доз персонала, используемых в расчете рисков на 2013 г. и полученных вплоть до 2011 г.

Таблица 8.

Значения основных характеристик и рисков персонала  
 по группам суммарного абсолютного радиационного риска

Значение показателя	Возраст, лет	Стаж на ИДК, лет	Накопленная доза, мЗв	AR <sub>SOL</sub> , %	AR <sub>LEU</sub> , %	EAR <sub>ALL</sub> , *10 <sup>-3</sup>
Группа повышенного риска, 19 чел. (6,2 % персонала)						
Мин.	71	45	174,35	4,82	3,42	1,0077
Среднее	75	50	226,23	6,35	6,60	1,2380
Макс.	86	55	578,28	15,58	13,77	3,2442
Группа приемлемого риска, 116 чел. (38,0 % персонала)						
Мин.	50	11	34,42	0,54	0,26	0,1038
Среднее	67	36	104,31	3,14	4,89	0,4608
Макс.	87	54	262,67	7,83	20,01	0,9998
Группа пренебрежимо малого риска, 170 чел. (55,8 % персонала)						
Мин.	25	2	0,19	0,00	0,00	0,0000
Среднее	47	10	15,89	0,24	5,31	0,0168
Макс.	78	30	64,34	1,99	21,24	0,0984

В табл. 9 – 11 приведены распределения относительной численности персонала, для которого были рассчитаны радиационные риски на 2013 год, по группам абсолютного радиационного риска в возрастных группах, группах по стажу на ИДК и в группах по накопленной дозе, принимаемой в расчет рисков.

Весь персонал, имеющий возраст до 50 лет, стаж на ИДК до 10 лет и накопленную дозу до 20 мЗв, был отнесен к группе пренебрежимо малого риска, что говорит о достаточно высоком уровне радиационной защиты персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения в ННЦ ХФТИ.

Весь персонал, имеющий стаж на ИДК более 55 лет и накопленную дозу от 300 мЗв и более, отнесен к группе повышенного абсолютного радиационного риска. Минимальный возраст персонала из группы повышенного абсолютного риска – 71 год.

Таблица 9.

Распределение относительной численности персонала по группам абсолютного радиационного риска в зависимости от пола и возраста

Возраст, лет	% от численности персонала заданной возрастной группы в группе радиационного риска								
	пренебрежимо малого			приемлемого			повышенного		
	Все	муж.	жен.	все	муж.	жен.	все	муж.	жен.
<25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25-29	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30-34	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
35-39	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
40-44	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
45-49	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50-54	91,4	94,1	0,0	8,6	5,9	100,0	0,0	0,0	0,0
55-59	75,0	73,5	100,0	25,0	26,5	0,0	0,0	0,0	0,0
60-64	42,9	47,2	16,7	57,1	52,8	83,3	0,0	0,0	0,0
65-69	2,3	0,0	7,7	97,7	100,0	92,3	0,0	0,0	0,0
70-74	11,1	13,6	0,0	63,0	59,1	80,0	25,9	27,3	20,0
75-79	9,1	9,5	0,0	50,0	52,4	0,0	40,9	38,1	100,0
80-	0,0	0,0	0,0	76,9	75,0	100,0	23,1	25,0	0,0



Таблица 10.

Распределение относительной численности персонала по группам абсолютного радиационного риска в зависимости от пола и стажа на ИДК

Стаж на ИДК, лет	% от численности персонала с заданным стажем на ИДК в группе радиационного риска								
	пренебрежимо малого			приемлемого			повышенного		
	все	муж.	жен.	все	муж.	жен.	все	муж.	жен.
<5	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5-9	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10-14	97,5	97,1	100,0	2,5	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0
15-19	100,0	100,0	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-
20-24	80,0	82,4	66,7	20,0	17,6	33,3	0,0	0,0	0,0
25-29	32,3	41,7	0,0	67,7	58,3	100,0	0,0	0,0	0,0
30-34	3,7	4,2	0,0	96,3	95,8	100,0	0,0	0,0	0,0
35-39	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0
40-44	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0
45-49	0,0	0,0	0,0	66,7	61,1	100,0	33,3	38,9	0,0
50-54	0,0	0,0	0,0	44,4	50,0	0,0	55,6	50,0	100,0
55-59	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	100,0	100,0	-
60-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 11.

Распределение относительной численности персонала по группам абсолютного радиационного риска в зависимости от пола и накопленной дозы

Накопленная доза, мЗв	% от численности персонала с заданной накопленной дозой в группе радиационного риска								
	пренебрежимо малого			приемлемого			повышенного		
	все	муж.	жен.	все	муж.	жен.	все	муж.	жен.
<5	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5-	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20-	77,3	86,0	22,2	22,7	14,0	77,8	0,0	0,0	0,0
50-	9,6	11,4	0,0	90,4	88,6	100,0	0,0	0,0	0,0
100-	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0
150-	0,0	0,0	0,0	81,8	86,7	33,3	18,2	13,3	66,7
200-	0,0	0,0	-	8,3	8,3	-	91,7	91,7	-
250-	0,0	0,0	-	100,0	100,0	-	0,0	0,0	-
300-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	100,0	100,0	-
350-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	100,0	100,0	-

Результаты расчетов радиационных рисков персонала по локализациям для каждой из трех групп абсолютного радиационного риска приведены в табл. 12 – 14.

Таблица 12.

Избыточные радиационные риски персонала из группы повышенного суммарного абсолютного радиационного риска

Локализация	ERR, %			AR, %			EAR, *10 <sup>-3</sup>			SIR		
	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.
Все раки	5,05	6,87	18,41	4,80	6,36	15,55	1,010	1,240	3,240	1,05	1,07	1,18
Все солидные раки	5,06	6,86	18,45	4,82	6,35	15,58	0,980	1,210	3,200	1,05	1,07	1,18
Лейкемия	3,55	7,16	15,97	3,42	6,60	13,77	0,016	0,027	0,046	1,04	1,07	1,16

Локализация	ERR, %			AR, %			EAR, *10 <sup>-3</sup>			SIR		
	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.
Мочевой пузырь	20,05	26,22	67,18	16,70	20,34	40,19	0,050	0,380	1,000	1,20	1,26	1,67
Органы дыхания	8,55	12,91	28,46	7,88	11,21	22,15	0,200	0,360	0,740	1,09	1,13	1,28
Молочная железа	12,37	14,23	16,08	11,01	12,43	13,85	0,240	0,260	0,280	1,12	1,14	1,16
Печень	3,64	12,94	39,33	3,51	11,17	28,23	0,000	0,030	0,090	1,04	1,13	1,39
Пищевод	4,85	9,25	34,15	4,63	7,98	25,45	0,010	0,020	0,040	1,05	1,09	1,34
Ободочная кишка	5,50	7,60	20,48	5,21	6,98	17,00	0,090	0,120	0,310	1,06	1,08	1,20
Желудок	1,58	2,56	6,95	1,56	2,47	6,50	0,030	0,040	0,090	1,02	1,03	1,07
Остальные солид. раки	3,03	5,50	17,28	2,94	5,15	14,74	0,170	0,530	1,680	1,03	1,06	1,17

Таблица 13.

Избыточные радиационные риски персонала  
 из группы приемлемого суммарного абсолютного радиационного риска

Локализация	ERR, %			AR, %			EAR, *10 <sup>-3</sup>			SIR		
	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.
Все раки	0,59	3,32	8,73	0,59	3,18	8,03	0,100	0,460	1,000	1,01	1,03	1,09
Все солидные раки	0,54	3,27	8,50	0,54	3,14	7,83	0,090	0,450	0,980	1,01	1,03	1,09
Лейкемия	0,26	5,23	25,02	0,26	4,89	20,01	0,001	0,014	0,045	1,00	1,05	1,25
Мочевой пузырь	3,23	11,32	27,37	3,13	9,94	21,49	0,000	0,110	0,370	1,03	1,11	1,27
Органы дыхания	1,38	6,03	25,88	1,36	5,57	20,56	0,020	0,130	0,340	1,01	1,06	1,26
Молочная железа	0,61	5,58	17,58	0,61	5,13	14,95	0,010	0,110	0,370	1,01	1,06	1,18
Печень	0,40	5,70	18,14	0,40	5,27	15,36	0,000	0,010	0,030	1,00	1,06	1,18
Пищевод	0,78	5,01	33,53	0,77	4,54	25,11	0,000	0,010	0,030	1,01	1,05	1,34
Ободочная кишка	0,52	3,69	10,02	0,52	3,53	9,11	0,010	0,040	0,090	1,01	1,04	1,10
Желудок	0,15	1,35	6,17	0,15	1,32	5,81	0,000	0,010	0,040	1,00	1,01	1,06
Остальные солид. раки	0,21	2,63	8,25	0,21	2,53	7,62	0,010	0,190	0,500	1,00	1,03	1,08

Таблица 14.

Избыточные радиационные риски персонала  
 из группы пренебрежимо малого суммарного абсолютного радиационного риска

Локализация	ERR, %			AR, %			EAR, *10 <sup>-3</sup>			SIR		
	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.
Все раки	0,00	0,51	2,57	0,00	0,50	2,50	0,000	0,020	0,100	1,00	1,01	1,03
Все солидные раки	0,00	0,25	2,03	0,00	0,24	1,99	0,000	0,010	0,090	1,00	1,00	1,02
Лейкемия	0,00	6,03	26,97	0,00	5,31	21,24	0,000	0,004	0,013	1,00	1,06	1,27
Мочевой пузырь	0,00	0,79	5,18	0,00	0,77	4,92	0,000	0,000	0,040	1,00	1,01	1,05
Органы дыхания	0,00	0,36	3,67	0,00	0,36	3,54	0,000	0,000	0,040	1,00	1,00	1,04
Молочная железа	0,00	0,05	1,92	0,00	0,05	1,88	0,000	0,000	0,020	1,00	1,00	1,02
Печень	0,00	0,50	4,37	0,00	0,49	4,19	0,000	0,000	0,000	1,00	1,01	1,04
Пищевод	0,00	0,26	4,60	0,00	0,25	4,40	0,000	0,000	0,000	1,00	1,00	1,05
Ободочная кишка	0,00	0,28	2,39	0,00	0,28	2,33	0,000	0,000	0,010	1,00	1,00	1,02
Желудок	0,00	0,09	0,70	0,00	0,09	0,70	0,000	0,000	0,000	1,00	1,00	1,01
Остальные солид. раки	0,00	0,24	2,44	0,00	0,24	2,38	0,000	0,010	0,050	1,00	1,00	1,02

Подробная характеристика персонала из группы повышенного абсолютного радиационного риска (ГПРР) – распределение по возрасту, стажу на ИДК и накопленной дозе – приведена в табл. 15 – 17. Из табл. 15 видно, что почти 50 % от численности персонала в ГПРР составляет возрастная группа от 75 до 79 лет; 40,9 % персонала на ИДК данной возрастной группы входит в ГПРР. Данные в табл. 16 показывают, что персонал со стажем на ИДК от 50 до 54 лет, составляет 52,6 % ГПРР; 55,6 % персонала, состоящего на ИДК с таким стажем, входит в ГПРР. Из табл. 17 видно, что около трети ГПРР составляет персонал, имеющий накопленную дозу от 150 до 200 мЗв; но только 17,6 % персонала на ИДК с накопленной дозой, лежащей в данном интервале, входит в ГПРР.

Таблица 15.

Распределение численности персонала ГПРР на 2013 г. по полу и возрасту

Возрастная группа, лет	Оба пола			Мужчины			Женщины		
	абс. ед.	% в ГПРР*	% от всего перс.**	абс. ед.	% в ГПРР*	% от всего перс.**	абс. ед.	% в ГПРР*	% от всего перс.**
<70	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
70-74	7	36,8	25,9	6	35,3	27,3	1	50,0	20,0
75-79	9	47,4	40,9	8	47,1	38,1	1	50,0	100,0
80-	3	15,8	23,1	3	17,6	25,0	0	0,0	0,0
Все	19	100,0	6,2	17	100,0	6,0	2	100,0	4,1

\* % в ГПРР – процент от численности персонала данного пола в группе повышенного радиационного риска.

\*\* % от всего перс. – процент от численности всего персонала данного пола данной возрастной группы, состоящего на ИДК.

Таблица 16.

Распределение численности персонала ГПРР на 2013 г. по полу и стажу на ИДК

Стаж на ИДК, лет	Оба пола			Мужчины			Женщины		
	абс. ед.	% в ГПРР	% от всего перс.	абс. ед.	% в ГПРР	% от всего перс.	абс. ед.	% в ГПРР	% от всего перс.
<45	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
45-49	7	36,8	33,3	7	41,2	38,9	0	0,0	0,0
50-54	10	52,6	55,6	8	47,1	50,0	2	100,0	100,0
55-59	2	10,5	100,0	2	11,8	100,0	0	0,0	0,0
60-	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
Все	19	100,0	6,2	17	100,0	6,0	2	100,0	4,1

Таблица 17.

Распределение численности персонала ГПРР по полу и накопленной дозе

Накопленная доза, мЗв	Оба пола			Мужчины			Женщины		
	абс. ед.	% в ГПРР	% от всего перс.	абс. ед.	% в ГПРР	% от всего перс.	абс. ед.	% в ГПРР	% от всего перс.
<150	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
150-	6	31,6	17,6	4	23,5	12,9	2	100,0	66,7
200-	11	57,9	100,0	11	64,7	100,0	0	0,0	0,0
250-	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
300-	1	5,3	100,0	1	5,9	100,0	0	0,0	0,0
350-	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
400-	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
450-	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
500-	1	5,3	100,0	1	5,9	100,0	0	0,0	0,0
Все	19	100,0	6,2	17	100,0	6,0	2	100,0	4,1

По значениям атрибутивных радиационных рисков солидных раков ( $AR_{SOL}$ ), лейкемии ( $AR_{LEU}$ ) и органов

дыхания ( $AR_{RESP}$ ) персонала были сформированы группы высокого потенциального ( $AR_{SOL} \geq 20\%$ , либо  $AR_{LEU} \geq 75\%$ , либо  $AR_{RESP} \geq 30\%$ ), потенциального ( $AR_{SOL} \geq 10\%$ , либо  $AR_{LEU} \geq 50\%$ , либо  $AR_{RESP} \geq 20\%$ ) и пренебрежимо малого ( $AR_{SOL} < 10\%$ ,  $AR_{LEU} < 50\%$ ,  $AR_{RESP} < 20\%$ ) атрибутивных рисков.

Значения основных характеристик и рисков персонала по группам атрибутивного радиационного риска приведены в табл. 18.

Таблица 18.

Значения основных характеристик и рисков персонала по группам атрибутивного радиационного риска

Значение показателя	Возраст, лет	Стаж на ИДК, лет	Накопленная доза, мЗв	$AR_{SOL}$ , %	$AR_{LEU}$ , %	$AR_{RESP}$ , %	$EAR_{ALL}$ , $\cdot 10^{-3}$
Группа неонкологических заболеваний (инфаркты, инсульты), 1 чел. (0,3 % персонала)							
-	80	55	578,28	15,58	13,77	22,15	3,2442
Группа высокого потенциального риска, 0 чел. (0 % персонала)							
-	-	-	-	-	-	-	-
Группа потенциального риска, 3 чел. (0,9 % персонала)							
Мин.	74	49	158,64	6,16	11,15	20,19	0,6743
Среднее	78	51	305,61	9,96	14,97	20,96	1,6420
Макс.	80	55	578,28	15,58	20,01	22,15	3,2442
Группа пренебрежимо малого риска, 302 чел. (99,1 % персонала)							
Мин.	25	2	0,19	0,00	0,00	0	0,0000
Среднее	56	22	60,21	1,64	5,13	2,83	0,2481
Макс.	87	55	302,55	8,59	21,24	19,02	1,4233

В группу высокого потенциального атрибутивного риска не вошел ни один человек. В группу потенциального атрибутивного риска вошло 3 человека (0,9 % персонала). В группу пренебрежимо малого атрибутивного риска вошло 302 человека (99,1 % персонала). Отдельно была сформирована группа неонкологических заболеваний (инфаркты, инсульты) по значению накопленной дозы ( $D_{нак} \geq 500$  мЗв), в нее вошел один сотрудник ННЦ ХФТИ в возрасте 80 лет, со стажем на ИДК 55 лет.

Распределения персонала ННЦ ХФТИ, состоящего на ИДК, по атрибутивному риску солидных раков, лейкемии и органов дыхания представлены на рис. 3 - 5. Атрибутивный риск показывает вероятность радиационной обусловленности данных онкозаболеваний. Как видно из рисунков, вероятность заболевания радиогенным солидным раком у 90 % персонала не превышает 5 %. У 86 % персонала вероятность заболевания лейкемией, обусловленной профессиональным облучением, не превышает 10%. У 94 % персонала вероятность онкозаболевания органов дыхания, вызванного облучением, не превышает 10%. Максимальные значения атрибутивных рисков не превышают пороговых для группы высокого потенциального риска, поэтому онкозаболевания персонала ННЦ ХФТИ не могут быть признаны профессиональными.

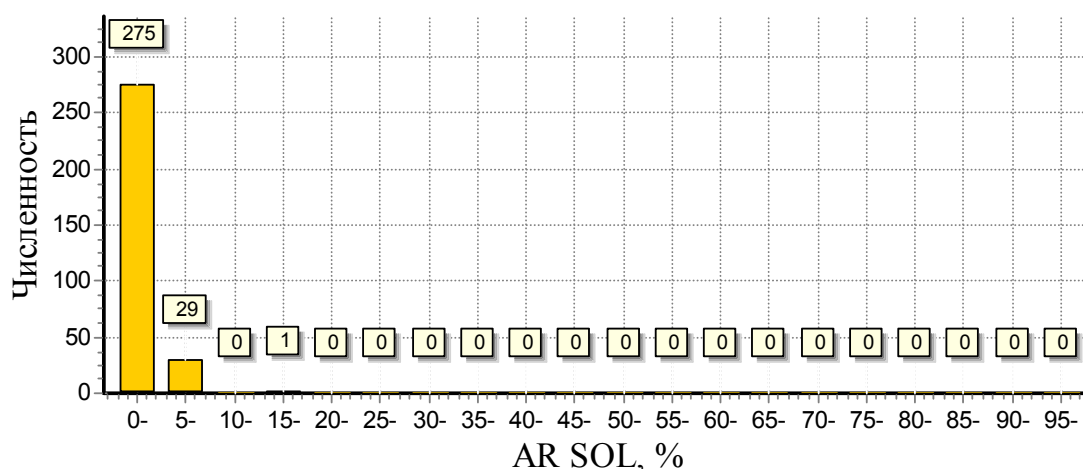


Рис. 3. Распределение персонала по атрибутивному риску солидных раков

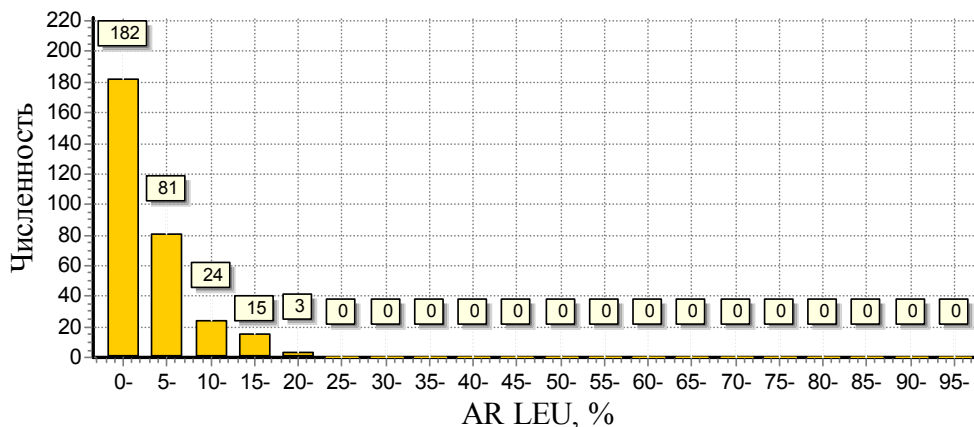


Рис. 4. Распределение персонала по атрибутивному риску лейкемии

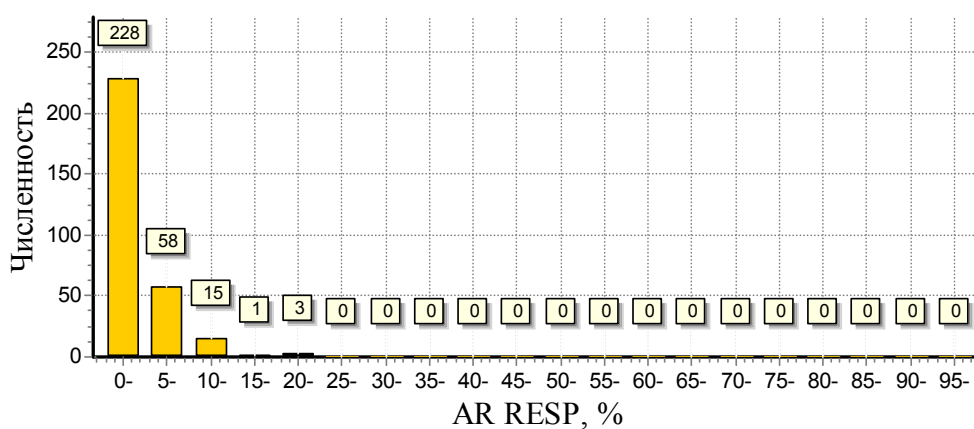


Рис. 5. Распределение персонала по атрибутивному риску органов дыхания

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Средний возраст персонала на ИДК в 2013 г. составил 56 лет. Средний стаж работы с ИИИ – 21 год. Средняя накопленная доза – 59,66 мЗв (табл. 3). Средняя годовая доза персонала в 2012 г. составила 1,38 мЗв, что сравнимо с окружающим радиационным фоном – 1,14 мЗв/год. Максимальная годовая доза персонала в 2012 г. составила 3,64 мЗв, что примерно в 5,5 раз меньше установленного международными стандартами годового предела дозы – 20 мЗв/год. За последние 20 лет уровень среднегодовой дозы персонала ННЦ ХФТИ не превышал 2 мЗв (рис. 2).

В группу повышенного абсолютного радиационного риска (индивидуальный радиационный риск больше социально приемлемого уровня риска –  $1 \cdot 10^{-3}$ /год) на 2013 г. вошло 19 сотрудников (6,2 % персонала на ИДК). Средний возраст группы составил 75 лет, средний стаж на ИДК – 50 лет, средняя накопленная доза на 2011 г. (принимаемая в расчет рисков на 2013 г.) – 226,23 мЗв. Минимальный возраст в группе повышенного радиационного риска составил 71 год, минимальный стаж работы с ИИИ – 45 лет, минимальная накопленная доза на 2011 г. – 174,35 мЗв (табл. 8). Основной вклад в индивидуальный суммарный абсолютный радиационный риск сотрудников составил риск солидных раков (табл. 7), при этом максимальный атрибутивный риск солидных раков (вероятность онкозаболевания, обусловленного профессиональным облучением) равен 15,58 %, максимальный атрибутивный риск лейкемии – 21,24 %, максимальный атрибутивный риск органов дыхания – 22,15 %.

В группу потенциального риска по AR (имеет место превышение пороговых значений атрибутивных рисков: для солидных раков – 10 %, для лейкемии – 50 %, для органов дыхания – 20 %) на 2013 г. вошел 1 мужчина в возрасте 80 лет, со стажем на ИДК 55 лет и накопленной дозой 578,28 мЗв (AR солидных раков – 15,58 %, AR органов дыхания – 22,15 %), и 2 женщины в возрасте 74 и 80 лет, со стажем на ИДК 49 лет и накопленными дозами 179,93 мЗв и 158,64 мЗв соответственно (AR органов дыхания – 20,19 % и 20,56 % соответственно).

Аtribuтивный риск рака печени на 2013 г. превышает 20 %-й уровень у одного сотрудника ННЦ ХФТИ – мужчины 80 лет, со стажем работы с ИИИ 55 лет – и составляет 28,23 %. При этом абсолютный радиационный риск индукции рака печени у данного сотрудника находится в диапазоне пренебрежимо малого риска и равен  $0,8 \cdot 10^{-4}$ .

В группу высокого потенциального риска индукции онкозаболевания на 2013 г. не вошел ни один сотрудник, состоящий на ИДК в ННЦ ХФТИ.

Полученные данные позволяют сделать выводы о том, что:

– за последние 20 лет персонал ННЦ ХФТИ, состоящий на ИДК, получал минимальные дополнительные к фоновым профессиональные дозовые нагрузки, которые не могут вызвать в будущем значимого увеличения вероятности онкозаболеваний;

– высокие абсолютные риски персонала из группы повышенного радиационного риска связаны с возрастом (высокими фоновыми значениями онкозаболеваемости) и высокими дозами, полученными до 1993 г.;

– по рассчитанным значениям атрибутивных радиационных рисков персонала на 2013 год, онкозаболевания не могут быть признаны радиационно обусловленными.

– в настоящее время уровень радиационной безопасности персонала ННЦ ХФТИ, работающего с источниками ионизирующего излучения, находится на достаточно высоком уровне.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Intermediate edition. A series of IAEA safety standards, № GSR Part 3 (Interim). Vienna: IAEA, 2011.
2. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 1994 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. 272 pages. No index. ISBN 92-1-142211-6. U.N. Sales No. E.94.IX.11. 1994.
3. Methods for estimating the probability of cancer from occupational radiation exposure // International Atomic Energy Agency (IAEA), April 1996, IAEA-TECDOC-870. Vienna: IAEA, 1996, p. 55.
4. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
5. Normy radiatsionnoi bezopasnosti Ukrainy (NRBU-97). Gosudarstvennye gigenicheskie normativy. - Kiev, 1998.
6. Rukovodstvo po otsenke professional'nogo riska dlya zdorov'ya rabotnikov. Organizatsionno-metodicheskie osnovy, printsipy i kriterii otsenki. Rukovodstvo. P 2.2.1766-03. Minzdrav Rossii. - Moskva, 2004.
7. Ivanov V.K., Tsyb A.F., Panfilov A.P., Agapov A.M. Optimizatsiya radiatsionnoi zashchity: «Dozovaya matritsa». - M.: «Meditsina», 2006. - 304 s.
8. Wakeford R., Antell B.A., Leigh W.J. A review of probability of causation and its use in a compensation scheme for nuclear workers in the United Kingdom // Health Phys. – 1998. - Vol. 74. - P. 1–9.
9. Byuleten' Natsional'nogo kantser-reyestru №14. - Rak v Ukrayini, 2011-2012. – 2013.