ХФТИ 2013-2

Национальный научный центр
«Харьковский физико-технический институт»

А.В. Мазилов, И.А. Стадник

ОЦЕНКА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ПЕРСОНАЛА ННЦ ХФТИ

Препринт

Харьков
2013

УДК 621.384.64:613.06.027

М13

Мазилов А.В.

Оценка индивидуальных радиационных рисков персонала ННЦ ХФТИ, работающего с источниками ионизирующего излучения: Препринт ХФТИ 2013-1 / А.В. Мазилов, И.А. Стадник. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2013.- 52 с.

В данной работе представлены результаты расчетов индивидуальных радиационных рисков персонала, состоящего на ИДК в ННЦ ХФТИ, по модели UNSCEAR-94 НКДАР ООН, базирующейся на значениях пола, возраста, времени с момента облучения и полученных индивидуальных доз, распределенных во времени. Расчеты индивидуальных радиационных рисков персонала проведены на 2012, 2014 и 2022 гг., с учетом латентных периодов развития лейкозов и солидных раков. Сформированы группы потенциального и высокого потенциального радиационного риска персонала по критериям абсолютного и атрибутивного радиационных рисков. Полученные данные позволят управлять радиационными рисками персонала путем планирования дозовых затрат, а также могут являться основанием при принятии решений об отнесении онкозаболеваний персонала, работающего с источниками ионизирующих излучений, к профессиональным заболеваниям.

Рис. 40, табл. 24, список лит. – 10 назв.

© Национальный научный центр
«Харьковский физико-технический институт»
(ННЦ ХФТИ), 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ **2**

1. МОДЕЛЬ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ UNSCEAR–94 НКДАР ООН . **3**

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРСОНАЛА ННЦ ХФТИ, СОСТОЯЩЕГО НА ИДК В 2012 Г **11**

2.1. Возрастно-половой состав, стаж работы 11
2.2. Накопленные и годовые эффективные дозы 12

3. РАСЧЕТ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ СОТРУДНИКОВ ННЦ ХФТИ, СОСТОЯЩИХ НА ИДК В 2012 Г **16**

3.1. Характеристика персонала по группам суммарного абсолютного радиационного риска 17
3.2. Характеристика персонала по группам атрибутивного радиационного риска 38

ЗАКЛЮЧЕНИЕ **49**

ЛИТЕРАТУРА ..... ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.

ВВЕДЕНИЕ

В международных стандартах в качестве радиационного риска рассматривают в первую очередь увеличение вероятности окнозаболевания – канцерогенный риск. Установлена однозначная связь между дозой и возникновением ракового заболевания для доз равномерного облучения всего тела, превышающих порог в 200 мЗв. 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 человека онкозаболевание, если эти клетки являются соматическими, либо привести к генетическим мутациям, если это зародышевые клетки. Такие эффекты называются "стохастическими". Предполагается, что вероятность возможного 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 позволят оценивать индивидуальные радиационные риски солидных раков и лейкозов с учетом индивидуальных характеристик: 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 нормальных условиях не должен превышать значения 10^{-3} в год [5].

Важной характеристикой индивидуального профессионального риска является этиологическая доля – атрибутивный риск, выраженный в процентах к общему риску. В ряде случаев нарушения здоровья считаются профессионально обусловленными уже при этиологической доле 25…40 % [6].

В данной работе представлены результаты расчетов относительных, атрибутивных и абсолютных индивидуальных радиационных рисков персонала ННЦ ХФТИ, состоящего на ИДК в 2012 году. Расчеты проведены на 2012, 2014 и 2022 года, с учетом латентных периодов возможного развития лейкозов (2 года) и солидных раков (10 лет). На основе значений абсолютных индивидуальных радиационных рисков сформированы группы пренебрежимо малого, приемлемого и повышенного радиационного риска. На основе значений атрибутивных индивидуальных радиационных рисков сформированы группы пренебрежимо малого, потенциального и высокого потенциального радиационного риска.

Полученные данные позволят управлять радиационными рисками персонала путем планирования дозовых затрат, а также могут являться основанием при принятии решений об отнесении онкозаболеваний персонала, работающего с источниками ионизирующих излучений, к профессиональным заболеваниям.

1. МОДЕЛЬ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ UNSCEAR–94 НКДАР ООН

В 101-й публикации МКРЗ, посвященной оптимизации радиационной защиты, вводится понятие «дозовой матрицы», которая должна учитывать динамику полученных работником доз облучения с момента постановки на ИДК и служить основой для оценки величины индивидуального

радиационного риска [7]. Индивидуальный радиационный риск оценивается по модели UNSCEAR–94, разработанной Научным комитетом по действию атомной радиации при ООН (НКДАР ООН) по данным исследований, проведенных среди облученного в результате атомных бомбардировок в 1945 году населения японских городов.

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 (в процентах либо в долях) вероятности заболевания раком относительно фоновой вероятности заболевания раком данной локализации в данном возрасте лица данного пола;

AR – атрибутивный риск (*Attributable Risk*) – доля фактора облучения (избыточного абсолютного риска) в суммарной вероятности заболеть раком 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 - фоновое количество раковых заболеваний, а m - наблюдаемое количество заболеваний в группе облученных людей того же пола и той же возрастной категории, то наблюдаемое количество заболеваний среди облученных людей можно выразить через фоновое в аддитивной форме:

$$m = m_0 + EAR, \tag{1}$$

где *EAR* – превышение количества наблюдаемых случаев заболеваний над ожидаемым, вызванное облучением, либо для одного индивидуума – вероятность заболеть раком в результате облучения. Взаимосвязь m и m_0 может быть выражена и через относительное превышение числа заболеваний *ERR* или в мультипликативной форме:

$$m = m_0 \cdot (1 + ERR). \tag{2}$$

Из (1) и (2) следует, что:

$$EAR = m - m_0, \tag{3}$$

$$ERR = (m - m_0) / m_0 . \tag{4}$$

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

$$EAR = m_0 \cdot ERR. \tag{5}$$

Согласно определению, атрибутивный риск представляет собой долю радиационно-обусловленной вероятности заболеть раком в суммарной вероятности заболеть раком для человека данного возраста и пола:

$$AR = EAR/m. \tag{6}$$

Из (3), (5) и (6) следует:

$$AR = ERR / (1 + ERR). \tag{7}$$

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 – доза облучения (Зв), g – возраст на момент облучения, s – пол, l – локализация заболевания. Параметры риска a и b приведены в табл. 4.1 для различных локализаций заболеваний, в зависимости от пола.

Величина $|b^{-1}| = \tau$ (см. табл. 1.1) – характерное время, в течение которого эффективность воздействия облучения изменяется примерно в 3 раза. Риск заболевания органов дыхания, мочевого пузыря, пищевода увеличивается с возрастом при облучении, для других локализаций – риск с возрастом при облучении падает.

Таблица 1.1

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

Локализация	МКБ-10	Параметр a, $Гр^{-1}$		Параметр b, $год^{-1}$	Характерное время $\tau = \lvert b^{-1} \rvert$, 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 [9] для пролонгированного облучения относительный избыточный риск солидных раков будет:

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

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) и ранее до расчетного возраста u.

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

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

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

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

Данные фоновой повозрастной заболеваемости различными видами солидных раков и лейкемией были взяты из Бюллетеня Национального канцер-реестра Украины № 11 за 2008-2009 гг. [8]. Т.к. в Бюллетене повозрастная заболеваемость приведена только для Украины в целом, для Харьковской области был произведен пересчет фоновой повозрастной заболеваемости с использованием коэффициентов[1], приведенных в табл. 1.2, рассчитанных по данным Бюллетеня.

Таблица 1.2

Коэффициенты превышения фоновой заболеваемости раками по Харьковской области над фоновой заболеваемостью по Украине

Локализация	МКБ-10	Коэффициент превышения	
		Мужчины	Женщины
Органы дыхания	С33-С34	0,99	1,30
Желудок	С16	1,05	1,13
Мочевой пузырь	С67	0,98	1,54
Печень	С22	0,97	1,06
Пищевод	С15	1,13	1,56
Ободочная кишка	С18	1,04	1,14
Молочная железа	С50	1,00	1,21
Остальные		1,01	1,05
Все солидные[2]	С00–С80	1,01	1,10
Лейкемии	С91–С95	1,07	1,15

Как следует из табл. 1.2, онкозаболеваемость в Харьковской области в целом выше, чем в среднем по Украине.

[1] Фоновые показатели повозрастной заболеваемости по Украине умножались на коэффициенты из табл. 1.2.

[2] Коэффициенты по всем солидным ракам не являются средним по всем разновидностям солидных раков для определенного пола, т.к. заболеваемость по одним видам солидных раков может быть на несколько порядков выше, чем по другим, и такие виды рака вносят наибольший вклад в коэффициент превышения по всем солидным ракам.

Таблица 1.3

Фоновая повозрастная заболеваемость злокачественными новообразованиями по Харьковской области

(показатели на 100 000 чел. в год)

Локализация	пол	Возрастная группа, лет														
		15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-
Все солидные раки	м	8,00	11,32	19,91	36,65	59,2	112,93	222,58	452,3	766,67	1234,86	1289,16	1943,54	1607,41	1912,25	1566,4
	ж	10,06	18,88	42,04	87,26	146,51	224	337,54	484,81	619	825	749,32	1102,37	854,36	909,84	685,36
Органы дыхания	м	0,10	0,59	0,69	1,88	4,85	13,36	38,4	99,06	163,88	258,88	274,22	373,87	278,18	259,27	171
	ж	0,13	0,13	0,78	1,3	2,73	5,2	9,61	16,37	24,17	33,65	42,74	63,27	58,2	62,23	39,63
Желудок	м	0	0,11	0,84	3,47	6,3	12,5	24,79	46,43	73,95	127	132,88	195,07	159,04	197,8	129,84
	ж	0,34	0,34	1,13	3,28	4,3	8,26	12	19,81	30,9	46,18	56,71	93,84	74,6	76,52	53,77
Мочевой пузырь	м	0,1	0,2	0,49	1,18	1,96	4,7	8,92	16,46	34,4	64,78	79,28	127,3	110,25	141,41	113,29
	ж	0,15	0,46	0,31	0,46	0,92	1,54	2,31	4	7,54	13,38	14,77	24,31	22	27,23	21,69
Печень	м	0,19	0,1	0,29	0,68	1,07	1,65	2,82	6,32	11,48	14,98	15,37	23,15	15,86	21,6	23,35
	ж	0,32	0,21	0,21	0,64	0,64	0,42	1,7	2,54	4,77	6,04	6,89	10,92	9,86	10,28	6,57
Пищевод	м	0	0,11	0,11	0,11	0,56	1,58	6,54	14,76	25,92	34,25	29,63	34,14	22,54	21,86	24,45
	ж	0	0	0	0,16	0,31	0,16	0,31	0,93	2,02	2,02	3,73	6,38	5,44	8,71	3,27
Ободочная кишка	м	0,1	0,31	0,52	1,66	3,31	6,11	10,05	20,61	41,43	77,99	89,9	157,53	122,63	154,32	128,01
	ж	0,11	0,23	0,57	1,94	2,97	5,95	11,09	25,27	37,51	57,06	64,04	104,63	78,33	84,62	61,41
Остальные	м	7,51	9,91	16,99	27,57	41,04	72,82	130,67	247,45	413,82	655,28	665,97	1028,27	896,23	1112,38	971,86
	ж	8,88	16,66	33,82	62,64	95,14	128,08	186,39	270,5	349,5	460,32	406,08	598,51	480,41	502,97	405,61
Молочная железа	м	0	0	0	0,1	0,1	0,2	0,4	1,2	1,8	1,7	1,9	4,2	2,7	3,6	4,6
	ж	0,12	0,85	5,21	16,84	39,5	74,39	114,13	145,39	162,59	206,33	154,35	200,51	125,52	137,27	93,41
Лейкемии	м	2,99	2,67	2,14	1,92	3,10	3,42	6,09	9,73	18,60	22,98	28,43	42,65	33,78	35,60	26,94
	ж	2,08	1,85	2,08	2,19	3,00	3,93	5,66	7,85	12,01	18,02	18,36	29,91	18,71	13,63	5,43

Значения фоновой повозрастной заболеваемости солидными раками различной локализации и лейкемией по Харьковской области приведены в табл. 1.3.

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

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

где, *a* и *b* – параметры, зависящие от возраста на момент облучения *g* и пола человека *s*, их значения приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

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

Возраст	Параметр *a*, Гр^{-1}		Параметр *b*, год^{-1}		Характерное время $\tau = \lvert b^{-1} \rvert$, 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 [9] для пролонгированного облучения абсолютный избыточный риск лейкемии будет:

$$EAR_{LEU}(u) = \sum_{g=g_0}^{g=u-2} a_{s,g} \times D_g \left(1 + 1.58 \sum_{g=g_0}^{g} D_g\right) \times \exp\left(-b_{s,g} \times (u - g - 25)\right), \quad (14)$$

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

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

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

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

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

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 установлен уровень социально приемлемого риска, равный 10^{-4} – 10^{-3} в год.

В соответствии с Нормами радиационной безопасности Украины (НРБУ-97) величина EAR_{ALL} для персонала не должна превышать 10^{-3} [5].

Таким образом, по величине EAR_{ALL} человек, подвергшийся облучению, может быть отнесен к одной из следующих групп риска:

- группа пренебрежимо малого риска: $EAR_{\mathrm{ALL}} < 10^{-4}$;

- группа приемлемого риска: $10^{-4} \le EAR_{\mathrm{ALL}} < 10^{-3}$;

- группа повышенного радиационного риска: $EAR_{\mathrm{ALL}} \ge 10^{-3}$.

За рубежом основным показателем отнесения человека к той или иной группе риска является атрибутивный радиационный риск [10]. В зависимости от значений атрибутивного риска солидных раков AR_{SOL}, атрибутивного риска лейкемии AR_{LEU} и атрибутивного риска органов дыхания AR_{RESP} человек, подвергшийся облучению, может быть отнесен к группе: а) потенциального риска: $AR_{\mathrm{SOL}} \ge 10\%$, либо $AR_{\mathrm{LEU}} \ge 50\%$, либо $AR_{\mathrm{RESP}} \ge 20\%$;

б) повышенного потенциального риска: $AR_{SOL} \geq 20\%$, либо $AR_{LEU} \geq 75\%$, либо $AR_{RESP} \geq 30\%$.

В расчетах для формирования групп риска использовались отдельно значения абсолютного и атрибутивного радиационного рисков. Приведены также значения стандартизированных отношений заболеваемости для различных локализаций *SIR* (*Standardized Incident Ratio*) - отношение наблюдаемого числа заболеваний m к ожидаемому m_0, используемые в эпидемиологии.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРСОНАЛА ННЦ ХФТИ, СОСТОЯЩЕГО НА ИДК В 2012 Г.

2.1. Возрастно-половой состав, стаж работы

Таблица 2.1

Возрастно-половой состав, стаж работы

Персонал	Число лиц на ИДК	Возраст, лет			Стаж, лет		
		Мин.	Средний	Макс.	Мин.	Средний	Макс.
Мужчины	273	22	57	86	0	21	54
Женщины	47	24	56	79	0	22	49
Все	320	22	57	86	0	21	54

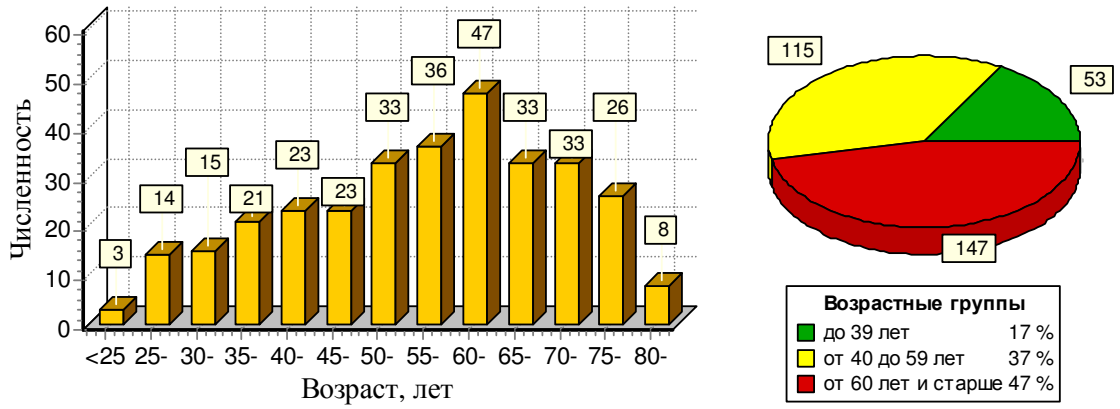


Рис. 2.1. Распределение персонала по возрастным группам

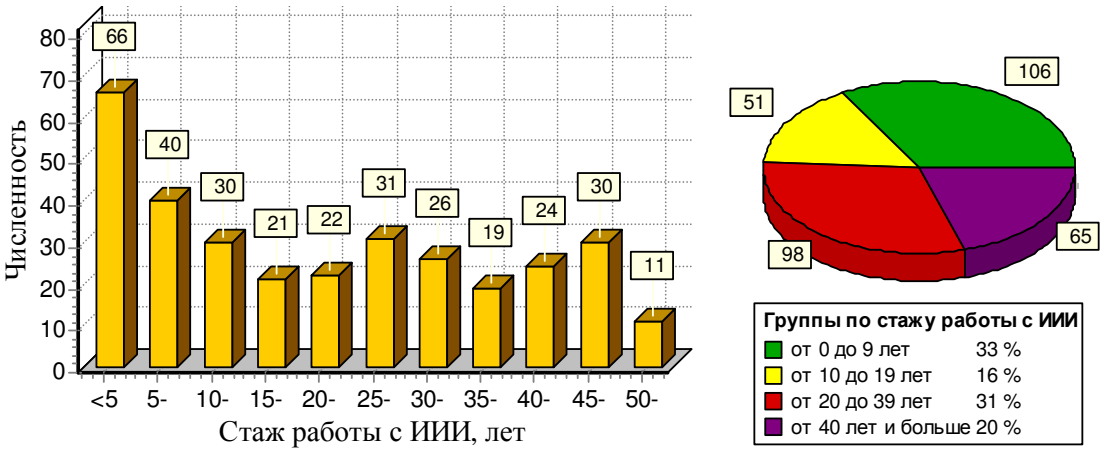


Рис. 2.2. Распределение персонала по стажу работы с ИИИ

2.2. Накопленные и годовые эффективные дозы

Таблица 2.2

Характеристика накопленных эффективных доз персонала

Персонал	Накопленная доза, мЗв		
	Мин.	Средняя	Макс.
Мужчины	0,07	65,27	579,56
Женщины	0,05	51,08	180,88
Все	0,05	63,19	579,56

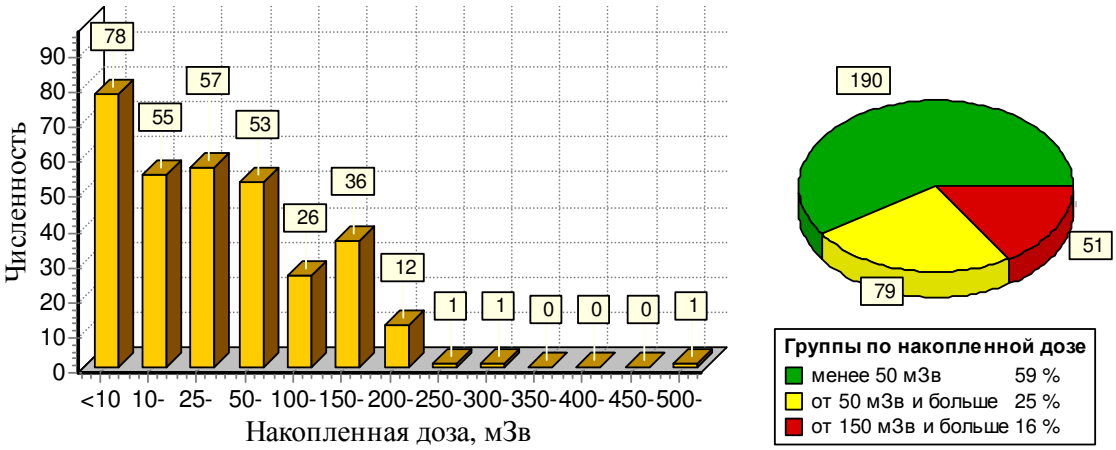


Рис. 2.3. Распределение персонала по накопленной дозе

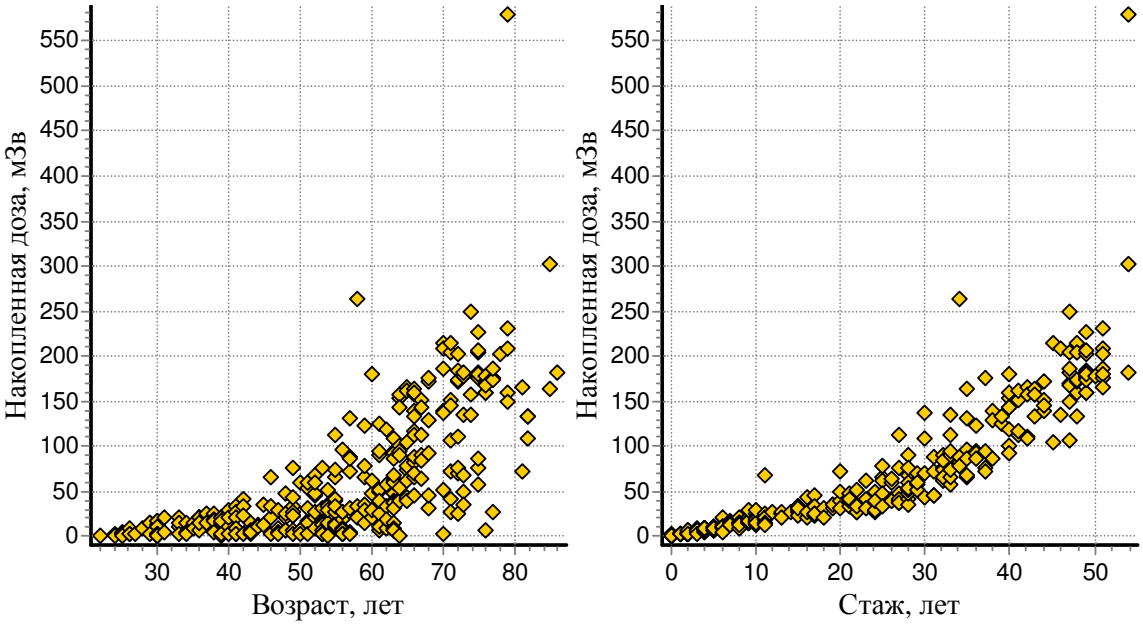


Рис. 2.4. Зависимости накопленной дозы от возраста и стажа

Таблица 2.3

Тренд минимальной, средней и максимальной годовых доз

по сотрудникам, работающим с ИИИ в 2012 г.

Год	Количество людей на ИДК	Минимальная доза, мЗв	Средняя доза, мЗв	Максимальная доза, мЗв
1957	2	1,4	13,40	25,40
1958	8	0,9	8,76	45,30
1959	12	2,4	8,33	30,50
1960	11	1,2	6,27	20,30
1961	13	2,3	11,40	40,30
1962	16	0,4	4,40	10,20
1963	28	0,1	5,78	35,70
1964	33	0,2	3,58	18,60
1965	40	0,9	4,39	19,10
1966	47	0,1	2,64	14,60
1967	48	0,3	3,74	13,80
1968	58	0,4	4,55	18,10
1969	62	0,5	3,83	18,00
1970	66	0,2	3,38	32,50
1971	69	0,3	3,37	30,20
1972	75	0,2	2,63	12,50
1973	76	0,2	2,59	6,70
1974	79	2,3	18,38	49,90
1975	83	1,1	14,31	43,00

Продолжение табл. 2.3

Год	Количество людей на ИДК	Минимальная доза, мЗв	Средняя доза, мЗв	Максимальная доза, мЗв
1976	92	1,1	8,89	30,90
1977	96	0,6	4,97	21,80
1978	101	0,4	7,17	28,80
1979	107	0,3	4,76	23,60
1980	110	0,1	3,81	17,30
1981	116	0,2	3,30	17,80
1982	115	1,1	3,23	31,70
1983	120	0,2	3,04	11,90
1984	129	0,5	2,84	13,60
1985	136	0,1	3,48	12,60
1986	144	0,2	3,53	15,90
1987	143	0,2	2,59	7,90
1988	141	0,4	3,52	12,50
1989	146	0,6	4,30	143,10
1990	149	0,2	3,48	13,40
1991	155	0,8	2,22	6,40
1992	158	0,6	2,50	7,00
1993	161	0,1	1,72	4,20
1994	160	0,1	1,11	2,20
1995	166	0,1	0,86	1,90
1996	167	0,2	1,21	2,70
1997	173	0,2	1,42	3,00
1998	174	0,3	1,77	6,10
1999	177	0,1	1,76	5,60
2000	162	0,3	1,92	5,10
2001	185	0,2	1,87	5,30
2002	200	0,1	1,79	4,70
2003	211	0,5	1,81	4,00
2004	223	0,1	1,54	3,70
2005	230	0,2	1,52	3,90
2006	238	0,2	1,58	4,70
2007	247	0,1	1,53	3,20
2008	256	0,2	1,57	3,00
2009	271	0,2	1,63	3,25
2010	287	0,2	1,81	4,36
2011	308	0,19	1,54	3,65
2012	320	0,05	1,38	3,64

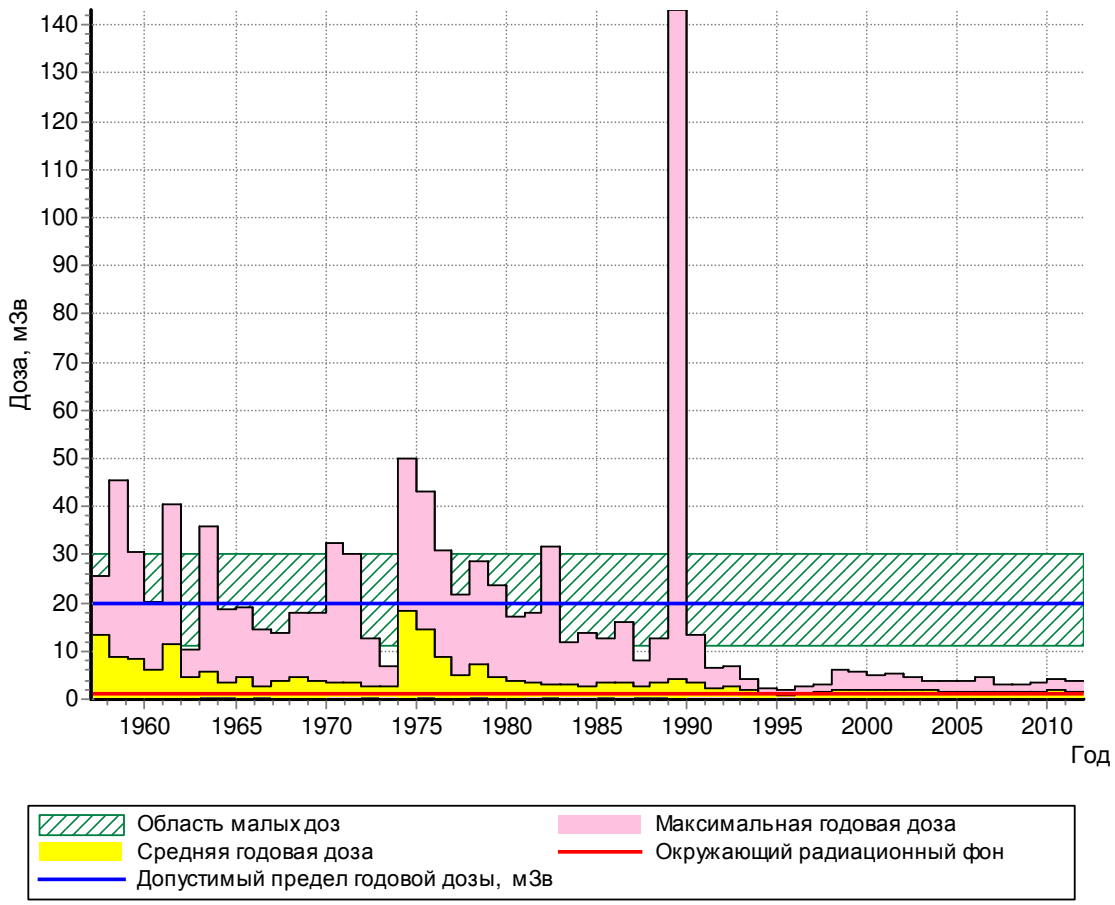


Рис. 2.5. Динамика средней и максимальной годовых доз по сотрудникам, работающим с ИИИ в 2012 г. Сравнение с окружающим радиационным фоном и с областью малых доз

3. РАСЧЕТ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ СОТРУДНИКОВ ННЦ ХФТИ, СОСТОЯЩИХ НА ИДК В 2012 Г.

Таблица 3.1

Избыточные радиационные риски по различным локализациям.

Локализация	Расчет. год	ERR, %			AR, %			EAR, $*10^{-3}$			SIR		
		Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.
Все раки	2012	0,00	2,25	18,37	0,00	2,15	15,52	0,000	0,269	3,015	1,00	1,02	1,18
	2014	0,00	2,09	18,38	0,00	2,00	15,52	0,000	0,255	3,579	1,00	1,02	1,18
	2022	0,00	2,11	18,46	0,00	2,01	15,58	0,000	0,302	2,941	1,00	1,02	1,18
Все солидные раки	2012	0,00	1,95	18,44	0,00	1,86	15,57	0,000	0,257	2,963	1,00	1,02	1,18
	2014	0,00	1,81	18,47	0,00	1,73	15,59	0,000	0,243	3,531	1,00	1,02	1,18
	2022	0,00	2,07	18,60	0,00	1,97	15,69	0,000	0,295	2,914	1,00	1,02	1,19
Лейкемии	2012	0,08	9,90	55,57	0,08	8,33	35,72	0,000	0,012	0,052	1,00	1,10	1,56
	2014	0,04	9,51	63,61	0,04	7,95	38,88	0,000	0,012	0,048	1,00	1,10	1,64
	2022	0,02	3,88	109,14	0,02	3,44	52,18	0,000	0,007	0,059	1,00	1,04	2,09
Мочевой пузырь	2012	0,00	6,83	66,98	0,00	5,86	40,11	0,000	0,057	0,738	1,00	1,07	1,67
	2014	0,00	6,47	67,34	0,00	5,55	40,24	0,000	0,057	0,952	1,00	1,06	1,67
	2022	0,01	8,04	69,42	0,01	6,87	40,98	0,000	0,078	0,787	1,00	1,08	1,69
Ободочная кишка	2012	0,00	2,20	20,47	0,00	2,08	16,99	0,000	0,022	0,251	1,00	1,02	1,20
	2014	0,00	2,03	20,49	0,00	1,93	17,01	0,000	0,021	0,316	1,00	1,02	1,20
	2022	0,00	2,29	20,61	0,00	2,18	17,09	0,000	0,026	0,264	1,00	1,02	1,21
Органы дыхания	2012	0,00	3,49	28,34	0,00	3,19	22,08	0,000	0,073	0,788	1,00	1,03	1,28
	2014	0,00	3,34	28,54	0,00	3,05	22,21	0,000	0,069	0,740	1,00	1,03	1,29
	2022	0,00	4,25	29,76	0,00	3,86	22,94	0,000	0,080	0,509	1,00	1,04	1,30
Печень	2012	0,00	3,53	39,29	0,00	3,22	28,21	0,000	0,006	0,062	1,00	1,04	1,39
	2014	0,00	3,27	39,35	0,00	2,99	28,24	0,000	0,005	0,085	1,00	1,03	1,39
	2022	0,00	3,73	39,63	0,00	3,42	28,38	0,000	0,007	0,093	1,00	1,04	1,40

3.1. Характеристика персонала по группам суммарного абсолютного радиационного риска

Таблица 3.2

Численная характеристика групп абсолютного радиационного риска

Расчетный год	Число лиц на ИДК	Число лиц в группе риска с EAR_{ALL}			Состав группы риска в %, с EAR_{ALL}		
		$< 10^{-4}$	10^{-4} - 10^{-3}	$> 10^{-3}$	$< 10^{-4}$	10^{-4} - 10^{-3}	$> 10^{-3}$
2012	288	151	124	13	52,4	43,1	4,5
2014	320	181	122	17	56,6	38,1	5,3
2022	320	151	151	18	47,2	47,2	5,6

где: расчетный год – год, на который производится расчет суммарного абсолютного радиационного риска EAR_{ALL}, с учетом 10-летнего латентного периода солидных раков и 2-летнего латентного периода лейкемии;

число лиц на ИДК – число лиц, для которых производится расчет рисков (со стажем работы с ИИИ не менее двух лет на расчетный год);

группы риска по значению EAR_{ALL}:

$< 10^{-4}$ - пренебрежимо малого риска;

10^{-4} - 10^{-3} - приемлемого риска;

$> 10^{-3}$ - повышенного радиационного риска.

Таблица 3.3

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

Значение показателя	Возраст, лет	Стаж на ИДК, лет	Накопленная доза, мЗв	AR_{SOL}, %	AR_{LEU}, %	EAR_{ALL}, $*10^{-3}$
Риски на 2012 г., в расчет вошли 288 чел.						
Группа повышенного риска, 13 чел. (4,5 % персонала)						
Мин.	70	45	169,07	4,93	4,05	1,0014
Среднее	**73**	**48**	**236,93**	**6,61**	**7,68**	**1,2848**
Макс.	85	54	576,62	15,57	13,26	3,0151
Группа приемлемого риска, 124 чел. (43,1 % персонала)						
Мин.	52	11	33,71	0,50	0,41	0,1005
Среднее	**67**	**36**	**110,32**	**3,30**	**6,07**	**0,4668**
Макс.	86	54	260,97	8,56	19,14	0,9965
Группа пренебрежимо малого риска, 151 чел. (52,4 % персонала)						
Мин.	24	2	0,22	0,00	0,08	0,0002
Среднее	**47**	**11**	**16,85**	**0,26**	**10,24**	**0,0195**
Макс.	77	29	72,34	2,21	35,72	0,0986

Продолжение табл. 3.3

Значение показателя	Возраст, лет	Стаж на ИДК, лет	Накопленная доза, мЗв	AR_{SOL}, %	AR_{LEU}, %	EAR_{ALL}, $*10^{-3}$
Риски на 2014 г., в расчет вошли 320 чел.						
Группа повышенного риска, 17 чел. (5,3 % персонала)						
Мин.	58	34	171,07	4,96	3,86	1,0184
Среднее	**73**	**47**	**236,34**	**6,31**	**7,66**	**1,2710**
Макс.	85	54	579,56	15,59	13,24	3,5794
Группа приемлемого риска, 122 чел. (38,1 % персонала)						
Мин.	49	11	37,04	0,57	0,46	0,1008
Среднее	**67**	**36**	**108,67**	**3,28**	**5,94**	**0,4616**
Макс.	86	54	205,49	8,62	25,72	0,9945
Группа пренебрежимо малого риска, 181 чел. (56,6 % персонала)						
Мин.	22	0	0,05	0,00	0,04	0,0000
Среднее	**46**	**9**	**16,27**	**0,25**	**9,33**	**0,0203**
Макс.	77	29	66,11	2,05	38,88	0,0986
Риски на 2022 г., в расчет вошли 320 чел.						
Группа повышенного риска, 18 чел. (5,6 % персонала)						
Мин.	58	34	152,31	4,94	2,33	1,0081
Среднее	**70**	**46**	**224,87**	**6,44**	**4,50**	**1,2568**
Макс.	85	54	579,56	15,69	9,24	2,9414
Группа приемлемого риска, 151 чел. (47,2 % персонала)						
Мин.	46	9	25,04	0,53	0,30	0,1045
Среднее	**65**	**33**	**95,35**	**3,02**	**4,06**	**0,4637**
Макс.	86	54	229,76	8,81	52,18	0,9844
Группа пренебрежимо малого риска, 151 чел. (47,2 % персонала)						
Мин.	22	0	0,05	0,00	0,02	0,0001
Среднее	**44**	**6**	**11,76**	**0,38**	**2,69**	**0,0264**
Макс.	77	24	41,31	1,58	11,21	0,0963

где: возраст и стаж на ИДК персонала даны на 2012 год;

накопленная доза - накопленная доза, принимаемая в расчет рисков, с учетом латентного периода солидных раков (10 лет) и лейкемии (2 года).

Таблица 3.4

Избыточные радиационные риски персонала из группы повышенного суммарного абсолютного радиационного риска

Локализация	Расчет. год	ERR, %			AR, %			EAR, $*10^{-3}$			SIR		
		Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.
Все раки	2012	5,17	7,21	18,37	4,91	6,64	15,52	1,001	1,285	3,015	1,05	1,07	1,18
	2014	5,19	6,85	18,38	4,94	6,34	15,52	1,018	1,271	3,579	1,05	1,07	1,18
	2022	5,18	6,92	18,46	4,92	6,41	15,58	1,008	1,257	2,941	1,05	1,07	1,18
Все солидные раки	2012	5,19	7,18	18,44	4,93	6,61	15,57	0,971	1,253	2,963	1,05	1,07	1,18
	2014	5,22	6,82	18,47	4,96	6,31	15,59	0,988	1,241	3,531	1,05	1,07	1,18
	2022	5,20	6,97	18,60	4,94	6,44	15,69	0,993	1,241	2,914	1,05	1,07	1,19
Лейкемии	2012	4,22	8,40	15,29	4,05	7,68	13,26	0,018	0,032	0,052	1,04	1,08	1,15
	2014	4,02	8,38	15,27	3,86	7,66	13,24	0,017	0,030	0,048	1,04	1,08	1,15
	2022	2,39	4,75	10,18	2,33	4,50	9,24	0,010	0,016	0,027	1,02	1,05	1,10
Мочевой пузырь	2012	18,74	26,93	66,98	15,78	20,59	40,11	0,058	0,308	0,738	1,19	1,27	1,67
	2014	17,98	26,82	67,34	15,24	20,65	40,24	0,179	0,335	0,952	1,18	1,27	1,67
	2022	17,65	27,60	69,42	15,00	21,11	40,98	0,225	0,354	0,787	1,18	1,28	1,69
Ободочная кишка	2012	5,75	7,96	20,47	5,44	7,26	16,99	0,080	0,112	0,251	1,06	1,08	1,20
	2014	5,68	7,48	20,49	5,38	6,87	17,01	0,075	0,108	0,316	1,06	1,07	1,20
	2022	5,69	7,67	20,61	5,39	7,04	17,09	0,087	0,110	0,264	1,06	1,08	1,21
Органы дыхания	2012	7,90	12,70	28,34	7,32	11,00	22,08	0,157	0,360	0,788	1,08	1,13	1,28
	2014	7,48	11,62	28,54	6,96	10,26	22,21	0,264	0,351	0,740	1,07	1,12	1,29
	2022	7,39	12,09	29,76	6,88	10,62	22,94	0,226	0,299	0,509	1,07	1,12	1,30
Печень	2012	3,61	14,13	39,29	3,49	12,02	28,21	0,004	0,029	0,062	1,04	1,14	1,39
	2014	11,12	14,52	39,35	10,01	12,43	28,24	0,021	0,031	0,085	1,11	1,15	1,39
	2022	11,06	14,83	39,63	9,96	12,68	28,38	0,024	0,032	0,093	1,11	1,15	1,40

Таблица 3.5

Избыточные радиационные риски персонала из группы приемлемого суммарного абсолютного радиационного риска

Локализация	Расчет. год	ERR, %			AR, %			EAR, $*10^{-3}$			SIR		
		Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.
Все раки	2012	0,56	3,52	9,50	0,56	3,37	8,67	0,101	0,467	0,997	1,01	1,04	1,10
	2014	0,63	3,49	9,58	0,63	3,34	8,74	0,101	0,462	0,995	1,01	1,03	1,10
	2022	0,55	3,18	10,11	0,55	3,05	9,18	0,104	0,464	0,984	1,01	1,03	1,10
Все солидные раки	2012	0,50	3,45	9,37	0,50	3,30	8,56	0,093	0,450	0,973	1,01	1,03	1,09
	2014	0,57	3,43	9,43	0,57	3,28	8,62	0,084	0,445	0,971	1,01	1,03	1,09
	2022	0,53	3,16	9,66	0,53	3,02	8,81	0,098	0,453	0,969	1,01	1,03	1,10
Лейкемии	2012	0,41	6,56	23,68	0,41	6,07	19,14	0,002	0,017	0,044	1,00	1,07	1,24
	2014	0,46	6,44	34,63	0,46	5,94	25,72	0,002	0,017	0,047	1,00	1,06	1,35
	2022	0,30	4,82	109,14	0,30	4,06	52,18	0,001	0,010	0,059	1,00	1,05	2,09
Мочевой пузырь	2012	3,13	12,02	27,26	3,04	10,46	21,42	0,003	0,099	0,301	1,03	1,12	1,27
	2014	3,35	12,00	24,56	3,25	10,46	19,72	0,003	0,099	0,292	1,03	1,12	1,25
	2022	3,24	12,29	30,23	3,14	10,62	23,22	0,008	0,117	0,343	1,03	1,12	1,30
Ободочная кишка	2012	0,49	3,89	11,39	0,49	3,70	10,22	0,005	0,037	0,089	1,00	1,04	1,11
	2014	0,55	3,87	11,45	0,55	3,68	10,27	0,005	0,038	0,090	1,01	1,04	1,11
	2022	0,52	3,51	11,67	0,52	3,34	10,45	0,006	0,040	0,109	1,01	1,04	1,12
Органы дыхания	2012	1,27	6,30	25,25	1,26	5,79	20,16	0,011	0,127	0,341	1,01	1,06	1,25
	2014	1,44	6,50	26,27	1,42	5,95	20,80	0,011	0,126	0,310	1,01	1,07	1,26
	2022	1,30	6,84	29,23	1,28	6,21	22,62	0,026	0,123	0,270	1,01	1,07	1,29
Печень	2012	0,39	6,06	18,07	0,39	5,59	15,30	0,000	0,010	0,025	1,00	1,06	1,18
	2014	0,53	5,84	14,09	0,53	5,41	12,35	0,000	0,009	0,025	1,01	1,06	1,14
	2022	0,48	5,41	13,02	0,48	5,02	11,52	0,000	0,010	0,030	1,00	1,05	1,13

Таблица 3.6

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

Локализация	Расчет. год	ERR, %			AR, %			EAR, $*10^{-3}$			SIR		
		Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.
Все раки	2012	0,00	0,77	3,39	0,00	0,76	3,28	0,000	0,020	0,099	1,00	1,01	1,03
	2014	0,00	0,70	3,31	0,00	0,69	3,21	0,000	0,020	0,099	1,00	1,01	1,03
	2022	0,00	0,46	1,68	0,00	0,46	1,66	0,000	0,026	0,096	1,00	1,00	1,02
Все солидные раки	2012	0,00	0,27	2,26	0,00	0,26	2,21	0,000	0,013	0,088	1,00	1,00	1,02
	2014	0,00	0,25	2,09	0,00	0,25	2,05	0,000	0,014	0,089	1,00	1,00	1,02
	2022	0,00	0,39	1,60	0,00	0,38	1,58	0,000	0,024	0,090	1,00	1,00	1,02
Лейкемии	2012	0,08	12,77	55,57	0,08	10,24	35,72	0,000	0,007	0,017	1,00	1,13	1,56
	2014	0,04	11,69	63,61	0,04	9,33	38,88	0,000	0,007	0,017	1,00	1,12	1,64
	2022	0,02	2,84	12,62	0,02	2,69	11,21	0,000	0,003	0,007	1,00	1,03	1,13
Мочевой пузырь	2012	0,00	0,84	5,88	0,00	0,81	5,55	0,000	0,002	0,021	1,00	1,01	1,06
	2014	0,00	0,84	5,40	0,00	0,81	5,12	0,000	0,002	0,027	1,00	1,01	1,05
	2022	0,01	1,46	5,62	0,01	1,42	5,32	0,000	0,006	0,059	1,00	1,01	1,06
Ободочная кишка	2012	0,00	0,30	2,64	0,00	0,30	2,57	0,000	0,001	0,006	1,00	1,00	1,03
	2014	0,00	0,29	2,46	0,00	0,28	2,40	0,000	0,001	0,009	1,00	1,00	1,02
	2022	0,00	0,44	1,86	0,00	0,43	1,82	0,000	0,002	0,008	1,00	1,00	1,02
Органы дыхания	2012	0,00	0,39	4,10	0,00	0,38	3,93	0,000	0,004	0,036	1,00	1,00	1,04
	2014	0,00	0,43	5,46	0,00	0,41	5,18	0,000	0,005	0,040	1,00	1,00	1,05
	2022	0,00	0,73	6,80	0,00	0,72	6,36	0,000	0,010	0,057	1,00	1,01	1,07
Печень	2012	0,00	0,53	4,85	0,00	0,51	4,62	0,000	0,000	0,002	1,00	1,01	1,05
	2014	0,00	0,48	4,50	0,00	0,47	4,31	0,000	0,000	0,003	1,00	1,00	1,05
	2022	0,00	0,74	3,44	0,00	0,72	3,32	0,000	0,001	0,003	1,00	1,01	1,03

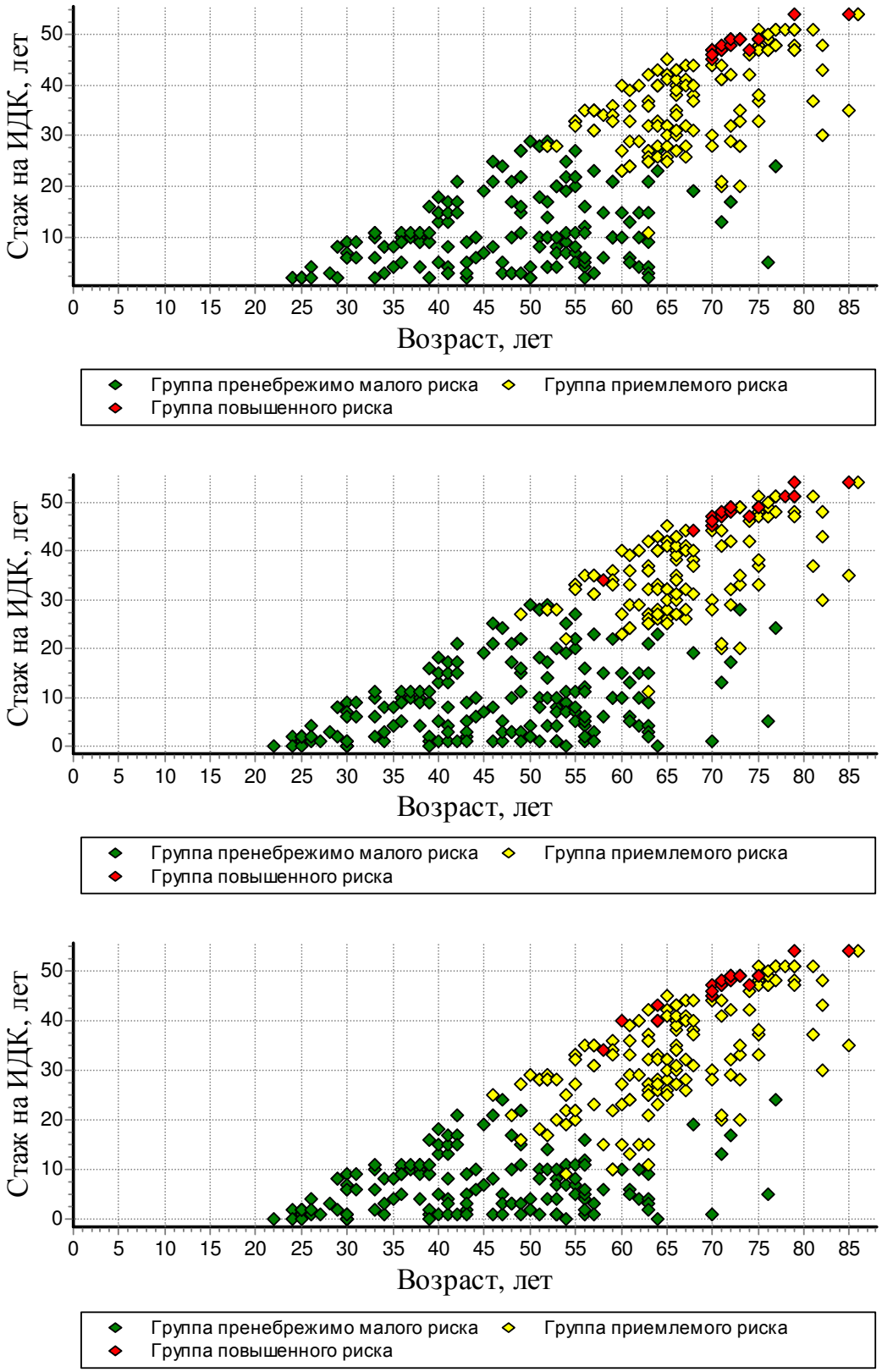
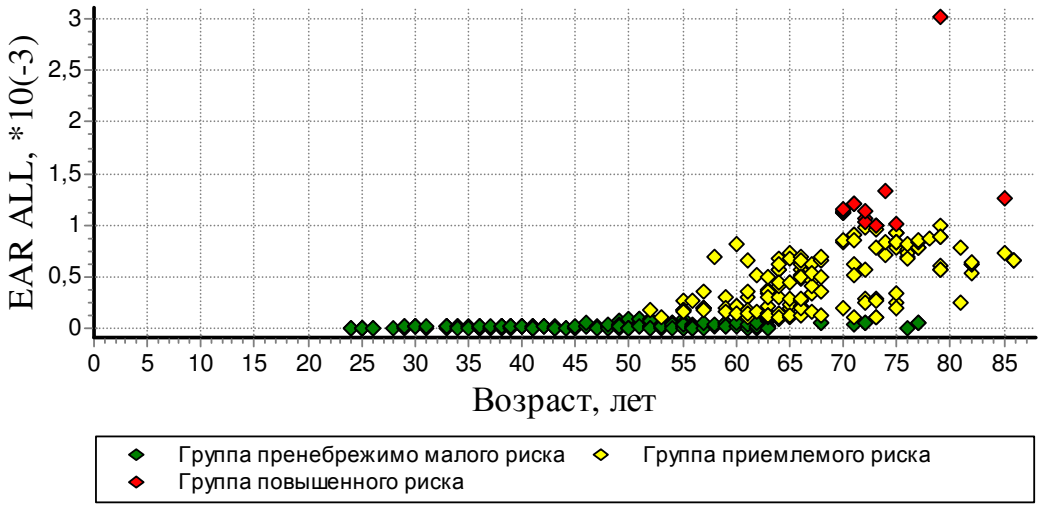
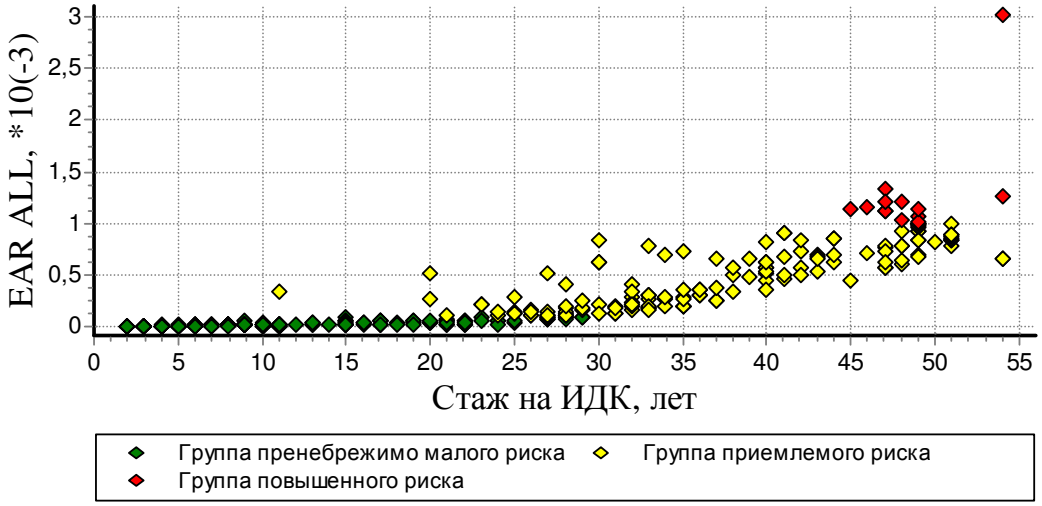


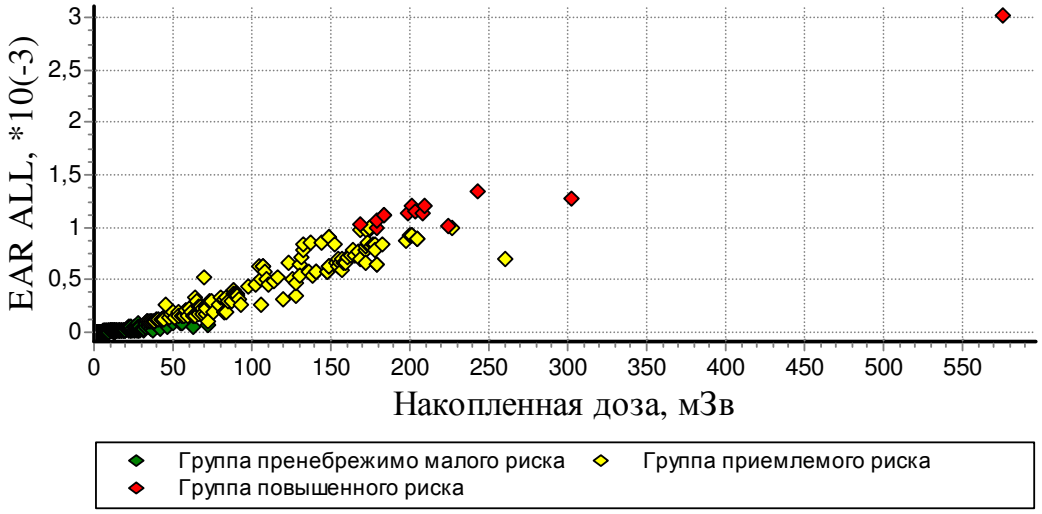
Рис. 3.1. Распределение персонала различных групп абсолютного радиационного риска на 2012 г. (а), 2014 г. (б) и 2022 г. (в) по возрасту и стажу на ИДК



а)

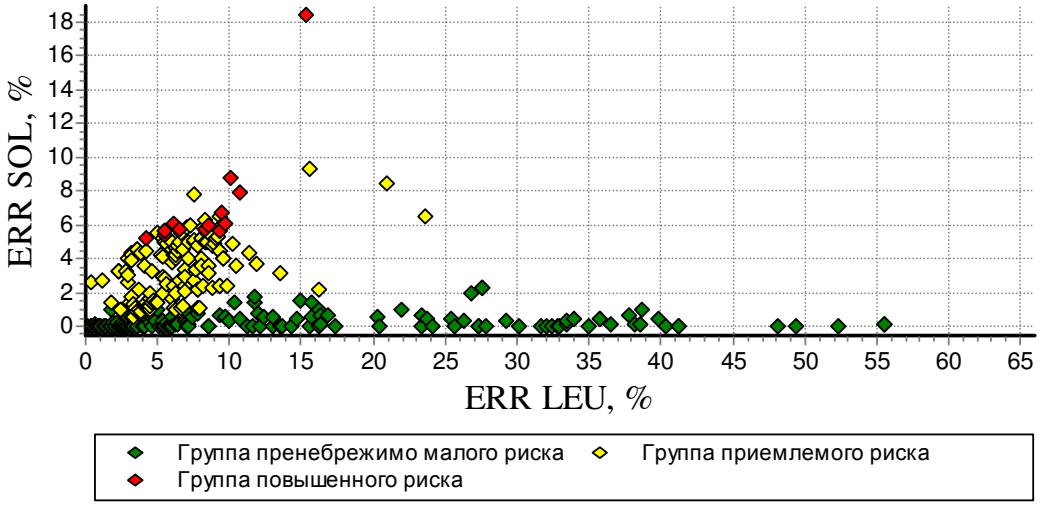


б)

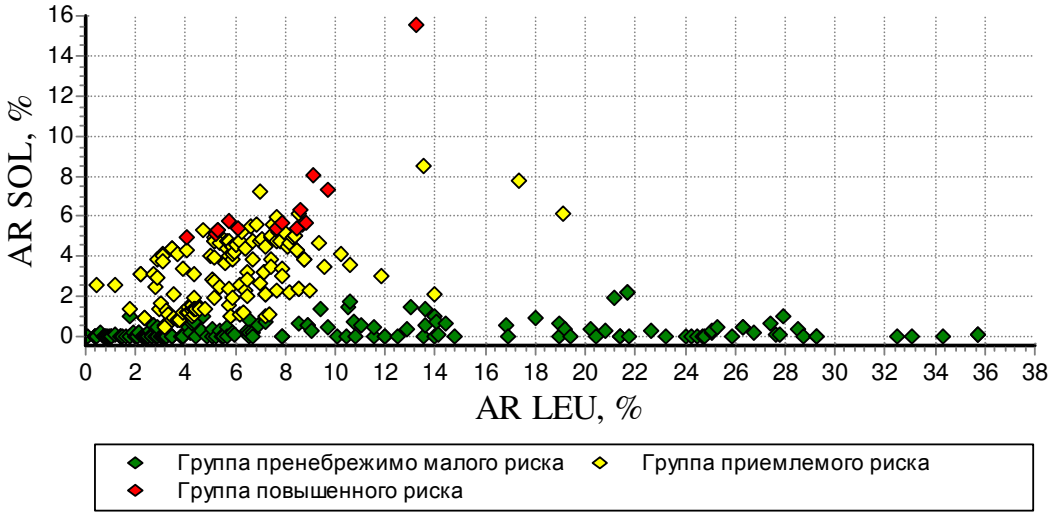


в)

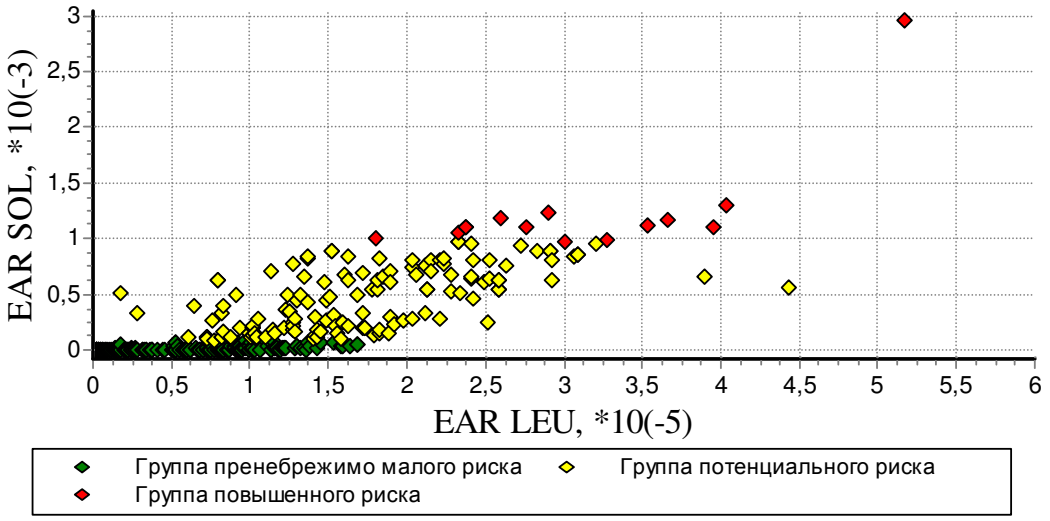
Рис. 3.2. Распределение значений суммарного избыточного абсолютного радиационного риска солидных раков и лейкозов на 2012 г. в зависимости от: а) - возраста, б) - стажа, в) - накопленной дозы



а)



б)



в)

Рис. 3.3. Распределение персонала по индивидуальным а) - относительным, б) - атрибутивным, в) - абсолютным рискам солидных раков и лейкемии на 2012 г.

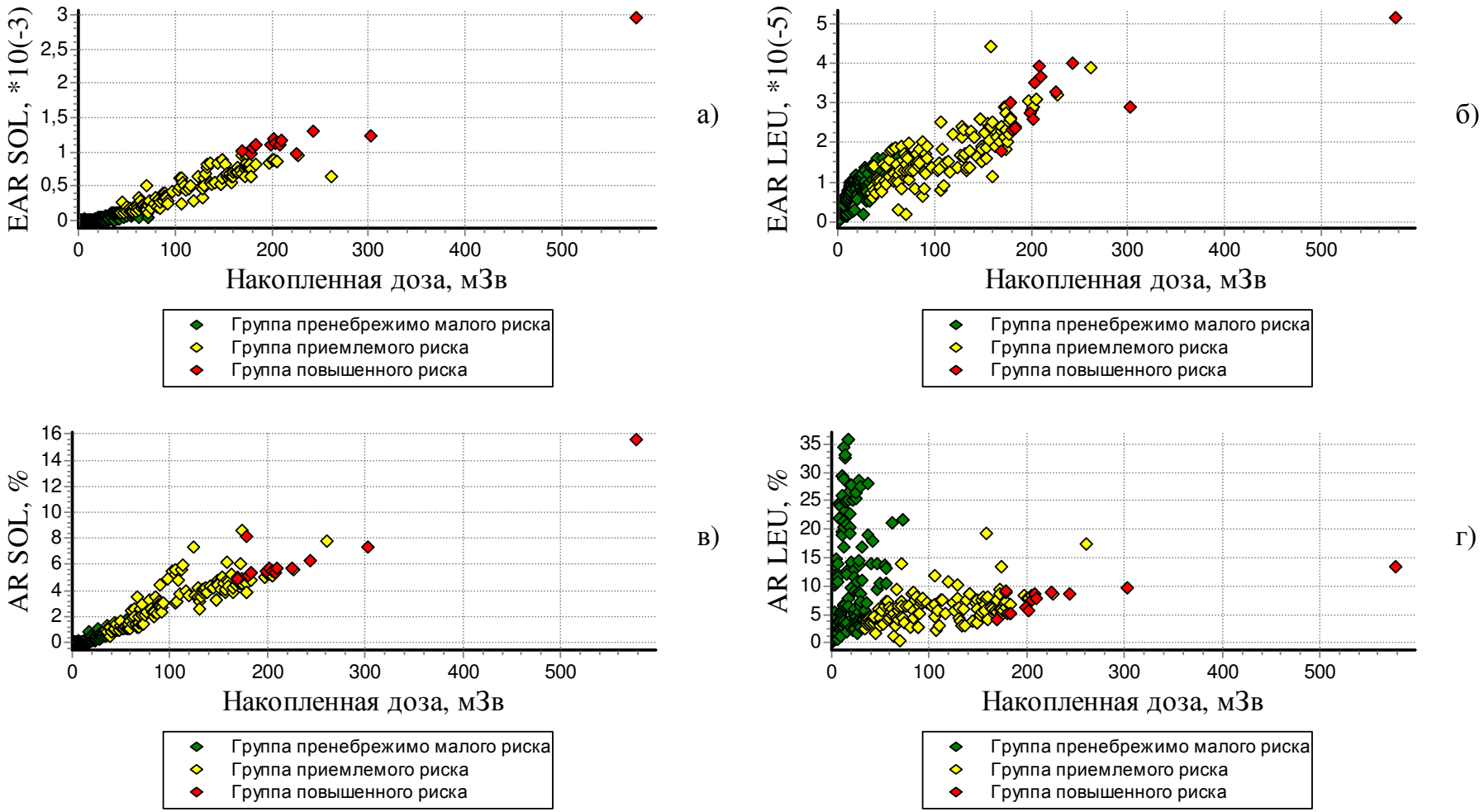


Рис. 3.4. Распределение абсолютных рисков а) - солидных раков, б) - лейкозов и атрибутивных рисков в) - солидных раков, г) - лейкозов на 2012 г. в зависимости от накопленной дозы

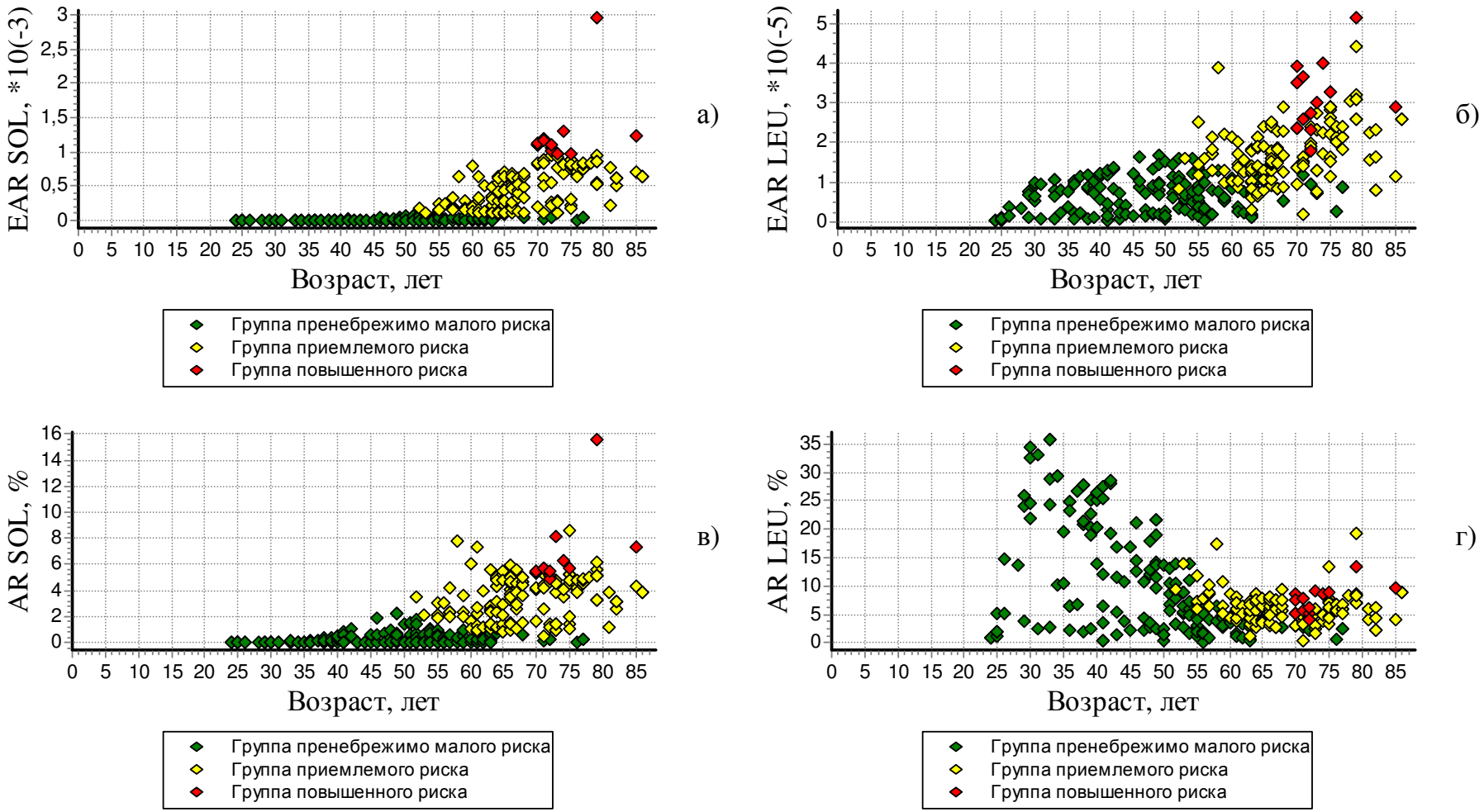


Рис. 3.5. Распределение абсолютных рисков а) - солидных раков, б) - лейкозов и атрибутивных рисков в) - солидных раков, г) - лейкозов на 2012 г. в зависимости от возраста

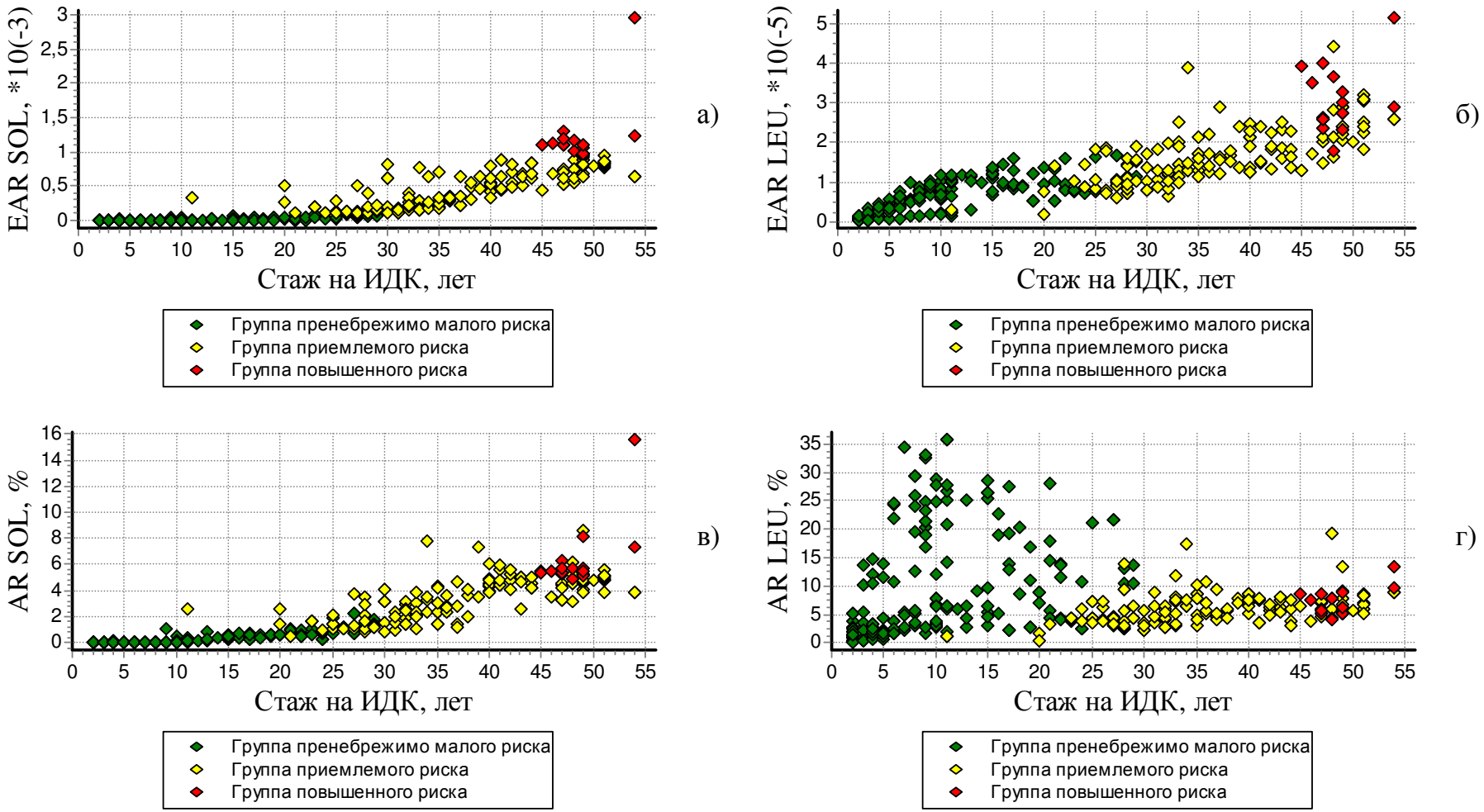
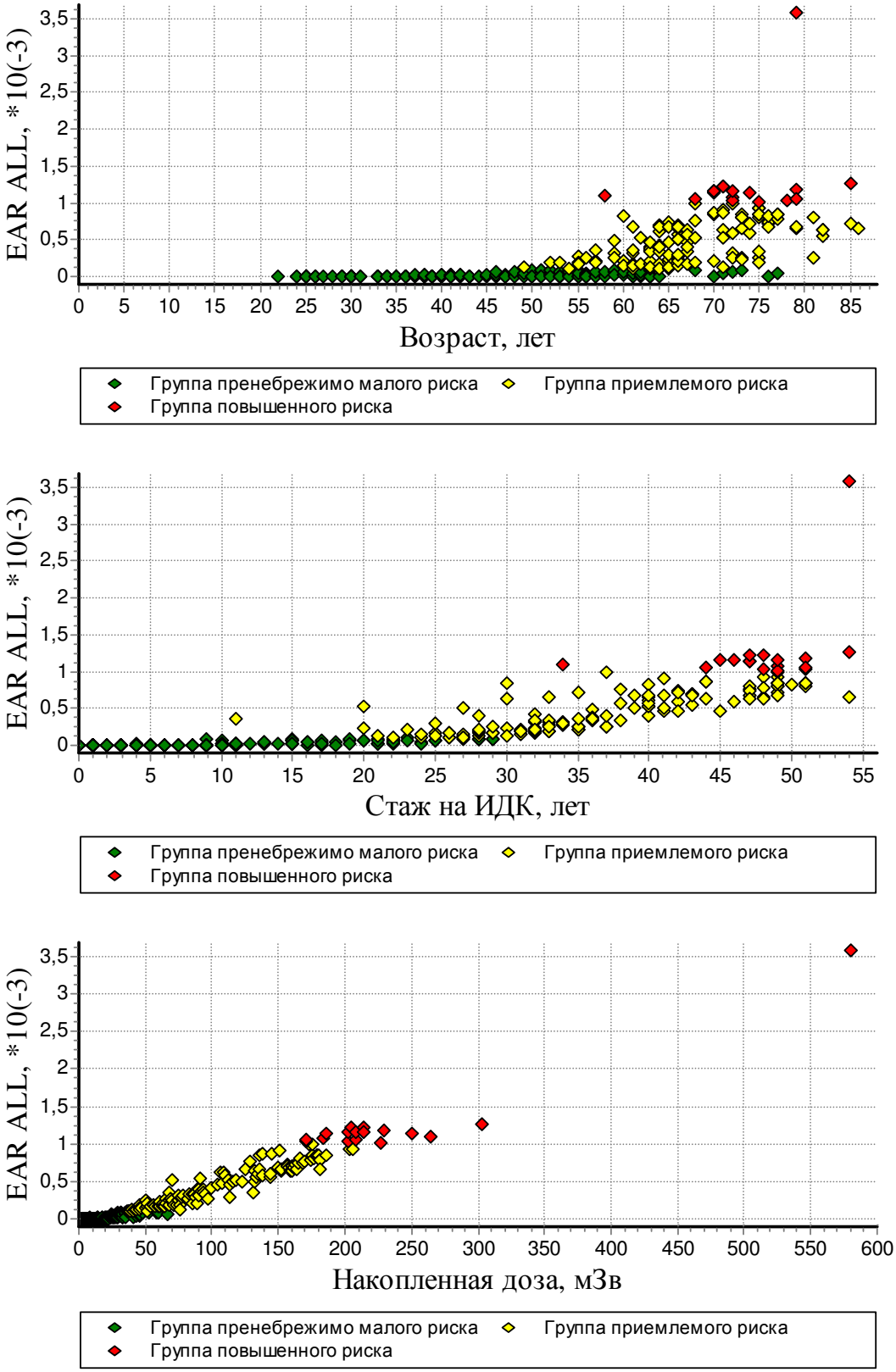


Рис. 3.6. Распределение абсолютных рисков а) - солидных раков, б) - лейкозов и атрибутивных рисков в) - солидных раков, г) - лейкозов на 2012 г. в зависимости от стажа

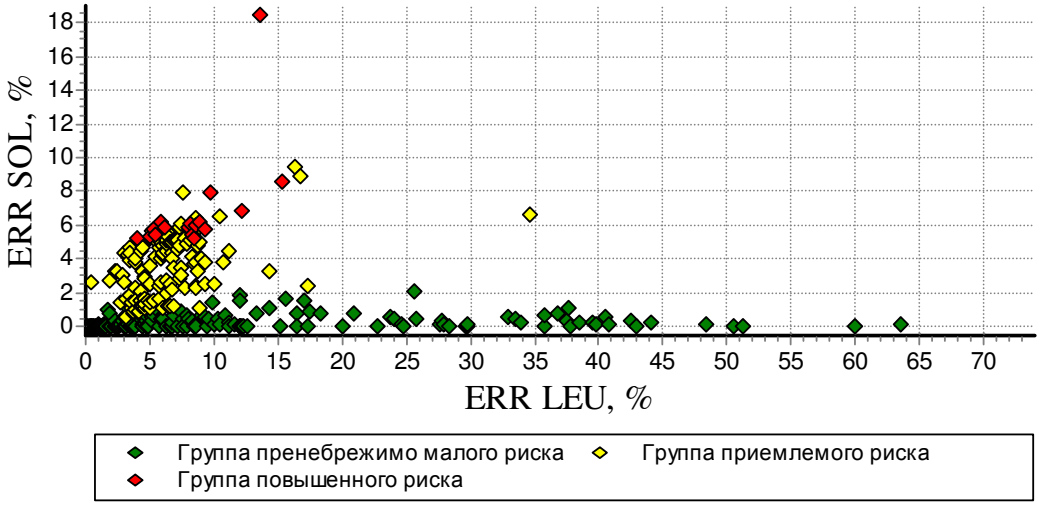


а)

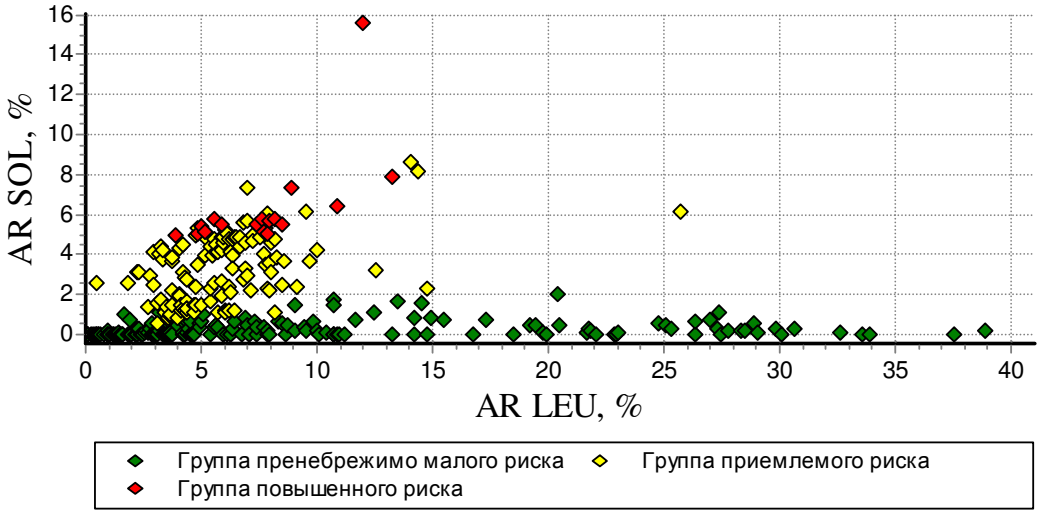
б)

в)

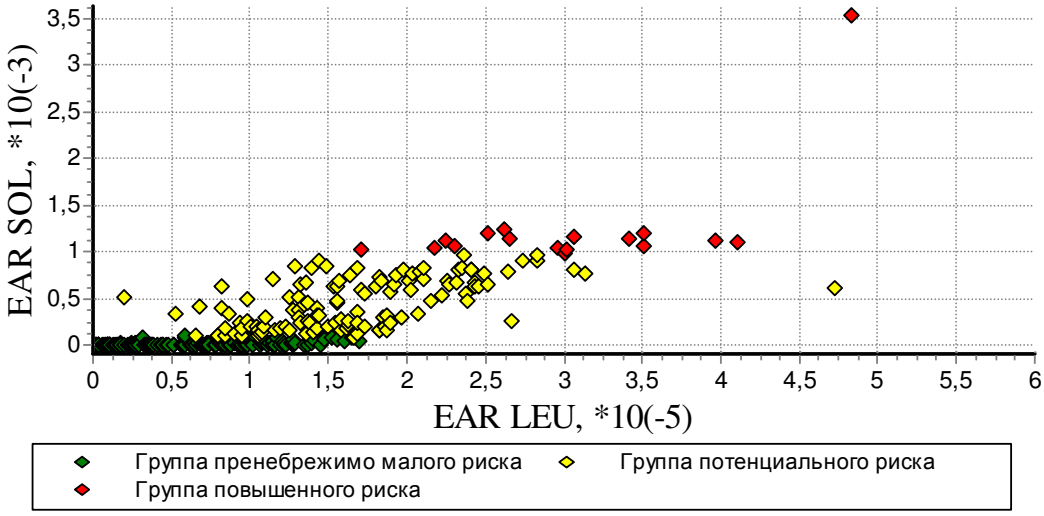
Рис. 3.7. Распределение значений суммарного избыточного абсолютного радиационного риска солидных раков и лейкозов на 2014 г. в зависимости от: а) - возраста, б) - стажа, в) - накопленной дозы



а)



б)



в)

Рис. 3.8. Распределение персонала по индивидуальным а) - относительным, б) - атрибутивным, в) - абсолютным рискам солидных раков и лейкемии на 2014 г.

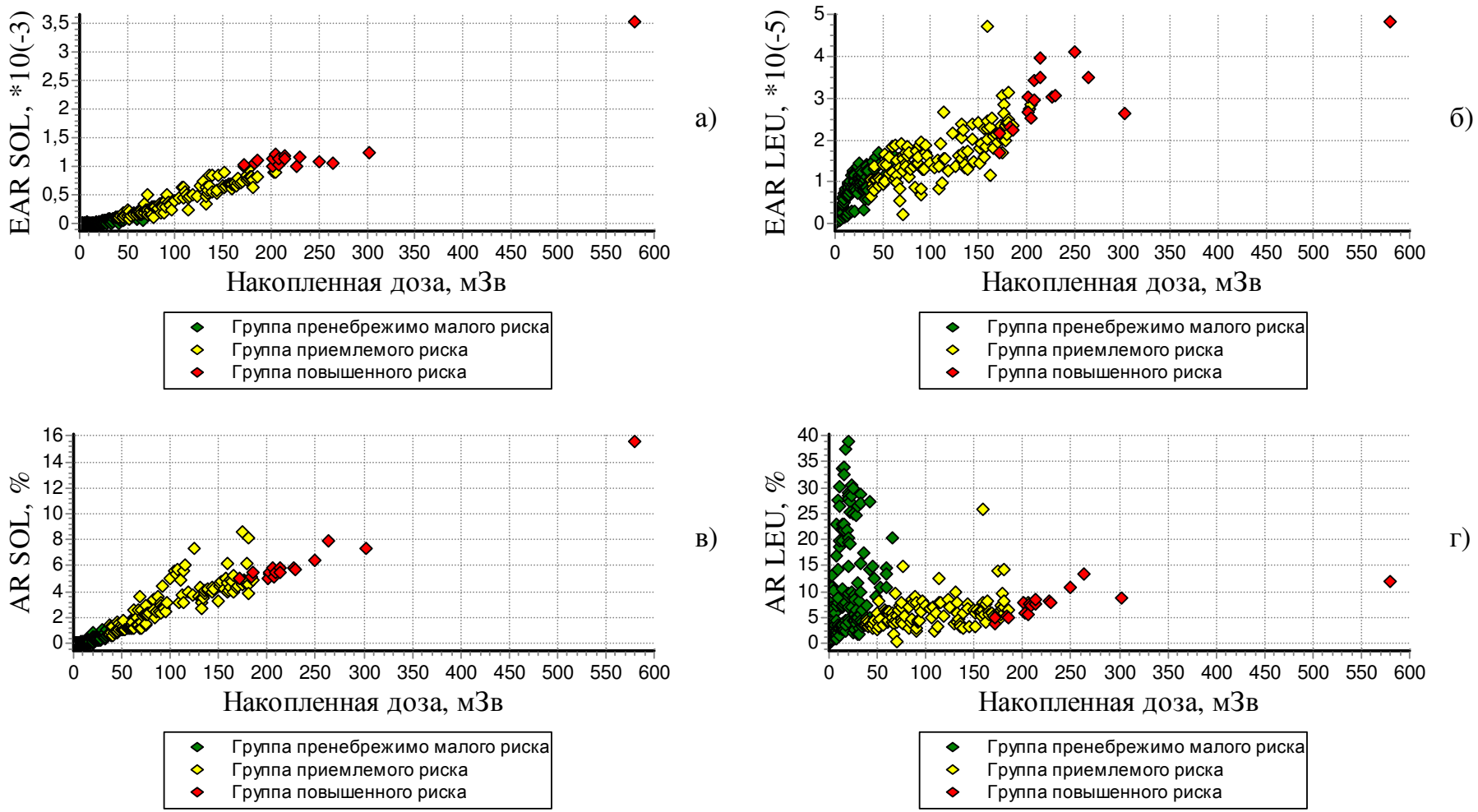


Рис. 3.9. Распределение абсолютных рисков а) - солидных раков, б) - лейкозов и атрибутивных рисков в) - солидных раков, г) - лейкозов на 2014 г. в зависимости от накопленной дозы

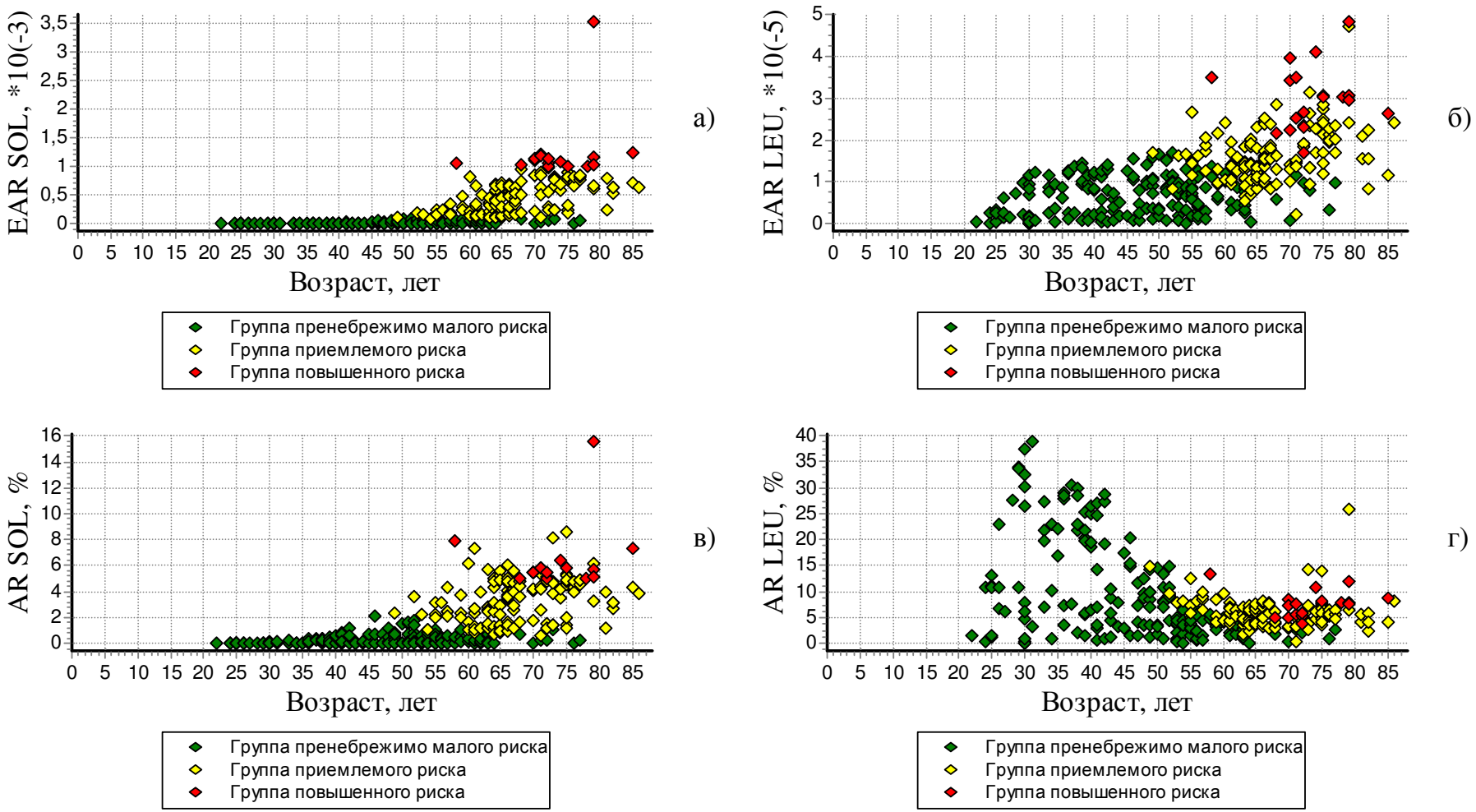


Рис. 3.10. Распределение абсолютных рисков а) - солидных раков, б) - лейкозов и атрибутивных рисков в) - солидных раков, г) - лейкозов на 2014 г. в зависимости от возраста

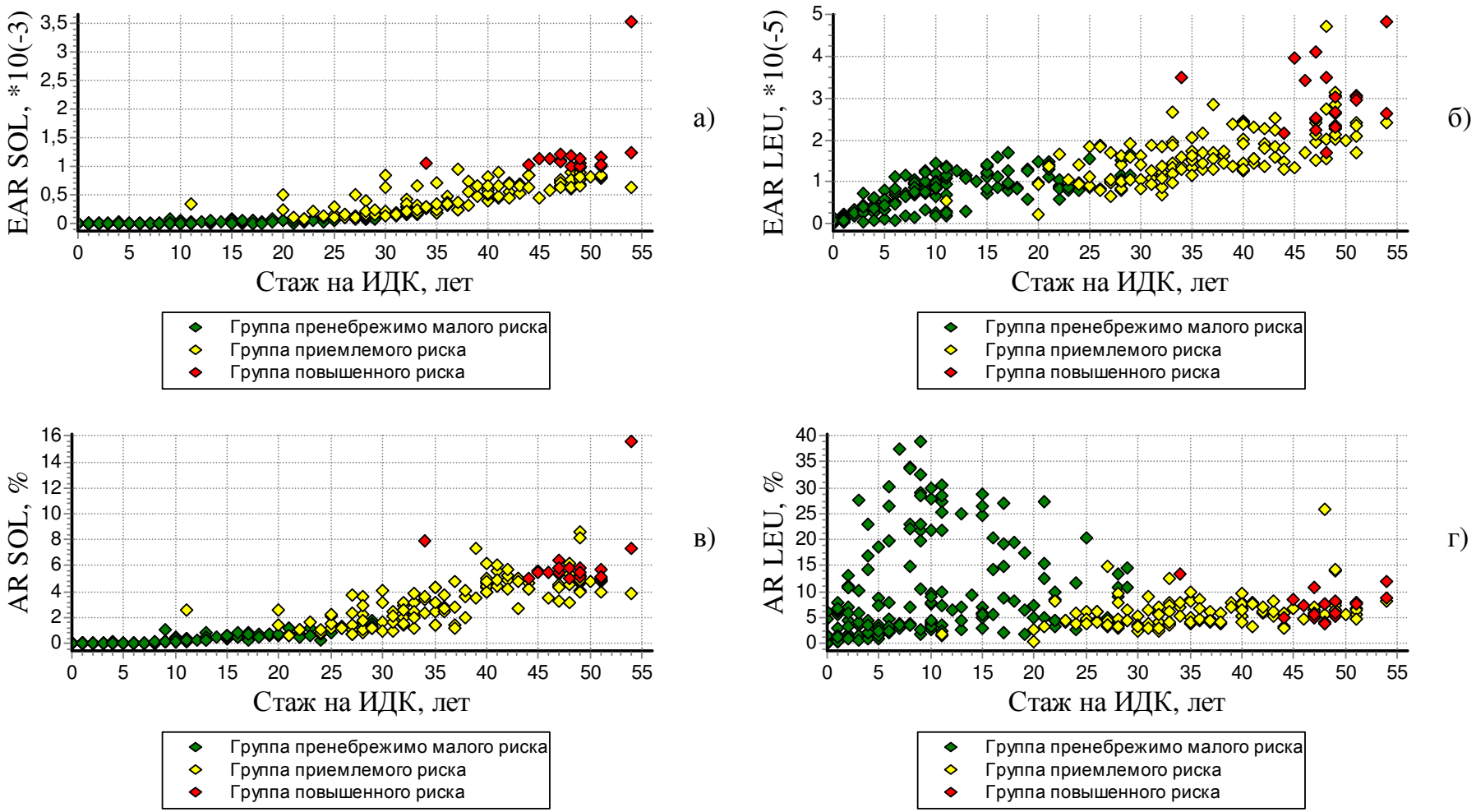
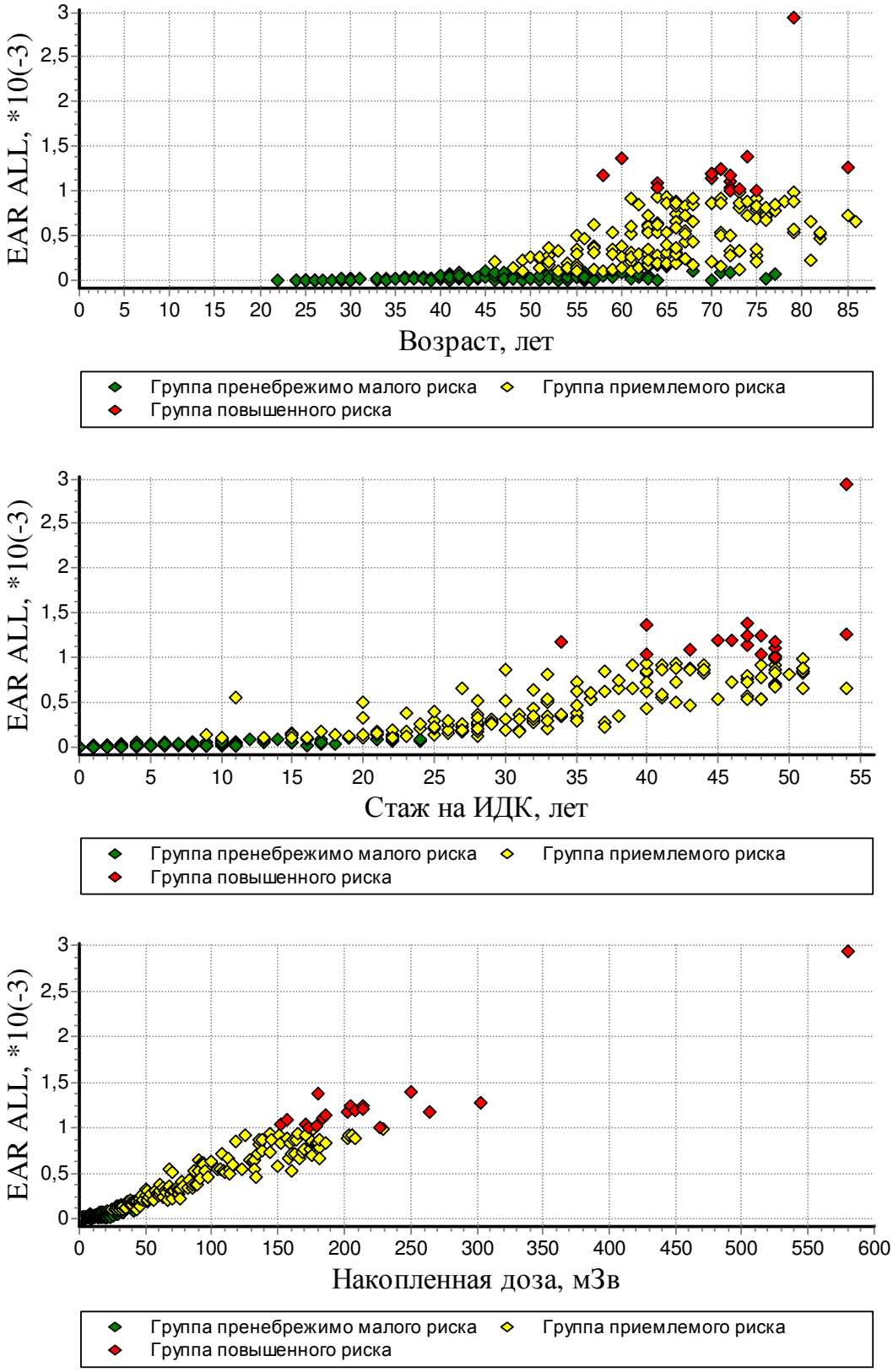


Рис. 3.11. Распределение абсолютных рисков а) - солидных раков, б) - лейкозов и атрибутивных рисков в) - солидных раков, г) - лейкозов на 2014 г. в зависимости от стажа

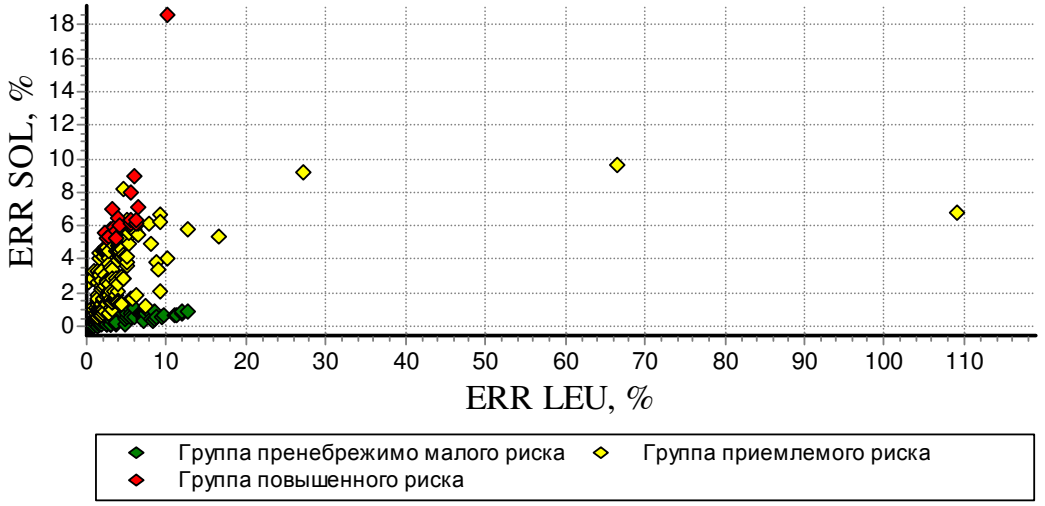


а)

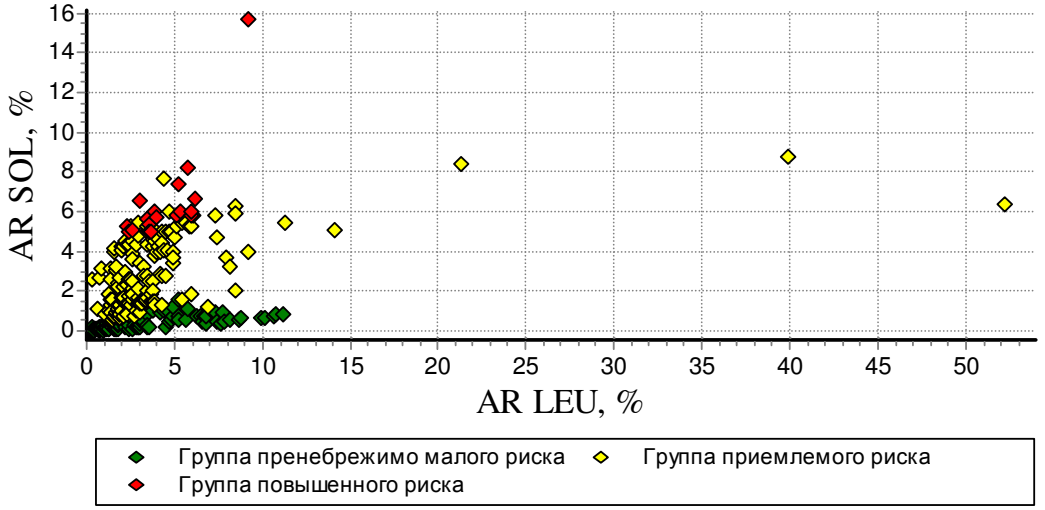
б)

в)

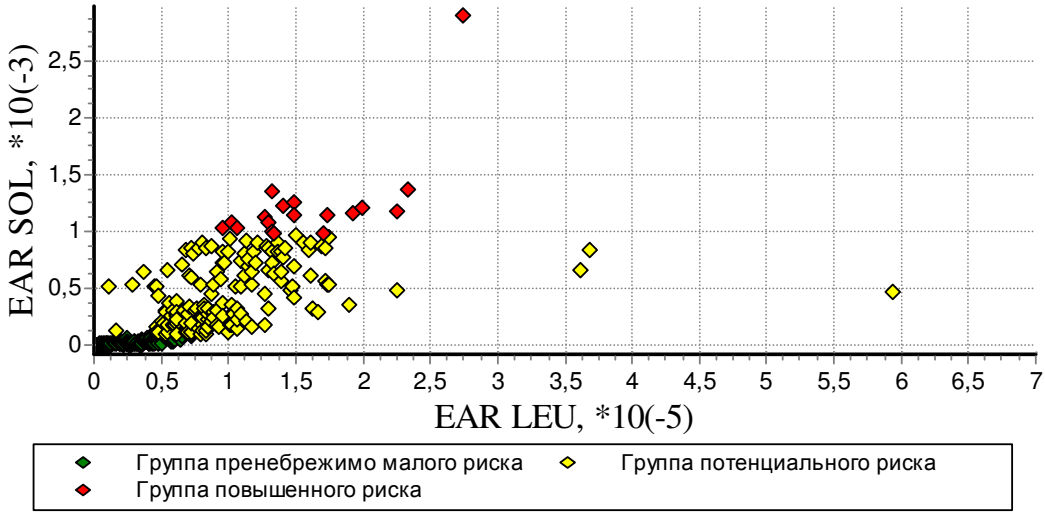
Рис. 3.12. Распределение значений суммарного избыточного абсолютного радиационного риска солидных раков и лейкозов на 2022 г. в зависимости от: а) - возраста, б) - стажа, в) - накопленной дозы



а)



б)



в)

Рис. 3.13. Распределение персонала по индивидуальным а) - относительным, б) - атрибутивным, в) - абсолютным рискам солидных раков и лейкемии на 2022 г.

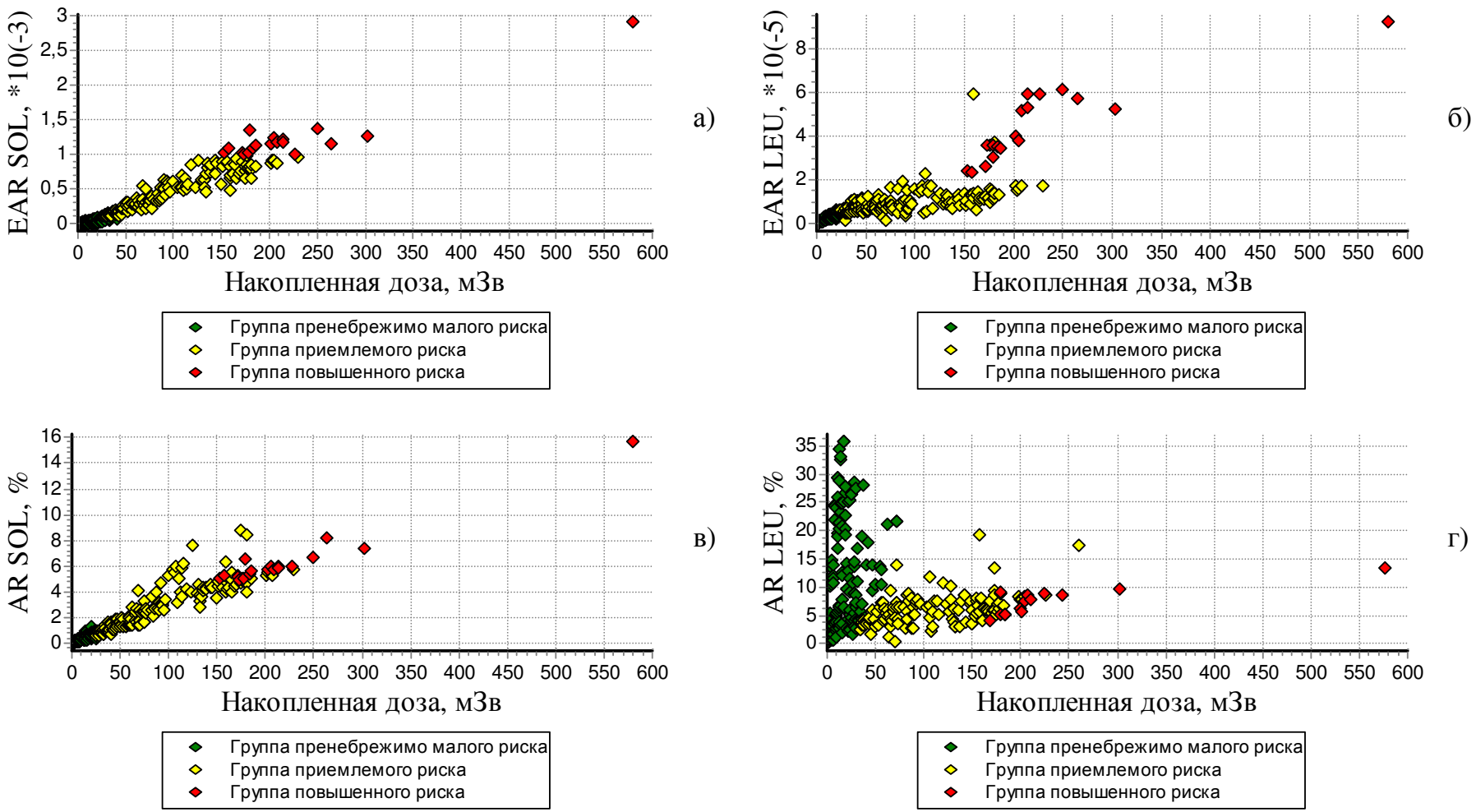


Рис. 3.14. Распределение абсолютных рисков а) - солидных раков, б) - лейкозов и атрибутивных рисков в) - солидных раков, г) - лейкозов на 2022 г. в зависимости от накопленной дозы

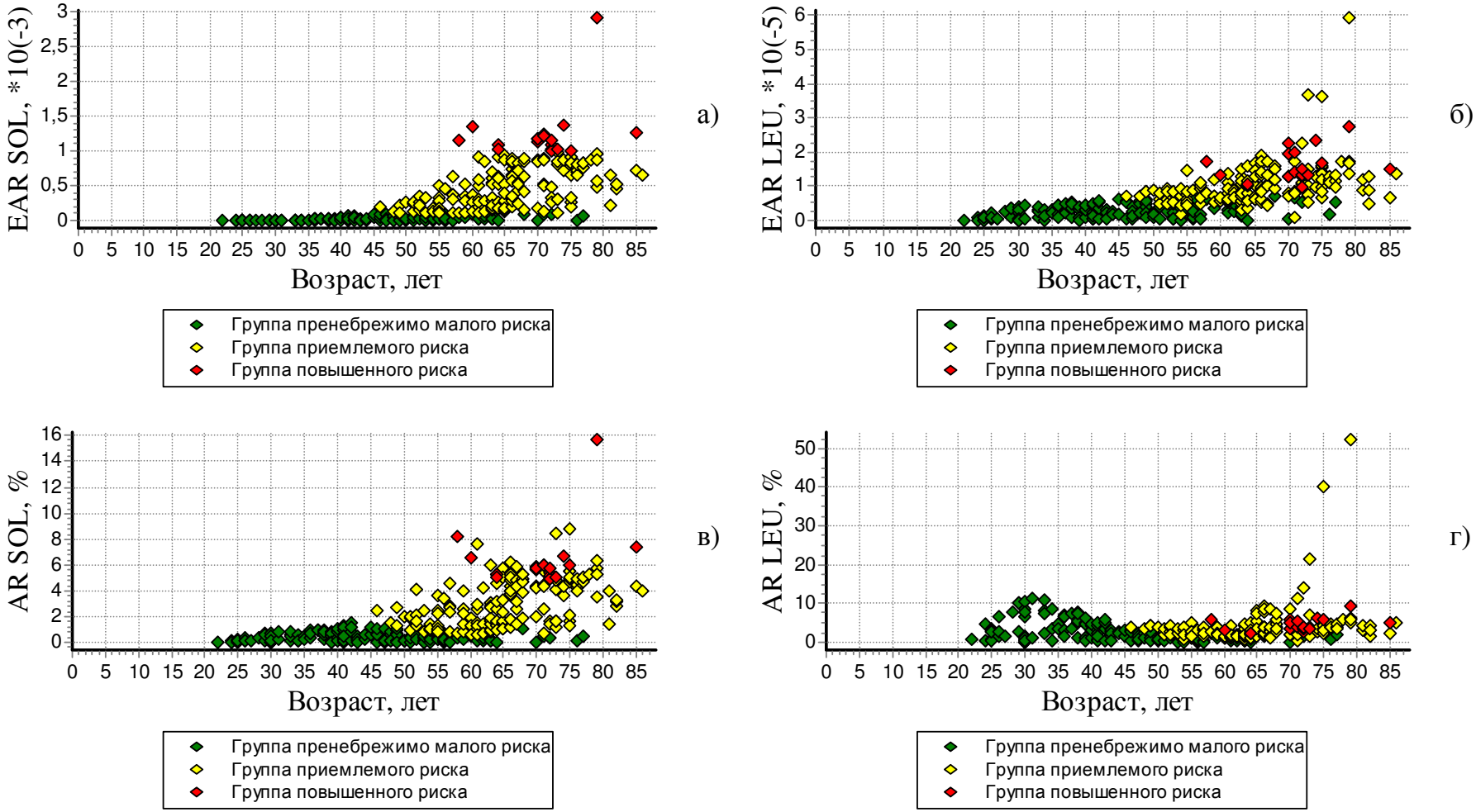


Рис. 3.15. Распределение абсолютных рисков а) - солидных раков, б) - лейкозов и атрибутивных рисков в) - солидных раков, г) - лейкозов на 2022 г. в зависимости от возраста

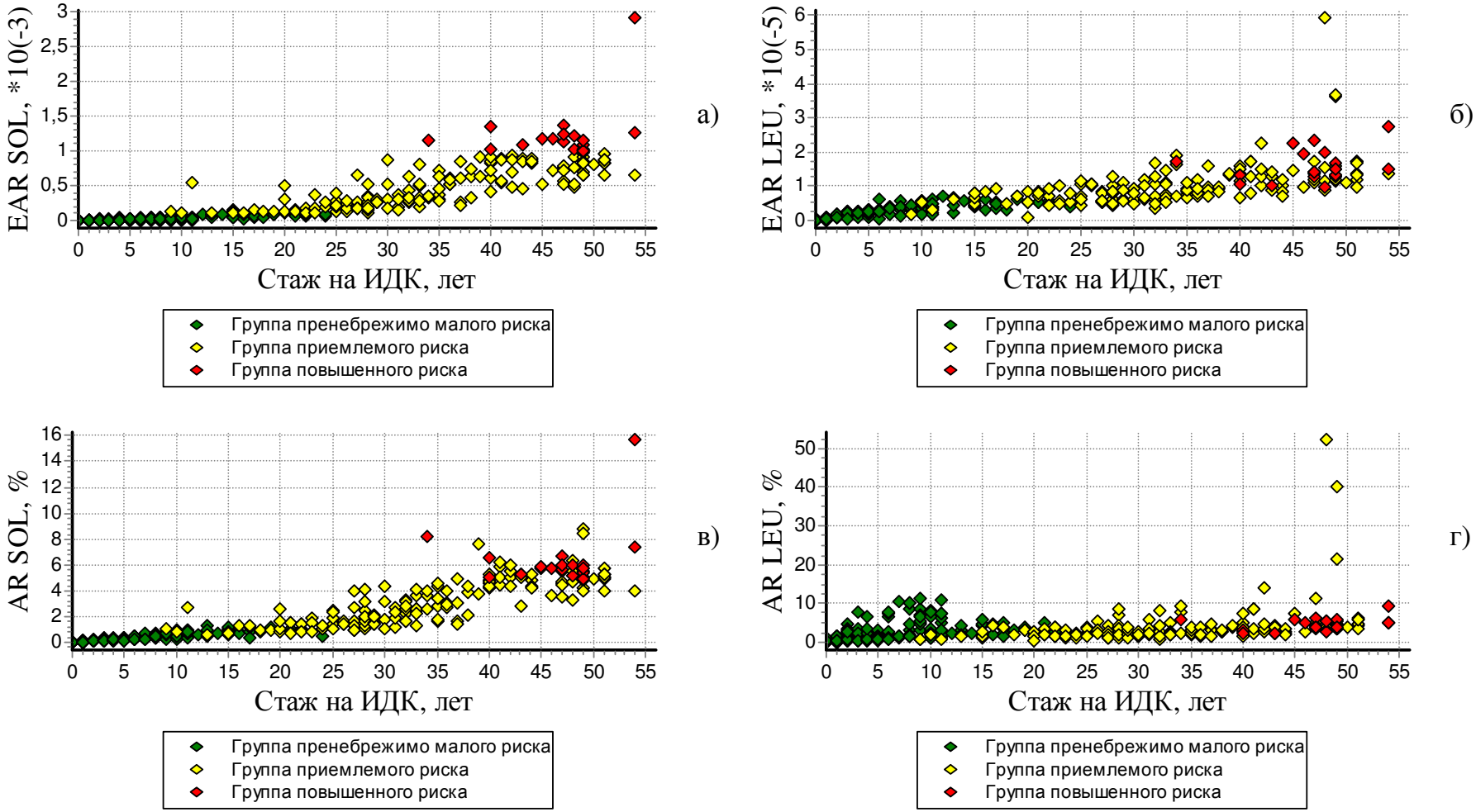


Рис. 3.16. Распределение абсолютных рисков а) - солидных раков, б) - лейкозов и атрибутивных рисков в) - солидных раков, г) - лейкозов на 2022 г. в зависимости от стажа

3.2. Характеристика персонала по группам атрибутивного радиационного риска

Таблица 3.7

Численная характеристика групп атрибутивного радиационного риска

Расчетный год	Число лиц на ИДК	Число лиц в группе				Состав групп в %			
		ПМР	ПР	ВПР	НОЗ	ПМР	ПР	ВПР	НОЗ
2012	288	286	2	0	1	99,3	0,7	0,0	0,3
2014	320	317	3	0	1	99,1	0,9	0,0	0,3
2022	320	316	4	0	1	98,7	1,3	0,0	0,3

ПМР – группа пренебрежимо малого риска: $AR_{SOL} < 10\%$, $AR_{LEU} < 50\%$, $AR_{RESP} < 20\%$;

ПР – группа потенциального риска: $10\ \% \leq AR_{SOL} < 20\ \%$, либо $50\ \% \leq AR_{LEU} < 75\%$, либо $20\% \leq AR_{RESP} < 30\%$;

ВПР – группа высокого потенциального риска: $AR_{SOL} \geq 20\%$, либо $AR_{LEU} \geq 75\%$, либо $AR_{RESP} \geq 30\%$;

НОЗ – группа неонкологических заболеваний (инфаркты, инсульты): накопленная доза ≥ 500 мЗв.

Таблица 3.8

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}, %	EAR_{ALL}, $*10^{-3}$
Риски на 2012 г., в расчет вошли 288 чел.						
Группа неонкологических заболеваний, 1 чел. (0,3 % персонала)						
Мин.	79	54	576,62	15,57	13,26	3,0151
Среднее	**79**	**54**	**576,62**	**15,57**	**13,26**	**3,0151**
Макс.	79	54	576,62	15,57	13,26	3,0151
Группа высокого потенциального риска, 0 чел. (0 % персонала)						
Мин.	-	-	-	-	-	-
Среднее	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Макс.	-	-	-	-	-	-
Группа потенциального риска, 2 чел. (0,7 % персонала)						
Мин.	79	48	157,59	6,12	13,26	0,6009
Среднее	**79**	**51**	**367,10**	**10,84**	**16,20**	**1,8080**
Макс.	79	54	576,62	15,57	19,14	3,0151
Группа пренебрежимо малого риска, 286 чел. (99,3 % персонала)						
Мин.	24	2	0,22	0,00	0,08	0,0002
Среднее	**57**	**23**	**64,93**	**1,79**	**8,27**	**0,2584**
Макс.	86	54	302,01	8,56	35,72	1,3450

Продолжение табл. 3.8

Значение показателя	Возраст, лет	Стаж на ИДК, лет	Накопленная доза, мЗв	AR_{SOL}, %	AR_{LEU}, %	EAR_{ALL}, $*10^{-3}$
Риски на 2014 г., в расчет вошли 320 чел.						
Группа неонкологических заболеваний, 1 чел. (0,3 % персонала)						
Мин.	79	54	579,56	15,59	11,96	3,5794
Среднее	**79**	**54**	**579,56**	**15,59**	**11,96**	**3,5794**
Макс.	79	54	579,56	15,59	11,96	3,5794
Группа высокого потенциального риска, 0 чел. (0 % персонала)						
Мин.	-	-	-	-	-	-
Среднее	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Макс.	-	-	-	-	-	-
Группа потенциального риска, 3 чел. (0,9 % персонала)						
Мин.	73	48	159,70	6,19	11,96	0,6479
Среднее	**77**	**50**	**306,71**	**9,98**	**17,35**	**1,6734**
Макс.	79	54	579,56	15,59	25,72	3,5794
Группа пренебрежимо малого риска, 317 чел. (99,1 % персонала)						
Мин.	22	0	0,05	0,00	0,04	0,0000
Среднее	**55**	**21**	**60,88**	**1,65**	**7,86**	**0,2416**
Макс.	86	54	303,05	8,62	38,88	1,2696
Риски на 2022 г., в расчет вошли 320 чел.						
Группа неонкологических заболеваний, 1 чел. (0,3 % персонала)						
Мин.	79	54	579,56	15,69	9,24	2,9414
Среднее	**79**	**54**	**579,56**	**15,69**	**9,24**	**2,9414**
Макс.	79	54	579,56	15,69	9,24	2,9414
Группа высокого потенциального риска, 0 чел. (0 % персонала)						
Мин.	-	-	-	-	-	-
Среднее	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Макс.	-	-	-	-	-	-
Группа потенциального риска, 4 чел. (1,3 % персонала)						
Мин.	73	48	159,70	6,37	9,24	0,5256
Среднее	**76**	**50**	**273,85**	**9,82**	**30,65**	**1,2598**
Макс.	79	54	579,56	15,69	52,18	2,9414
Группа пренебрежимо малого риска, 316 чел. (98,7 % персонала)						
Мин.	22	0	0,05	0,00	0,02	0,0001
Среднее	**55**	**21**	**60,52**	**1,87**	**3,09**	**0,2898**
Макс.	86	54	303,05	8,22	14,14	1,3902

Возраст и стаж на ИДК персонала даны на 2012 год.

Таблица 3.9

Распределение персонала по атрибутивному радиационному риску солидных раков на 2012 г.

AR_{SOL}, %	Абсолют. численность			Относит. численность, %		
	м	ж	оба пола	м	ж	оба пола
<5	229	30	259	92,0	77,0	90,0
5-	19	9	28	7,6	23,0	9,7
10-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
15-	1	0	1	0,4	0,0	0,3
20-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
25-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
30-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
35-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
40-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
45-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
50-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
55-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
60-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
65-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
70-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
75-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
80-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
85-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
90-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
95-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
Всего:	249	39	288	100	100	100

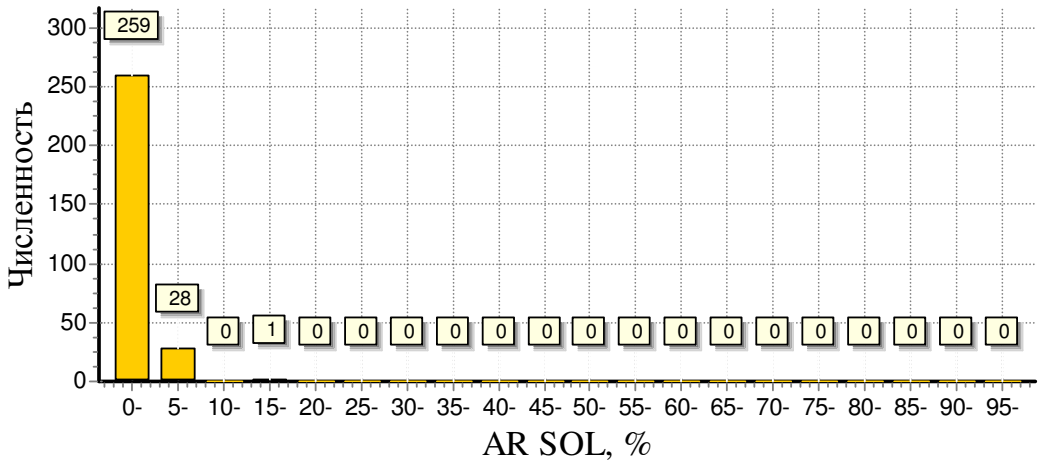


Рис. 3.17. Распределение персонала по атрибутивному риску солидных раков на 2012 г.

Таблица 3.10

Распределение персонала по атрибутивному радиационному риску солидных раков на 2014 г.

AR_{SOL}, %	Абсолют. численность			Относит. численность, %		
	м	ж	оба пола	м	ж	оба пола
<5	251	38	289	92,1	80,9	90,4
5-	21	9	30	7,6	19,1	9,3
10-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
15-	1	0	1	0,3	0,0	0,3
20-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
25-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
30-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
35-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
40-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
45-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
50-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
55-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
60-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
65-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
70-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
75-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
80-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
85-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
90-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
95-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
Всего:	273	47	320	100	100	100

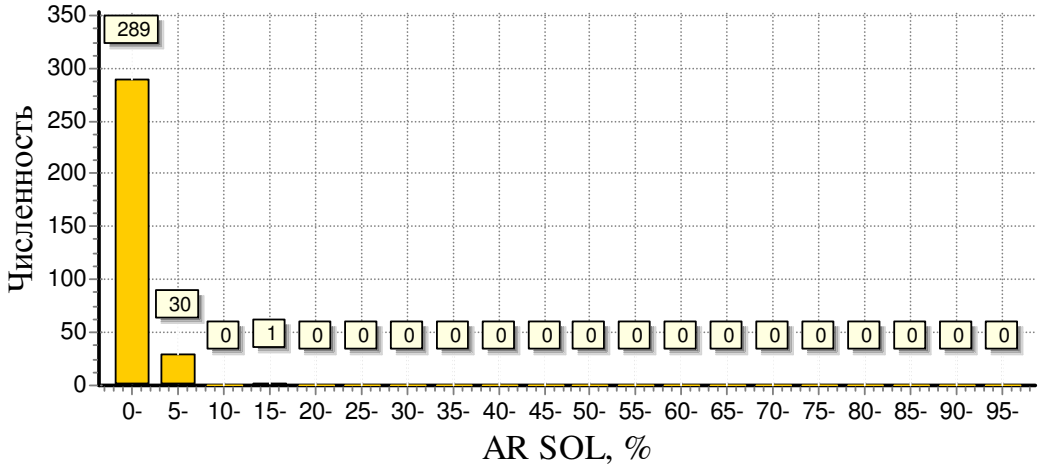


Рис. 3.18. Распределение персонала по атрибутивному риску солидных раков на 2014 г.

Таблица 3.11

Распределение персонала по атрибутивному радиационному риску солидных раков на 2022 г.

AR_{SOL}, %	Абсолют. численность			Относит. численность, %		
	м	ж	оба пола	м	ж	оба пола
<5	245	36	281	89,9	76,6	87,9
5-	27	11	38	9,8	23,4	11,8
10-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
15-	1	0	1	0,3	0,0	0,3
20-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
25-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
30-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
35-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
40-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
45-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
50-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
55-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
60-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
65-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
70-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
75-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
80-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
85-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
90-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
95-	0	0	0	0,0	0,0	0,0
Всего:	273	47	320	100	100	100

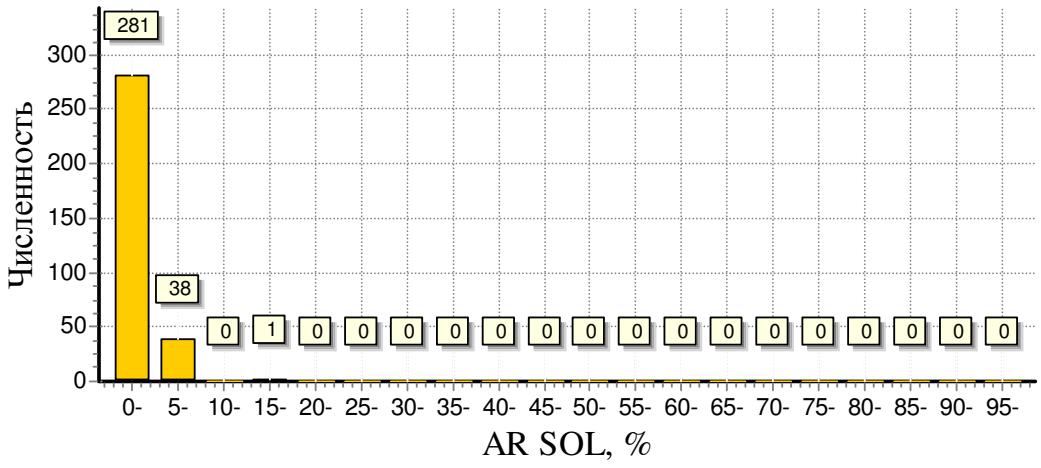


Рис. 3.19. Распределение персонала по атрибутивному риску солидных раков на 2022 г.

Таблица 3.12

Распределение персонала по атрибутивному радиационному риску лейкемии на 2012 г.

AR_{LEU}, %	Абсолют. численность			Относит. численность, %		
	м	ж	оба пола	м	ж	оба пола
<5	89	20	109	35,9	51,5	38,2
5-	93	17	110	37,3	43,5	38,1
10-	28	1	29	11,2	2,5	10
15-	8	1	9	3,2	2,5	3,1
20-	14	0	14	5,6	0	4,8
25-	13	0	13	5,2	0	4,5
30-	3	0	3	1,2	0	1
35-	1	0	1	0,4	0	0,3
40-	0	0	0	0	0	0
45-	0	0	0	0	0	0
50-	0	0	0	0	0	0
55-	0	0	0	0	0	0
60-	0	0	0	0	0	0
65-	0	0	0	0	0	0
70-	0	0	0	0	0	0
75-	0	0	0	0	0	0
80-	0	0	0	0	0	0
85-	0	0	0	0	0	0
90-	0	0	0	0	0	0
95-	0	0	0	0	0	0
Всего:	249	39	288	100	100	100

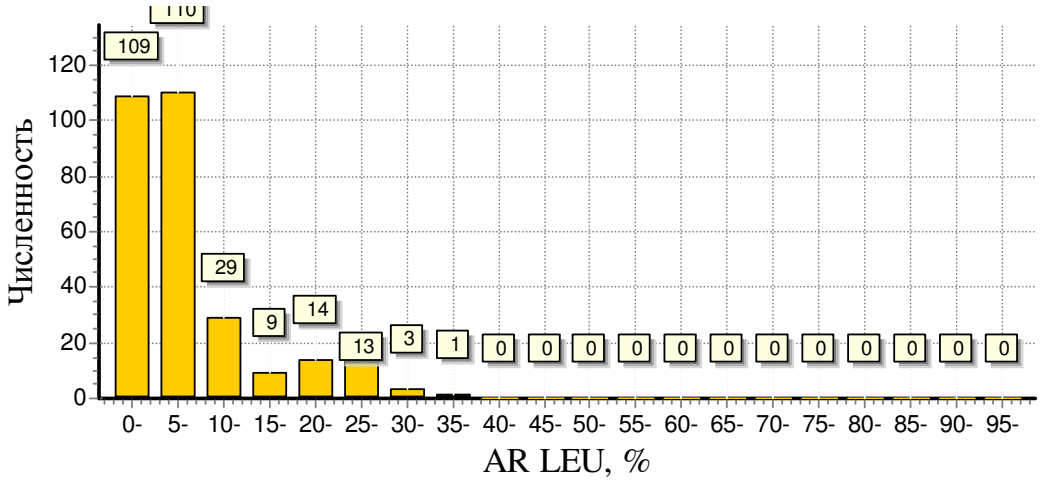


Рис. 3.20. Распределение персонала по атрибутивному риску лейкемии на 2012 г.

Таблица 3.13

Распределение персонала по атрибутивному радиационному риску лейкемии на 2014 г.

AR_{LEU}, %	Абсолют. численность			Относит. численность, %		
	м	ж	оба пола	м	ж	оба пола
<5	110	29	139	40,6	61,8	43,7
5-	98	15	113	35,8	31,9	35,3
10-	26	2	28	9,5	4,2	8,7
15-	8	0	8	2,9	0	2,5
20-	10	0	10	3,6	0	3,1
25-	14	1	15	5,1	2,1	4,6
30-	5	0	5	1,8	0	1,5
35-	2	0	2	0,7	0	0,6
40-	0	0	0	0	0	0
45-	0	0	0	0	0	0
50-	0	0	0	0	0	0
55-	0	0	0	0	0	0
60-	0	0	0	0	0	0
65-	0	0	0	0	0	0
70-	0	0	0	0	0	0
75-	0	0	0	0	0	0
80-	0	0	0	0	0	0
85-	0	0	0	0	0	0
90-	0	0	0	0	0	0
95-	0	0	0	0	0	0
Всего:	273	47	320	100	100	100

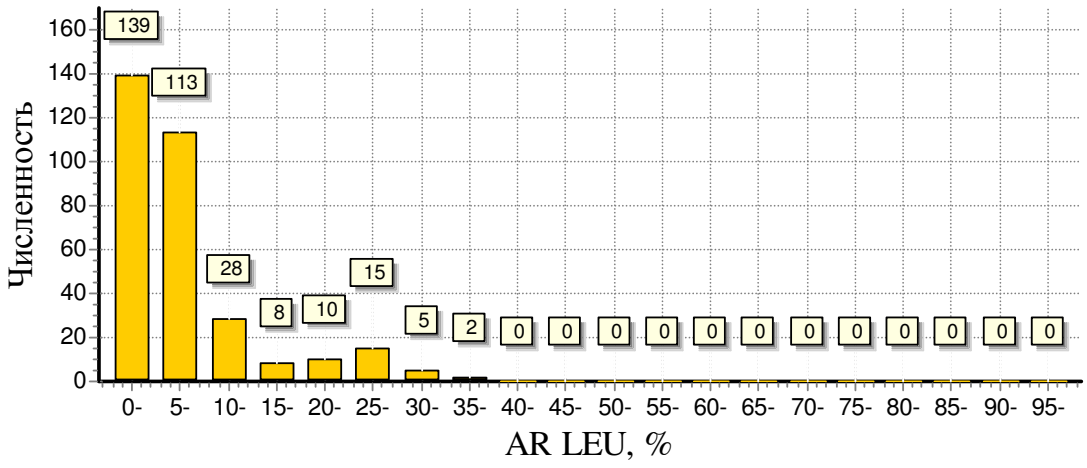


Рис. 3.21. Распределение персонала по атрибутивному риску лейкемии на 2014 г.

Таблица 3.14

Распределение персонала по атрибутивному радиационному риску лейкемии на 2022 г.

AR_{LEU}, %	Абсолют. численность			Относит. численность, %		
	м	ж	оба пола	м	ж	оба пола
<5	235	30	265	86,2	64	83
5-	34	12	46	12,4	25,5	14,3
10-	4	2	6	1,4	4,2	1,8
15-	0	0	0	0	0	0
20-	0	1	1	0	2,1	0,3
25-	0	0	0	0	0	0
30-	0	0	0	0	0	0
35-	0	1	1	0	2,1	0,3
40-	0	0	0	0	0	0
45-	0	0	0	0	0	0
50-	0	1	1	0	2,1	0,3
55-	0	0	0	0	0	0
60-	0	0	0	0	0	0
65-	0	0	0	0	0	0
70-	0	0	0	0	0	0
75-	0	0	0	0	0	0
80-	0	0	0	0	0	0
85-	0	0	0	0	0	0
90-	0	0	0	0	0	0
95-	0	0	0	0	0	0
Всего:	273	47	320	100	100	100

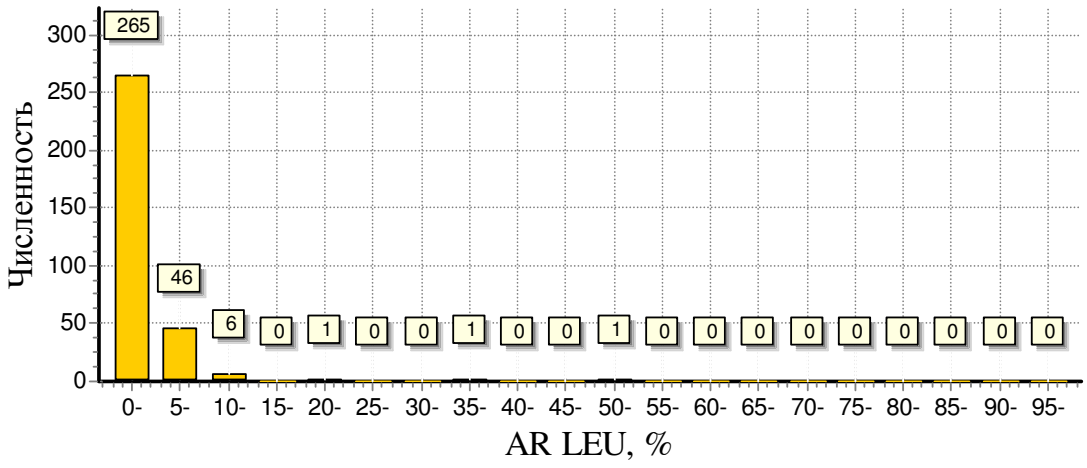


Рис. 3.22. Распределение персонала по атрибутивному риску лейкемии на 2022 г.

Таблица 3.15

Распределение персонала по атрибутивному радиационному риску органов дыхания на 2012 г.

AR_{RESP}, %	Абсолют. численность			Относит. численность, %		
	м	ж	оба пола	м	ж	оба пола
<5	188	20	208	75,6	51,5	72,5
5-	56	7	63	22,4	17,9	21,8
10-	4	9	13	1,6	23	4,5
15-	0	2	2	0	5,1	0,6
20-	1	1	2	0,4	2,5	0,6
25-	0	0	0	0	0	0
30-	0	0	0	0	0	0
35-	0	0	0	0	0	0
40-	0	0	0	0	0	0
45-	0	0	0	0	0	0
50-	0	0	0	0	0	0
55-	0	0	0	0	0	0
60-	0	0	0	0	0	0
65-	0	0	0	0	0	0
70-	0	0	0	0	0	0
75-	0	0	0	0	0	0
80-	0	0	0	0	0	0
85-	0	0	0	0	0	0
90-	0	0	0	0	0	0
95-	0	0	0	0	0	0
Всего:	249	39	288	100	100	100

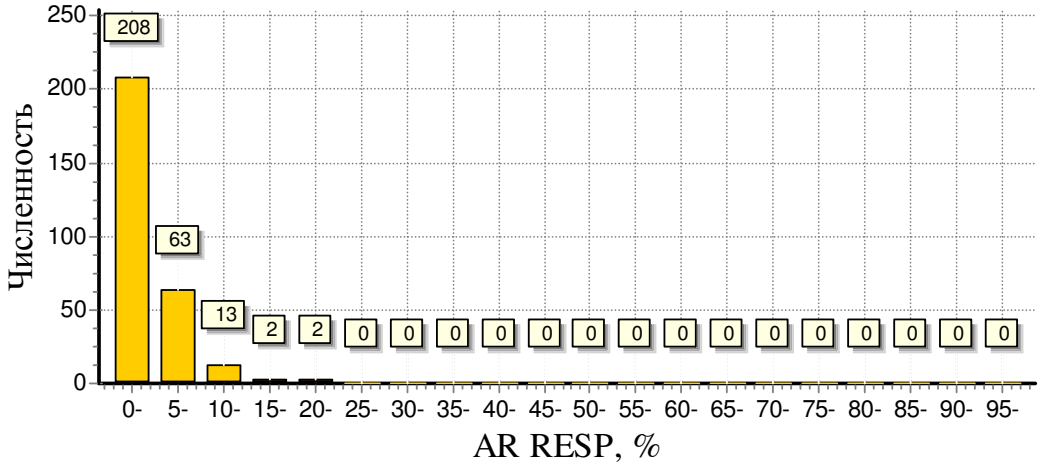


Рис. 3.33. Распределение персонала по атрибутивному риску органов дыхания на 2012 г.

Таблица 3.16

Распределение персонала по атрибутивному радиационному риску органов дыхания на 2014 г.

AR_{RESP}, %	Абсолют. численность			Относит. численность, %		
	м	ж	оба пола	м	ж	оба пола
<5	212	26	238	77,8	55,5	74,5
5-	53	8	61	19,4	17	19
10-	7	10	17	2,5	21,2	5,3
15-	0	1	1	0	2,1	0,3
20-	1	2	3	0,3	4,2	0,9
25-	0	0	0	0	0	0
30-	0	0	0	0	0	0
35-	0	0	0	0	0	0
40-	0	0	0	0	0	0
45-	0	0	0	0	0	0
50-	0	0	0	0	0	0
55-	0	0	0	0	0	0
60-	0	0	0	0	0	0
65-	0	0	0	0	0	0
70-	0	0	0	0	0	0
75-	0	0	0	0	0	0
80-	0	0	0	0	0	0
85-	0	0	0	0	0	0
90-	0	0	0	0	0	0
95-	0	0	0	0	0	0
Всего:	273	47	320	100	100	100

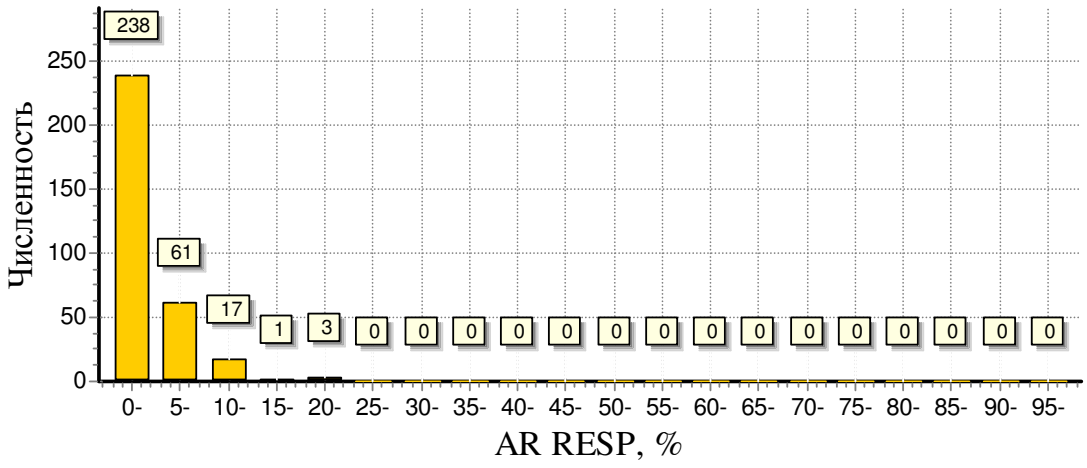


Рис. 3.34. Распределение персонала по атрибутивному риску органов дыхания на 2014 г.

Таблица 3.17

Распределение персонала по атрибутивному радиационному риску органов дыхания на 2022 г.

AR_{RESP}, %	Абсолют. численность			Относит. численность, %		
	м	ж	оба пола	м	ж	оба пола
<5	204	20	224	75	42,7	70,1
5-	54	12	66	19,7	25,5	20,6
10-	13	11	24	4,7	23,4	7,5
15-	1	1	2	0,3	2,1	0,6
20-	1	3	4	0,3	6,3	1,2
25-	0	0	0	0	0	0
30-	0	0	0	0	0	0
35-	0	0	0	0	0	0
40-	0	0	0	0	0	0
45-	0	0	0	0	0	0
50-	0	0	0	0	0	0
55-	0	0	0	0	0	0
60-	0	0	0	0	0	0
65-	0	0	0	0	0	0
70-	0	0	0	0	0	0
75-	0	0	0	0	0	0
80-	0	0	0	0	0	0
85-	0	0	0	0	0	0
90-	0	0	0	0	0	0
95-	0	0	0	0	0	0
Всего:	273	47	320	100	100	100

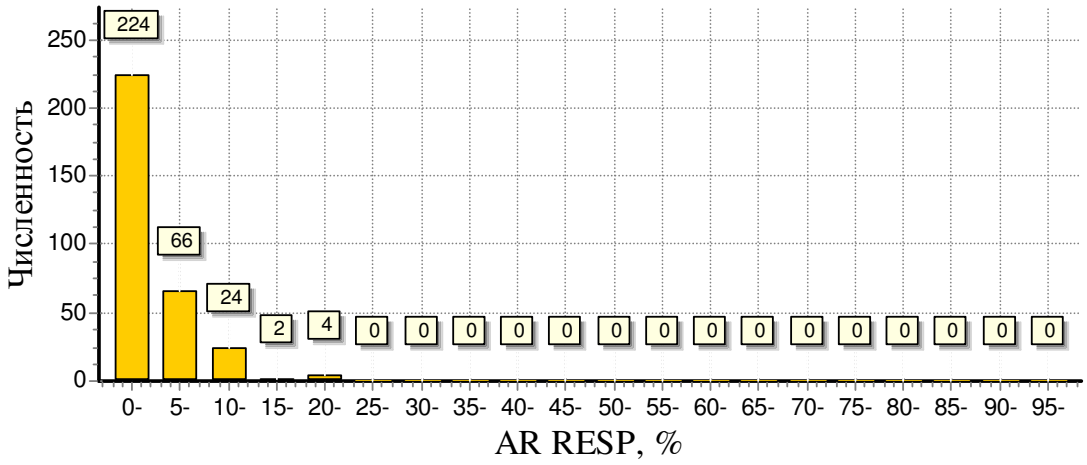


Рис. 3.35. Распределение персонала по атрибутивному риску органов дыхания на 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Средний возраст персонала на ИДК в 2012 г. составил 57 лет у мужчин и 56 лет у женщин. Средний стаж работы с ИИИ: 21 год у мужчин и 22 года у женщин. Средняя накопленная доза: 65,27 мЗв у мужчин и 51,08 мЗв у женщин. 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.

В группу повышенного риска по EAR (индивидуальный радиационный риск больше социально приемлемого уровня риска – $1*10^{-3}$/год) на 2012 г. вошло 13 сотрудников (4,5% персонала на ИДК). Средний возраст группы составил 73 года, средний стаж – 48 лет, средняя накопленная доза на 2002 г. (принимаемая в расчет рисков на 2012 г.) – 236,93 мЗв. Минимальный возраст в группе повышенного радиационного риска составил 70 лет, минимальный стаж работы с ИИИ – 45 лет, минимальная накопленная доза на 2002 г. – 169,07 мЗв (табл. 3.3). Основной вклад в индивидуальный радиационный риск сотрудников составил риск солидных раков (табл. 3.4), при этом основной вклад в риск солидных раков приходится на уровень фоновой заболеваемости для данной возрастной категории: максимальный атрибутивный риск солидных раков (вклад облучения) в группе повышенного риска равен 15,57%, максимальный атрибутивный риск лейкемии - 13,26%, максимальный атрибутивный риск органов дыхания – 22,08% (табл. 3.4).

В международных стандартах для отнесения онкозаболевания к радиогенному в настоящее время используются следующие пороговые уровни атрибутивных рисков: для солидных раков – 20%, для лейкемии – 75%, для органов дыхания – 30%. Персонал со значениями атрибутивных рисков, равными либо превышающими данные пороговые значения, относят к группе высокого потенциального риска, и в случае онкозаболевания такой

персонал может рассчитывать на финансовую компенсацию в зависимости от величины атрибутивного риска.

В группу высокого потенциального риска индукции онкозаболевания на 2012 г. не вошел ни один сотрудник, состоящий на ИДК в ННЦ ХФТИ.

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 2012 г. вошло 2 сотрудника 79-ти лет: мужчина со стажем работы с ИИИ 54 года и накопленной дозой на 2002 г. 576,62 мЗв (AR солидных раков = 15,57 %, AR органов дыхания – 22,08 %) и женщина со стажем работы с ИИИ 48 лет и накопленной дозой на 2002 г. 157,59 мЗв (AR органов дыхания – 20,16 %).

Следует отметить, что у шести сотрудников ННЦ ХФТИ – мужчин в возрасте от 58 до 85 лет, со стажем работы с ИИИ от 34 до 54 лет – атрибутивный риск рака мочевого пузыря на 2012 г. превышает 20%-й уровень и находится в диапазоне от 20,56% до 40,11%. При этом абсолютный радиационный риск индукции рака мочевого пузыря у данных сотрудников находится в диапазоне пренебрежимо малого и приемлемого риска: $0{,}09 \cdot 10^{-3} – 0{,}74 \cdot 10^{-3}$.

Атрибутивный риск рака печени на 2012 г. превышает 20%-й уровень у одного сотрудника ННЦ ХФТИ – мужчины 79 лет, со стажем работы с ИИИ 54 года – и составляет 28,21%. При этом абсолютный радиационный риск индукции рака печени у данного сотрудника равен $0{,}06 \cdot 10^{-3}$.

С учетом латентных периодов солидных раков (10 лет) и лейкемии (2 года), были также рассчитаны риски на 2014 и 2022 гг, в которых были учтены дозы сотрудников, полученные вплоть до 2012 г.

В группу повышенного риска по EAR (индивидуальный радиационный риск больше социально приемлемого уровня риска – $1 \cdot 10^{-3}$/год) на 2022 г. вошло 18 сотрудников (5,6% персонала на ИДК). Средний возраст группы составил 70 лет, средний стаж – 46 лет, средняя накопленная доза на 2012 г. – 224,87 мЗв. Минимальный возраст в группе повышенного радиационного

риска на 2022 г. составил 58 лет, минимальный стаж работы с ИИИ – 34 года, минимальная накопленная доза – 152,31 мЗв (табл. 3.3). Максимальный атрибутивный риск солидных раков в группе повышенного абсолютного риска равен 15,69%, максимальный атрибутивный риск лейкемии – 9,24%, максимальный атрибутивный риск органов дыхания – 22,94% (табл. 3.4).

В группу высокого потенциального риска индукции онкозаболевания по значениям атрибутивных рисков на 2022 г. не вошел ни один сотрудник, состоящий на ИДК в ННЦ ХФТИ.

В группу потенциального риска по AR на 2022 г. вошло 4 сотрудника: 1 мужчина 79 лет со стажем работы с ИИИ 54 года и накопленной дозой на 2012 г. 579,56 мЗв (AR солидных раков = 15,69 %, AR органов дыхания – 22,94 %) и 3 женщины от 73 до 79 лет, со стажем работы с ИИИ от 48 до 49 лет, с накопленными дозами на 2012 г. от 159,70 мЗв до 180,88 мЗв. У всех трех женщин атрибутивные риски солидных раков не превышают 10%-го порога (максимальное значение AR_{SOL} = 8,81%), при этом AR органов дыхания превышают порог в 20 % – находятся в диапазоне от 21,01% до 22,62%. Пороговое значение AR лейкемии в 50 % превышено у одной из женщин: AR_{LEU} = 52,18%.

У 19-ти сотрудников ННЦ ХФТИ – 16-ти мужчин в возрасте от 58 до 86 лет, со стажем работы с ИИИ от 34 до 54 лет, и 3-х женщин в возрасте от 73 до 79 лет, со стажем работы с ИИИ от 48 до 49 лет – атрибутивный риск рака мочевого пузыря на 2022 г. превышает 20%-й уровень и находится в диапазоне от 20,00% до 40,98%. При этом абсолютный радиационный риск индукции рака мочевого пузыря у данных сотрудников находится в диапазоне пренебрежимо малого и приемлемого риска: $0{,}05 \cdot 10^{-3}$ – $0{,}79 \cdot 10^{-3}$.

Атрибутивный риск рака печени на 2022 г. превышает 20 %-й уровень у одного сотрудника ННЦ ХФТИ – мужчины 79 лет, со стажем работы с ИИИ 54 года – и составляет 28,38%. При этом абсолютный радиационный риск индукции рака печени у данного сотрудника равен $0{,}09 \cdot 10^{-3}$.

55
50
45
40

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Промежуточное издание. Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № GSR Part 3 (Interim). /Пер. с англ. Вена: МАГАТЭ, 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. Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97). Государственные гигиенические нормативы. Киев, 1998.

6. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки. Руководство. Р 2.2.1766-03. Минздрав России. Москва, 2004.

7. ICRP, 2006a. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public and The optimisation of radiological protection: Broadening the process. ICRP Publication 101. Ann. ICRP 36(3).

8. Бюлетень Національного канцер-реєстру № 11 – «Рак в Україні, 2008-2009».

9. В.К. Иванов, А.Ф. Цыб, А.П. Панфилов, А.М. Агапов. Оптимизация радиационной защиты: «Дозовая матрица». М.: Медицина, 2006, 304 с.

10. 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. V. 74. P. 1–9.