РАЗДЕЛ 2**НАУЧНЫЕ СТАТЬИ**

DOI: 10.21870/0131-3878-2018-27-2-7-19

УДК 614.876:539.1.074

Безопасна ли радиационная безопасность?**Туков А.Р., Бирюков А.П., Шафранский И.Л.**

ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

В руководящих документах по радиационной безопасности приводятся требования к расчёту риска возникновения радиационно-обусловленных заболеваний, основанных на применении доз от всех видов радиационного облучения. Однако отсутствие регистров, отвечающих этим требованиям, не позволяет получить корректные результаты. Целью данного исследования является анализ различия риска заболевания злокачественными новообразованиями (ЗНО) при использовании доз различных видов воздействия ионизирующего излучения на человека. Работа выполнена на информационной базе данных Отраслевого регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на Чернобыльской АЭС, – работников предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом», принимавших участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС. В расчёт риска включены дозы внешнего профессионального облучения и дозы, полученные при работе в 30-км зоне ЧАЭС. В исследовании показано, что применение доз от двух видов воздействия ионизирующего излучения на человека приводит к получению различных уровней риска заболевания ЗНО. Авторы пришли к выводу, что включение в расчёт риска только дозы одного вида облучения приводит к получению ошибочных результатов в анализе возникновения радиационно-ассоциированных болезней, что, в свою очередь, делает радиационную безопасность небезопасной.

Ключевые слова: ликвидаторы, ЧАЭС, радиационные риски, злокачественные новообразования, дозы профессионального облучения, суммарная доза, радиационная безопасность, радиационная эпидемиология, работники атомной промышленности, Госкорпорация «Росатом».

Радиационная безопасность во многом определяется уровнем радиационного риска, который показывает вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта как результата облучения. Поэтому меры по обеспечению безопасности ядерного топливного цикла в значительной степени состоят в анализе и управлении радиационным риском [1]. В наибольшей степени этот риск характеризует суммарная накопленная эффективная доза от всех видов облучения [2].

Нормы радиационной безопасности (п. 1.3 НРБ-96) распространяются на следующие источники ионизирующего излучения:

- техногенные источники за счёт нормальной эксплуатации техногенных источников излучения;
- техногенные источники в результате радиационной аварии;
- природные источники;
- медицинские источники.

Туков А.Р.* – зав. лаб., к.м.н.; Бирюков А.П. – зав. отд., д.м.н., проф.; Шафранский И.Л. – ст. научн. сотр., к.м.н. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

*Контакты: 123182, Москва, ул. Живописная, 46. Тел.: (499) 190-94-81; e-mail: atukov40@mail.ru.

«Суммарная доза от всех видов облучения используется только для оценки радиационной обстановки и медицинских последствий» [3]. Однако к настоящему времени в мире отсутствуют медико-дозиметрические регистры, отвечающие этим требованиям.

Радиационная безопасность в мире, в основном, строится на результатах расчёта риска возникновения радиационно-индуцированных заболеваний в регистре длительного наблюдения за большими когортами лиц, подвергшихся острому облучению (пожизненного наблюдения за лицами, пережившими атомные бомбардировки в Хиросиме и Нагасаки). Сейчас уже можно делать определённые выводы из результатов оценок риска возникновения злокачественных новообразований (ЗНО) солидными формами, а также лимфоидной, кроветворной и родственных им тканей среди контингента японского регистра [4, 5]. Вывод этот сводится к тому, что в районе примерно до 200 мЗв имеется область достаточно неопределённой зависимости «доза – канцерогенный риск». Существует достаточное число мнений, так или иначе трактующих этот феномен. Неслучайно поэтому, что наряду с линейно-квадратичной моделью для аналитического описания дозовой кривой рисков заболеваемости или смертности от лейкоза в японской когорте была предложена пороговая модель, которая дала аппроксимацию более высокого качества для полученных оценок риска в области малых доз [6]. Однако, зачастую подобный факт может быть обусловлен тщательностью выполнения предварительного сбора данных. Необходимо помнить, что при расчёте радиационного риска на японской когорте не используются дозы облучения при медицинских процедурах и дозы природного облучения.

В этой связи наибольший интерес представляют данные по ликвидаторам последствий аварии на ЧАЭС, поскольку некоторые из этих ликвидаторов в прошлом были работниками предприятий атомной промышленности и помимо чернобыльской дозы имеют ещё и профессиональные дозы облучения ионизирующим излучением. Очевидно, что оценка риска возникновения радиационно-индуцированных заболеваний у лиц, не только подвергшихся аварийному радиационному воздействию (авария на ЧАЭС и другие радиационные инциденты), но и имеющих (имевших) контакт с радиоактивными веществами (РВ) или работающими (работавшими) с источниками ионизирующих излучений (ИИИ), должна базироваться на суммарной дозе от всех видов источников излучения [7].

В практике установления межведомственными экспертными советами причинной связи заболеваний, инвалидности и смерти граждан, подвергшихся радиационному воздействию, используется один из источников информации о дозовой нагрузке при профессиональной деятельности, тогда как негативные изменения в организме человека после облучения зависят от того, какая суммарная доза была получена освидетельствуемым пациентом. Поэтому изучение формирования доз ионизирующего излучения при различных сценариях облучения, условий сбора данных о них, а также совершенствование методик оценки риска возникновения радиационно-индуцированных заболеваний представляет собой важную задачу. Наиболее актуальным является изучение влияния всех видов источников ионизирующего излучения на человека и их суммарной (накопленной) эффективной дозы облучения конкретного лица при проведении радиационно-эпидемиологического анализа.

Так как абсолютное большинство современных медико-дозиметрических регистров не владеет (или не пользуется) полной информацией о суммарном дозовом воздействии, отсутствует возможность проведения корректных исследований по оценке риска возникновения радиационно-индуцированных заболеваний при малых дозах облучения и, соответственно, возникает опасность искажения данных для разработки мероприятий по радиационной безопасности.

В связи с этим нами была предпринята попытка сбора данных о дозах профессионального облучения работников предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом», принимавших участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, и оценки риска заболевания солидными раками этого контингента лиц с учётом доз, полученных не только при работе в 30-км зоне, но и с учётом дозы, полученной при профессиональной деятельности.

Материалы и методы

В исследовании были использованы персональные значения двух для данной выборки видов источников излучения:

- дозы внешнего облучения, полученные ликвидаторами последствий аварии на ЧАЭС при работе в 30-км зоне;
- дозы профессионального внешнего облучения работников основного производства – лиц, состоящих (состоявших) на индивидуальном дозиметрическом контроле (ИДК), участвовавших в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

Дозы профессионального облучения были представлены ОАО «Концерн Росэнергоатом» при участии ФМБА России. В разработку включены данные о дозах профессионального облучения работников Балаковской, Белоярской, Билибинской, Калининской, Кольской, Курской, Ленинградской, Нововоронежской, Ростовской и Смоленской АЭС, принимавших участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Кроме того, были собраны данные о дозах профессионального облучения работников других предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом», на которых работают (работали) ликвидаторы последствий аварии на ЧАЭС.

Дозы профессионального облучения были представлены по годам работы с РВ и ИИИ от начала работы на предприятиях и организациях Госкорпорации «Росатом» по 2012 г. Рассчитаны кумулятивные дозы, которые были привязаны к участникам ликвидации аварии, включённым в Отраслевой регистр. Для работы была сформирована база данных с дозами облучения и заболеваниями солидными раками.

Всего в работу включена информация о 12689 ликвидаторах последствий аварии на ЧАЭС: мужчинах, имеющих данные о дозах, полученных во время работы в 30-км зоне. По предварительным данным, профессиональному облучению подвергались 20-25% работников предприятий и организаций атомной промышленности, принимавших участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС. Дозу профессионального облучения удалось собрать у 1333 человек (10,5%).

Данные о дозах внешнего облучения ликвидаторов различных годов пребывания в 30-км зоне представлены в табл. 1.

Таблица 1

Распределение доз внешнего облучения у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, полученных при работе в 30-км зоне

Годы въезда	Кол-во ликвидаторов	Из них с данными о дозе		Среднее значение, мЗв
		число лиц	%	
1986-1990	20678	13420	64	54,0
1986	12122	7537	62	68,5
1987	5530	3748	67	29,0
1988	1950	1426	73	23,7
1989	834	605	72	14,4
1990	242	104	64	12,7

Средний возраст мужчин-ликвидаторов составил в 2013 г. $61,5 \pm 0,1$ года. В табл. 2 представлены некоторые характеристики обобщенной базы данных по пяти дозовым группам. Группы формировали из расчёта примерно равного количества лиц и с учётом полученных доз облучения.

Таблица 2

**Характеристика базы данных ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС
(дозы ЧАЭС, профессиональные дозы)**

Дозовая группа (ЧАЭС), мЗв	Число ликвидаторов	Средняя доза, мЗв	Дозовая группа (проф.), мЗв	Число ликвидаторов с проф. облучением	Средняя доза, мЗв
0,1-4,9	2929	2,23	0,1-5,9	2983	2,60
5,0-12,9	2270	7,96	6,0-16,7	2248	10,33
13,0-35,1	2497	21,73	17,0-48,8	2478	30,45
36,0-98,8	2509	62,25	49,0-120,5	2485	80,39
99,0-1478,5	2493	180,42	121-1985,6	2504	229,07

На рис. 1-3 представлена структура дозовых нагрузок внешнего облучения работников предприятий и организаций, участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС.

Рис. 1. Структура доз внешнего облучения ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, полученных при работе в 30-км зоне (мужчины).

Удельный вес доз до 10 мЗв составляет 52% в структуре доз внешнего облучения, полученных ликвидаторами последствий аварии на ЧАЭС, и 11% – дозы свыше 50 мЗв.

Рис. 2. Структура доз внешнего профессионального облучения ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС (мужчины).

В структуре доз внешнего облучения ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, полученных в условиях профессиональной деятельности, дозы до 100 мЗв составили 54%, дозы 500 мЗв и выше – 5%.

Рис. 3. Структура суммарных доз внешнего облучения ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, полученных при профессиональной работе и работе в 30-км зоне (мужчины).

В структуре суммарных доз, полученных ликвидаторами последствий аварии на ЧАЭС при работе в 30-км зоне и в процессе профессиональной деятельности, 48% составляют дозы до 100 мЗв, 6% ликвидаторов имеют дозы, превышающие 500 мЗв.

В табл. 3 представлена информация о средних, минимальных и максимальных дозах внешнего облучения, полученных ими в различных местах работы.

Таблица 3

Распределение доз облучения в зависимости от места работы ликвидаторов

Место получения дозы	Средняя доза, мЗв	Минимальная доза, мЗв	Максимальная доза, мЗв
ЧАЭС	54,0	0,1	1478,5
Предприятия	171,3	0,2	1580,0
Сумма доз	147,97	0,1	1985,6

Коллективная доза внешнего облучения, полученная ликвидаторами последствий аварии на ЧАЭС при работе в 30-км зоне, составила 700129,0 мЗв. Коллективная доза внешнего облучения, полученная ликвидаторами в процессе своей профессиональной деятельности, составила 193320,7 мЗв.

Можно было бы предположить, что работники предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом» с большей дозой профессионального облучения получают большие дозы и при работе по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС. Однако такая связь не подтвердилась, коэффициент корреляции между рядами этих доз равен 0,076.

У ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, работников предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом» за период наблюдения было выявлено 805 солидных злокачественных новообразований.

В структуре злокачественных новообразований у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС преобладают рак бронхов и лёгкого – 20,3% и рак желудка – 14,9%. В исследование включены только солидные раки.

Возрастная структура когорты на начало работы с РВ и ИИИ приведена на рис. 4. Основной возраст ликвидаторов на начало работы в 30-км зоне ЧАЭС составил 20-39 лет – 85%. Ликвидаторы других возрастных групп составили 15%.

Рис. 4. Распределение ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, состоящих на ИДК, по возрасту на начало работы в 30-км зоне ЧАЭС.

Ещё раз следует отметить, что основное отличие данного исследования от ему подобных других авторов и предыдущих работ по данной группе ликвидаторов заключается в том, что оно было проведено с использованием доз, полученных как при ликвидации аварии на ЧАЭС, так и с учётом доз, полученных во время профессиональной деятельности.

Для оценок риска по группированным данным, объединённым в возрастные, дозовые и другие группы, использован пакет прикладных статистических программ EPICURE (модуль AMFIT), широко применяемый в современной радиационно-эпидемиологической практике.

Для расчётов по программе AMFIT необходимо представление группированных данных в виде специальной таблицы и написание специального командного файла (скрипта), содержащего выполняемые команды.

Отсутствие в настоящее время дозиметрических данных по медицинскому и природному облучению персонала предприятий атомной промышленности России не позволяет провести исследования с хорошей статистической достоверностью. Тем не менее, представляется полезным проведение таких исследований в рамках отдельного анализа риска возникновения радиационно-обусловленных заболеваний персонала предприятий атомной промышленности только с учётом данных по профессиональному или аварийному облучению и их сумме. Несмотря на ограничения проведённых исследований они позволят более корректно оценить эффект облучения и возможность применения моделей НКДАР ООН.

Результаты и обсуждение

Исследуемая когорта была сформирована по следующим критериям.

Для случаев заболеваний, если человек продолжал работать после заболевания, год окончания наблюдения приравнивался к году диагноза заболевания. Для лиц, не заболевших злокачественными новообразованиями, окончанием наблюдения был 2012 г. или дата снятия с учёта (смерти).

Для расчётов риска возникновения радиационно-индуцированных солидных раков у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС по программе AMFIT данные были разделены на 5 до-

зовых групп, соответственно, для доз, полученных в результате ликвидации аварии на ЧАЭС и по суммарной дозе (табл. 4, 5).

Таблица 4

Значения стратифицированных показателей ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, мужчин – работников предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом», суммарные дозы (ЧАЭС + профессиональные), относительный риск

Дозовая группа	Доза (минимум–максимум), мЗв	Средняя доза, мЗв	Число ликвидаторов, мужчины	Средний возраст на начало работы с РВ и ИИИ	Чел.-лет наблюдения	Число больных ЗНО	Относительный риск
1	0,1-5,9	2,60	2983	36,5	158915	173	1,0
2	6,0-16,7	10,33	2248	36,1	118048	125	0,86
3	17,0-48,8	30,45	2478	35,4	130610	169	1,06
4	49,0-120,5	80,39	2485	35,6	131358	147	0,92
5	121-1985,5	229,07	2504	35,7	136016	191	1,15

Таблица 5

Стратифицированные показатели ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, мужчин – работников предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом» (дозы ЧАЭС), относительный риск

Дозовая группа	Доза (минимум–максимум), мЗв	Средняя доза, мЗв	Число ликвидаторов, мужчины	Средний возраст на начало работы с РВ и ИИИ	Чел.-лет наблюдения	Число больных ЗНО	Относительный риск
1	0,1-4,9	2,23	2929	36,4	27246	170	1,0
2	5,0-12,9	7,96	2270	35,7	10003	142	0,98
3	13,0-35,1	21,73	2497	35,9	5323	172	1,07
4	36,0-98,8	62,25	2509	35,6	5306	160	1,01
5	99,0-1478,5	180,42	2493	35,5	6614	165	1,01

Отмечается рост риска заболеваемости злокачественными новообразованиями ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС (точечные риски) по группам возрастающих доз внешнего облучения (для случая суммарных доз).

Результаты оценки радиационных рисков с использованием программы AMFIT для различных дозовых нагрузок приведены в табл. 6. Наблюдается положительный тренд зависимости заболеваемости от суммарной дозы облучения, и этот тренд статистически значим.

Таблица 6

Оценки радиационных рисков с использованием программы AMFIT для различных дозовых нагрузок

Дозы	ERR на 1 Зв	Ошибка показателя	Нижний уровень	Верхний уровень
ЧАЭС+проф.	1,127	0,5079	0,1311	2,122
ЧАЭС	0,1310	0,5406	-0,9286	1,190

Таким образом, имеет место значительное (в 8,6 раза) различие в значении избыточного относительного риска на единицу дозы при использовании данных только по дозам, полученным в результате ликвидации аварии на ЧАЭС и при суммарных дозах облучения. Такая разница в величине риска заставляет задуматься о правомерности использования этих данных при оценке влияния дозы внешнего облучения на заболеваемость злокачественными новообразованиями без учёта влияния других источников радиации.

Основная проблема использования только части суммарной дозы облучения для оценки риска возникновения дозово-индуцированных заболеваний – нарушение этапа группировки данных. Эта ошибка продемонстрирована на примере табл. 7 и 8, в которых отражены в сопоставлении дозовые нагрузки как по результатам работы в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, так и дозы профессионального облучения.

В табл. 7 из Отраслевого регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на Чернобыльской АЭС (ОРЧ), выделены из контрольной группы 62 работника, имеющие дозы внешнего облучения 5 мЗв, полученные при работе в 30-км зоне ЧАЭС. Вместе с тем, при использовании суммы дозовых нагрузок (при ликвидации аварии на ЧАЭС и дозы профессионального облучения) 60 из 62 ликвидаторов нельзя включать в контрольную группу.

Таблица 7

Сопоставление профессиональных дозовых нагрузок и доз ОРЧ

Доза ОРЧ, мЗв	Индивидуальные проф. дозы, мЗв	Общая доза, мЗв
5,7	789,9	795,6
5	575,1	580,1
5	502,1	507,1
5	395,0	400,0
5,5	329,6	335,1
5	296,1	301,1
5	248,6	253,6
5	216,8	221,8
5	202,18	207,18
5	200,0	205,0
5	195,4	200,4
5	189,7	194,7
5	169,9	174,9
5	166,7	171,7
5,8	166,08	171,88
5,8	157,71	163,51
5	148,94	153,94
5	148,17	153,17
5,1	146,87	151,97
5	146,5	151,5
5	145,7	150,7
5	142,8	147,8
5	141,5	146,5
5,1	129,6	134,7
5	115,0	120,0
5	108,71	113,71
5	100,94	105,94
5,9	99,2	105,1
5	98,78	103,78
5,7	97,3	103,0
5	96,2	101,2
5	92,87	97,87
5,7	91,4	97,1
5	82,31	87,31
5	81,8	86,8
5,5	78,0	83,5
5	75,35	80,35
5	71,48	76,48
5	56,35	61,35
5	53,6	58,6
5	53,18	58,18
5	52,6	57,6
5	49,5	54,5
5	46,14	51,14
5,2	43,92	49,12
5	43,8	48,8
5	42,49	47,49
5	42,1	47,1
5	38,5	43,5

Доза ОРЧ, мЗв	Индивидуальные проф. дозы, мЗв	Общая доза, мЗв
5	37,8	42,8
5	37,41	42,41
5	36,8	41,8
5	34,1	39,1
5	32,53	37,53
5	31,3	36,3
5,5	29,3	34,8
5	20,17	25,17
5	6,46	11,46
5	5,64	10,64
5	1,4	6,4
5,5	0,37	5,87
5	0,1	5,1

Таблица 8

Сопоставление дозовых нагрузок по ОРЧ и профессиональных доз

Доза ОРЧ, мЗв	Индивидуальные проф. дозы, мЗв	Общая доза, мЗв
4,0	5,0	9,0
1,0	5,0	6,0
20,0	5,1	25,1
3,0	5,3	8,3
2,0	5,37	7,37
318,0	5,4	323,4
1,5	5,69	7,19
2,0	5,79	7,79
1,0	5,9	6,9

В табл. 8 мы видим ту же ситуацию с группой работников, имеющих профессиональную дозу около 5 мЗв. Присоединение к ней дозы внешнего облучения, полученной ими при ликвидации аварии на ЧАЭС, исключает их всех из контрольной группы. На примере представленных данных можно видеть значительную некоррелированность тех и других дозовых нагрузок.

Кроме того, дозы от природных источников излучения также могут быть причиной возникновения радиационно-индуцированных заболеваний. В табл. 9 представлены дозы природного облучения по некоторым территориям, обслуживаемым учреждениями здравоохранения ФМБА России [7]. Третья графа сформирована из расчёта проживания на территории в течение 50 лет, учитывая при этом, что средний возраст заболевания ЗНО в России составляет, по популяции в целом, около 60 лет.

Таблица 9

Результаты обработки форм государственного статистического наблюдения, природное облучение № 4 – ДОЗ – ЕСКИД (2010 г.)

Наименование населённого пункта	Средняя индивидуальная доза, мЗв/год	Средняя индивидуальная доза за 50 лет, мЗв
ЗАТО, Снежинск	5,9	295,0
Обнинск	4,271	213,6
ЗАТО, Озёрск	4,155	207,8
Протвино, Московская обл.	2,27	113,5
Нововоронеж	2,178	108,9
Димитровград	1,972	98,6
ЗАТО, Снежногорск	0,918	45,9
Десногорск	0,715	35,8
Вольгинский	0,57	28,5

Мы видим большое различие в уровне природного облучения населения территорий, что не позволяет ликвидаторам последствий аварии на ЧАЭС из этих территорий находиться в одной дозовой группе по дозам внешнего облучения, полученным ими при работе в 30-км зоне ЧАЭС. При этом также необходимо принимать во внимание, что в таблице приведены средние дозы по территории, и у индивидуумов она может значительно различаться.

В НРБ-99 даны рекомендации: «Суммарная доза от всех видов облучения используется для оценки радиационной обстановки и ожидаемых медицинских последствий...», однако в НРБ-99/2009 эти рекомендации отсутствуют [8, 9].

Таким образом, результаты проведённого исследования на более полном материале ещё раз подтвердили выводы предыдущей работы [10], что использование только отдельных компонентов дозовой нагрузки человека приводит к получению некорректных результатов в оценке риска возникновения радиационно-индуцированных злокачественных новообразований.

Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование в области обеспечения радиационной безопасности регламентирует ограничения облучений граждан в форме гигиенических нормативов и (или) уровней вмешательства отдельно для каждого из видов облучения:

- облучение от техногенных ИИИ при их нормальной эксплуатации;
- облучение от природных ИИИ;
- медицинское облучение пациентов;
- аварийное облучение [8].

Такой подход к нормированию, по нашему мнению, некорректен, сумма отдельных нормативов может превысить порог минимального воздействия радиации на организм человека.

Перспективой дальнейшего исследования на следующем этапе работы следует считать:

1. Продолжение сбора данных о профессиональных дозах облучения ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, работников всех предприятий и учреждений Госкорпорация «Росатом», для увеличения мощности исследования.

2. Организацию сбора данных о дозах медицинского и природного облучения ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, работников всех предприятий и учреждений Госкорпорации «Росатом».

Необходимо отметить, что в связи с уникальностью Отраслевого регистра сотрудников Госкорпорации «Росатом», подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на Чернобыльской АЭС, актуальным является продолжение работ по его совершенствованию в плане сбора информации для корректного проведения исследований и использования его в дальнейшем для исследований по оценке качества различных ведомственных медико-социальных программ.

Заключение

Основным источником оценки радиационной безопасности является исследование риска возникновения радиационно-ассоциированных заболеваний. Результат данного исследования показал, что использование для этой цели дозы только одного вида облучения приводит к получению ошибочных данных, что, в свою очередь, делает некорректными нормативы, рассчитанные по этим показателям.

Выводы

1. Используя какую-либо часть общей дозы облучения человека для расчёта риска возникновения дозово-индуцированных заболеваний, мы будем получать некорректные результаты, неизвестно насколько далёкие от истины.

2. Получены различающиеся значения рисков возникновения радиационно-индуцированных заболеваний у лиц, принимавших участие в ликвидации аварии на ЧАЭС, при использовании различных компонентов общей дозы облучения.

3. Отмечен положительный тренд зависимости заболеваемости солидными злокачественными новообразованиями от дозы облучения ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, работников предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом», принимавших участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, как при использовании доз внешнего облучения, полученных при работе в 30-км зоне ЧАЭС, так и при суммарной дозе (ЧАЭС + профессиональные).

4. Полученный результат ещё раз подчеркивает актуальность и необходимость создания единого медико-дозиметрического регистра работников предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом» с информацией о дозах всех видов воздействия ионизирующего излучения на человека, обозначенных в директивных документах.

5. При построении корректной радиационной безопасности первостепенной задачей радиационной медицины и гигиены в настоящее время необходимо считать сбор и формирование дозы ИИ на человека от всех видов облучения.

Работа выполнена в рамках Госзаказа 2014 г. по теме «Эпидемиологический анализ здоровья работников предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом», принимавших участие в ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС».

Литература

1. **Бекман И.Н.** Ядерная индустрия. 2005. Спецкурс. 29 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://docplayer.ru/27270097-I-n-bekman-yadernaya-industriya-speckurs.html> (дата обращения 09.04.2018).
2. Федеральный закон от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения». [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8797/ (дата обращения 12.09.2017).
3. Нормы радиационной безопасности (НРБ-96): Гигиенические нормативы. М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. 127 с.
4. **Pierce D.A., Shimizu Y., Preston D.L., Vaeth M., Mabuchi K.** Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, Part I. Cancer: 1950-1990 //Radiat. Res. 1996. V. 146, N 1. P. 1-27.
5. **Pierce D.A., Preston D.L.** Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. //Radiat. Res. 2000. V. 154, N 2. P. 178-186.
6. **Little M.P., Muirhead C.R.** Evidence for curvilinearity in the cancer incidence dose-response in the Japanese atomic bomb survivor //Int. J. Radiat. Biol. 1996. V. 70, N 1. P. 83-94.
7. Обеспечение функционирования «Федерального банка данных индивидуальных доз облучения персонала организаций и населения на территориях, обслуживаемых учреждениями Федерального медико-биологического агентства»: Отчёт о прикладной научно-исследовательской работе /Под науч. рук. А.Г. Цовьянова. М: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2011. Ц-288. 188 с.
8. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. 116 с.
9. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.
10. **Туков А.Р., Бирюков А.П., Шафранский И.Л.** Использование данных о дозах различного вида облучения в радиационной эпидемиологии //Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2014. Т. 59, № 1. С. 43-49.

Radiation safety – Is it safe?

Tukov A.R., Birukov A.P., Shafransky I.L.

State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of
Federal Medical Biological Agency, Moscow

According to risk estimating requirements doses accumulated due to various types of radiation exposure, i.e. occupational, accidental, medical, should be taken into account when risk assessment. However, due to the lack of registers meeting the requirements radiation associated risk assessment using dose of one type of exposure to radiation can give incorrect results. The aim of the study is to estimate the risk of cancer using doses of various types of exposure to radiation. We used information database of the nuclear facilities workers of the State Corporation «ROSATOM», participated in mitigation of consequences of the Chernobyl accident. We assessed radiation risks using doses received by a worker as a result of occupational exposure and the doses received by the same worker due to the work within the 30-km zone around the Chernobyl NPP. The risk values assessed with the use of a dose of one type of exposure differ from risk values calculated if doses of two types of exposure were accounted. These findings allow authors to conclude that assessment of radiation associated risk of cancer with the use of dose of only one type of exposure to radiation results in incorrect risk value. In that case radiation safety will be unsafe.

Key words: liquidators, Chernobyl NPP, radiation risks, malignant neoplasms, doses of occupational exposure, total dose, radiation safety, radiation epidemiology, nuclear industry workers, ROSATOM State Corporation.

References

1. **Bekman I.N.** Nuclear Industry. 2005. Special Course. 29 p. Available at: <http://docplayer.ru/27270097-I-n-bekman-yadernaya-industriya-speckurs.html> (Accessed 12.09.2017). (In Russian).
2. Federal Law “On Radiation Safety of the Population” N 3-FZ, dated 09.01.1996. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8797/ (Accessed 12.09.2017). (in Russian).
3. Radiation Safety Standards (NRB-96): hygienic standards. Moscow, Information and Publishing Center of the State Committee for Sanitary and Epidemiological Control of Russia, 1996. 127 p. (In Russian).
4. **Pierce D.A., Shimizu Y., Preston D.L., Vaeth M., Mabuchi K.** Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, Part I. Cancer: 1950-1990. *Radiat. Res.*, 1996, vol. 146, no. 1, pp. 1-27.
5. **Pierce D.A., Preston D.L.** Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. *Radiat. Res.*, 2000, vol. 154, no. 2, pp. 178-186.
6. **Little M.P., Muirhead C.R.** Evidence for curvilinearity in the cancer incidence dose-response in the Japanese atomic bomb survivor. *Int. J. Radiat. Biol.*, 1996, vol. 70, no. 1, pp. 83-94.
7. Maintenance of functioning of the Federal Bank of individual doses of personnel organizations and population data in the areas served by the FMBA of institutions: Report on the application of scientific and research work under the supervision of A.G. Tsovyarov. Moscow, BFMBC FMBA, 2011. 188 p. (In Russian).
8. Radiation Safety Standards (NRB-99): hygienic standards. Moscow, Center for Sanitary and Epidemiological Regulation, Hygienic Certification and Expertise of the Ministry of Health of Russia, 1999. 116 p. (In Russian).
9. Radiation Safety Standards (NRB-99/2009): sanitary-epidemiological rules and regulations. Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009. 100 p. (In Russian).
10. **Tukov A.R., Biryukov A.P., Shafranskiy I.L.** Use data about the doses of various types of radiation in radiation epidemiology. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' – Medical Radiology and Radiation Safety*, 2014, vol. 59, no. 1, pp. 43-49. (In Russian).

Tukov A.R.* – Head of Lab., C. Sc., Med.; **Biryukov A.P.** – Head of Dep., D. Sc., Med., Prof.; **Shafranskiy I.L.** – Senior Researcher, C. Sc., Med. SRC – FMBC.

*Contacts: 46 Zhivopisnaya str., Moscow, Russia, 123182. Tel.: +7 (499) 190-94-81; e-mail: atukov40@mail.ru.