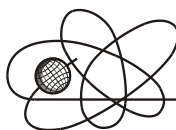




Российская Академия Наук

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**



ИБРАЭ

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**NUCLEAR SAFETY
INSTITUTE**

Препринт ИБРАЭ № ИБРАЕ-1997-10

Preprint IBRAE-1997-10

Панченко С.В., Савкин М.Н., Шутов В.Н.

**РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ
ОБСТАНОВКА И ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ
НАСЕЛЕНИЯ**

Москва 1997

Moscow 1997

УДК 614.876

Панченко С.В., Савкин М.Н., Шутов В.Н. РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА И ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ. Препринт № ИБРАЭ-97-10. Москва. Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. 1997. 19 с. — Библиогр.: 39 назв.

Аннотация

В работе прослежен исторический путь развития методов реконструкции радиационно-гигиенической обстановки на загрязненных в результате Чернобыльской аварии территориях. Основное внимание акцентировано на оценке дозовых нагрузок на население и структуре их распределения. Приводятся сводные данные по основным дозообразующим факторам.

©ИБРАЭ РАН, 1997

Panchenko S.V., Savkin M.N., Shutov V.N. THE RADIATION-HYGIENIC SITUATION AND DOSES TO THE POPULATION. Preprint IBRAE-97-10. Moscow. Nuclear Safety Institute. June 1997. 19 p. — Refs.: 39 items.

Abstract

The development of the methods for radiological hygiene reconstruction on lands contaminated by the Chernobyl accident are examined from the historical point of view. Attention focuses on the dose estimation for the population as well as on structure of the dose distribution. Summary data on the major dose contribution factors are given.

©Nuclear Safety Institute, 1997

Радиационно-гигиеническая обстановка и дозы облучения населения

Панченко С.В., Савкин М.Н., Шутов В.Н.

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
113191, Москва, ул. Б. Тульская, 52
тел.: (095) 955-26-65, факс: (095) 230-20-29, электронная почта: linge@ibrae.ac.ru

Содержание

Введение	3
Дозы облучения в щитовидной железе	7
Дозы внешнего облучения.....	10
Дозы внутреннего облучения.....	12
Суммарные дозы облучения.....	15

Введение

С первых дней аварии на Чернобыльской АЭС возникла острая необходимость получения дозиметрической информации, как объективной основы проведения комплекса защитных мероприятий.

Первоначальные решения этой задачи базировались на сравнительно оперативно получаемых данных по мощности дозы гамма-излучения. Для большинства населенных пунктов, население которых было эвакуировано в начальный период, решение об эвакуации принималось исходя из фактически измеренных значений мощности дозы и предварительной оценки возможной дозы за год.

В конце июня — начале июля стали выявляться значительные территории аномально загрязненные изотопами цезия. В связи с этим заметно выросло понимание необходимости исследовать географию спектрального состава радиоактивных выпадений. К сожалению, масштабы загрязнения и отсутствие в достаточном количестве эквивалентной технической базы объективно не позволяли решить эту задачу в сжатые сроки и ее решение растянулось практически на все десятилетие. Это обстоятельство в числе других не могло не отразиться на точности дозиметрических оценок. Необходимость принятия ответственных решений по радиационной защите населения, проживающего на обширных территориях, объективно потребовала проведения радиационного контроля практически по каждому населенному пункту (НП), подвергнутому интенсивному радиоактивному загрязнению. Для унификации дозовых оценок в первые годы было сконцентрировано внимание на получении представительных данных по ограниченной номенклатуре радиационных параметров: мощности экспозиционной дозы, плотности загрязнения территории НП, объемной активности молока, питьевой воды и удельной активности картофеля. Одновременно развертывался выборочный индивидуальный дозиметрический и радиометрический контроль, результаты которого использовались также для верификации дозовых коэффициентов на единицу загрязнения территории или на единицу загрязненности компонентов рациона.

В течение первых четырех лет после аварии была сформирована не вполне взаимосвязанная система официальных методов, баз данных и оценок в форме каталогов доз для наиболее загрязненных территорий СССР площадью более 10 тыс. км² и численностью населения 273 тыс. человек (плотность загрязнения 555 кБк/м² и выше) [1, 2]. В последующие годы это направление дозиметрической поддержки принятия решений не претерпело принципиальных изменений и развивалось за счет расширения географии загрязненных территорий до 37 кБк/м² [3, 4].

Все прошедшее десятилетие непрерывно шла адаптация различных методик оценки доз облучения населения к типовым условиям послеварийной ситуации. Каждая из модификаций исходила из конкретных утилитарных задач, которые требовали оценки доз.

Первая группа методик предназначалась для принятия решений по введению дозиметрического зонирования территорий и осуществления соответствующих контрмер [1, 3-7].

Основные допущения принятые в этих методиках заключались в следующем:

- жители проживают в населенном пункте постоянно;

- пищевая корзина формируется, в основном, за счет местных продуктов питания, производимых в личных подсобных хозяйствах;
- базовой единицей расчета дозы являлась индивидуальная доза в конкретном населенном пункте (прогнозная доза);
- основное внимание уделялось ведущим факторам радиационного воздействия: внешнему облучению от выпадений и внутреннему облучению от попадающих с пищей цезия-134, цезия-137 и стронция-90;
- исходными данными для расчета служили экспериментальные данные по измерениям плотности загрязнения почвы радионуклидами цезия и стронция в каждом населенном пункте, региональные коэффициенты перехода радионуклидов из почвы в основные компоненты рациона — молоко, картофель и средние или 90% процентильные значения удельной активности цезия-137 в местном частном молоке.

Указанные методики основывались на концепции регламентации облучения критических групп населения в НП и концепции критического органа и поэтому получаемые результаты прогноза доз представляли собой максимальные 90-95% процентильные оценки годовых и накопленных за 70 лет индивидуальных доз “условного человека” постоянно проживающего в населенном пункте.

Официальный переход в 1991 году к концепции средней годовой эффективной дозы привел к снижению дозовых коэффициентов на единицу загрязнения почвы примерно в 1,7 раза за счет использования средних значений удельной активности в местных продуктах питания.

Вторая группа методик предназначалась для оценки текущих фактических уровней облучения населения, как в целях рутинного дозиметрического контроля, так и для анализа ожидаемых радиологических последствий аварии на локальных территориях [8,9]. Основными исходными данными для расчета доз являлись экспериментальные данные по индивидуальному дозиметрическому контролю и измерениям цезия-134 и цезия-137 в организме у людей.

Третья группа методик — косвенной дозиметрии, была направлена на оценку поглощенных накопленных доз от инкорпорированных радионуклидов, исходя из содержания радионуклидов, избирательно накапливающихся в отдельных органах и тканях. Например, стронция-90 в костной ткани, плутония — в легких, печени, костной ткани. Репрезентативность этих оценок определяется предположениями о метаболизме радиоактивных веществ в организме и динамике поступления радионуклидов в организм от начала аварии до отбора биопроб. Инструментальные методические трудности этих методов не позволили получить достаточно значительный массив экспериментальных данных по всем локальным территориям и поэтому эти результаты могут рассматриваться лишь как верификационные для расчетных дозовых моделей.

Четвертая группа методик основана на различных методах биодозиметрии: по хромосомным aberrациям в лимфоцитах периферической крови, гликофоринный тест и т.д. В частности, начал достаточно активно развиваться метод ЭПР эмали зубов. Однако сравнение результатов ЭПР между собой на примере сельских населенных пунктов Беларуси и с другими методами на примере г. Новозыбкова Брянской области [11, 12] продемонстрировали существенные расхождения в области малых доз (ниже 50-100 мЗв). В целом, отдельные результаты, полученные с помощью методов биодозиметрии по жителям, проживающим на локальных территориях, пока еще не вполне органично вписываются в систему взаимосвязанных оценок, полученных другими методами. Методы биологической дозиметрии требуют дальнейшего развития и стандартизации перед тем, как будут использованы для оценок индивидуальных доз большого количества облученных субъектов.

Пятая группа методов оценки может быть условно названа синтетической, т.к. она объединяет в себе основные закономерности и экспериментальные результаты содержащиеся в предыдущих четырех группах. Эти методики разрабатываются для реконструкции индивидуальных доз, накопленных за поставарийный период, и внесения этих данных в дозиметрические разделы Государственных регистров лиц, пострадавших в результате аварии и для уточнения распределения коллективных доз по различным регионам стран СНГ.

Классическим примером такого синтетического подхода является детальный сравнительный анализ прогнозных и реальных доз, выполненный в ходе работ по Международному Чернобыльскому проекту [14].

Активное развитие дозовых моделей и методов дозиметрии происходит в настоящее время в рамках кооперации внутри стран, многосторонних и двухсторонних международных проектов.

Вышеприведенное краткое перечисление методов оценки доз облучения свидетельствует о том, что формальное сравнение результатов, полученных различными методами, может вводить в заблуждение т.к. одни оценки представляются собой максимальные значения прогнозных доз, другие — средние прогнозные дозы, третьи - полученные инструментальными методами и т.д. Их различие, особенно по внутреннему облучению может быть существенным, т.к. на локальных территориях помимо местных особенностей осуществлялись разные контрмеры, влияние которых на индивидуальные дозы и средние дозы в отдельных населенных пунктах могло быть существенным.

Работы по дозиметрическому обеспечению различных исследований выполнялись сотнями специалистов ведущих институтов как бывшего СССР, так и ряда других стран. Данная работа отражает взгляд авторов лишь на отдельные аспекты проблемы оценки доз.

В настоящее время при анализе радиационно-гигиенической обстановки и доз облучения населения принято выделять 3 характерных периода:

- первый год после аварии — отдельно рассматриваются первые два месяца, в течение которых ведущую роль играли короткоживущие радионуклиды, и в первую очередь, радиоизотопы йода. Этот этап, наиболее значимый по уровням радиационного воздействия, является одновременно и самым неоднозначным в аспекте оценки доз, из-за сложной картины формирования радиационной обстановки, связанной с длительным неравномерным выбросом и выпадениями, с переменным нуклидным и дисперсным составом, множеством неопределенных факторов различной природы;
- 1987-1991 гг. — радиационное воздействие определялось, главным образом, внешним и внутренним облучением от цезия-137 и цезия-134 и происходило на фоне ограничений и самоограничения в режиме жизнедеятельности населения, а также широкомасштабных контрмер по переселению, дезактивации и при ведении сельскохозяйственного и лесного производства;
- 1992-1995 гг. и последующие годы, так называемый этап реабилитации, который сохраняет признаки второго этапа, но проходит на фоне заметного сокращения объема радиационных контрмер.

Радиоактивное загрязнение территории России было обусловлено, в основном, поступлением радионуклидов из разрушенного реактора в атмосферу 27 - 29 апреля 1986 г. при их последующем переносе в северо-восточном направлении. В первый месяц после аварии отмечались еще два временных интервала 7 - 10 мая и 15 - 19 мая, когда метеоусловия способствовали переносу радиоактивности на территории России [13-15]. Динамические наблюдения за концентрацией радионуклидов в воздухе проводились лишь на рабочих площадках АЭС и некоторых крупных метеостанциях. Сеть пунктов наблюдения была крайне редкой, что создало серьезные трудности при реконструкции процесса переноса загрязненных воздушных масс и локальных выпадений.

Радиоактивные выпадения в ряде мест сопровождалась атмосферными осадками. Их интенсивность в отдельных районах колебалась от 3 до 40 мм в сутки, являясь причиной высоких градиентов поверхностного загрязнения местности и различия в нуклидном составе выпадений. В табл. 1 представлены некоторые оценки радионуклидного состава выпадений по российским территориям, условно приведенные к 28 апреля 1986 года [16-25].

Таблица 1

Радионуклидный состав выпадений по территории Северо-восточного следа

Регион	Характеристика	Источник	Отношение радионуклидов к Cs-137 на 28.04.86										
			Sr-90	Zr-95	Ru-103	Ru-106	Sb-125	I-131	Te-132	Cs-134	La-140	Ce-141	Ce-144
Брянская	цезиевые пятна 0,5 Ки/км ² по Cs-137 3 Ки/км ² 10 Ки/км ² 40 Ки/км ²	[24]	0.014	0.054	1.88	0.72	0.05	8.4	8.3	0.50	0.60	0.106	0.066
		[23]		0,064	1,62	0,5	0,057	9,26	10,9	0,54	0,75	0,97	0,26
		[18]	0.014	0.055	1,86	0.76		7.5		0.54	4,5*	0,057	0,042
		[17]	0,017			0,45	0,65			0,54			
			0,36	0,70	4,1	1,03		32		0,50		1,9	1,78
		[25]	0,27	0,16	1,9	0,40		11		0,50	0,65	0,21	0,20
			0,015	0,09	1,8	0,36	0,038	8,9		0,50	0,49	0,16	0,12
	0,015	0,042	1,7	0,31	0,034	6,4		0,53	0,53	0,075	0,059		
Калужская		[18]	0.018	0.11	1,23	0.97		4.8		0.5	3,7*	0,11	0.066
Тульская	г. Плавск	[18]	0.012	0.048	2,1	1.11		5.5		0.5	3,3*	0,2	0.061
		[24]		0.07		0.51	0.07						0.07
Орловская		[18]	0,024	0,18	1,92	0,85		11,7		0,5	5,3*	0,14	0,144
Белгородская		[18]	0.070	0.28	2,0	1.01		9.9		0.54	4,8*	0,45	0.341
Нововоронеж	в воздухе в выпадениях	[19]	0,042		1,94	0,42		3,0	9,5			0,14	
			0,124	0,36	1,98	0,48	0,063	21,2	26,2	0,57		0,54	
Москва**	в воздухе в выпадениях	[20-22]	0,02		0,58	1,0		39	17	0,51	4,6	0,39	
					2,75			53	9,1	0,48	9,4		

* La-140+Ba-140

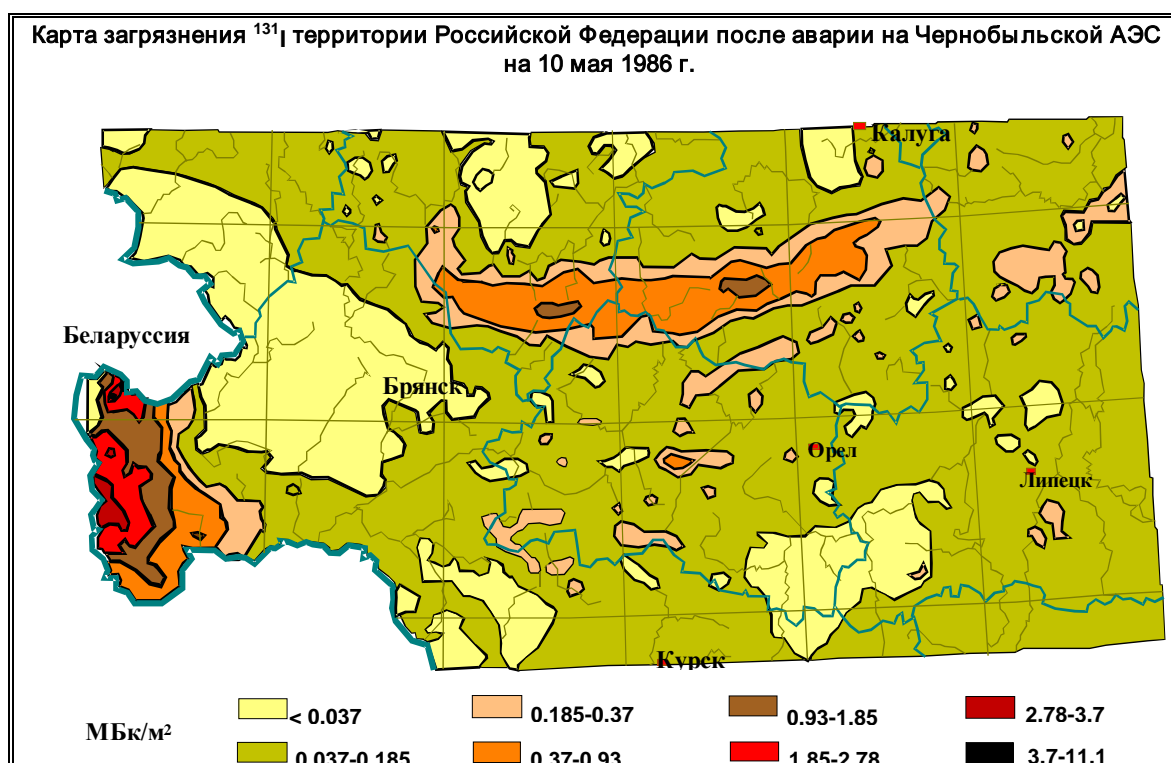
** Данные по концентрации радионуклидов в воздухе за 30.04 - 01.05; по выпадениям - за 30.04 - 05.05

Из табл. 1 следует, что при оценке доз на начальном этапе аварии следует дифференцированно подходить к различным территориям, критически рассматривая процессы формирования радиоактивной обстановки именно в данной местности.

В последующие годы было проведено подробное картирование загрязненных территорий по ^{137}Cs и составлен каталог плотностей загрязнения по 12 тысячам населенных пунктов 23 субъектов Российской Федерации [26 - 28].

Дозы облучения в щитовидной железе

Особенно важной задачей в реконструкции радиационной обстановки в начальный период являлась оценка возможных уровней накопления щитовидной железой радионуклидов йода. В связи с этим актуальным становится определение загрязнения территории и молочной продукции наиболее биологически важным ^{131}I . Карта загрязнения местности ^{131}I по состоянию на 10 мая 1986 г. приведена на рис. 1 [26].



Она была получена путем анализа прямых спектрометрических измерений ^{137}Cs и ^{131}I , выполненных специалистами НПО «Тайфун», и последующего корреляционного анализа. Однако следует иметь в виду, что радиоактивный йод в воздухе находился как в аэрозольной, так и газообразной форме и его осаждение на растительный покров существенно отличалось от других радионуклидов. Кроме того, степень задержания изотопов йода травой во многом определялась характером выпадений. На значимость этого факта обращается внимание и в ряде последних публикаций [29, 30]. Специфику поведения йода иллюстрируют данные радиохимических анализов проб молока, отобранных в западных (сильно загрязненных ^{137}Cs) и восточных (слабозагрязненных ^{137}Cs) районах Брянской области, табл.2. Из этих данных [29] следует, что при отличии в загрязнении местности ^{137}Cs в десятки раз, объемная активность молока различалась всего лишь в 2-4 раза. Причем в большинстве проб содержание ^{131}I в середине мая превышало установленный временный допустимый уровень 3700 Бк/л [30].

Подобная тенденция отмечается также при сравнении индивидуальных доз облучения щитовидной железы в НП с различной плотностью загрязнения. На рис. 2 показаны средние индивидуальные дозы на щитовидную железу у взрослых жителей населенных пунктов Хвостовичского района Калужской области, нормированные на плотность загрязнения ^{137}Cs [27]. На территориях, загрязненных от 1 до 10 Ки/км² по ^{137}Cs , поглощенная доза в щитовидной железе взрослого населения практически одинаковая.

К настоящему времени опубликованы результаты анализа 960 прямых данных определения содержания ^{131}I в щитовидной железе у жителей западных районов Брянской, 27887 — Калужской, 1620 — Орловской и 677 — Тульской областей. Средние дозы облучения щитовидной железы для различных возрастов по наиболее загрязненным пунктам и районам приведены в табл. 3-4 [33, 34]. Наибольшие дозы при прочих равных условиях были зарегистрированы у детей младшего возраста и в наиболее загрязненных сельских населенных пунктах Брянской области достигали 2-3 Гр. В целом, по загрязненным территориям четырех рассматриваемых областей, коллективная доза оценивается равной 92 тыс. челГр (705 тыс. человек), а для всей России около 300 тыс. челГр [33].

В связи с достоверно установленным ростом случаев рака щитовидной железы у детей 1968-1986 гг. рождения, проживающих на территориях Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей в настоящее время проводится работа по совершенствованию эколого-гигиенических моделей для индивидуализации доз облучения щитовидной железы у детского контингента и уточнения средних доз в щитовидной железе жителей для загрязненных населенных пунктов России.

Таблица 2

**Результаты радиохимического анализа проб молока на содержание ^{131}I в отдельных НП
Брянской области**

Населенный пункт	Cs-137, кБк/м ²	Дата	I-131, Бк/л
ТРЫКОВКА	10	15.05.86	5180
БОШИНО	11	15.05.86	2590
МАЗНЕВО	13	15.05.86	3589
МАРИНИЧИ	13	15.05.86	3700
КОТЛЯКОВО	13	15.05.86	2553
УСОХ	19	15.05.86	6660
КАРАЧЕВ	19	15.05.86	4440
ПОДСОСЕНКИ	21	15.05.86	6142
СОГЛАСИЕ	23	15.05.86	5809
КУРГАНОВКА	162	12.05.86	17390
ВЕЛИКАЯ ТОПАЛЬ	176	13.05.86	5550
РУБЕЖНОЕ	212	23.05.86	4810
СТАРЫЙ ВЫШКОВ	1223	16.05.86	15910
СТАРЫЙ ВЫШКОВ	1223	16.05.86	12950

Сплошная жирная линия аппроксимирует распределение «экспериментальных» точек; точка на графике — средняя доза для взрослых жителей в населенном пункте.

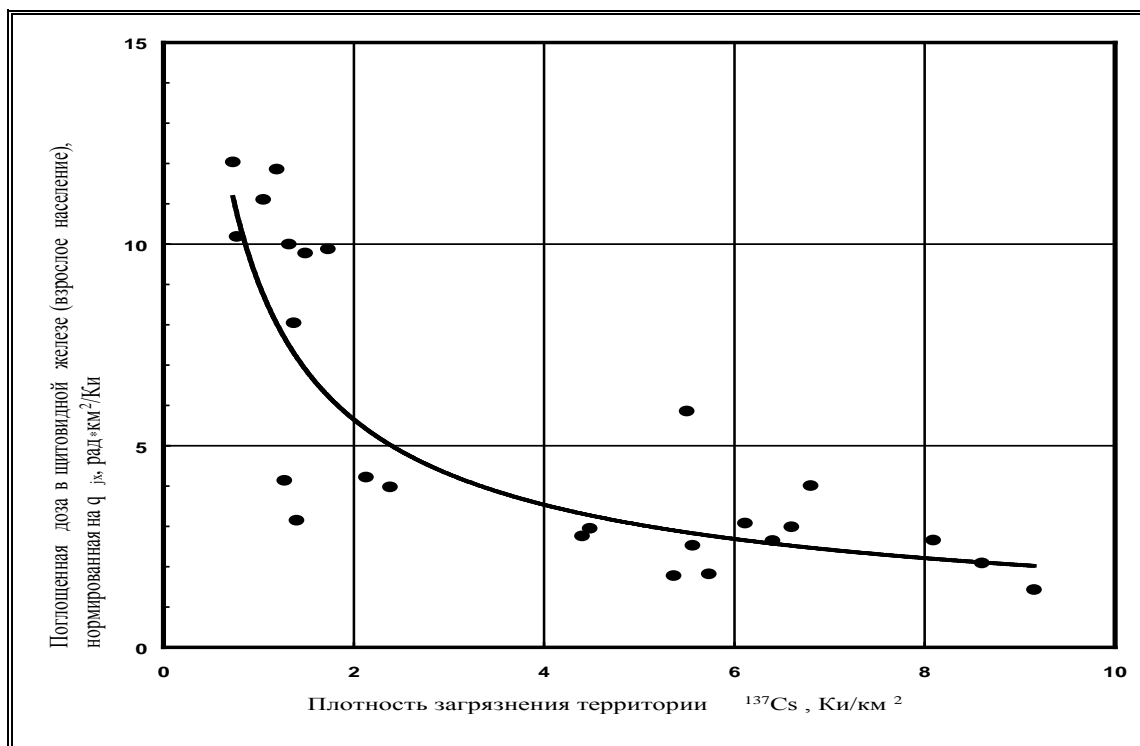


Рис. 2. Зависимость значений нормированной поглощенной дозы в щитовидной железе от плотности загрязнения территории ^{137}Cs ($q_{\text{жз}}$) по Хвастовичскому району Калужской области России

Таблица 3

Средние поглощенные дозы в щитовидной железе от ^{131}I у жителей загрязненных населенных пунктов Брянской, Орловской и Тульской областях в зависимости от возраста, сГр

Населенный пункт	Возраст, лет					
	<1	1-2	3-6	7-11	12-17	>18
БРЯНСКАЯ ОБЛАСТЬ						
Новозыбков	64	39	33	15	20	3.9
Красная Гора	130	140	52	16	4.6	8.3
Злынка	-	20	21	15	-	3.3
Барсуки	250	210	120	75	210	30
Мирный	-	85	67	19	22	8.9
Николаевка	250	230	130	91	155	82
Селец	-	-	26	16	11	7.5
Старый Вышков	-	-	18	15	-	4.5
Святск	-	-	24	13	-	5.7
Увелье	390	260	94	-	8.0	5.4
Верещаки	-	28	19	29	-	6.2
Заборье	-	99	130	74	-	26
ОРЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ						
Орел	14.5	8.5	7.0	5.0	3.7	1.4
Болхов	-	-	14	-	-	4
Дмитровск	-	-	10	7	-	2.3
ТУЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ						
Плавск	65	35	35	7.8	3.8	4.8
Щекино	-	-	6.0	4.2	6.1	1.9
Арсеньevo	-	-	0	2.8	-	1.8
Клещино	-	18	8.3	-	-	3.6
Липовo	21	43	11	26	-	5.8
Ново-Никольское	-	50	17	-	-	13
Октябрьское	33	13	7	5.4	-	2.4
Скорodное	52	22	17	-	-	3.7
Стрелецкий	-	-	7.2	5.4	-	2.2

Таблица 4

Средние поглощенные дозы в щитовидной железе от ^{131}I у жителей загрязненных районов Калужской области в зависимости от возраста, сГр

Район обследования	Возраст, лет										
	<1	1-3	3-5	5-8	8-12	12-14	14-16	16-18	>18	Беременные	Кормящие матери
Ульяновский	158.0	170.8	110.7	91.0	73.6	48.6	57.8	22.8	17.2	20.1	21.9
Жиздринский	146.5	114.8	66.9	61.2	53.6	35.6	49.7	14.3	14.4	13.7	18.2
Хвастовичский	69.7	55.1	30.9	30.8	26.5	16.9	21.0	9.0	10.2	10.3	7.0
Думиничский	47.6	39.7	25.8	26.1	23.2	14.3	16.0	6.7	6.8	6.6	8.1
Людиновский	54.5	33.5	22.3	21.5	17.3	10.1	10.4	3.8	6.8	5.6	7.0
Куйбышевский	36.0	33.0	21.4	23.5	20.9	14.3	15.6	5.7	5.7	5.3	6.0
Козельский	21.3	33.3	16.7	11.5	13.8	9.2	8.7	4.8	4.6	3.5	2.3

Дозы внешнего облучения

В первый год выделяют два основных источника внешнего облучения человека при выбросах радиоактивных веществ в окружающую среду: облучение от радиоактивного облака и от радиоактивных выпа-

дений на подстилающую поверхность. Оценки дозы внешнего гамма-облучения от радиоактивного облака, выполненные в ряде стран, в том числе и России, после Чернобыльской аварии, свидетельствуют о малом вкладе этого компонента в суммарную дозу внешнего облучения населения. Его верхняя оценка составляет около 10% от суммарной дозы внешнего облучения за первый год после аварии [35, 37].

Для оценки дозы внешнего облучения человека от загрязненной местности использовалась информация, включающая три основных блока:

- характеристики поля внешнего гамма-излучения,
- характеристики поведения человека в этом поле,
- коэффициенты перехода от характеристик поля гамма-излучения к характеристикам воздействия этого поля на человека.

В расчетных моделях учитывалось влияние таких основных факторов как поверхностная активность выпавших радионуклидов, их начальное заглубление, радиоактивный распад, процесс вертикальной миграции долгоживущих радионуклидов в верхнем почвенном слое, наличие снежного покрова и изменение этих факторов в антропогенной среде.

Кроме того, за период 1986-1995 гг. в населенных пунктах, имеющих разную плотность загрязнения радионуклидами цезия (от 80 до 4000 кБк/м²), были проведены многочисленные измерения доз внешнего облучения населения. При этом измерялись как индивидуальные дозы с использованием термомюнометрических дозиметров (ТЛД), так и локальные дозы на характерных участках населенных пунктов (улица, двор, огород, дом, целина). Сравнение инструментально измеренных и расчетных значений доз показало их хорошую сходимость как для различных периодов времени после аварии, так и для различных профессионально-возрастных групп населения.

Отмечалась надежная корреляция доз внешнего облучения с плотностью загрязнения территории населенного пункта ¹³⁷Cs, табл. 5 [25]. На основе всей совокупности данных была построена модель, позволяющая реконструировать дозы облучения за прошедшее десятилетие. Значения средних годовых доз для различных типов населенных пунктов, нормированные на единичную плотность загрязнения ¹³⁷Cs даны в табл. 6 [36].

Таблица 5

**Эффективные дозы внешнего облучения населения некоторых населенных пунктов
Брянской области, мкЗв/мес**

Название НП	Плотность загрязнения*, кБк/м ²	Год измерений		
		1993 г.	1994 г.	1995 г.
Новые Бобовичи	1030		160/140**	
Старые Бобовичи	980		190/160	
Добродеевка	1020		220/190	
Старый Вышков	1250	300/260		
Кузнец	850	170/160		
Макаричи	660	150/140		
Яловка	2600	390/370		
Новозыбков	680			69/64/57

* Плотность загрязнения ¹³⁷Cs на 1991 г.

** Первая цифра — данные для жителей 1-этажных деревянных домов, вторая — 1-этажных каменных домов, третья (где она есть) — многоэтажных блочных домов.

Эффективные дозы внешнего облучения сельского и городского населения в различные периоды, мкЗв·м²/кБк ¹³⁷Cs

Страна	Годы							
	1986		1987-1995		1996-2056		1986-2056	
	село	город	село	город	село	город	село	город
Белоруссия	15-60*	10-40*	28	20	24	17	67-112	47 - 77
Россия	15.1	11.4	21.4	13.3	30.9	15.6	67.4	40.3
Украина	16	6	26	11	32**	13**	74**	32**

* Довольно широкий диапазон доз связан с различным нуклидным составом выпадений вблизи от АЭС и в цезиевых пятнах

** Предварительные оценки

Из табл. 6 следует, что вклад первого года в накопленную дозу на территории России за десятилетие составляет 35-40%, а ожидаемая доза за последующие 60 лет может составить 75-85% от уже полученной.

Индивидуальный дозиметрический контроль показал, что распределение индивидуальных доз внешнего облучения в населенном пункте относительно среднего значения в любой год после аварии можно было аппроксимировать усеченным логнормальным распределением со среднегеометрическим стандартным отклонением $\beta_g = 1,5 \pm 0,2$. При этом разброс между минимальными и максимальными дозами составлял 10-20 раз. Критической группой по уровням облучения оказывались жители, занятые в лесном или сельскохозяйственном производстве. Отмечалась также значительная вариабельность оценок индивидуальных доз для городов в зависимости от условий проживания. Так эффективные дозы внешнего облучения жителей многоэтажных домов более чем в 2 раза ниже, чем для жителей одноэтажных домов на окраине города.

В первые пять лет после аварии в наиболее загрязненных населенных пунктах активно проводились дезактивационные работы. Однако их эффективность по снижению доз внешнего облучения оказалась невелика (10-30%) и учет дезактивации практически не повлияет на базовые оценки доз внешнего облучения.

Годовые дозы внешнего облучения за десятилетие снизились на территории России в 10-20 раз. Коллективная накопленная доза внешнего облучения для примерно 3 млн. человек, проживающих на загрязненных территориях 4-х центральных областей РФ (Брянская, Калужская, Тульская и Орловская), оценивается величиной в 7,5 тысяч челЗв.[37].

Дозы внутреннего облучения

С осени 1986 г. и по настоящее время доза внутреннего облучения определяется, главным образом, поступлением с продуктами питания цезия-137, 134 и дополнительно стронция-90, а также в незначительном количестве радионуклидов плутония и америция-241, поступающих в организм ингаляционным путем.

Развернутый практически с первых дней после аварии контроль за загрязнением пищевой продукции во многом способствовал уменьшению доз внутреннего облучения населения. В последующем данные по загрязнению продуктов питания смогли стать и весомым фактором при оценке доз внутреннего облучения. В основном превышение ВДУ отмечалось в Брянской и Калужской областях. В первые годы после аварии основной вклад в дозу внутреннего облучения вносили мясомолочные продукты, а в отдельных местах значимый вклад давали: рыба из замкнутых водоемов, грибы и дикорастущие ягоды. В последующие годы устойчиво высоким оставалось загрязнение лесных продуктов, в первую очередь грибов, ягод, лекарственных растений и мяса диких животных. В целом же характер изменения концентрации цезия-137 в основных продуктах наглядно иллюстрируют данные табл.7. Отметим, что снижение содер-

жания цезия-137 в мясомолочной продукции в значительной степени обусловлено проведением контрмер в сельском хозяйстве.

Коэффициенты перехода ^{137}Cs из почвы в молоко, картофель и белые грибы (Брянская область), $\cdot 10^{-3}$ (Бк/кг):(Бк/м²)

Год	Молоко		Картофель		Грибы	
	Среднее	Медиана	Среднее	Медиана	Среднее	Медиана
1986	10.1	6.2	0.52	0.43	4.0	3.3
1987	5.2	3.9	0.16	0.15	8.8	5.6
1988	2.3	1.7	0.066	0.058	12.0	7.4
1989	1.5	1.0	0.054	0.042	8.7	5.0
1990	1.0	0.71	0.027	0.018	7.7	5.8
1991	0.6	0.38	0.035	0.022	7.8	8.6
1992	0.3	0.25	0.038	0.030	7.0	8.3
1993	0.13	0.11	0.039	0.034	4.6	4.0
1994	0.10	0.08	0.023	0.014	3.1	4.0

Для реконструкции и прогноза доз внутреннего облучения использовались данные измерений на спектрометрах излучения человека (СИЧ) (около 1 млн. измерений на содержание цезия-134,137); результаты модельных расчетов, учитывающих коэффициенты перехода радионуклидов на различных типах почв сельскохозяйственных угодий; методы косвенной дозиметрии (результаты радиохимических анализов проб мочи жителей и секционного материала).

Оценку дозы внутреннего облучения E_{int} в 1986 году обычно проводят на анализе двух компонент: E_s - дозы, обусловленной поступлением радионуклидов в организм человека за счет первичного загрязнения растительности в момент выпадений и E_r - дозы, обусловленной поступлением радионуклидов в организм человека за счет корневого пути загрязнения растительности. Начиная с осени 1986 года, преобладающим стал корневой путь миграции радионуклидов по пищевой цепочке.

Следует отметить, что в формировании накопленной за истекший период времени дозы внутреннего облучения весьма существенную роль играет поверхностная компонента E_s , реализованная в первые месяцы после аварии. В ближней зоне вклад E_s в суммарную дозу в 1986-1995 гг. составляет 50-60%, а в 1986 г. - 85-90%. На территории белорусско-украинского Полесья и Брянской области вклад E_s в суммарную дозу в 1986-1995 гг. составляет 25 и 40%, а в 1986 г. – 60 и 80% на контролируемой и неконтролируемой территориях соответственно. Для экспрессной оценки возможной эффективной дозы внутреннего облучения сельского населения за различные периоды удобно воспользоваться обобщенными коэффициентами, представленными в табл.8. Однако, при рассмотрении ситуации в конкретном населенном пункте могут потребоваться более детальные данные.

Таблица 8

Эффективная доза внутреннего облучения сельского населения за различные периоды времени после аварии на ЧАЭС, мкЗв·м²/кБк

Область	Уровни загрязнения территории	Годы			
		1986	1987-1995	1996-2056	1986-2056
Брянская	< 555 кБк/ м ²	36(0.5)	48(1.2)	9.0(7.1)	93(1.5)
	> 555 кБк/ м ²	10(0.6)	11(1.0)	9.0(7.1)	30(2.9)
Гульская	< 555 кБк/ м ²	15(1.3)	6(3.6)	1.8(35)	23(4.6)
Орловская	< 555 кБк/ м ²	15(2.0)	8(4.1)	2.4(33)	25(5.6)

В скобках дана оценка вклада (в процентах) радионуклидов стронция в суммарную дозу

Вклад стронция-90 в накопленную за истекший период времени дозу невелик – единицы процентов, однако его роль в прогнозируемых уровнях внутреннего облучения населения возрастает до десятков процентов в зоне черноземных почв (за счет относительного снижения роли цезия). Дозу внутреннего облучения стронцием-90 оценивали по его содержанию в основных компонентах рациона питания и дан-

ным об удельной активности радионуклидов в пробах мочи жителей. Дозиметрическая модель, учитывающая особенности метаболизма стронция в зависимости от возраста человека, использовала данные многолетних натуральных наблюдений на следе восточно-уральской аварии.

Оценка эффективной дозы внутреннего облучения жителей на территории Брянской области России, Беларуси и Украины радионуклидами плутония показала, что эта компонента дозы за период 1986-1996 гг. мала и составляет, в среднем, около 25 мкЗв. Уровни облучения критической группы населения (механизаторы) примерно в 5-6 раз выше [37].

Годовые дозы внутреннего облучения за десятилетие снизились в 7-25 раз. Коллективная накопленная доза внутреннего облучения для примерно 3 млн. человек, проживающих на загрязненных территориях 4-х центральных областей РФ, оценивается величиной близкой к 9 тысячам челЗв.[38].

Суммарные дозы облучения

Для оценки суммарных доз были выполнены расчеты, основанные на статистической модели формирования доз внешнего и внутреннего облучения, которые показали, что в Брянской области примерно 0,6% населения получило за десятилетие дозы выше 70 мЗв, а за 70 лет число жителей, у которых может быть превышено 350 мЗв составит менее 1000 человек. В Тульской области примерно 3,5% населения получило дозы более 10 мЗв. Общая коллективная доза за 10 лет для примерно 3 млн. жителей этих областей, живущих на наиболее загрязненных территориях, составила чуть более 16,5 тысяч челЗв. Отдельно для Брянской и Тульской областей распределение населения по величинам накопленных за 10 лет индивидуальных доз суммарного облучения представлено на рис. 3.

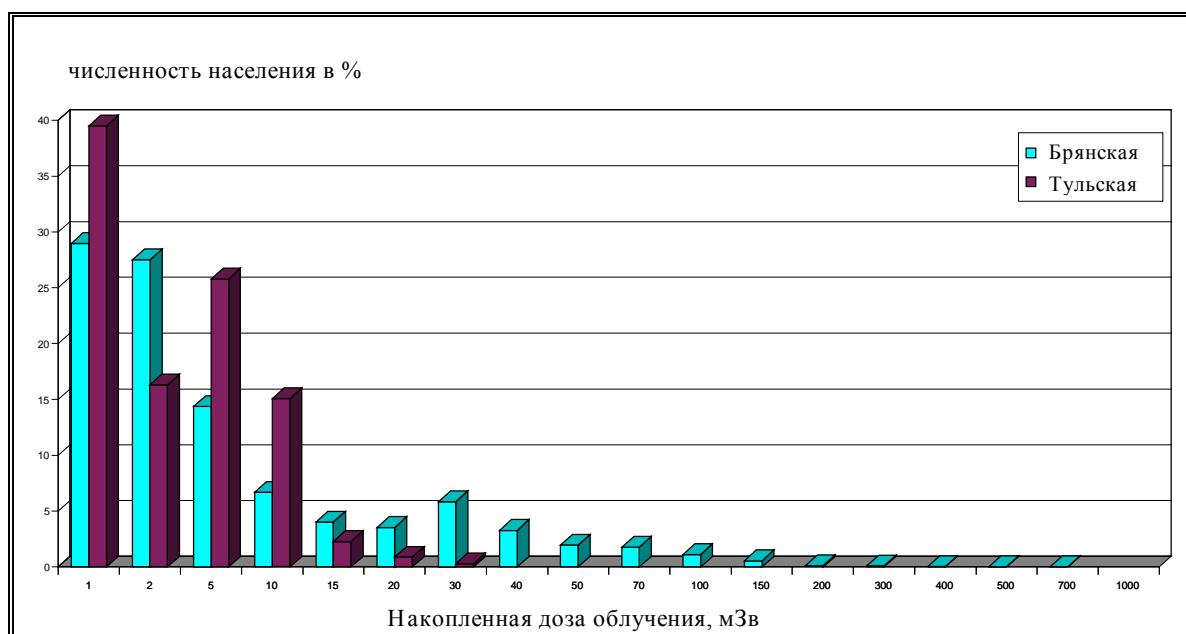


Рис. 3. Распределение населения Брянской и Тульской областей по величинам накопленных индивидуальных доз суммарного облучения за 1986-95 г.

Для экспертной оценки суммарной эффективной дозы облучения сельского населения удобно использовать обобщенные коэффициенты, представленные в табл.9.

**Полная эффективная доза облучения сельского населения в различные периоды,
мкЗв/кБк¹³⁷Сs**

Область	Уровни загрязнения поверхности ¹³⁷ Cs, кБк ¹³⁷ Сs	Годы			
		1986	1987-1995	1996-2056	1986-2056
Брянская	>555	25	31	40	96
	<555	51	57	40	148
Тульская	<555	30	27	33	90
Орловская	<555	30	29	33	92

В районах жесткого контроля Брянской области удалось существенно снизить долю внутреннего облучения в суммарной дозе. В качестве иллюстрации типичных величин доз внешнего облучения по данным индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) на рис. 4-5. приведены в динамике результаты обследования двух населенных пунктов: г. Новозыбков и село Заборье, на этих же рисунках показаны и средние дозы внутреннего облучения населения, полученные по результатам измерений на установках СИЧ.

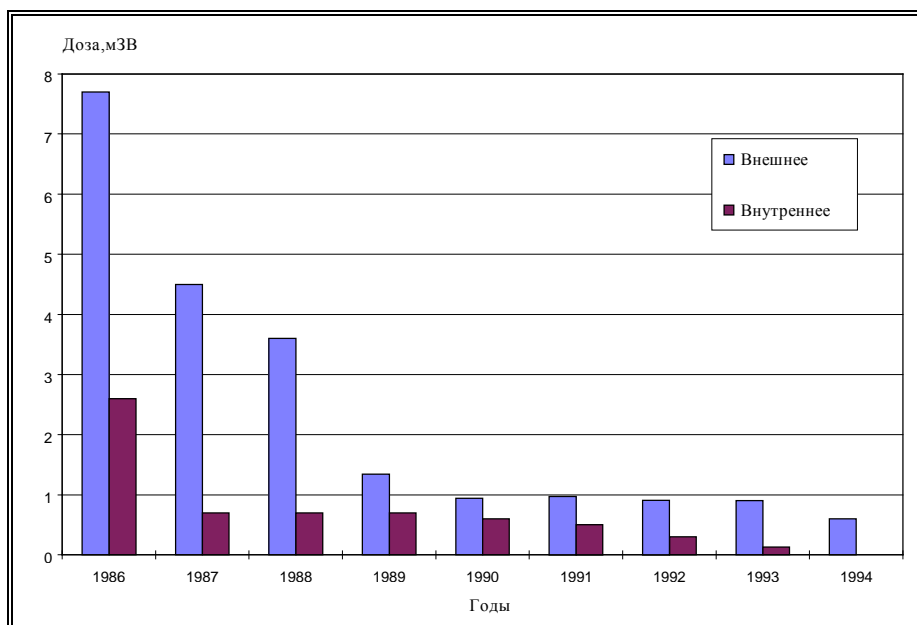


Рис. 4. Динамика внешних и внутренних доз облучения жителей г. Новозыбкова Плотность загрязнения почвы Cs-137 в 1994 году — 16,04 Ки/км²

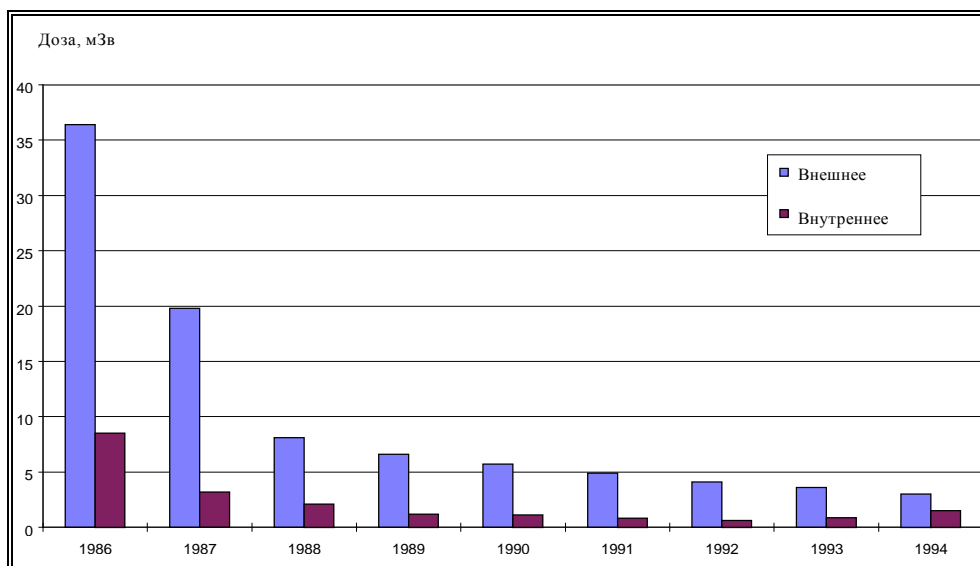


Рис. 5. Динамика доз внешнего и внутреннего облучения в с. Заборье.
Плотность загрязнения почвы Cs-137 — 97.5 Ки/км.

Для большинства областей, НП которых входят в зону социально-льготного экономического статуса, величины накопленных и ожидаемых эффективных доз сравнительно невелики. Характерным примером может служить Рязанская область, в которой 19 районов оказались загрязненными радиоактивными веществами с уровнями 1-5 Ки/км². Общее число НП, входящих в зону социально-льготного экономического статуса составляет 723 с численностью населения около 200 тысяч человек. Ожидаемая эффективная доза за 70 лет жизни не превысит для жителей этой зоны 35 мЗв, причем для 90% НП она ниже 20 мЗв [39]. Оценки коллективных доз суммарного облучения по районам Рязанской области приведены в табл. 10.

Таблица 10

Оценка коллективных доз суммарного облучения на население Рязанской области

Район	Коллективная доза, Зв·чел·период	
	1986-1995	1996-2056
Захаровский	1	0,6
Кадомский	0,03	0,02
Кораблинский	51	31
Милославский	36	22
Михайловский	33	20
Новодеревенский	15	9
Пронский	20	12
Путятинский	24	14
Ряжский	170	102
Сапожковский	5,8	3,5
Сараевский	3,8	2,3
Сасовский	6,8	4,1
Скопинский	121	73
Спасский	13	7,8
Старожиловский	42	25
Ухоловский	7,1	4,3
Чучковский	6,4	3,8
Шацкий	5,9	3,5
Шиловский	16	9,6
ИТОГО	578	347

За прошедшее после Чернобыльской аварии десятилетие заложены основные дозиметрические ориентиры практически для всех территорий России, позволившие выработать адекватные меры как по защите населения, так и по разработке программ реабилитации загрязненных территорий. Основное направление работ последних лет связано с уточнением ряда модельных параметров и дозиметрической поддержкой Медицинского регистра лиц, пострадавших в результате аварии, т.е. с оценками индивидуальных доз.

Данный материал готовился для сборника МЧС в связи с 10-летием Чернобыльской аварии. Однако по объективным причинам издание книги задерживается. Поскольку по нашему мнению результаты работы представляют и самостоятельный интерес было решено издать их в виде препринта.

Авторы выражают глубокую признательность И.И.Линге, как организатору нашего творческого коллектива, так и за его терпение и целый ряд полезных критических замечаний.

Литература

1. Методические принципы и рекомендации для расчета доз внешнего и внутреннего облучения населения, проживающего на территории, подвергшейся воздействию в результате аварии на ЧАЭС. Сборник методических материалов. Ред. К.И. Гордеев. Москва: Институт биофизики, 1991.
2. R. Barchudarov, L. Buldakow, K. Gordeew, L. Ilyin, M. Savkin. Strahlenexposition der Bevölkerung, der Kontrollgebiete in der vier Jahren nach der Havarie in Kernkraftwerk Tshernobyl. TUV Bayern 30 Jahre Strahlenschutz Symposium 5 October. 1990.
3. Справочник по радиационной обстановке и дозам облучения в 1991 г. населения Российской Федерации, подвергшейся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. Ред. М.И. Балонов. С.-Петербург: Институт радиационной гигиены, 1993.
4. Каталог доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь. Минздрав Республики Беларусь, НИИ радиационной медицины. Минск, 1992.
5. Алехин И.А., Т.И. Гимадова, Е.Д. Клещенко, Н.А. Сергеева. Измерение доз на территориях загрязненных в результате аварии на ЧАЭС В сборнике Всесоюзной конференции: Промежуточные и долгосрочные последствия аварии на Чернобыльской АЭС, 26-27 июня 1987, М., сс.39-45.
6. Арефьева З.С., В.И. Бадьин, Ю.И. Гаврилин и др. Руководство по оценке доз облучения щитовидной железы при поступлении радиоактивных изотопов йода в организм человека. Под ред. Л.А.Ильина - М., 1988.
7. Дегтева М.О., В.П. Кожеуров Возрастная зависимость уровней облучения от потребления радиостронция. ЦНИИ Информ.-ОН-3-89. М., 1989
8. Аветисов Г.М., Р.М. Бархударов, К.И. Гордеев и др. Методические основы прогноза уровней облучения населения от радионуклидов цезия при постоянном проживании на территориях, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС. Утверждены 21.09.1988.
9. Аветисов Г.М., М.О. Дегтева, Р.М. Бархударов и др. Методические основы прогноза уровней облучения населения от радионуклидов стронция при постоянном проживании на территориях, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС. Утверждены 21.09.1988.
10. Skvortzov V.G., A.I. Ivannikov, A.F. Tsyb et.al., Results of investigation by EPR-dosimetry of population of radioactive contaminated territories of Bryansk oblast. Reprint of WHO/EOS/94.12, Geneva, 1994.
11. Retrospective dosimetry and dose reconstruction Eds. K. Bailiff and V. Stepanenko. Final Report EUR 16540, 1996
12. The International Chernobyl Project. The radiological consequences in the USSR of the Chernobyl accident: Assessment of health and environmental effects and evaluation of protective measures. International Advisory Committee Technical Report. Volume "1" E. Radiation exposure of population. ISSN 92-0-400192-5 IAEA, 1991.
13. Седунов Ю.С., Борзилов В.А., Клепикова Н.В. и др. Исследования особенностей формирования загрязнения местности в ближней и дальних зонах ЧАЭС методами математического моделирования. В кн.: Радиационные аспекты Чернобыльской аварии. С-Пб., 1993 сс.76-81.
14. Борзилов В.А., Клепикова Н.В., Костриков А.А. и др. Метеорологические условия дальнего переноса радионуклидов, поступивших в атмосферу в результате аварии на ЧАЭС, там же, сс. 87-97.
15. Махонько К.П. и др. Радиация и Риск №7, 1996.
16. Тер-Сааков А.А., Глебов М.В., Гордеев С.К. и др. Чернобыльские радиоактивные выпадения их свойства и поведение в окружающей среде.
17. Круглов С.В., Р.М. Алексахин, Н.А. Васильева и др. К вопросу формирования радионуклидного состава почв в зоне аварии Чернобыльской АЭС. Почвоведение № 10, 1990, сс.26-34.
18. Зверева Г.Н., Павловский О.А., Панченко С.В. и др. Оценка радиационной обстановки в районе размещения 7-го блока Нововоронежской АЭС, отчет ИБФ, М., 1990.
19. Телушкина Е.Л., Зыкова А.С., Воронина Т.Ф. Радиационная обстановка в Москве в 1986-1988 гг., обусловленная выпадением цезия. Атомная энергия № 70, вып. 1, 1991, стр.43-46.
20. Телушкина Е.Л., Зыкова А.С., Воронина Т.Ф. Радиационная обстановка в Москве в 1986 г., обусловленная некоторыми бета- и гамма-излучателями, как следствие аварии на Чернобыльской АЭС. Атомная энергия № 70, вып. 1, 1991, стр.191-194

21. Телушкина Е.Л., Зыкова А.С., Воронина Т.Ф. Радиационная обстановка в Москве и Московской области, обусловленная выпадением ^{90}Sr после аварии на Чернобыльской АЭС. Атомная энергия № 70, вып. 1, 1991, стр.254-255.
22. Методические указания МУ 2.6.1.018-94 "Определение средней годовой эффективной дозы облучения населенных пунктов Российской Федерации в 1994-1996 гг. следствие аварии на Чернобыльской АЭС" (изменение № 1 к методическим указаниям Госкомсанэпиднадзора России от 12.03.1993 г № МУ 2.7.7.001-93), Госкомсанэпиднадзор России, М., 1994.
23. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред. Под ред. Ю.А. Израэля, Л., 1990.
24. Atlas on caesium contamination of Europe after the Chernobyl nuclear plant accident. (Eds M. De Cort and Yuri S. Tsaturov), EUR 16542 EN, Luxembourg, 1996.
25. 10 лет чернобыльской катастрофы. Российский национальный доклад. М., 1996
26. Pitkevich V.A., V.V. Duba, V.K. Ivanov et al. Reconstruction of external absorbed doses on population lived in the territories of Russia contaminated following the accident at the Chernobyl NPP. Preprint WHO/EOS/94.10.
27. Гаврилин Ю.И., В.Т. Хрущ, С.М. Шинкарев и др. Чернобыльская авария: Облучение радиойодом щитовидной железы у населения. Сборник докладов на международную конференцию МАГАТЭ 8-12 апреля 1996. Вена.
28. Gavrilin Y., V. Khrouch, S. Shinkarev et.al. Estimation of thyroid doses recieved by the population of Belarus as a result of the Chernobyl accident. Proc. International Conference - The radiological consequences of the Chernobyl accident, 1996, pp.1011-1020.
29. Шапошникова Е.Н., Епифанов В.А., Скоробогатов А.М. и др. Результаты радиационного контроля продовольственного сырья, пищевых продуктов и объектов внешней среды, произведенного центром Госсанэпиднадзора в Брянской области в 1986-1995 годах. отчет утвержден Главным санитарным врачом Степаненко П.А. 15 марта 1996 г., Брянск, 1996.
30. Временное допустимое содержание радиоактивного йода /йода-131/ в питьевой воде и пищевых продуктах на период ликвидации последствий аварии №4106-86 от 6 мая 1986.
31. I.A. Zvonova and M.I. Balonov. Radioiodine Dosimetry and Prediction of Consequences of Thyroid Exposure of Russian Population Following the Chernobyl Accident. The Chernobyl Papers Dose to the Soviet Population and Early Health Effects Studies Vol. 1, 1993, p.p. 71-125.
32. Е.Г. Матвиенко, Б.А. Бердов, В.Ф. Горобец и др. Участие МРНЦ Российской АМН в ликвидации последствий загрязнения радионуклидами Калужской области в результате Чернобыльской аварии. Медицинская радиология. 1992 (47-50)
33. Л.А. Ильин. Регламенты радиационного воздействия, лучевые нагрузки на население и медицинские последствия Чернобыльской аварии. Медицинская радиология №12. 1991 (9-18).
34. Логачев В.А., В.И. Пархоменко, М.Н. Савкин и др. Динамика уровней гамма-излучения и формирование доз внешнего облучения. Материалы научной конференции "Медицинские аспекты аварии на Чернобыльской атомной электростанции" 11-13 мая 1988, Киев, 1988, сс.118-125.
35. Питкевич В.А., Дуба В.В., Иванов В.К. и др. Методика реконструкции поглощенных доз внешнего облучения населения, проживающего на загрязненной вследствие аварии на Чернобыльской АЭС территории России. Радиация и Риск, вып. №4, 1994.
36. Реконструкция накопленной эффективной дозы облучения в 1986-94 гг. жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 86 г. Методические указания МУ 2.6.1 -95. Госсанэпиднадзор России, 1996.
37. Ivanova N.P., Shvydko N.S., Ershov E.B., Balonov M.I. Population doses in Russia from plutonium fallout following the Chernobyl accident. Rad.Prot. Dosimetry Vol.58, № 4,1995, hh.255-260.
38. Линге И.И., А.И. Илюшкин, И.А. Осипьянц и др. Системно-аналитическое и информационное обеспечение работ по ликвидации последствий чернобыльской катастрофы за 1995 год. Итоговый отчет ИБРАЭ РАН. М., 1995
39. Гринев М.П., А.А. Нигиян, М.Н. Савкин и др. Разработка рекомендаций по оптимизации мероприятий по реабилитации загрязненных территорий региона "Юго-восток". Заключительный отчет ALARA Limited, М., 1993.