

ПОСЛЕДСТВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА В РЕЗУЛЬТАТЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ

Научное приложение D
к Докладу НКДАР ООН 2008 года Генеральной Ассамблее



ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

ПОСЛЕДСТВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА В РЕЗУЛЬТАТЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ

Научный комитет Организации Объединенных Наций
по действию атомной радиации

Научное приложение D
к Докладу НКДАР ООН 2008 года
Генеральной Ассамблее



ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ
Нью-Йорк, 2012 год

ПРИМЕЧАНИЕ

Употребляемые обозначения и изложение материала в настоящем издании не означают выражения со стороны Секретариата Организации Объединенных Наций какого бы то ни было мнения относительно правового статуса той или иной страны, территории, города или района или их органов власти или относительно делимитации их границ.

В настоящем документе в большинстве случаев приводятся названия стран, которые использовались во время сбора данных или подготовки текста. Однако в других случаях названия были обновлены, когда это было возможно и уместно, для отражения политических изменений.

ПРИЛОЖЕНИЕ D

ПОСЛЕДСТВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА В РЕЗУЛЬТАТЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
I. ВВЕДЕНИЕ	1
A. Оценки, полученные ранее	1
B. Структура настоящего научного приложения.....	3
II. ФИЗИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ.....	3
A. Выбросы и выпадение радионуклидов.....	3
B. Перенос радионуклидов в окружающей среде	5
C. Экологические контрмеры	7
III. ДОЗЫ ИЗЛУЧЕНИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ РАЗНЫМИ ГРУППАМИ НАСЕЛЕНИЯ	7
A. Дозы, полученные работниками, участвовавшими в ликвидации аварии и восстановительных работах ..	8
B. Дозы у населения.....	8
IV. ОТНЕСЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЛЮДЕЙ НА СЧЕТ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ	9
A. Общие соображения	9
B. Детерминированные эффекты	10
C. Стохастические эффекты	10
D. Психологическая травма и другие связанные с этим эффекты.....	10
V. РАННИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ.....	12
A. Острая лучевая болезнь у аварийных работников	12
B. Население.....	13
VI. ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ	13
A. Фактические данные.....	13
1. Отдаленные последствия для здоровья у лиц, перенесших ОЛБ	13
2. Рак щитовидной железы	14
3. Лейкоз	15
4. Другие виды солидного рака.....	16
5. Неонкологические эффекты.....	16
B. Теоретические прогнозы	17
1. Обзор опубликованных прогнозов.....	17
2. Научные ограничения.....	18
3. Заявление НКДАР ООН.....	18
VII. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	18
A. Риски для здоровья, которые можно отнести на счет радиации.....	18
B. Сравнение настоящего приложения с предыдущими докладами	19
C. Сравнение с прогнозами наблюдаемых отдаленных последствий для здоровья	19
D. Новая информация, полученная в ходе исследований аварии	20

	<i>Стр.</i>
ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ.....	20
ДОПОЛНЕНИЕ А. ФИЗИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ	21
ДОПОЛНЕНИЕ В. ДОЗЫ РАДИАЦИИ, ПОЛУЧЕННЫЕ ОБЛУЧЕННЫМИ ГРУППАМИ НАСЕЛЕНИЯ	57
ДОПОЛНЕНИЕ С. РАННИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА	99
ДОПОЛНЕНИЕ D. ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА	105
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	161

I. ВВЕДЕНИЕ

1. Авария 1986 года на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) в Советском Союзе была наиболее масштабной в истории гражданской атомной энергетики из всех когда-либо происшедших¹. Она инициировала беспрецедентные по масштабам международные усилия, направленные на совершенствование знаний о последствиях облучения для здоровья человека в результате аварии и стала объектом наиболее полного изучения среди всех случаев, связанных с воздействием радиации.

2. Двое работников умерли непосредственно после аварии; кроме того, высокие дозы радиации², полученные 134 сотрудниками станции и членами аварийных бригад³, вызвали острую лучевую болезнь (ОЛБ), оказавшуюся смертельной для 28 из них. Кроме этой группы аварийных работников в восстановительных операциях участвовали несколько сотен тысяч человек⁴; они подверглись внешнему и, в меньшей степени, внутреннему облучению от поврежденного реактора и выброса радионуклидов в окружающую среду.

3. Эта авария привела к самому большому неконтролируемому выбросу радиоактивных веществ в окружающую среду из всех когда-либо зарегистрированных в гражданских установках; большие количества радиоактивных веществ выделялись в воздух в течение примерно 10 дней. Радиоактивное облако распространилось по всему Северному полушарию, и выпадения из него значительных количеств радиоактивных материалов на обширных территориях в бывшем Советском Союзе и некоторых других странах Европы привели к загрязнению земель, вод и биоты и создали чрезвычайно серьезные

социальные и экономические проблемы для больших групп населения в Беларуси, Российской Федерации и Украине⁵ (“три республики”). Два радионуклида, короткоживущий йод-131 (¹³¹I с периодом полураспада 8 дней) и долгоживущий цезий-137 (¹³⁷Cs с периодом полураспада 30 лет) внесли самый большой вклад в дозу излучения, полученную населением.

4. В бывшем Советском Союзе загрязнение свежего молока радионуклидом ¹³¹I и отсутствие немедленных мер защиты привели к большим дозам в щитовидной железе людей, особенно детей. В более долгосрочном плане, в основном из-за действия радиоцезия, население также подверглось внешнему облучению за счет радиоактивных выпадений и внутреннему – из-за употребления в пищу загрязненных продуктов. Однако, отчасти благодаря принятым мерам защиты, результирующие дозы радиации были сравнительно низкими (средняя дополнительная доза в 1986–2005 годах в “загрязненных зонах”⁶ трех республик была приблизительно равна дозе, получаемой при компьютерном томографическом (КТ) сканировании в медицине) и не должны привести к значительным последствиям для здоровья населения в целом, которые можно отнести на счет облучения в результате аварии. Даже в таком случае тяжелые последствия аварии в сочетании с радикальными политическими преобразованиями, происшедшими в Советском Союзе и новых республиках, имели значительный социальный и экономический эффект и стали суровым испытанием для затронутых групп населения.

A. Оценки, полученные ранее

5. Международное сообщество провело беспрецедентную работу для оценки масштаба и характера последствий облучения в результате аварии для здоровья человека. Уже в августе 1986 года в Вене было проведено международное “Совещание по анализу последствий аварии” с большим числом участников. Подготовленный в результате доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности (ИНСАГ) содержал небольшой по объему, но правильный по существу предварительный отчет об аварии и ее ожидаемых радиологических последствиях [I31]. В мае 1988 года на Международной конференции по медицинским аспектам аварии на Чернобыльской атомной электростанции [I32], которая проводилась в Киеве, была обобщена накопленная к тому времени информация, и был подтвержден вывод о том, что некоторые дети получили высокие дозы в щитовидной железе. В мае 1989 года ученые получили более полное представление о масштабе последствий аварии на специальном заседании, состоявшемся во время 38-й сессии НКДАР ООН [G15, K25]. В октябре

¹ Место аварии находится на севере территории современной Украины, примерно в 20 км к югу от границы с Беларусью и в 140 км к западу от границы с Российской Федерацией. Авария произошла 26 апреля 1986 года во время технических испытаний реактора блока № 4 в режиме малой мощности. Нештатная и нестабильная работа реактора, имевшего конструктивные недостатки, привела к неконтролируемому скачку мощности, в результате которого последовали паровые взрывы, серьезно повредившие здание реактора и полностью уничтожившие сам реактор [I7, I31].

² Термин “доза” в настоящем научном приложении используется в нескольких значениях: в общем смысле – для указания количества излучения, поглощенного в результате данного воздействия, и в двух конкретных смыслах – для указания либо физической величины – поглощенной дозы, либо величины, используемой в радиационной защите, – эффективной дозы. Единицей измерения поглощенной дозы является грей (Гр) (или соответствующие дольные единицы), а единицей измерения эффективной дозы – зиверт (Зв) (или соответствующие дольные единицы). В целом абсолютные значения дозы относятся к поглощенной дозе, если нет иного указания. Используются также понятия коллективной поглощенной дозы и коллективной эффективной дозы.

³ В экстренных аварийных работах в течение первых суток непосредственно на месте приняли участие около 600 человек, в том числе персонал станции, пожарные, сотрудники службы безопасности и персонал местного медицинского учреждения.

⁴ В 1986 и 1987 годах в работах по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской станции участвовали около 440 тыс. человек; значительное число ликвидаторов были привлечены к различным работам в 1988–1990 годах. Выполненные работы, в частности, включали сооружение саркофага над разрушенным реактором и дезактивацию зоны аварии и дорог. В настоящее время в специальных медицинских регистрах содержатся данные о состоянии здоровья более 500 тыс. ликвидаторов.

⁵ Во время аварии это были три советские социалистические республики в составе Советского Союза.

⁶ “Загрязненными зонами” в бывшем Советском Союзе условно признавались зоны, в которых уровни ¹³⁷Cs в почве превышали 37 кБк/м².

1989 года бывший Советский Союз официально обратился с просьбой о “международной экспертной оценке”, в результате чего в начале 1990 года был запущен Международный чернобыльский проект (МЧП) [15]; его выводы и рекомендации были представлены на Международной конференции, проводившейся в Вене 21–24 мая 1991 года [15]. Для более полного понимания последствий аварии и содействия их смягчению было выдвинуто много различных национальных и международных инициатив⁷. Результаты этих инициатив были представлены на Международной конференции “Десять лет после Чернобыля”⁸ в 1996 году [129]. В отношении масштаба и характера последствий аварии было достигнуто согласие в целом.

6. Комитет рассмотрел начальные радиологические последствия аварии в своем докладе НКДАР ООН за 1988 год [U7]. Краткосрочные последствия воздействия облучения и лечение радиационных поражений у работников и пожарных, находившихся на станции во время аварии, были рассмотрены в дополнении к приложению G “Ранние последствия высоких доз излучения для человека” доклада НКДАР ООН за 1988 год. Средние индивидуальные и коллективные дозы у населения Северного полушария были представлены в приложении D “Облучение вследствие чернобыльской аварии”.

7. В приложении J “Дозы и последствия облучения в результате чернобыльской аварии” к докладу НКДАР ООН за 2000 год [U3] дается подробное описание известных радиологических последствий аварии вплоть до 2000 года. В нем рассматривается информация о физических последствиях аварии, дозах радиации, полученных различными группами населения, ранних последствиях для здоровья аварийных работников, программах регистрации и мониторинга состояния здоровья и отдаленных последствиях аварии для здоровья человека.

8. Несмотря на общее согласие в международном научном сообществе относительно масштаба и характера последствий радиации для здоровья, которое отражено в докладе НКДАР ООН за 2000 год [U3], в общественном мнении в трех республиках все еще имели место значительные разногласия. Так, в 2003 году восемь организаций системы Организации Объеди-

⁷К числу наиболее важных многонациональных инициатив относятся следующие: ВОЗ запустила Международную программу по медицинским последствиям чернобыльской катастрофы (ПНЕСА), результаты которой обсуждались на Международной конференции ВОЗ, посвященной последствиям чернобыльской катастрофы и других радиационных аварий для здоровья человека, которая проводилась в Женеве 20–23 ноября 1995 года [W6]; Европейская комиссия (ЕК) поддержала многие научно-исследовательские проекты, касающиеся последствий аварии, результаты осуществления которых были обобщены на первой Международной конференции Европейского союза, Беларуси, Российской Федерации и Украины по вопросу о последствиях чернобыльской аварии, состоявшейся в Минске 18–22 марта 1996 года [E4]; и ЮНЕСКО поддержала ряд исследований в основном по психологическому воздействию [U20].

⁸Международная конференция по теме “Десять лет после Чернобыля: оценка последствий аварии”, которая состоялась в Вене в апреле 1996 года, была организована МАГАТЭ, ВОЗ и ЕК в сотрудничестве с ООН, ЮНЕСКО, НКДАР ООН, ФАО и Агентством по атомной энергии ОЭСР. Конференция проводилась под председательством федерального министра Германии по делам окружающей среды, охраны природы и безопасности ядерных реакторов А. Меркель. В ней приняли участие руководящие лица трех наиболее пострадавших государств (в том числе президент Беларуси, премьер-министр Украины и министр Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий), а также 845 ученых из 71 страны и 20 организаций.

ненных Наций⁹ (в том числе Комитет) и три республики организовали Чернобыльский форум для выработки “согласованных авторитетных заключений” о последствиях для экологии и здоровья людей, которые можно объяснить воздействием излучения, и для подготовки рекомендаций по таким вопросам, как восстановление окружающей среды, специальные программы в области здравоохранения, а также по вопросам исследовательской деятельности. Активно используя материалы доклада НКДАР ООН за 2000 год [U3], МАГАТЭ проводило оценку состояния окружающей среды, а ВОЗ оценивала состояние здоровья населения. Работа Форума была рассмотрена на Международной конференции “Чернобыль – Оглянуться назад, чтобы двигаться вперед: к достижению согласия между членами Организации Объединенных Наций по вопросу о последствиях аварии и перспективах”, состоявшейся в Вене 6–7 сентября 2005 года. В начале 2006 года были выпущены три подробных отчета [C22, I21, W5]. Чернобыльский форум, по сути, подтвердил все предшествующие оценки масштаба и характера последствий облучения для здоровья людей. Отчеты Форума использовались по необходимости при подготовке настоящего приложения.

9. Цель настоящего приложения – предоставить авторитетный и определенный анализ выявленных к настоящему времени последствий для здоровья людей, которые можно объяснить радиационным воздействием в результате аварии, и уточнить прогнозы потенциального риска с учетом уровней, тенденций и структуры доз у облученного населения. Комитет оценил новую информацию, полученную после выхода доклада за 2000 год, с целью определить, остаются ли в силе предположения, использовавшиеся ранее для оценки радиологических последствий. Кроме того, он признал, что некоторые вопросы заслуживают дальнейшего изучения и что ему необходимо продолжать работу над формированием научной основы для лучшего понимания последствий облучения в результате чернобыльской аварии для здоровья и окружающей среды. Рассмотренная информация включает характеристики и тенденции содержания долгоживущих радионуклидов в пищевых продуктах и в окружающей среде в целях уточнения оценок воздействия на соответствующие группы населения, а также результаты последних исследований состояния здоровья групп населения, подвергшихся облучению. Воздействие радиации на растения и животных после чернобыльской аварии рассматривается отдельно в приложении E “Воздействие ионизирующего излучения на биоту, за исключением людей”. Другие последствия аварии, в частности страдания и тревога людей, а также социально-экономические последствия рассматривались на Чернобыльском форуме [W5], но не входили в круг ведения Комитета.

10. В целом Комитет вырабатывает свои оценки на основе докладов, публикуемых в рецензируемой независимыми экспертами научной литературе, и информации, официально предоставляемой государствами по его запросам. Однако результаты многих исследований, связанных с чернобыльской аварией, были представлены на научных совещаниях без официального научного рецензирования независимыми экспертами. Комитет решил, что он будет использовать такую информацию только в тех случаях, когда сможет считать, что результаты и работа, в ходе которой они получены, являются надежными в научном и техническом отношении.

⁹ВОЗ, Всемирный банк, МАГАТЭ, НКДАР ООН, ПРООН, УКГВ, ФАО и ЮНЕП.

В. Структура настоящего научного приложения

11. Приложение включает основной текст и четыре вспомогательных дополнения. В основном тексте обобщаются физические аспекты и экологические последствия аварии, а также обновляются оценки доз у различных групп населения, подвергшихся облучению (в дополнениях А и В, соответственно, содержатся дополнительные подробности). Прежде чем рассмотреть результаты исследований состояния здоровья, в приложении обсуждаются некоторые трудности, касающиеся

отнесения последствий для здоровья людей на счет действия радиации. Далее в нем кратко рассматриваются ранние последствия для здоровья, обнаруженные среди аварийных работников (подробности приводятся в дополнении С). В разделе VI (подробности даны в дополнении D) рассматриваются теоретические прогнозы отдаленных последствий для здоровья и результаты фактических наблюдений, накопленных к настоящему времени, которые можно отнести на счет действия облучения вследствие аварии.

II. ФИЗИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

12. В данном разделе кратко рассматриваются физические и экологические аспекты аварии, при этом особое внимание уделяется тем аспектам, для которых получены новые данные и которые могут способствовать уточнению радиологических оценок. Более детальная информация приведена в дополнении А.

А. Выбросы и выпадение радионуклидов

13. В результате аварии в течение примерно 10 дней происходил выброс в атмосферу смеси радионуклидов. Большая часть радионуклидов, находящихся в составе выбросов в больших

количествах (в единицах активности), имели малый период полураспада; радионуклиды с большим периодом полураспада имелись в составе выбросов, как правило, в небольших количествах. Большинство новых оценок состава выбросов (таблица 1) близки к оценкам, представленным в докладе НКДАР ООН за 2000 год [U3], за исключением тугоплавких элементов, выброс которых в настоящее время оценен примерно на 50 процентов ниже [K13]. Однако эти уточнения носят академический характер и никак не влияют на оценку доз излучения, поскольку эта оценка основывается на прямых измерениях человека и окружающей среды.

Таблица 1. Основные радионуклиды в составе выбросов при аварии

Уточненные оценки выброшенной активности радионуклидов

Радионуклид	Период полураспада	Активность в выбросе (Пбк)
Инертные газы^a		
⁸⁵ Kr	10,72 года	33
¹³³ Xe	5,25 сут.	6 500
Летучие элементы^d		
^{129m} Te	33,6 сут.	240
¹³² Te	3,26 сут.	~1 150
¹³¹ I	8,04 сут.	~1 760 ^d
¹³³ I	20,8 ч	910
¹³⁴ Cs	2,06 года	~47 ^b
¹³⁶ Cs	13,1 сут.	36
¹³⁷ Cs	30,0 года	~85 ^e

^a По данным [D11, U3].

^b Исходя из отношения ¹³⁴Cs/¹³⁷Cs, равного 0,55 по состоянию на 26 апреля 1986 года [M8].

^c Исходя из выброса частиц топлива 1,5% [K13].

^d Для сравнения: глобальный выброс ¹³¹I при ядерных испытаниях в атмосфере составлял 675 000 Пбк [U3].

^e Для сравнения: глобальный выброс ¹³⁷Cs при ядерных испытаниях в атмосфере составлял 948 Пбк [U3].

Радионуклид	Период полураспада	Активность в выбросе (Пбк)
Элементы с промежуточной летучестью^a		
⁸⁹ Sr	50,5 сут.	~115
⁹⁰ Sr	29,12 года	~10
¹⁰³ Ru	39,3 сут.	>168
¹⁰⁶ Ru	368 сут.	>73
¹⁴⁰ Ba	12,7 сут.	240
Тугоплавкие элементы (включая частицы топлива)^c		
⁹⁵ Zr	64,0 сут.	84
⁹⁹ Mo	2,75 сут.	>72
¹⁴¹ Ce	32,5 сут.	84
¹⁴⁴ Ce	284 сут.	~50
²³⁹ Np	2,35 сут.	400
²³⁸ Pu	87,74 года	0,015
²³⁹ Pu	24 065 лет	0,013
²⁴⁰ Pu	6 537 лет	0,018
²⁴¹ Pu	14,4 года	~2,6
²⁴² Pu	376 000 лет	0,00004
²⁴² Cm	18,1 года	~0,4

14. Радиоактивные газы и частицы в составе выбросов сначала переносились ветрами в западном и северном направлениях, однако позже ветры имели все возможные направления (рисунок I) [B24, I21, U3]. Новых данных, по существу, нет, но продолжают исследования для уточнения характера рассеяния [T5, T6].

15. Радиоактивные вещества выпадали в основном с дождями на большой территории в границах трех республик и вне их пределов, образуя сложную картину. Из-за чрезвычайной ситуации и малого периода полураспада ^{131}I проведено лишь незначительное количество достоверных измерений о пространственном распределении выпавшего радиоактивного йода. Предпринимаются попытки восстановить картину выпадения ^{131}I с использованием измерений

долгоживущего ^{129}I в качестве аналога. Три основные зоны в бывшем Советском Союзе (общей площадью 150 тыс. км² с населением более 5 млн. человек) были классифицированы как “загрязненные” (рисунок II). Выпадениям радиоактивных материалов подверглись также большие территории в Европе за пределами бывшего Советского Союза (на площади 45 тыс. км² уровни выпадения ^{137}Cs составляли от 37 кБк/м² до 200 кБк/м²). Следовые концентрации радионуклидов можно было обнаружить практически во всех странах Северного полушария. По мере распада ^{137}Cs размер территории, определенной как загрязненная, будет постепенно уменьшаться, например с 23 процентов территории Беларуси в 1986 году до 16 процентов в 2016 году и 10 процентов в 2046 году [S23].

Рисунок I. Формирование шлейфов загрязнения в соответствии с метеорологическими условиями при мгновенных выбросах в указанные день и время (всемирное координированное время) [B24]

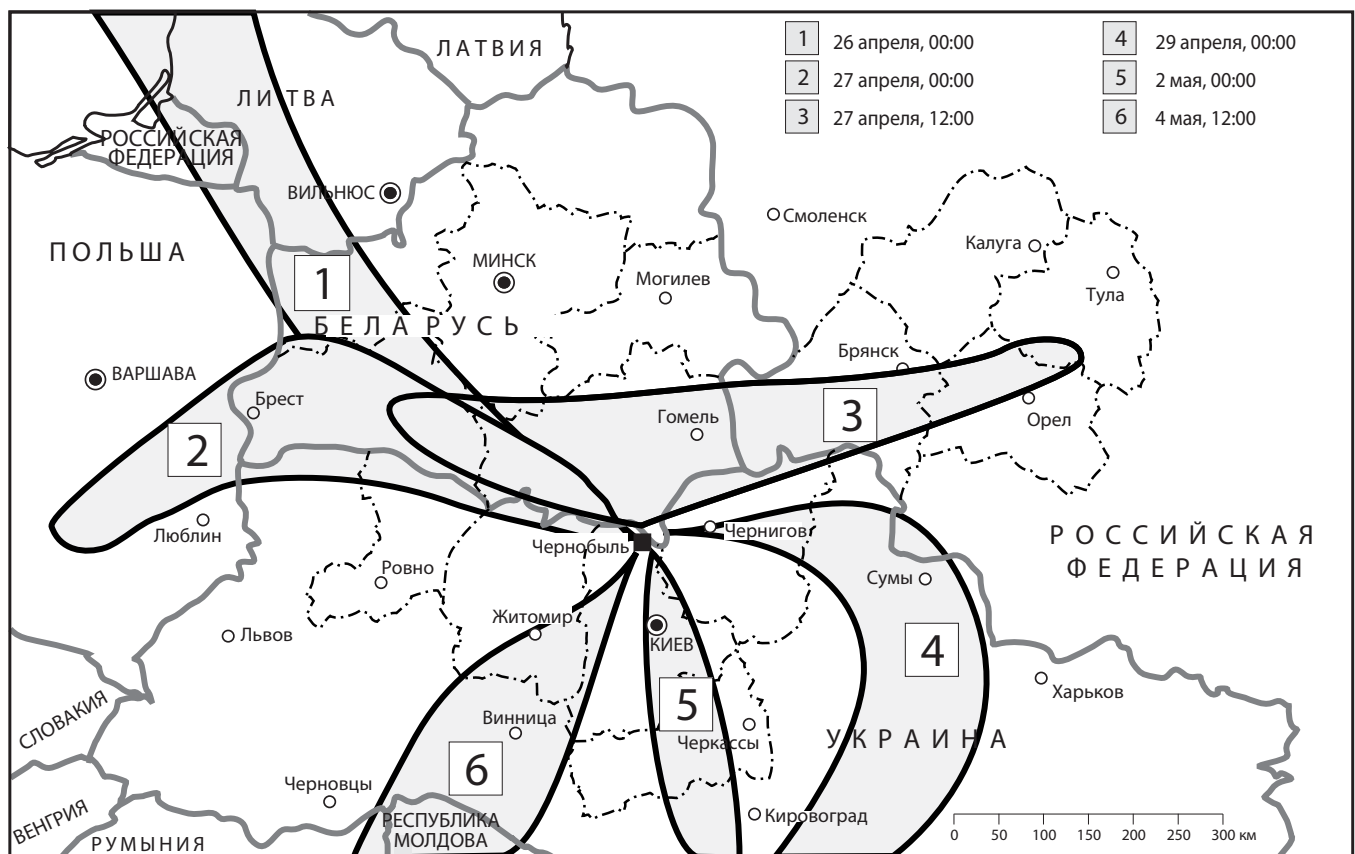
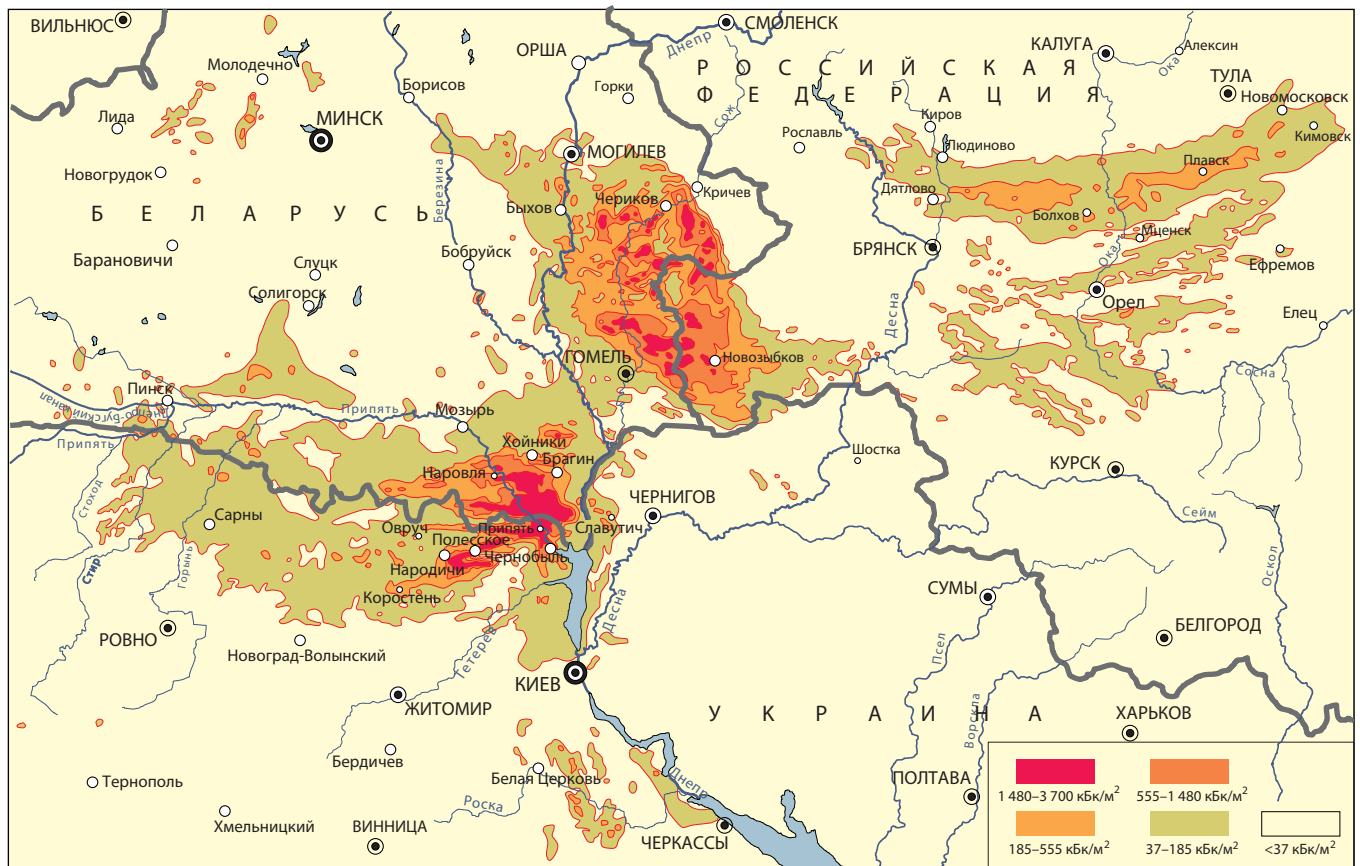


Рисунок II. Карта выпадения ^{137}Cs в Беларуси, Российской Федерации и Украине по состоянию на декабрь 1989 года [I28]

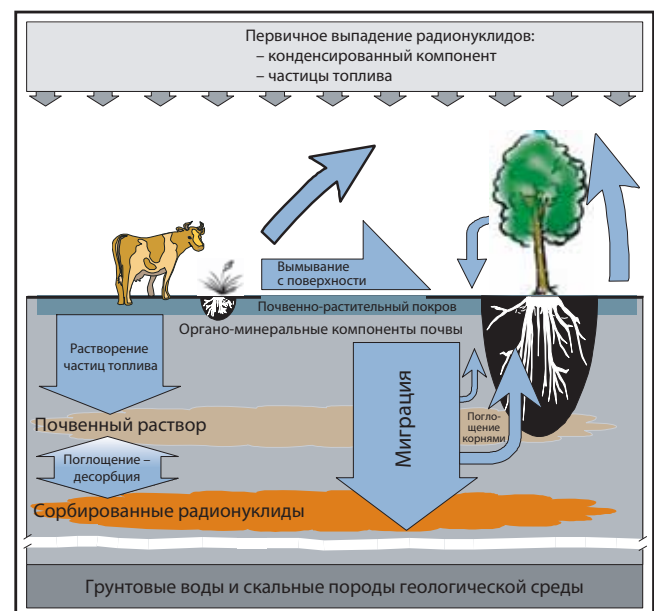
В. Перенос радионуклидов в окружающей среде

16. Основные пути переноса радионуклидов в наземной экосистеме проиллюстрированы на рисунке III. В случае короткоживущего ^{131}I основным путем, приводящим к облучению людей, стал перенос этого выпавшего радионуклида на траву пастбищ и далее в коровье молоко. В течение нескольких недель чрезвычайно высокие первоначальные концентрации упали до пренебрежимо малых из-за радиоактивного распада и других физических и биологических процессов.

17. Для долгоживущих радионуклидов, таких как ^{137}Cs , необходимо рассмотреть долговременные процессы переноса в окружающей среде. С середины 1986 года основную роль во внутреннем облучении играли ^{134}Cs и ^{137}Cs , содержащиеся в молоке и мясе. Содержание этих радионуклидов в пищевых продуктах зависело не только от распределения выпавших веществ, но и от таких факторов, как тип почвы и практика землепользования. В первые несколько лет произошло значительное снижение уровня радиоцезия в большинстве пищевых продуктов, причем его содержание в большинстве загрязненных зон упало ниже значений, рекомендованных Комиссией “Кодекс Алиментариус” [C12]. Однако с середины 1990-х годов темпы снижения замедлились. Как ожидается, дальнейшее снижение уровня радиоцезия в пищевых продуктах в последующие десятилетия будет происходить в основном за счет радиоактивного распада. В некоторых загрязненных районах жители, ведущие натуральное хозяйство и имеющие молочных коров, по-прежнему сталкиваются с проблемами. Поглощение и удержание ^{137}Cs

в полуприродных экосистемах были, как правило, намного выше, чем в сельскохозяйственных [H9], а скорость очищения лесных экосистем крайне низка. Среди пищевых продуктов самые высокие уровни радионуклидов по-прежнему отмечаются в грибах, ягодах, дичи и мясе северного оленя.

Рисунок III. Основные пути переноса радионуклидов в наземной среде [S13]



18. Уровни радионуклидов в реках и озерах непосредственно после аварии быстро падали, и в настоящее время они в целом очень низки в воде, используемой для питья и полива, хотя уровни радиоцезия в воде и рыбе некоторых непроточных озер падают очень медленно. Содержание радионуклидов в морской воде и морской рыбе намного ниже, чем в пресноводных системах.

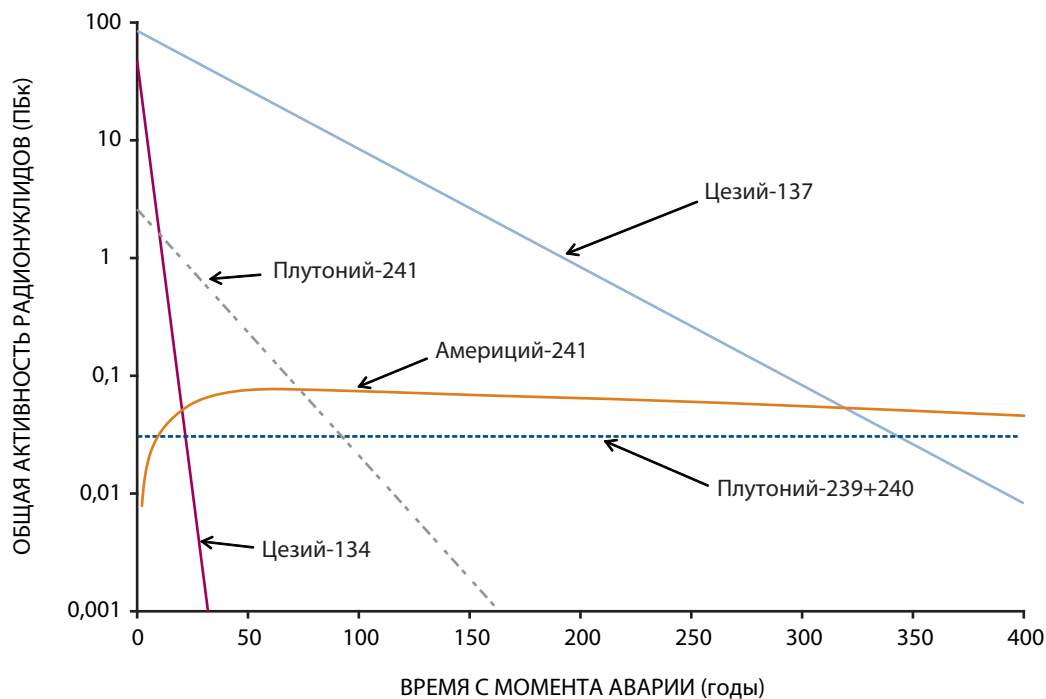
19. Радиоактивные выпадения в населенных пунктах также способствовали внешнему облучению жителей. Поведение выпавших радиоактивных веществ определялось в первое время видом выпадения (т. е. сухое или влажное) и особенностями населенных пунктов. Мощность дозы внешнего облучения падала со временем за счет радиоактивного распада и выветривания (например, уровень радиоцезия на асфальтированных поверхностях упал более чем на 90 процентов). В большинстве населенных пунктов мощность дозы упала до уровней,

предшествующих аварии, хотя над участками ненарушенной почвы все еще могут встречаться уровни, немного превышающие фоновые.

20. К 2008 году большинство выброшенных радионуклидов давно распались до пренебрежимо низких уровней. В последующие несколько десятилетий в плане облучения наиболее важным радионуклидом останется ^{137}Cs . В радиусе примерно 20 км от ЧАЭС выпали частицы ядерного топлива (так называемые “горячие” частицы) с высоким содержанием радионуклидов, в том числе изотопов стронция и плутония. Эти частицы медленно распадаются и в течение следующих 10–20 лет будут выделять ^{90}Sr [F4, K14]. В долгосрочном плане единственной остаточной радиоактивностью в этих частицах будут микроколичества долгоживущих радионуклидов, таких как изотопы плутония и ^{241}Am (рисунок IV).

Рисунок IV. Общее количество различных долгоживущих радионуклидов в окружающей среде как функция времени с момента аварии

Америций-241 – это единственный из радионуклидов, у которого наблюдается рост активности со временем за счет его образования при распаде ^{241}Pu . Общая активность ^{241}Am в окружающей среде достигнет максимума в 2058 году, после чего начнет постепенно снижаться. Это пиковое значение невелико по сравнению с первичными уровнями ^{241}Pu . Со временем ^{241}Am будет наиболее существенным из оставшихся радионуклидов, хотя и с незначительной активностью.



С. Экологические контрмеры

21. В связи с неопределенностью в отношении будущих выбросов и погодных условий, а также из-за сравнительно высокой мощности дозы органы власти в первые несколько дней после начала аварии эвакуировали ближайший город Припять, а вскоре после этого – и окружающие его населенные пункты (всего в 1986 году было эвакуировано 115 тыс. человек). Впоследствии было дополнительно переселено 220 тыс. человек. Была также проведена дезактивация населенных пунктов во многих районах бывшего Советского Союза для снижения уровня длительного облучения населения.

22. В первые несколько недель контроль за кормами для скота и производством молока (в частности, запрет на употребление свежего молока) помог бы значительно снизить дозы в щитовидной железе от радиоактивного йода, особенно в бывшем Советском Союзе, где эти дозы были высоки. Однако реализация этих мер в бывшем Советском Союзе была неэффективной из-за отсутствия своевременных рекомендаций, особенно для частных хозяйств. Многие европейские страны изменили методы ведения сельского хозяйства и/или исключили определенные продукты, в частности свежее молоко, из системы поставок, а в Польше была оперативно проведена йодная профилактика; в целом принятые меры позволили снизить дозы в щитовидной железе в этих странах до пренебрежимо малых уровней.

23. На протяжении месяцев и лет после аварии власти бывшего Советского Союза применили широкий набор мер для ликвидации последствий с использованием значительных людских, экономических и научных ресурсов. Это позволило снизить уровни долговременного облучения долгоживущими радионуклидами, особенно радиоцезием. В первые несколько лет значительные количества пищевых продуктов были исключены из потребления людьми в связи с опасностью высокого содержания радиоцезия, особенно в молоке и мясе. Кроме того, была проведена обработка пастбищ и организовано снабжение животноводческих хозяйств чистыми кормами и веществами, связывающими цезий, что привело к значительному снижению доз.

24. В дополнение к этому были приняты меры для снижения облучения из-за проживания и работы в лесах и использования продуктов леса. К таким мерам относились ограничение доступа, ограничения промысла продуктов леса, в частности дичи, ягод и грибов, ограничения заготовки дров и изменение правил охоты.

25. Оперативное ограничение использования воды для питья и переход на альтернативные источники водоснабжения позволили снизить дозы внутреннего облучения от водных объектов в первоначальный период. Полезным оказалось также введение ограничений на потребление пресноводных рыб из некоторых озер в Скандинавии и Германии. Другие меры, рассчитанные на снижение переноса радионуклидов из почвы в водные системы, обычно оказывались неэффективными.

III. ДОЗЫ ИЗЛУЧЕНИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ РАЗНЫМИ ГРУППАМИ НАСЕЛЕНИЯ

26. При первых оценках полученных населением доз излучения, основанных на имевшихся в то время данных измерений, обычно использовались осторожные предположения относительно принятых мер защиты и соответствующих экологических и дозиметрических параметров. В результате в целом оценки доз были завышенными. Позднее для совершенствования моделей и повышения точности оценок доз использовались опыт широкого применения мер защиты и большие объемы полученных в дальнейшем данных измерений. В дополнении В подробно описаны новейшие методы оценки доз и полученные результаты, основанные на более чем 20-летнем опыте и данных измерений.

27. По сравнению с докладом НКДАР ООН за 2000 год [U3]: *a)* обновлены оценки доз для большего числа ликвидаторов из Беларуси, России и Украины (510 тыс. вместо 380 тыс. человек), а также представлена новая информация для ликвидаторов из Латвии, Литвы и Эстонии; *b)* уточнены оценки доз в щитовидной железе для эвакуированных жителей Беларуси и Украины, а для эвакуированных жителей России представлена новая информация; *c)* оценки доз в щитовидной железе и эффективных доз были распространены с 5 млн. на 100 млн. жителей трех республик; и *d)* обновлены оценки доз в щитовидной железе и эффективных доз для жителей других европейских стран.

28. Дозы в щитовидной железе выражаются в величине “поглощенной дозы” в греях (Гр), а дозы во всем теле за счет внешнего и внутреннего облучения выражаются применяемой в радиационной защите взвешенной величиной “эффективной дозы” в зивертах (Зв). Для сравнения, средняя годовая эффективная доза за счет естественной фоновой радиации составляет 2,4 мЗв, в то время как типичная эффективная доза, получаемая при медицинской компьютерной томографии, составляет порядка 10 мЗв.

29. Уточненные оценки средних индивидуальных и коллективных доз, полученных разными группами населения в результате чернобыльской аварии, обобщены в таблице 2. В связи с тем что йод накапливается в щитовидной железе, поглощенные дозы в ней в первые несколько недель после аварии для части населения, потреблявшей свежее молоко, содержащее ^{131}I , намного превышали дозы за счет естественных источников излучения; это было особенно актуально для младенцев и детей, потребляющих относительно больше молока, чем взрослые. В отличие от йода, цезий, который химически подобен калию, более равномерно распределяется по телу; в связи с этим эффективная доза, обусловленная аварией, сопоставима или даже немного меньше, чем доза, получаемая за счет естественной фоновой радиации.

Таблица 2. Сводка уточненных оценок доз для основных групп населения, подвергшихся облучению

Группа населения	Размер группы (тыс.)	Средняя доза на щитовидную железу, 1986 год (мГр)	Средняя эффективная доза, 1986–2005 годы (мЗв)	Коллективная доза на щитовидную железу, 1986 год (чел.-Гр)	Коллективная эффективная доза, 1986–2005 годы (чел.-Зв)
Ликвидаторы	530	— ^a	117 ^b	—	61 200
Эвакуированные	115	490	31 ^c	57 000	3 600
Жители загрязненных территорий ^d Беларуси, России и Украины	6 400	102	9 ^{c,e}	650 000	58 900
Жители Беларуси, Российской Федерации и Украины	98 000	16	1,3 ^{c,e}	1 600 000	125 000 ^e
Жители отдаленных стран ^f	500 000	1.3	0,3 ^{c,e}	660 000	130 000 ^e

^a Значения дозы в щитовидной железе имеются только для очень небольшого числа работников; для всей группы невозможно дать достоверное среднее.

^b Оценки эффективной дозы у работников включают только дозу за счет внешнего облучения, полученного в основном с 1986 до конца 1990 года. Предполагается, что зарегистрированная доза в мГр численно равняется эффективной дозе в мЗв.

^c Оценки эффективной дозы представляют собой сумму вкладов внешнего и внутреннего облучения, за исключением дозы на щитовидную железу.

^d Загрязненными территориями в бывшем Советском Союзе условно признавались территории, в которых уровни ¹³⁷Cs в почве превышали 37 кБк/м².

^e Общая доза будет продолжать расти и за все время жизни может увеличиться примерно на 25 процентов.

^f Все европейские страны, за исключением трех республик, Турции, кавказских стран, Андорры и Сан-Марино.

А. Дозы, полученные работниками, участвовавшими в ликвидации аварии и восстановительных работах

30. Средняя эффективная доза, полученная работниками, участвовавшими в ликвидации аварии в период между 1986 и 1990 годами, в основном за счет внешнего облучения, оценивается сейчас примерно в 120 мЗв. Зарегистрированные дозы, полученные работниками, изменялись в интервале от менее 10 мЗв до более 1000 мЗв, хотя около 85 процентов зарегистрированных доз находились в диапазоне 20–500 мЗв. Неопределенность в оценках индивидуальных доз варьируется от менее чем 50 процентов до 5 раз, причем есть предположение, что оценки для военнослужащих имеют систематическое завышение.

31. Коллективная эффективная доза у 530 тыс. ликвидаторов оценивается примерно в 60 тыс. чел.-Зв. Однако она может оказаться завышенной, поскольку при расчетах некоторых зарегистрированных доз, по-видимому, использовались консервативные предположения.

32. Для надежной оценки средней дозы на щитовидную железу у ликвидаторов имеющейся информации недостаточно.

В. Дозы у населения

33. Высокие дозы в щитовидной железе среди населения связаны почти исключительно с употреблением свежего молока, содержащего ¹³¹I, в первые несколько недель после аварии. На рисунке V представлены оценки средней дозы в щитовидной железе у детей и подростков в 1986 году. Средняя доза в щитовидной железе для эвакуированных, по оценкам, составила около 500 мГр (при этом индивидуальные значения колебались от менее чем 50 мГр до более чем 5 тыс. мГр). Для более чем 6 млн. жителей загрязненных территорий бывшего Советского Союза (т. е. с уровнями ¹³⁷Cs более 37 кБк/м²), которые не были эвакуированы, средняя доза на щитовидную железу составляла примерно 100 мГр, а примерно для 0,7 процента из них дозы на щитовидную железу превышали 1000 мГр. Средняя доза на щитовидную железу детей дошкольного возраста была примерно в 2–4 раза больше, чем средняя доза для всего населения. У 98 млн. жителей всей Беларуси и Украины и 19 областей Российской Федерации, в том числе

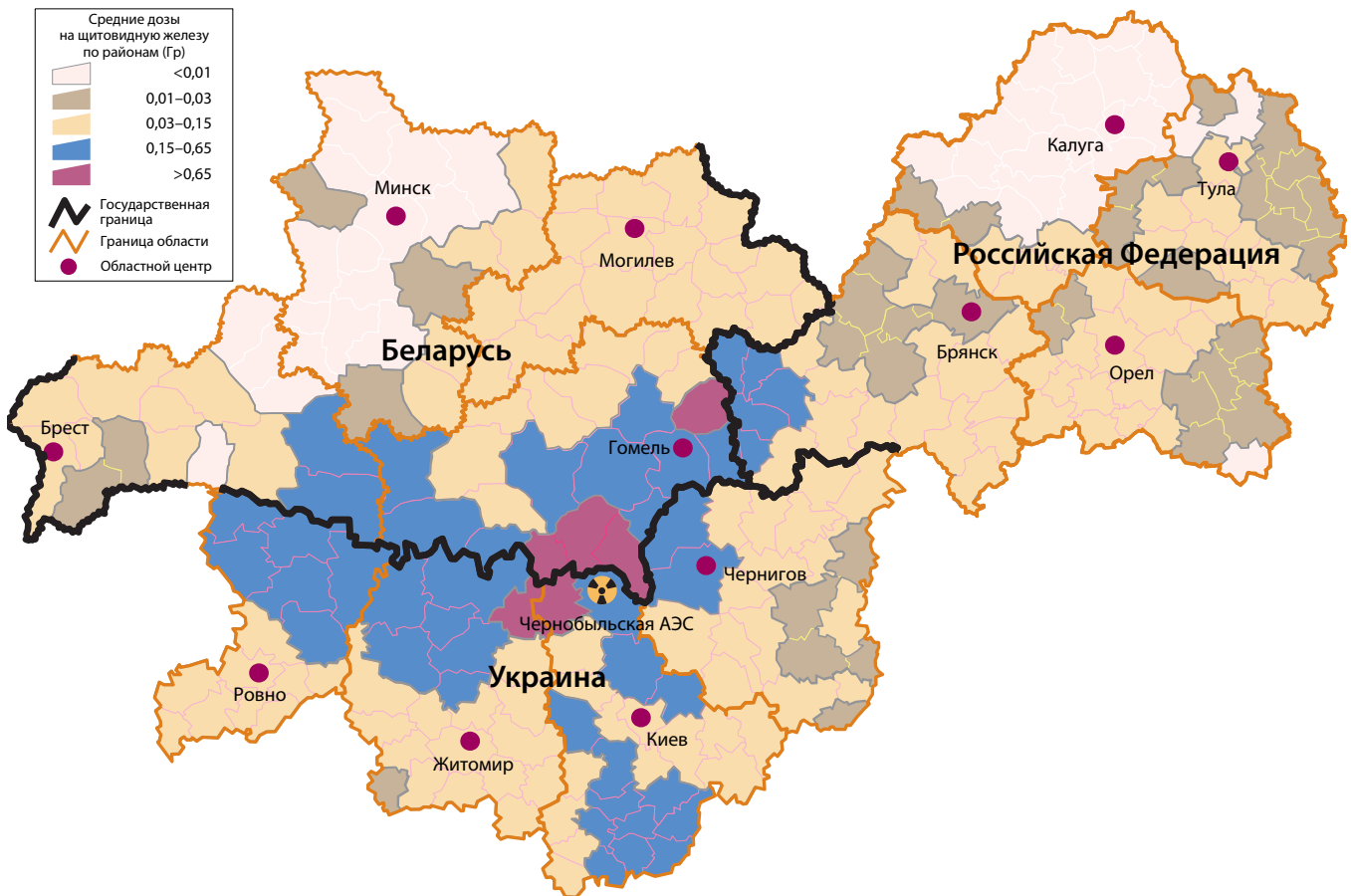
загрязненных зон, средняя доза на щитовидную железу была намного ниже и составляла около 20 мГр; большинство (около 93 процентов) получили дозы на щитовидную железу менее 50 мГр. Средняя доза на щитовидную железу для жителей остальных европейских стран составила около 1,3 мГр.

34. Коллективная доза на щитовидную железу для 98 млн. жителей бывшего Советского Союза составила примерно 1600 тыс. чел.-Гр. На уровне стран коллективная доза на щитовидную железу наибольшая в Украине, где доза в 960 тыс. чел.-Гр была распределена среди населения в 51 млн. человек, хотя средняя доза на щитовидную железу в Украине примерно в 3 раза ниже, чем в Беларуси. На региональном уровне наибольшая коллективная доза на щитовидную железу отмечена в Гомельской области, где коллективная доза на щитовидную железу примерно в 320 тыс. чел.-Гр была распределена среди 1,6 млн. человек, что соответствовало средней дозе на щитовидную железу около 200 мГр.

35. Что касается дозы во всем теле, то 6 млн. жителей территорий бывшего Советского Союза, признанных загрязненными, получили среднюю эффективную дозу за период 1986–2005 годов в размере около 9 мЗв, а для 98 млн. человек, рассматриваемых в трех республиках, средняя эффективная доза составила 1,3 мЗв, причем треть этой дозы была получена в 1986 году. Это соответствует незначительному приросту по сравнению с дозой, полученной за счет фоновой радиации за тот же период (~ 50 мЗв). Около трех четвертей дозы связано с внешним облучением, а остальное – с внутренним.

36. Около 80 процентов эффективной дозы за время жизни получено к 2005 году. За этот 20-летний период около 70 процентов населения получили эффективные дозы менее 1 мЗв, а около 20 процентов получили эффективные дозы от 1 до 2 мЗв. Однако около 150 тыс. человек, проживающих на загрязненной территории, получили за 20-летний период эффективную дозу свыше 50 мЗв. Для примерно 500 млн. человек в остальных странах Европы средняя эффективная доза за этот период оценивалась в 0,3 мЗв. Коллективная эффективная доза оценивается приблизительно в 125 тыс. чел.-Зв для объединенного населения Беларуси, Украины и соответствующих частей Российской Федерации и приблизительно в 130 тыс. чел.-Зв для населения в остальных частях Европы.

Рисунок V. Оценки средних доз на щитовидную железу детей и подростков, проживавших в момент катастрофы в наиболее пострадавших районах Беларуси, Российской Федерации и Украины [K8, L4, R6, Z4]



IV. ОТНЕСЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЛЮДЕЙ НА СЧЕТ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ

A. Общие соображения

37. Среди населения, средств массовой информации, органов власти и даже ученых широко распространено непонимание относительно масштаба и характера воздействия чернобыльской аварии на здоровье людей. Это было связано отчасти с недостаточным пониманием трех аспектов: *a)* природы детерминированных эффектов облучения в отличие от стохастических; *b)* отнесения последствий для здоровья отдельных лиц и популяции на счет действия радиации; и *c)* теоретических прогнозов последствий облучения в отличие от фактических наблюдений. Цель данного раздела состоит в прояснении первых двух вопросов. Третий вопрос рассматривается в разделе VI.B.

38. Последствия облучения делятся на два основных класса: детерминированные эффекты, при которых последствия всегда наступают при определенных условиях (например, люди, подвергшиеся облучению в несколько греев в течение короткого периода времени, непременно станут жертвой ОЛБ), и стохастические эффекты, при которых последствия могут проя-

виться или не проявиться (например, увеличение дозы может вызвать или не вызвать рак у конкретного человека, но если достаточно большая группа населения подвергнется воздействию облучения сверх определенного уровня, то в этой группе населения может регистрироваться увеличение заболеваемости¹⁰ раком).

39. Атрибуция – это процесс отнесения эффекта к определенной причине. Если облучение является не единственной известной причиной определенных последствий, можно лишь приписать какую-то вероятность тому факту, что данные последствия вызваны облучением. На практике атрибуция, полная или частичная, определенных последствий к воздействию излучения включает рассмотрение вопроса о том, могут

¹⁰ Термин “заболеваемость” в настоящем приложении имеет два значения: в общем смысле, часто для отличия заболеваемости раком от смертности от него, и в конкретном смысле, когда заболеваемость той или иной болезнью означает число заболевших данной болезнью за определенный период времени (обычно год). Показатель заболеваемости представляет собой это число, деленное на численность определенной группы населения (см. пункт 4 приложения А к документу [U1]).

ли такие последствия быть вызваны другими причинами, и анализ таких факторов, как природа воздействия, обстоятельства, при которых оно произошло, а также клиническое развитие наблюдаемых медицинских последствий. Несмотря на наличие обширной научной литературы, которая может помочь при атрибуции, каждое из последствий должно рассматриваться в зависимости от конкретной ситуации, причем каждому суждению будет соответствовать различная степень достоверности.

В. Детерминированные эффекты

40. Отнесение наблюдаемых детерминированных эффектов на счет радиационного воздействия требует, по меньшей мере, предположения, что полученное облучение превысило некоторый пороговый уровень, обычно порядка одного грея или более. Такой подход требует также наблюдения специфического набора клинических или лабораторных данных в определенной временной последовательности. Острая лучевая болезнь представляет собой хороший пример детерминированного эффекта, который сравнительно легко отнести на счет радиационного воздействия, поскольку наблюдаемые признаки и симптомы (например, подавление кроветворения в костном мозге с сопутствующей инфекцией и кровоизлияниями, а также высокая частота хромосомных aberrаций в периферической крови) трудно объяснить другими причинами. Хотя постановка диагноза связана с серьезными трудностями, опытный патолог должен уметь устанавливать связь наблюдаемых признаков и симптомов с воздействием радиации [16].

41. Существуют детерминированные эффекты, такие как катаракта, для которых радиационное воздействие не является единственно возможной причиной. Если такие эффекты наблюдаются (обычно спустя некоторое время после высоких уровней облучения) при отсутствии явных признаков, указывающих на их связь с радиационным воздействием, невозможно однозначно отнести этот эффект на счет радиации; можно говорить лишь о вероятности того, что радиация была единственной или частичной причиной.

С. Стохастические эффекты

42. Главным стохастическим эффектом радиации, обнаруженным в популяциях человека (наследственные эффекты наблюдались только среди популяций животных, получивших сравнительно высокие дозы радиации, хотя предполагается, что они имеют место и у людей), являются онкологические заболевания. Отсутствие в настоящее время признаков, позволяющих отличить опухоли, вызванные радиацией, от других опухолей, делает принципиально невозможным однозначное отнесение конкретного случая заболевания раком на счет облучения. С другой стороны, если среди населения, подвергшегося облучению, наблюдается повышение частоты онкологических заболеваний по сравнению с аналогичной частотой среди населения, не подвергшегося облучению, с согласованным подбором по возрасту, полу, генетической предрасположенности, образу жизни и другим важным факторам, и если наблюдаемое уве-

личение не противоречит имеющейся базе знаний, накопленной по наблюдениям над другими группами населения, подвергшимся облучению, можно отнести это увеличение заболеваемости на счет радиации, особенно если можно установить зависимость частоты случаев заболевания от дозы. Эпидемиологические исследования должны иметь достаточную статистическую мощность, для того чтобы установить наличие стохастических эффектов и, следовательно, возможности их отнесения на счет радиации; величина дозы, ниже которой принципиально невозможно выявить такие эффекты, зависит от численности исследуемого населения.

43. К факторам, которые следует учитывать при проверке соответствия существующим базам знаний об онкологических заболеваниях, вызванных радиацией, относятся: вид опухоли, время появления, возраст пациента в момент облучения и доза излучения. Вид опухоли имеет большое значение в связи с тем, что некоторые конкретные опухоли обычно очень редко встречаются у определенных групп населения (например, рак щитовидной железы обычно крайне редок у детей). В таких случаях увеличение частоты появления опухоли после воздействия радиации может быть намного более показательным, чем в случаях, когда они достаточно широко распространены. Кроме того, некоторые ткани более чувствительны к радиации, чем другие (например, в детском возрасте, когда щитовидная железа особенно активна, она проявляет высокую чувствительность к воздействию радиации).

44. Даже для рака щитовидной железы, возникающего после чернобыльской аварии, вероятность того, что болезнь вызвана воздействием радиации, может значительно меняться от человека к человеку. Для ребенка, у которого рак щитовидной железы развился через несколько лет после аварии и который в то время, по всей видимости, получил высокую дозу на щитовидную железу, вероятность того, что болезнь вызвана воздействием радиации, может быть сравнительно высока. Однако для взрослого человека, у которого рак щитовидной железы развился через несколько месяцев после аварии, вероятность того, что причиной этого была радиация, будет весьма низкой, поскольку щитовидная железа взрослого человека считается очень устойчивой к появлению опухоли под воздействием радиации, причем опухоль возникла слишком быстро по сравнению с известным минимальным латентным периодом между облучением и появлением рака.

D. Психологическая травма и другие связанные с этим эффекты

45. Как детерминированные, так и стохастические эффекты имеют биологическую основу, связанную с дозой радиации, т. е. с ионизирующим излучением, доставляющим энергию в ткань. Однако в случае чернобыльской аварии известны масштабные эффекты, не связанные с дозой излучения. К ним относятся последствия, связанные с беспокойством относительно будущего и угнетенным состоянием, а также любыми вытекающими отсюда изменениями в диете, курении, потреблении алкоголя и других факторов образа жизни, которые, по

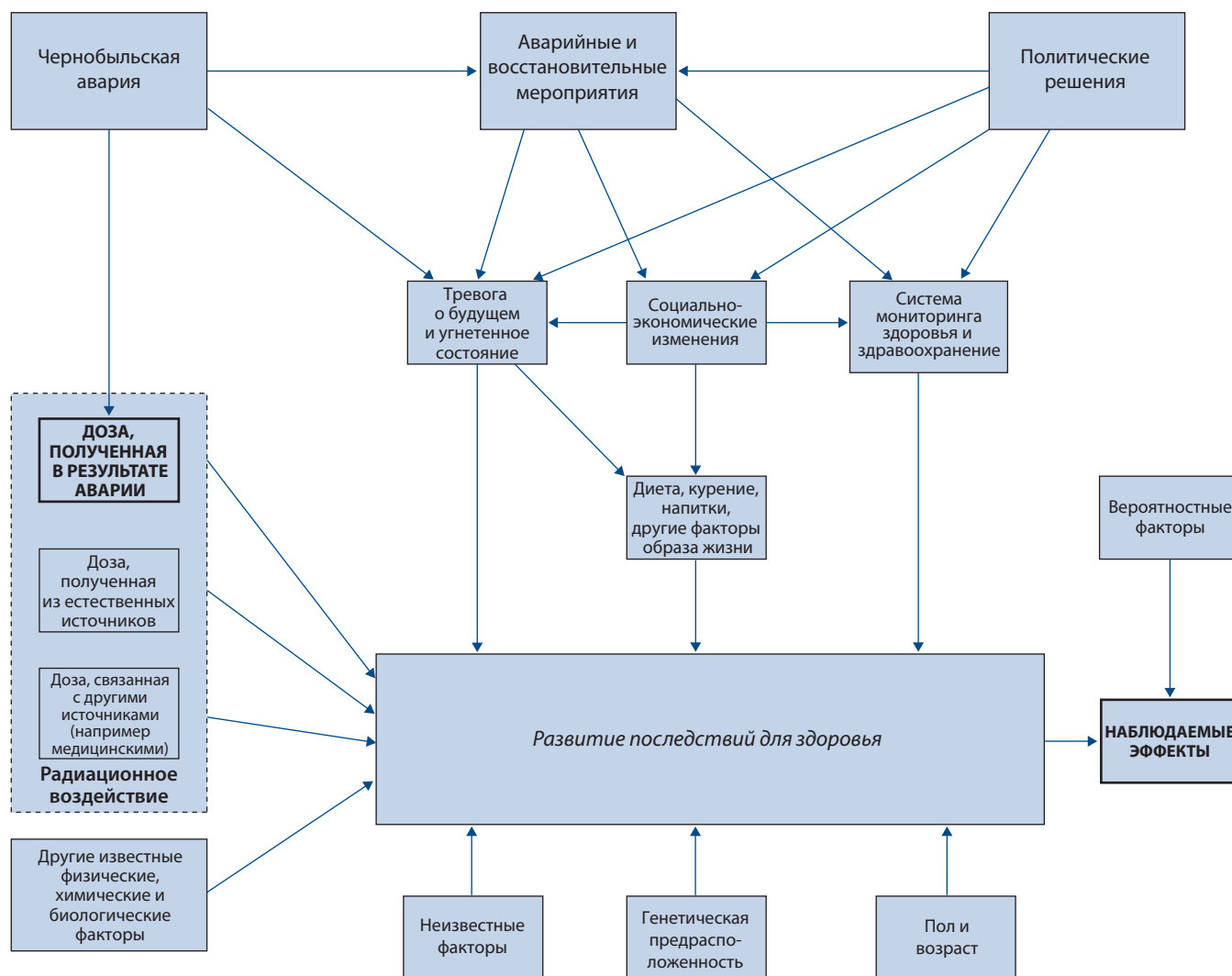
сути, не связаны с реальным радиационным воздействием [U3]. На рисунке VI схематически проиллюстрированы некоторые из факторов, которые могут влиять на обнаружение медицинских последствий аварии.

46. На Чернобыльском форуме [W5] был сделан вывод о том, что, в отличие от контрольных групп, среди групп населения, подвергшихся облучению, отмечались симптомы стресса, повышенные уровни депрессии и беспокойства (в том числе симптомы посттравматического стресса), а также физические симптомы, необъяснимые с точки зрения медицины. В большинстве случаев эти условия были субклиническими и не удовлетворяли критериям их классификации в качестве психических расстройств. Однако такие субклинические симптомы оказывали большое влияние на поведение, например на диету, курение, употребление алкоголя и другие факторы, связанные с образом жизни. Экспертная группа “Здоровье” Чернобыльского форума пришла к заключению, что она не могла с опре-

деленностью разделить причины такого рода эффектов между боязнью радиации, проблемами, связанными с недоверием к государству, недостаточным информированием, распадом Советского Союза, экономическими проблемами и другими факторами. Тем не менее очевидно, что значительная часть последствий может объясняться чернобыльской аварией, если не непосредственно радиационным воздействием.

47. В заключение отметим, что последствия чернобыльской аварии многочисленны и разнообразны. Ранние детерминированные эффекты с большой степенью определенности можно отнести на счет радиации, в то время как для других медицинских случаев причина почти наверняка заключается не в радиации. Существует также широкий спектр промежуточных условий. Прежде чем определять причину, необходимо тщательно оценить все конкретные условия и сопутствующие обстоятельства.

Рисунок VI. Схематическая иллюстрация некоторых факторов, способных влиять на наблюдаемые последствия для здоровья



V. РАННИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ

A. Острая лучевая болезнь у аварийных работников

48. Первые данные о ранних тяжелых последствиях для здоровья, вызванных воздействием высоких кратковременных уровней радиации, были представлены международному сообществу в августе 1986 года [I31]. Анализ клинических данных был представлен в дополнении к приложению G “Ранние последствия высоких доз излучения для человека” доклада НКДАР ООН за 1988 год [U7]. Обновленная информация о ранних последствиях для здоровья среди работников аварийных бригад была опубликована в приложении J “Дозы и последствия облучения в результате чернобыльской аварии” доклада НКДАР ООН за 2000 год [U3]. Новых существенных данных о ранних последствиях для здоровья нет, поэтому здесь информация лишь кратко повторяется (более подробная информация представлена в дополнении C).

49. Первоначально на наличие симптомов ОЛБ было обследовано в общей сложности 237 аварийных работников. В течение нескольких дней ОЛБ была подтверждена у 104 человек из их числа, а позднее еще у 30. Из этих 134 пациентов в течение первых четырех месяцев умерли 28 человек, смерть которых

непосредственно связана с высокими дозами излучения (двое других работников умерли от травм, не связанных с воздействием радиации, непосредственно после аварии). На рисунке VII представлены данные о пациентах с ОЛБ.

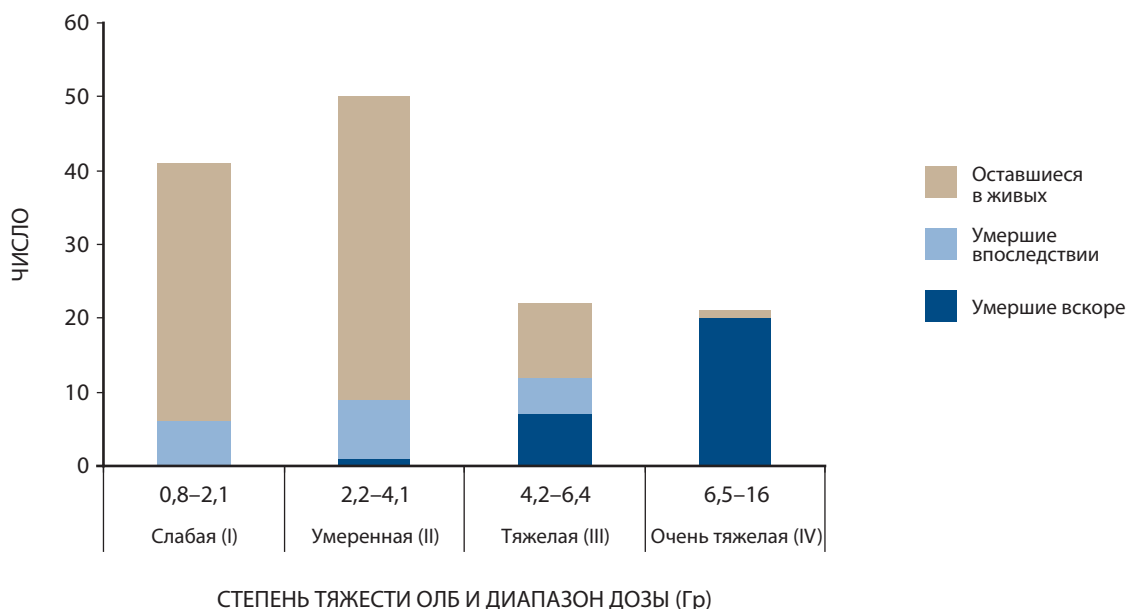
50. Преобладающее воздействие было связано с внешним облучением всего тела при высокой мощности дозы и бета-облучением кожи. Внутреннее загрязнение было сравнительно небольшим, а облучение нейтронами – пренебрежимо малым.

51. Нарушения в функционировании костного мозга, вызванные внешним облучением всего тела, были основной причиной всех летальных исходов в первые два месяца. Пересадка костного мозга была проведена у 13 пациентов, 12 из которых умерли, при этом в 3 случаях летальный исход может быть частично связан с неудачной трансплантацией. Все пациенты с костно-мозговым синдромом III–IV степени обычно также имели серьезные поражения кожи, вызванные облучением, и требовали непрерывного интенсивного ухода с привлечением высококвалифицированного персонала.

52. Дозы в коже превышали дозы в костном мозгу в 10–30 раз, а многие пациенты с ОЛБ получили дозы в коже в диа-

Рисунок VII. Последствия для пациентов с ОЛБ

Хотя на рисунке показано количество последующих летальных исходов для каждой категории ОЛБ, большинство случаев не объясняются воздействием радиации



пазоне 400–500 Гр. Радиационные поражения кожи усугубляли воздействие других факторов. Считается, что радиационные ожоги кожи сыграли основную роль по крайней мере в 19 летальных исходах и значительно повысили тяжесть ОЛБ, особенно в случаях, когда ожоги превышали 50 процентов поверхности тела и приводили к тяжелым инфекциям. Несколько пациентов, кожа которых не заживала в течение 50–60 дней, подверглись операциям по пересадке кожи. Кроме того, у одного из пациентов спустя более чем 200 дней после аварии была ампутирована нога; желудочно-кишечный синдром отмечался у 15 пациентов, а радиационный пневмонит – у 8 пациентов.

VI. ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ

A. Фактические данные

55. Комитет решил в данном приложении сосредоточиться на вопросах заболеваемости раком щитовидной железы, лейкемией, всеми видами солидного рака в целом, смертности от сердечно-сосудистых заболеваний, развития катаракты и аутоиммунных тиреоидитов. Такое решение связано с возможной чувствительностью этих последствий к радиации и с тем, что, по мнению Комитета, объем новых данных в других областях недостаточен, для того чтобы рассчитывать на изменения в выводах, сделанных в докладе НКДАР ООН за 2000 год [У3]. Более подробный обзор различных проведенных исследований дается в дополнении D.

56. Если то или иное эмпирическое эпидемиологическое исследование дает свидетельства повышения частоты потенциально радиогенной болезни, сохраняется необходимость рассмотреть вопрос отнесения этого эффекта на счет радиации. Необходимо подробно рассмотреть факторы, способные исказить результат или вызвать систематическую ошибку, такие как промышленное загрязнение, характеристики окружающей среды (например, содержание стабильного йода в почве), образ жизни (например, курение и употребление алкоголя), репродуктивная история, совершенствование средств диагностики, а также повышенное внимание медиков к населению, пострадавшему от аварии.

57. Систематическая ошибка как в ходе скрининга, так и при подозрении на диагноз может иметь место при исследовании аварийных работников и ликвидаторов, которых ежегодно обследуют на предмет выявления различных заболеваний и у которых поэтому имеется более высокая вероятность обнаружения опухолей небольшого размера. Тенденции в уровнях заболеваемости в группах аварийных работников и ликвидаторов будут информативными с научной точки зрения, только если при постановке диагноза в течение всего анализируемого периода использовались одни и те же методы, вне зависимости от индивидуального уровня облучения. В целом при интерпретации результатов исследований групп населения, подвергшихся облучению после чернобыльской аварии, следует учитывать изменение со временем методов выявления заболеваний и определенную вероятность различий в частоте скрининга для различных групп населения.

53. Несомненно, первые 28 случаев смерти и клинические данные о других 106 пациентах с ОЛБ объясняются воздействием радиации в результате аварии.

B. Население

54. Среди обычного населения (как эвакуированного, так и неэвакуированного) случаев ОЛБ не было. Это согласуется с оценками радиационного воздействия, которые показывают, что дозы излучения во всем теле у обычного населения были намного ниже, чем хорошо известные дозовые пороги для ОЛБ.

1. Отдаленные последствия для здоровья у лиц, перенесших ОЛБ

58. В своем докладе за 2000 год [У3] Комитет обобщил наблюдения, сделанные в процессе лечения работников, ставших жертвой ОЛБ. Среди пациентов, перенесших ОЛБ III и IV степени, кроветворение восстанавливалось в течение нескольких месяцев; однако восстановление иммунной системы занимало по крайней мере полгода, а полная нормализация – несколько лет. Важными и постоянно существующими проблемами для перенесших ОЛБ являются катаракты и образование рубцов и язв. В период с 1990 по 1996 год 15 человек, перенесших ОЛБ и имевших обширные поражения кожи, подверглись хирургическим операциям. Большинство перенесших ОЛБ страдали от функциональных половых расстройств вплоть до 1996 года; однако в течение первых пяти лет после аварии в семьях лиц, перенесших ОЛБ, родились 14 нормальных детей.

59. В настоящее время только 10 пациентов находятся под клиническим наблюдением в клинике Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна (бывшего Государственного научного центра РФ Института биофизики) в Москве и 59 пациентов наблюдаются в Украинском научном центре радиационной медицины (УНЦРМ) в Киеве. К сожалению, анализировать и использовать два массива данных, собранных в этих двух клиниках, весьма затруднительно в связи с тем, что они представлены в разных форматах с использованием различных диагностических критериев и периодов наблюдений; кроме того, отмечаются большие различия между показателями распространенности заболеваний в отчетах этих двух клиник. По этим причинам, а также из-за небольшого числа случаев и отсутствия анализа с использованием формальных эпидемиологических методов в целом невозможно на основании этих данных сделать вывод о тенденциях заболеваемости и смертности.

60. Основными последствиями облучения для здоровья людей, перенесших ОЛБ, остаются поражения кожи и катаракты, индуцированные радиацией. Современный характер и степень тяжести заболеваний кожи зависят от их тяжести в начальный период. У пациентов, пострадавших от поражения кожи первой степени, выявлены процессы дегенерации кожи разного уровня, от небольшого сглаживания поверхности

кожи до более значительных изменений. Однако легкие изменения почти полностью исчезали в течение достаточно длительного времени. При поражениях кожи II степени ее дегенерация выражена сильнее. При повреждениях III и IV степени появляются шрамы, контрактуры и радиационные язвы. Однако с 1990-х годов проблемы радиационных язв в значительной степени смягчались с помощью методов микрохирургии.

61. У многих пациентов, страдавших от умеренной или тяжелой степени ОЛБ, в первые несколько лет после аварии развились радиационные катаракты, при этом существует сильная корреляция между степенью тяжести ОЛБ и распространенностью катаракт.

62. В первое десятилетие после аварии среди людей, переживших ОЛБ, зарегистрирована высокая распространенность заболеваний нервной системы. Подобно этому, имеются сообщения о высоком процентном отношении сердечно-сосудистых и желудочно-кишечных заболеваний. Однако исследования не выявили их корреляции со степенью тяжести ОЛБ, что, вероятно, свидетельствует о том, что заболевания вызваны не облучением, а другими причинами [B9, B39, B42].

63. За период 1987–2006 годов от разных причин умерли 19 лиц, перенесших ОЛБ [B9, B39, B41, B44, G9, U3], в том числе 7 человек умерли от неонкологических заболеваний внутренних органов (в частности, 2 от туберкулеза легких и 2 от цирроза печени), в 6 случаях отмечалась внезапная остановка сердца, в 5 случаях причиной смерти послужили злокачественные заболевания, а в одном случае – полученные травмы (рисунок VII). С течением времени связь случаев смерти с облучением становится менее очевидной.

64. Среди людей, перенесших ОЛБ и находившихся под наблюдением в УНЦРМ, было отмечено 4 подтвержденных случая солидного рака, 3 случая миелодиспластического синдрома, 1 случай острой миелобластической лейкемии и 1 случай хронической миелоидной лейкемии.

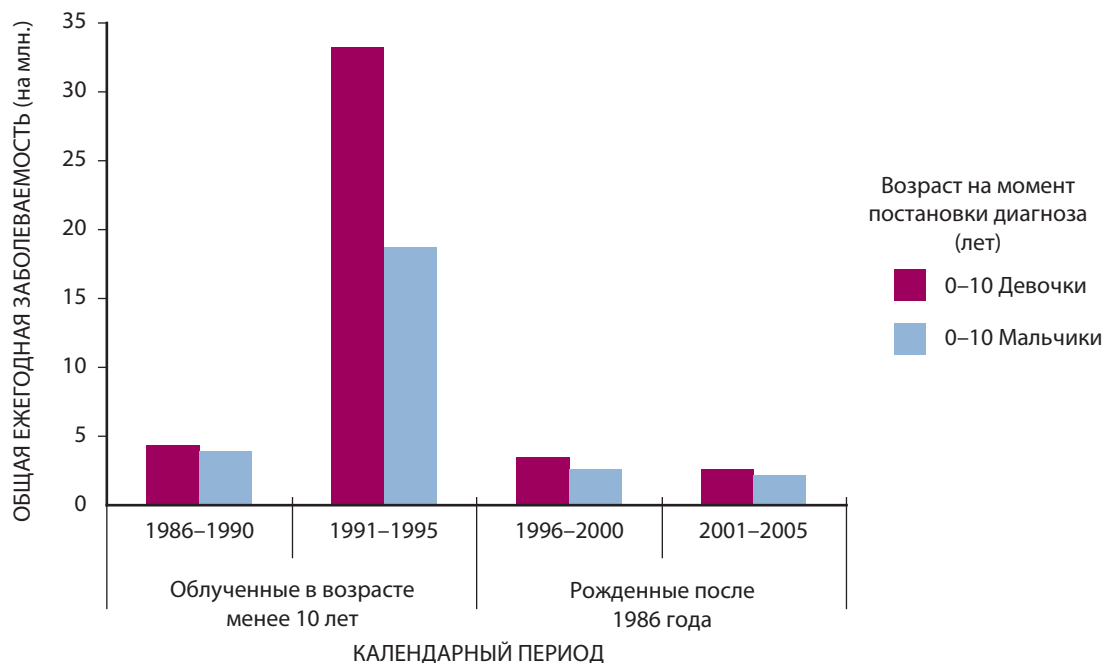
65. Последующее наблюдение за лицами, перенесшими ОЛБ, указывает на то, что первоначальная гематологическая депрессия у многих пациентов в значительной степени исчезла; сохраняются значительные локальные поражения; отмечался рост числа злокачественных гематологических заболеваний; а увеличение случаев других заболеваний возможно объясняется в основном старением и другими факторами, не связанными с радиацией.

2. Рак щитовидной железы

66. После чернобыльской катастрофы в трех республиках (всей Беларуси и Украине и четырех наиболее пострадавших областях Российской Федерации) отмечался значительный рост заболеваемости раком щитовидной железы среди лиц, бывших детьми или подростками в период облучения. С 1991 по 2005 год сообщалось о 5127 случаях заболевания раком щитовидной железы среди лиц, которым в 1986 году было менее 14 лет (6848 случаев среди лиц, которым в 1986 году было менее 18 лет) [I8].

67. Рисунок VIII показывает, что после чернобыльской аварии 1986 года заболеваемость раком щитовидной железы среди детей в возрасте до 10 лет в Беларуси резко возросла, а затем снизилась, особенно среди родившихся после 1986 года (см. 1996–2005 годы). На основании этих фактов можно утверждать, что резкий рост заболеваемости в 1991–1995 годах был связан с аварией. Рост имел место главным образом среди детей, которым во время аварии было менее 10 лет [J4]. В отношении родившихся после 1986 года каких-либо свидетельств роста заболеваемости раком щитовидной железы не имеется. Рост заболеваемости раком щитовидной железы среди детей и подростков начал отмечаться примерно через 5 лет после аварии и сохранялся до 2005 года (см. рисунок IX). Фоновый показатель заболеваемости раком щитовидной железы среди детей в возрасте до 10 лет составляет примерно 2–4 случая на миллион человек в год.

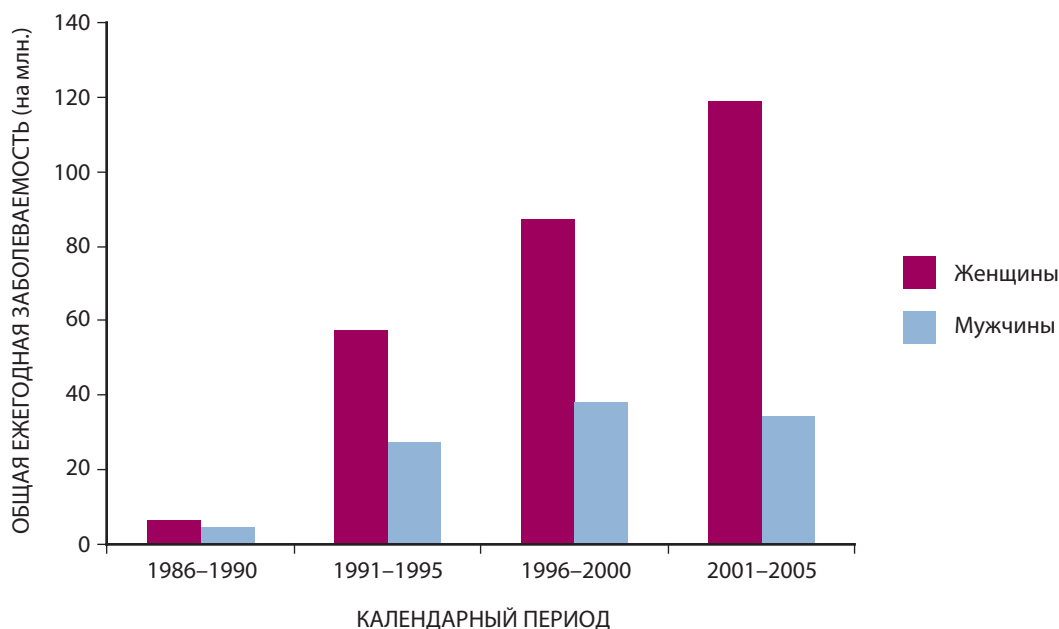
Рисунок VIII. Показатель заболеваемости раком щитовидной железы в Беларуси среди детей в возрасте менее 10 лет на момент постановки диагноза



68. На рисунке IX показан рост заболеваемости раком щитовидной железы с течением времени в Беларуси среди лиц, бывших детьми или подростками в период облучения. Не имеется каких-либо свидетельств снижения избыточной забо-

леваемости раком щитовидной железы в период до 2005 года. Отчасти рост связан с нормальной возрастной структурой заболеваемости, однако в основном рост связан с предшествующим радиационным воздействием.

Рисунок IX. Показатель заболеваемости раком щитовидной железы в Беларуси среди лиц, бывших детьми или подростками в период облучения (моложе 18 лет в 1986 году)



69. Этот рост подтверждается несколькими исследованиями методом “случай–контроль” и когортными исследованиями, которые показали связь избыточной заболеваемости раком щитовидной железы с оцененными индивидуальными дозами, главным образом вследствие выбросов радиоактивного йода в результате аварии. Однако оценки радиационного риска, полученные в результате этих исследований, остаются несколько неопределенными, и, возможно, на них сказались различия в использовании ультразвуковой эхографии и массовый скрининг после аварии.

70. Практически нет указаний на рост заболеваемости раком щитовидной железы среди различных групп населения, подвергшихся облучению во взрослом возрасте, связан с радиационным облучением.

71. Сообщалось о повышенной частоте рака щитовидной железы среди ликвидаторов по сравнению с обычным населением, однако не было выявлено четкой связи с дозой внешнего облучения. Кроме того, отсутствуют современные оценки дозы на щитовидную железу в результате вдыхания радиоактивного йода среди лиц, работавших в зоне Чернобыльской станции в апреле–июне 1986 года. Влияние ежегодных скринингов и активного последующего наблюдения за этими группами делают сравнение с населением в целом проблематичным.

72. Полагается, что из различных радиоактивных изотопов йода, выброшенных при аварии, самый значительный вклад в дозу на щитовидную железу вносит ^{131}I . Более короткоживущие радиоизотопы йода также могли способствовать росту заболеваемости раком щитовидной железы. Однако проведенные на сегодняшний день эпидемиологические исследования не позволяют оценить эту возможность по существу.

73. Со времени выхода доклада НКДАР ООН за 2000 год [U3] появились также данные, указывающие, что на риск возникновения рака щитовидной железы за счет облучения радиоактивным йодом, выброшенным в результате аварии, мог повлиять йодный дефицит [C8, S6].

3. Лейкоз

74. Интерес к лейкозу возрастает из-за его известной чувствительности к индуцированию ионизирующим излучением, а также из-за короткого латентного периода между облучением и проявлением болезни. Среди взрослых наиболее перспективными являются исследования ликвидаторов. Недавние сообщения, хотя и не дают окончательного ответа, говорят о росте заболеваемости лейкозом среди ликвидаторов из Беларуси, Российской Федерации, Украины и балтийских стран. К ограничениям этих исследований относятся низкая статистическая мощность, неопределенность реконструкции дозы и внутренние несоответствия, говорящие о возможных систематических ошибках или отягчающих факторах, которые с трудом поддаются учету. Будущие исследования могут позволить решить эти вопросы, хотя спустя примерно 5–15 лет после облучения риск заболевания лейкозом, вызванного радиацией, снижается со временем и большинство впервые выявленных случаев лейкоза едва ли будут связаны с облучением.

75. Не получено убедительных данных, свидетельствующих об измеримом увеличении заболеваемости лейкозом среди лиц, подвергшихся облучению *in utero* и в детском возрасте, которое можно было бы отнести на счет воздействия радиации. Такие наблюдения не лишены смысла, если учесть, что дозы, о которых идет речь, как правило, очень малы и срав-

нимы с дозами за счет естественного фона, поэтому эпидемиологические исследования не обладают статистической мощностью для подтверждения роста заболеваемости в результате облучения, если бы такое увеличение имело место.

76. Наиболее значимые результаты, касающиеся взрослого населения, получены при исследованиях ликвидаторов. Хотя в настоящее время имеются данные об увеличении частоты заболевания лейкозом среди группы ликвидаторов из Российской Федерации, они вовсе не позволяют сделать окончательные выводы. Пока было бы преждевременным придать данным этих исследований такой же статус, как данным, например, исследований лиц, переживших атомные бомбардировки. Тем не менее будущие результаты таких исследований должны дать важную научную информацию.

4. Другие виды солидного рака

77. По-видимому, в настоящее время отсутствуют данные, однозначно свидетельствующие о каком-либо поддающемся измерению увеличении частоты заболеваний всеми видами солидного рака среди населения Российской Федерации и Украины. Этот вывод учитывает результаты нескольких исследований рака молочной железы у женщин, подвергшихся облучению в результате чернобыльской аварии. Исследования заболеваемости раком молочной железы имеют множество недостатков; в частности в них не учитываются некоторые важные отягчающие факторы, например возраст на момент первой беременности, другие гормональные факторы и питание. Очевидно, отсутствует какая-либо закономерность роста заболеваемости раком молочной железы среди жителей “загрязненных” районов по сравнению с “незагрязненными”, а также не существует различий во временных тенденциях для зон с различным уровнем радиоактивных выпадений.

78. Данные о заболеваемости солидным раком среди ликвидаторов неоднозначны. Несмотря на рост заболеваемости, отмеченный в некоторых группах, заметной связи с увеличением дозы не было установлено. С другой стороны, в двух российских исследованиях указывалось на корреляцию между показателями смертности от солидного рака и полученной дозой.

79. При интерпретации результатов этих исследований необходимо проявлять некоторую осторожность. Во-первых, для многих видов рака предполагается наличие латентного периода в 10 лет и более; таким образом, если это относится к заболеваемости всеми видами рака в совокупности, нельзя ожидать проявления действия излучения ранее середины или конца 1990-х годов. Во-вторых, интерпретация сравнительных данных по ликвидаторам и населению в целом затруднена ввиду регулярных ежегодных медицинских обследований всех ликвидаторов. В-третьих, уровни риска, полученные на основании некоторых исследований, значительно выше оценок, сделанных в других эпидемиологических исследованиях, которые рассматриваются в приложении A [U1], и поэтому они требуют дополнительного анализа.

80. Оценки статистической мощности, основанные на проведенных до настоящего времени наблюдениях и на результатах изучения лиц, переживших атомные бомбардировки, позволяют предположить, что дозы слишком низки – они сравнимы с фоновыми уровнями радиации, – для того чтобы обеспечить достаточную статистическую мощность в целях выявления

любого поддающегося измерению увеличения заболеваемости всеми видами солидного рака в совокупности или смертности от них среди лиц, подвергшихся облучению от выпадений радиоактивных веществ после чернобыльской аварии.

5. Неонкологические эффекты

a) Катаракты

81. Клинически значимые катаракты развились у некоторых лиц, переживших ОЛБ и получивших высокие дозы радиации. Результаты нескольких новых исследований показали, что помутнение хрусталика может вызываться дозами менее 1 Гр. Хотя в большинстве случаев речь идет о доклинических повреждениях, недавнее исследование лиц, переживших атомные бомбардировки, позволяет предположить, что при таких дозах возможно повышение частоты возникновения клинических форм катаракты [N17].

82. Результаты украинско-американского чернобыльского офтальмологического обследования [C17, W7] показывают, что помутнение хрусталика, развившееся у ликвидаторов, с поправкой на наиболее важные отягчающие факторы, связано с полученной дозой. В большинстве случаев дозы были ниже 0,5 Гр излучения с низкой ЛПЭ, полученного небольшими порциями в течение продолжительного времени. Основным результатом было, что эти данные не согласуются с порогом “доза-эффект” более 0,7 Гр и что нижняя граница оцененного порога дозы близка к нынешнему пределу дозы для хрусталика глаза, т. е. 150 мЗв, хотя такой вывод следует смягчить, учитывая погрешность дозиметрии.

83. Хотя радиационное воздействие обычно вызывает определенный вид катаракты (а именно заднюю подкапсулярную катаракту – PSC), несколько серий данных позволяют предположить, что с воздействием радиации могут также быть связаны более широкие категории (задние кортикальные катаракты). PSC может, кроме того, вызываться действием наркотиков, систематическими расстройствами, некоторыми воспалительными или дегенеративными заболеваниями глаз и их травмами. Однако эта проблема наличия других возможных причин в целом учитывается в исследованиях лиц, подвергшихся облучению в результате чернобыльской аварии [D3, W7], путем статистической оценки и внесения поправок на влияние различных дополнительных факторов риска.

84. Для лучшего понимания любых несоответствий необходимо критический анализ всей существующей информации о вызванных излучением катарактах, в частности сравнение новых данных с уже существующими знаниями. Необходимы дальнейшие наблюдения за основными группами для более точной оценки латентных состояний и развития катаракт и совершенствования оценки риска, связанного с облучением хрусталика в диапазоне от низких до средних доз.

b) Сердечно-сосудистые и цереброваскулярные заболевания

85. Давно известно, что облучение сердца в высоких дозах, применяемое в радиационной терапии, ведет к повышению риска заболеваний системы кровообращения. Вместе с тем существует мало надежных свидетельств какого-либо заметного действия более низких доз в связи с чернобыльской аварией на заболеваемость сердечно-сосудистыми и церебро-

васкулярными заболеваниями и смертность от них. В результате одного из исследований ликвидаторов в Российской Федерации получены данные о статистически значимой связи доз радиации как с показателем смертности от сердечно-сосудистых заболеваний, так и с частотой возникновения цереброваскулярных заболеваний. Наблюдаемые избыточные цереброваскулярные заболевания отмечены у ликвидаторов, работавших менее шести недель и имеющих накопленные дозы более чем 150 мЗв. Однако в это исследование не вводились поправки для учета других факторов, таких как тучность, курение и употребление алкоголя. Для того чтобы определить, привело ли воздействие излучения в связи с чернобыльской аварией к повышению заболеваемости сердечно-сосудистыми и цереброваскулярными заболеваниями и связанной с ними смертности, необходимо собрать дополнительные данные.

с) Аутоиммунный тиреоидит

86. Аутоиммунный тиреоидит является прогрессирующим заболеванием щитовидной железы, характеризующимся наличием антител, действие которых направлено против нее. Это заболевание почти всегда связано с взаимодействием генетической предрасположенности и экологических факторов, например уровня поступления йода с пищей [D7]. Однако его связь с радиационным воздействием неоднозначна [E3]. Кроме того, фоновая частота возникновения аутоиммунного тиреоидита увеличивается с возрастом [D8]. В связи с этим выделение воздействия радиации после чернобыльской аварии из других элементов, которые могут или не могут оказывать влияние на заболеваемость аутоиммунным тиреоидитом среди населения, требует проведения весьма тщательного исследования.

87. Было проведено немного масштабных исследований, в которых рассматривалась связь между аутоиммунным тиреоидитом и воздействием радиации в результате чернобыльской аварии. Результаты самого масштабного исследования [T7] не смогли дать убедительных свидетельств связи между дозой на щитовидную железу и заболеванием аутоиммунным тиреоидитом. Это согласуется с результатами исследований среди других групп населения, подвергшихся облучению [D9, I27, N11].

В. Теоретические прогнозы

88. Для помощи в поисках решений по управлению ресурсами в области здравоохранения и с учетом существования латентного периода между облучением и повышением частоты стохастических эффектов различные группы предпринимали попытки прогнозировать последствия для здоровья населения, подвергшегося облучению, применяя модели радиационного риска к оценкам полученных населением доз. Такие модели основаны частично на эпидемиологических данных, а частично на знаниях о биологических процессах [U3, U7, U17].

89. Основным источником данных для моделирования повышения частоты стохастических воздействий, обусловленных радиационным воздействием, остается детальное исследование долгосрочных последствий для здоровья людей, переживших атомные бомбардировки в Японии [P3]. Однако применение этих данных к группам населения, подвергшимся облучению в результате чернобыльской аварии, требует введения различных предположений. В частности, надо решить про-

блему переноса характеристик риска между группами людей с различной демографией, этническим происхождением и фоновыми показателями заболеваний, а также переноса результатов, полученных у населения, облученного большими дозами с большой мощностью дозы, на население, которое в основном получало в течение нескольких лет повышенные хронические дозы радиации при уровнях, сравнимых с естественным фоном, и среди которого повышения заболеваемости фактически не наблюдалось. Аналитики должны сделать и другие предположения, в частности относительно будущих уровней способствующих факторов (например, курения), оказания медицинской помощи и эффективности лечения, а также средней продолжительности жизни в последующие десятилетия.

1. Обзор опубликованных прогнозов

90. Первые прогнозы медицинских последствий чернобыльской аварии для здоровья, разработанные в 1987 году, позволили сделать четыре важных вывода для руководящих органов относительно масштаба и характера последствий [B47, I43, R4]:

- среди населения не будет наблюдаться детерминированных эффектов радиации;
- увеличение частоты заболеваний раком в связи с радиационным воздействием будет незначительным с точки зрения организации медицинской помощи, хотя в определенные периоды времени в некоторых группах населения их можно будет выявить с применением эпидемиологических методов;
- следует ожидать значительного увеличения частоты возникновения рака щитовидной железы из-за воздействия радиации, особенно среди лиц, облученных в детском возрасте; и
- от психологической травмы, вызванной аварией, пострадают миллионы людей.

91. Впоследствии различными группами было сделано большое число прогнозов радиационного риска в связи с последствиями чернобыльской аварии для здоровья людей [A11, C1, C11, I43, T4, W5]; более подробные данные см. в дополнении D. В них предсказывался возможный рост смертности от рака в результате вызванных радиацией онкологических заболеваний в пределах от 3 процентов в наиболее пострадавших частях бывшего Советского Союза до 0,01 процента в остальных странах Европы. Все прогнозы были основаны на оценках доз у населения, сделанных к тому времени; обычно в них применялась линейная беспороговая (LNT) модель зависимости увеличения заболеваемости раком или смертности при увеличении дозы и использовались номинальные параметры, выведенные из докладов НКДАР ООН [U9] и Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) [I44, I45] и/или из некоторых национальных публикаций, например [N4]. По мере появления новых дозиметрических и эпидемиологических данных некоторые группы переработали свои оценки доз, модели риска и соответствующие прогнозы.

92. Несмотря на разумное соответствие между полученными затем прогнозами, представляется весьма маловероятным, чтобы с помощью мониторинга национальной статистики по заболеваемости раком можно было выявить какое-либо увеличение случаев таких заболеваний, вызванное радиационным воздействием. Вместе с тем предполагалось, что использова-

ние научных методик позволит выявить некоторые последствия облучения в специфических группах населения в определенные периоды времени после аварии (например, повышенную частоту случаев лейкоза среди ликвидаторов и рака щитовидной железы среди лиц, которые были детьми в 1986 году).

2. Научные ограничения

93. Интерпретация и распространение прогнозов радиационного риска связаны с определенными трудностями, поскольку адекватно передать присущие им ограничения нелегко.

94. Как отмечалось выше в разделе, посвященном атрибуции эффектов на счет радиационного воздействия, отсутствие в настоящее время специфических биомаркеров излучения не позволяет на научном уровне утверждать, что облучение вызвало заболевание определенным видом рака у того или иного человека. Это означает, что на уровне отдельных людей невозможно определить, является ли их заболевание раком следствием облучения или других причин и, тем более, связано ли оно с аварией или фоновой радиацией. Ситуация с лицами, перенесшими ОЛБ в результате аварии, является принципиально иной, поскольку каждый из них известен по имени, ОЛБ диагностировалась, а отнесение ее на счет радиации было основано на надежных медицинских показателях. Однако прогнозируемые числа стохастических эффектов у анонимных людей могут быть неправильно истолкованы как имеющие ту же природу, что и реально выявленные случаи.

95. Дополнительные недоразумения возникают в отношении доказательств стохастических воздействий, оцениваемых по результатам исследования групп населения, подвергшегося облучению. Например, имеются обоснованные доказательства того, что острое облучение больших групп населения в дозах, превышающих 0,1 Зв, увеличивает частоту онкологических заболеваний и смертность от них. До сих пор ни наиболее информативные исследования лиц, переживших атомные бомбардировки, ни какие-либо другие исследования взрослых людей не выявили убедительных свидетельств увеличения

частоты канцерогенных последствий при значительно меньших дозах [U3, приложение А к документу U1].

96. Из-за отсутствия соответствующих экспериментальных данных зависимость частоты негативных последствий радиации от ее дозы может оцениваться только на основе биофизических моделей, среди которых широко используется для целей радиационной защиты модель LNT [B48, U3]. Вместе с тем были предложены и другие модели, в том числе сверхлинейные и пороговые, и даже модели, предполагающие гормезис. Важно иметь в виду значительную статистическую неопределенность, связанную с любыми прогнозами, основанными на моделировании, что годится скорее для оценок в пределах порядка величины и даже более.

97. Имеющиеся в настоящее время эпидемиологические данные не могут служить основой для предположения с разумной надежностью о радиогенной заболеваемости и смертности в когортах жителей на территориях трех республик и других стран Европы, получивших общие средние дозы ниже 30 мЗв в течение 20 лет [A11, C1, C11, R4, T4]. Любые увеличения были бы ниже предела обнаружения. В то же время нельзя исключать, что позже будут получены надежные данные о последствиях облучения людей при низких дозах по мере достижения прогресса в понимании радиобиологии человека и других млекопитающих и использовании этих знаний при анализе эпидемиологических данных. В результате в будущем может сформироваться научный базис для оценки последствий облучения, связанного с чернобыльской аварией, для здоровья жителей территорий с низкими уровнями радиации.

3. Заявление НКДАР ООН

98. Комитет решил не использовать модели для прогнозирования абсолютного числа медицинских последствий в группах населения, облученных низкими дозами в результате чернобыльской аварии, из-за неприемлемой неопределенности прогнозов. Следует подчеркнуть, что описанный подход ни в коей мере не исключает применения модели LNT для целей защиты от радиации, где традиционно и осознанно применяется осторожный подход [F11, I37].

VII. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

A. Риски для здоровья, которые можно отнести на счет радиации

99. К зарегистрированным последствиям для здоровья, которые в настоящее время можно отнести на счет радиации, относятся следующие:

- 134 сотрудника станции и аварийных работника получили высокие дозы радиации, которые привели к острой лучевой болезни (ОЛБ); многие из них получили также поражения кожи за счет бета-облучения;
- высокие дозы излучения оказались смертельными для 28 человек из этой группы;
- 19 человек, переживших ОЛБ, умерли до 2006 года; эти летальные исходы были вызваны разными причинами и обычно не связаны с облучением;

- для лиц, перенесших ОЛБ, основными последствиями стали поражения кожи и вызванные излучением катаракты;
- помимо этой группы аварийных работников в операциях по ликвидации последствий аварии участвовали несколько сотен тысяч человек, однако к настоящему времени, кроме указаний на увеличение заболеваемости лейкозом и развитии катаракт среди получивших повышенные дозы, нет свидетельств последствий для здоровья, которые можно было бы отнести на счет воздействия излучения;
- загрязнение молока радионуклидом ¹³¹I при недостатке срочных защитных мер привело к получению населением больших доз на щитовидную железу; это стало причиной возникновения значительной части из более чем 6 тыс. случаев заболевания раком щито-

видной железы, зарегистрированных к настоящему времени у людей, которые были детьми во время аварии (к 2005 году в 15 случаях имел место летальный исход);

- к настоящему времени не получено убедительных свидетельств каких-либо других последствий для здоровья населения, которые можно отнести на счет воздействия излучения.

100. Из материалов настоящего приложения, основанного на 20-летних исследованиях, и предыдущих докладов НКДАР ООН [U3, U7] можно сделать вывод, что, хотя лица, подвергшиеся воздействию радиоактивного йода в детском или подростковом возрасте, а также аварийные работники и ликвидаторы, получившие высокие дозы радиации, подвергаются повышенному риску последствий облучения, подавляющему большинству населения не нужно жить в страхе, опасаясь серьезных последствий для здоровья в результате чернобыльской аварии. (Этот вывод согласуется с выводом в докладе НКДАР ООН за 2000 год [U3].) Большинство работников и населения подверглись облучению в малых дозах, сопоставимому с ежегодными естественными фоновыми уровнями или, самое большее, в несколько раз превышающему их, а в будущем, по мере распада выпавших радионуклидов или их дальнейшего рассеяния в окружающей среде, облучение продолжит уменьшаться. Это относится к населению трех стран, наиболее пострадавших от чернобыльской аварии, – Беларуси, Российской Федерации и Украины – и тем более к населению других европейских стран. Чернобыльская авария нарушила привычный ход жизни многих людей, но с радиологической точки зрения прогнозы в отношении состояния здоровья в будущем для большинства пострадавшего населения в целом преимущественно положительные.

В. Сравнение настоящего приложения с предыдущими докладами

101. В настоящем приложении дается обзор научной информации, полученной после выхода доклада НКДАР ООН за 2000 год [U3], по уровням облучения и эффектам радиации после чернобыльской аварии. Несмотря на то что сейчас имеется намного больше результатов исследований, основные выводы, касающиеся масштаба и характера последствий для здоровья, по существу, согласуются с предыдущими докладами НКДАР ООН [U3, U7].

102. Уточнены оценки радиоактивных выбросов, однако изменения носят академический характер и не относятся к оценкам доз излучения, которые базируются на прямых измерениях людей и окружающей среды.

103. Оценки доз распространены дополнительно на более чем 150 тыс. аварийных работников и ликвидаторов. На основе прямых измерений на людях и в окружающей среде, выполненных с 1988 года, и моделей, учитывающих реальные мероприятия по защите, уточнены оценки доз на щитовидную железу для эвакуированных жителей. Оценки эффективных доз и доз на щитовидную железу для жителей Беларуси, Российской Федерации и Украины распространены с 5 млн. до 100 млн. человек; уточнены оценки доз на щитовидную железу и эффективных доз примерно для 500 млн. жителей большинства других европейских стран.

104. В настоящем приложении содержится важная новая информация по результатам наблюдений лиц, перенесших

ОЛБ. К 1998 году умерли 11 человек, перенесших ОЛБ [U3], после чего к 2006 году умерли еще 8 человек. В приложении обсуждаются причины смерти с точки зрения полученного ими радиационного воздействия.

105. Для большего числа аварийных работников и ликвидаторов имеются свидетельства увеличения частоты заболеваний лейкозом, а также возникновения катаракт среди лиц, получивших высокие дозы, хотя все еще необходимо дополнительное уточнение эпидемиологической информации. Информация о катарактах указывает на то, что порог их индуцирования может быть ниже, чем предполагалось ранее. Хотя получены указания на увеличение частоты сердечно-сосудистых и цереброваскулярных заболеваний среди ликвидаторов, которые коррелируют с оценками дозы, однако остаются серьезные вопросы, связанные с возможным влиянием осложняющих факторов и возможных системных ошибок исследований.

106. По данным доклада НКДАР ООН за 2000 год [U3], среди лиц, которым в момент аварии еще не исполнилось 18 лет, было выявлено менее 1800 случаев рака щитовидной железы; к 2006 году это число превысило 6 тысяч. К настоящему времени проведен ряд исследований, которые дали достаточно согласованные оценки факторов радиационного риска для рака щитовидной железы.

С. Сравнение с прогнозами наблюдаемых отдаленных последствий для здоровья

107. Ранние оценки [B47, I43, R4], выполненные в 1987 году, прогнозировали значительный рост заболеваемости раком щитовидной железы как следствие облучения в трех республиках, особенно среди детей. К настоящему времени среди жителей трех республик, которым в момент аварии еще не исполнилось 18 лет, выявлено более 6 тыс. случаев рака щитовидной железы; значительная часть этих случаев, вероятно, связана с радиационным воздействием.

108. Прогнозы [C1], сделанные в 1996 году на основе дозиметрической информации об аварийных рабочих и ликвидаторах, указали на возможность заметного увеличения заболеваемости лейкозом среди получивших сравнительно высокие дозы радиации. Получены некоторые доказательства заметного увеличения заболеваемости среди группы российских работников, но сейчас эти результаты далеко не убедительны.

109. Несколько групп [A11, B47, C1, C11, F10, I43, R4] разработали прогнозы возможного роста заболеваемости солидным раком для населения в целом. Эти оценки различаются для рассмотренных групп населения и для применявшихся моделей дозиметрии и прогнозирования. Однако для всех рассмотренных групп населения дозы невелики по сравнению с дозами от естественного фона, поэтому эпидемиологические исследования вряд ли смогут выявить какой-либо рост заболеваемости. Хотя к настоящему времени прошло десять лет после минимального латентного периода для солидных видов рака, не отмечено какое-либо увеличение заболеваемости раком, которое может быть отнесено на счет облучения в результате аварии.

110. Использование теоретических прогнозов связано с трудностями. Такие прогнозы крайне трудно донести точно и правдиво до официальных лиц и широкой общественности.

Кроме того, имеются границы эпидемиологических знаний, которые можно использовать для убедительного отнесения роста заболеваемости к радиационному воздействию. Поэтому любые прогнозы радиационного риска в области низких доз должны рассматриваться как крайне неопределенные, особенно в случаях, когда прогноз числа летальных исходов от рака основывается на незначительных индивидуальных дозах у больших групп населения за многие годы.

D. Новая информация, полученная в ходе исследований аварии

111. Несмотря на достигнутое общее согласие относительно масштаба и характера последствий для здоровья, связанных с облучением в результате аварии, исследования крупнейшей ядерной аварии в мире, несомненно, дали большой объем полезной научной информации. Значительную часть этой информации можно использовать для проверки достоверности методов прогнозирования и знаний, приобретенных в результате исследований и накопленного до аварии опыта. Получена также совершенно новая информация, которая помогает заполнить пробелы в современной базе научных знаний.

112. Изучение последствий аварии принесло явные доказательства, подтверждающие ранее существовавшее мнение о важности ^{131}I на пути миграции “пастбище–корова–молоко”, о необходимости принимать срочные защитные меры, о потенциально высоких дозах на щитовидную железу и об ожидаемом росте заболеваемости раком щитовидной железы,

особенно среди лиц, облученных в детском или подростковом возрасте. Продолжающиеся исследования позволяют уточнить эти знания, особенно в том, что касается закономерностей возникновения рака щитовидной железы для различных доз излучения, путей миграции, возрастных групп и уровней получаемого с пищей йода.

113. Подобным образом, в отношении хронического облучения за счет долгоживущих радионуклидов опыт, накопленный в связи с аварией, подтвердил существовавшие ранее представления о важнейших путях облучения людей. Кроме того, возросла оценка важности типа почв в переносе радиоцезия в пищевые продукты, улучшилось понимание радиоэкологии в городской, полуприродной и лесной средах, а также накоплен значительный опыт в реализации широкого круга защитных мероприятий.

114. В отношении последствий для здоровья значительно улучшилось понимание острых радиационных эффектов и методов их лечения, а также знания о долговременных последствиях локальных радиационных поражений кожи и хрусталика глаза, вызванных облучением. Что касается частоты других стохастических последствий кроме рака щитовидной железы, то к настоящему времени имеется немного наблюдений, не согласующихся с ранее существовавшими представлениями, полученными на основе изучения других подвергшихся облучению групп, например переживших атомные бомбардировки в Японии, и других исследований подвергшихся облучению групп населения.

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ

115. Комитет выражает свою глубокую благодарность перечисленным ниже лицам за их вклады в поддержку ведущего автора М. Балонна при подготовке настоящего приложения: Дж. Р. Хау (ныне покойному), Л. Энспо, А. Бувилло, А. Гуськовой, В. Иванову, Я. Кенигсбергу, И. Лихтареву, Ф. Меттлеру, Р. Шору, Г. Томас, М. Тирмарш и Л. Заблоцкой.

Кроме того, Комитет хотел бы отметить важный вклад следующих экспертов: В. Бебешко, Д. Белого, М.О. Бернье, Г. Брука, В. Чумака, С. Дэвиса, В. Дроздовича, И. Галстян, Н. Гентнера, В. Голикова, Л. Ковган, Ю. Крюк, Ю. Куртинайтиса, В. Миненко, К. Раху, С. Шинкарева, А. Штенгревича и И. Звоновой.

ДОПОЛНЕНИЕ А ФИЗИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

I. РЕЗЮМЕ ДОКЛАДА НКДАР ООН ЗА 2000 ГОД [U3]

A1. Авария на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) произошла 26 апреля 1986 года во время технических испытаний реактора четвертого блока на малой мощности. Отключение систем аварийной защиты и введение реактора в нештатный неустойчивый режим привели к неконтролируемому скачку мощности, результатом которого стал ряд последовательных взрывов пара, серьезно повредивших здание реактора и полностью разрушивших сам реактор.

A2. Основные выбросы радионуклидов из поврежденного реактора происходили в течение 10 дней с переменной интенсивностью. Первоначальная значительная мощность выброса в первый день стала следствием механического выброса, вызванного взрывами в реакторе. Затем на протяжении 5 дней происходили выбросы понижающейся интенсивности, связанные с горячим воздухом и парами из раскаленной активной зоны. В последующие несколько дней интенсивность выбросов радионуклидов повышалась до десятого дня, а затем резко снизилась, завершив таким образом период интенсивных выбросов. Радионуклиды, попавшие в окружающую среду в результате аварии, выпали с наибольшей плотностью в районах европейской части бывшего Советского Союза, расположенных вокруг площадки реактора.

A3. Для оценки уровней выбросов радионуклидов в результате аварии использовались два основных метода. Первый метод состоял в оценке по отдельности запасов радионуклидов в активной зоне реактора в момент аварии и доли запасов каждого типа радионуклидов, попавших в атмосферу; произведения этих двух показателей и составляют выброшенные количества. Второй метод заключался в измерении плотности выпадения радионуклидов на земной поверхности вокруг реактора; если предположить, что все выбросы полностью выпали на территории, где производились замеры, количества радионуклидов будут равны выброшенным количествам. При использовании обоих способов производился отбор проб воздуха непосредственно над реактором и на различных расстояниях от него для определения или подтверждения распределения радионуклидов в выброшенных материалах. Анализ проб воздуха и выпавшего материала позволил получить информацию о физических и химических свойствах радиоактивных веществ, выброшенных в атмосферу.

A4. В радиологическом аспекте наиболее важными радионуклидами в выбросах были ^{131}I и ^{137}Cs , поскольку их вклад был основным в облучение населения в целом. По оценкам, выбросы ^{131}I и ^{137}Cs составили порядка 1760 и 85 ПБк, соответственно ($1 \text{ ПБк} = 10^{15} \text{ Бк}$). Однако следует отметить, что

оценка доз, приводимых в последующих разделах настоящего дополнения, производилась на основе измерений уровней радионуклидов в организмах людей, в пищевых продуктах и в окружающей среде, а также мощности экспозиционной дозы внешнего гамма-излучения. Таким образом, для оценки доз сведений о количествах выброшенных радионуклидов не требовалось.

A5. Помимо относительно однородно распределенных радиоактивных веществ в составе осадков были обнаружены “горячие” частицы. Эти “горячие” частицы были разделены на две основные категории: *a*) частицы топлива со смесью различных продуктов деления, связанные с матрицей оксида урана и аналогичные по составу топливу в активной зоне реактора, но иногда весьма сильно обедненные по цезию, йоду и рутению; и *b*) частицы одного преимущественного элемента (рутения или бария), но иногда со следами и других элементов. Эти однокомпонентные частицы, возможно, образовались из вкраплений этих элементов, возникших в топливе в процессе работы реактора, и высвободились при дроблении топлива. Типичные активности в расчете на одну “горячую” частицу, как правило, составляли: у частиц топлива 0,1–1 кБк, у частиц рутения 0,5–10 кБк; средний диаметр частиц имел величину около 10 мкм, тогда как размеры частиц, связанных с ^{131}I и ^{137}Cs , составляли 0,4–0,7 мкм. “Горячие” частицы, оседающие в легких, удерживаются в течение длительного времени, что может приводить к возникновению значительных локальных доз излучения. Хотя в 1970-х годах было продемонстрировано, что “горячие” альфа-излучающие частицы не более радиотоксичны, чем та же активность, равномерно распределенная по всему объему легких, оставалось неясным, является ли это положение верным и для “горячих” бета-излучающих частиц.

A6. Выпадение радиоактивных веществ на почву отмечалось в той или иной степени практически во всех странах Северного полушария [U9]. В приложении J “Дозы и последствия облучения в результате чернобыльской аварии” к докладу НКДАР ООН за 2000 год [U3] “загрязненные” районы определены как те, в которых средняя плотность выпадения ^{137}Cs превышала 37 кБк/м² (1 Ки/км²). Цезий-137 был выбран в качестве эталонного радионуклида для измерения загрязнения почвы в результате чернобыльской аварии в силу ряда причин: этот изотоп является существенным источником пожизненной эффективной дозы, у него длительный период полураспада, и его радиоактивность легко поддается измерению. Считающиеся загрязненными районы в основном находятся на территории Беларуси, Российской Федерации и Украины.

A7. Основные выбросы радионуклидов продолжались 10 дней; за этот период часто менялось направление ветра, поэтому в разные периоды времени радиоактивные вещества выпадали во всех зонах вокруг площадки реактора. Подробная информация об изменении шлейфа загрязнения во времени приводится в работе Borzilov and Klerikova [B24] и показана на рисунке А-1. В начальный период шлейфы радиоактивных веществ двигались в западном направлении. 27 апреля ветер сменил направление в сторону северо-запада, 28 апреля – в сторону востока. Два больших района – Гомельско-Могилевско-Брянский и Орловско-Тульско-Калужский – подверглись радиоактивному загрязнению в результате выпадения радиоактивных веществ из шлейфа, который прошел над этими районами в указанный период (рисунок А-1, линия 3). Выпадение радиоактивных веществ на территорию Украины к югу от Чернобыля произошло после 28 апреля (рисунок А-1, линии 4, 5 и 6). Осадки в виде дождя выпадали неравномерно, поэтому и выпадение радионуклидов было неравномерным. Общий контур выпадения ^{137}Cs , рассчитанный по итогам моделирования метеорологических условий, как было продемонстрировано, довольно хорошо соответствует контуру, полученному по данным измерений.

A8. Основными физико-химическими формами выпавших радионуклидов были: а) дисперсные частицы топлива, б) конденсационные частицы и в) частицы смешанного типа, в том числе частицы адсорбционной природы. Распределение радионуклидов в ближайшей к месту аварии загрязненной зоне (менее 100 км от поврежденного реактора), также именуемой “ближней зоной”, отличается от соответствующих показателей “дальней зоны” (на удалении от 100 км до примерно 2 тыс. км). Выпадение радиоактивных веществ в ближней зоне отражает радионуклидный состав топлива реактора. Более крупные частицы, которые в основном являются частицами топлива, и тугоплавкие элементы (цирконий, молибден, церий и нептуний) в значительной степени выпали в ближней зоне. Элементы со средней летучестью (рутений, барий и стронций) и топливные элементы (плутоний и уран) также в значительной степени выпали в ближней зоне. Летучие элементы (йод, теллур и цезий) в форме конденсационных частиц в большей степени выпадали на территории дальней зоны.

A9. Три основных района выпадения радионуклидов были обозначены как Центральный, Гомельско-Могилевско-Брянский и Калужско-Тульско-Орловский. Центральный район находится в ближней зоне, преимущественно к западу и северо-западу от реактора. Выпадение цезия-137 происходило в период активных выбросов, и плотность выпадения ^{137}Cs составила более 37 кБк/м² (1 Ки/км²) на обширных территориях Украины, а также в южных районах Гомельской и Брестской областей Беларуси. Наибольшие выпадения ^{137}Cs отмечены в радиусе 30 км от реактора, в так называемой 30-километровой зоне. В этой зоне, а также в некоторых районах ближней зоны к западу и северо-западу от реактора, в Гомельской, Киевской и Житомирской областях плотность выпадения составляла свыше 1500 кБк/м² (40 Ки/км²).

A10. Центр Гомельско-Могилевско-Брянского района расположен в 200 км к северо-северо-востоку от реактора, на границе Гомельской и Могилевской областей Беларуси и Брянской области Российской Федерации. В некоторых районах плотность выпадения радионуклидов была сопоставима с показателями в Центральном районе; в некоторых деревнях Могилевской и Брянской областей плотность выпадения достигала 5 МБк/м².

A11. Калужско-Тульско-Орловский район расположен примерно в 500 км к северо-востоку от реактора. Выпадение радионуклидов в этом районе произошло в результате дождей 28–29 апреля, во время прохождения над районом того же радиоактивного облака, которое привело к выпадению радионуклидов на территории Гомельско-Могилевско-Брянского района. Однако плотность выпадения ^{137}Cs в этом районе была ниже и, как правило, составляла менее 500 кБк/м².

A12. За пределами этих трех основных пострадавших районов на многих территориях плотность выпадения ^{137}Cs варьировалась в диапазоне от 37 до 200 кБк/м². Проведены достаточно детальные исследования уровней выпадения радионуклидов на всей территории европейской части бывшего Советского Союза. На рисунке А-II представлена карта замеров уровней выпадения ^{137}Cs . Общее количество ^{137}Cs , выпавшее в результате аварии на территории бывшего Советского Союза, в том числе в районах менее интенсивного выпадения, оценивается приблизительно в 40 ПБк. Этот объем распределился следующим образом: 40 процентов на территории Беларуси, 35 процентов – в Российской Федерации, 24 процента – в Украине и менее 1 процента – на территории других республик бывшего Советского Союза. Количество ^{137}Cs , выпавшего в “загрязненных” районах бывшего Советского Союза (с плотностью выпадения >37 кБк/м²), оценивается в 29 ПБк (для сравнения, уровень остаточной активности от испытаний ядерного оружия в атмосфере составлял порядка 0,5 ПБк при средней плотности выпадения на почву около 2 кБк/м²).

A13. Поведение выпавших радионуклидов в окружающей среде зависело от физических и химических свойств соответствующего радионуклида, типа выпадений (т. е. сухие или влажные) и от характеристик окружающей среды. Особое внимание было уделено ^{131}I , ^{137}Cs и ^{90}Sr и путям облучения ими людей. Радионуклиды оседали на почве или на поверхности водоемов.

A14. Для самых короткоживущих радионуклидов, таких как ^{131}I , основным путем облучения людей было употребление в пищу загрязненного молока, полученного от коров или коз, которые паслись на загрязненных ^{131}I пастбищах, а также листовых овощей в течение нескольких дней после выпадений. Радионуклиды, осевшие на растениях, удерживаются на них экологическим периодом полувыведения около двух недель, а затем попадают на поверхность земли и в почву.

A15. Радионуклиды, выпавшие на почву, проникают в глубь почвы и частично поглощаются корнями растений, что, в свою очередь, приводит к их миграции вверх, в растения. Эти процессы не обязательно учитывать в отношении короткоживущих радионуклидов, например ^{131}I (с периодом полувыведения всего 8 дней); но для долгоживущих радионуклидов, таких как ^{137}Cs и ^{90}Sr , их учитывать необходимо. Скорость и направление движения радионуклидов по цепочке “почва–растение” зависят от ряда природных явлений и факторов, в частности от особенностей рельефа, видов растений, структуры и состава почв, гидрологических условий и режимов погоды, особенно в момент выпадения радионуклидов. Вертикальная миграция ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах природных лугов различных видов идет довольно медленно, и большая часть радионуклидов по-прежнему находилась в верхнем слое почв (от 0 до 10 см). В среднем при исследовании минеральных почв до 90 процентов ^{137}Cs и ^{90}Sr обнаружено в слое от 0 до 5 см; в торфяных почвах, где миграция радионуклидов идет быстрее, в этом слое обнаружено лишь от 40 до 70 процентов ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Эффективный период полувыведения радионуклидов из корнеобитаемого слоя почвы (от 0 до 10 см) в условиях лугов с минеральными почвами оценивается для ^{137}Cs в диапазоне от 10 до 25 лет, ^{90}Sr выводится в 1,2–3 раза быстрее, чем ^{137}Cs ; таким образом, было рассчитано, что эффективный период полувыведения ^{90}Sr составляет 7–12 лет.

A16. Для данного начального выпадения на почву скорость переноса радионуклида из почвы в растения с течением времени изменяется, поскольку радионуклид выводится из корнеобитаемого слоя почвы, а его доступность в обменных формах сокращается. Содержание ^{137}Cs в растениях достигало максимальных значений в 1986 году, когда это было связано с прямым осаждением радионуклида на внешних поверхностях. В 1987 году уровни активности ^{137}Cs в растениях были значительно ниже, чем в 1986 году, так как в тот период растения поглощали радионуклиды в основном через корни. После 1987 года коэффициенты переноса радионуклидов из почвы в растения продолжали сокращаться, хотя и медленнее: в период с 1987 по 1995 год коэффициенты переноса ^{137}Cs в среднем уменьшились в диапазоне от 1,5 до 7 раз. По сравнению с ^{137}Cs , выпавшим при проведении ядерных испытаний, осадки ^{137}Cs в результате чернобыльской аварии в дальней зоне оказались более подвижными в первые четыре года после аварии: доли растворимого в воде ^{137}Cs , выпавшего в результате чернобыльской аварии и в районе ядерных испытаний, составили соответственно около 70 и 8 процентов. В дальнейшем в результате процессов старения показатели подвижности осадков ^{137}Cs чернобыльского происхождения и из ядерных испытаний постепенно выравнивались.

A17. В отличие от ^{137}Cs , у ^{90}Sr способность к участию в обменных процессах с течением времени, по-видимому, не сокращалась и, возможно, фактически возрастала. В первые 4–5 лет после аварии на территории Российской Федерации статистически значимых изменений коэффициента переноса ^{90}Sr из осадков в траву не отмечено. Это объясняли двумя конкурирующими процессами: а) преобразованием ^{90}Sr из слаборастворимой формы, которая характерна для частиц топлива, в растворимую форму, которая легко усваивается корнями растений; и б) вертикальной миграцией ^{90}Sr в более глубокие слои почвы, что затрудняет поглощение его растениями.

A18. Из пищевых продуктов большая часть ^{137}Cs попадает в организм человека с молоком, мясом и картофелем. Вместе с тем для жителей сельских районов немаловажным компонентом диеты являются лесные грибы и ягоды. Снижение концентрации ^{137}Cs в указанных пищевых продуктах происходит

крайне медленно с изменениями в разные годы, зависящими от погодных условий.

A19. Радиоактивные вещества оседали и на поверхности водоемов. Выпадение на поверхность морей и океанов приводило к низким дозам, так как происходило быстрое разбавление радиоактивных веществ огромными объемами воды.

A20. В реках и небольших озерах содержание радионуклидов в основном было связано с эрозией поверхностных слоев почвы в зонах водоразделов и с последующим стоком в водоемы. В 30-километровой зоне, где выпали относительно большие количества ^{90}Sr и ^{137}Cs , загрязнение поверхностных водоемов в основном определялось уровнем ^{90}Sr ввиду интенсивной сорбции ^{137}Cs глинистыми минералами в почве. Значительная часть ^{90}Sr в водоемах обнаружена в растворимой форме; кроме того, в реках в 30-километровой зоне обнаружены низкие уровни содержания изотопов плутония и ^{241}Am .

A21. Роль водных путей в поступлении ^{137}Cs и ^{90}Sr в организм человека через пищу была, как правило, незначительной. Однако, согласно результатам исследований, проведенных в Скандинавии и России, содержание ^{137}Cs в мышечной ткани хищных рыб, в частности окуней и щук, обитающих в слабопроточных озерах, может быть довольно высоким. Например, содержание ^{137}Cs в водах озер Кожановское и Святое (расположенных в признанном загрязненном районе Брянской области Российской Федерации) из-за особенностей гидрологических условий и в 1996 году оставалось высоким: содержание ^{137}Cs составляло 10–20 Бк/л, содержание ^{90}Sr – 0,6–1,5 Бк/л. Содержание ^{137}Cs в мышцах карасей (*Carassius auratus gibeio*) из озера Кожановское составляло от 5 до 15 кБк/кг, а в щуках (*Esox lucius*) – от 20 до 90 кБк/кг. Летом 1986 года проводились обследования жителей села Кожаны, расположенного на берегу озера Кожановское, с использованием счетчиков всего тела для измерения радиоактивности ^{137}Cs . По результатам обследований 38 взрослых жителей, не употреблявших в пищу рыбу из озера (по данным проведенных перед обследованием собеседований), среднее значение составило $7,4 \pm 1,2$ кБк, а у 30 жителей, регулярно употреблявших в пищу рыбу из озера, среднее значение составило 49 ± 8 кБк. Средние годовые дозы внутреннего облучения у представителей этих двух групп, по оценкам, составили соответственно 0,3 и 1,8 мЗв. Кроме того, водные пути попадания радиоактивных веществ в организм человека по сравнению с наземными, возможно, играют более важную роль в районах, расположенных вниз по течению рек от площадки реактора, где уровни выпадения радиоактивных веществ на земную поверхность были невысоки.

II. НОВЫЕ ДАННЫЕ

A22. В 2006 году Чернобыльский форум выпустил доклад [I21] об экологических последствиях аварии, куда вошла оценка индивидуальных и коллективных доз у населения. Доклад был подготовлен группой из 35 ученых, известной под названием “Группа экспертов по окружающей среде”. В нее входили эксперты из трех стран, наиболее пострадавших от аварии на ЧАЭС, – Беларуси, Российской Федерации и Украины, а также представители международного сообще-

ства ученых, которые сотрудничали с учеными из этих трех стран или имели опыт проведения научных исследований в области экологии и по проблемам выпадения на территории своих стран радиоактивных веществ в результате чернобыльской аварии. Группа работала под руководством Международного агентства по атомной энергии. Материалы раздела (A.II), кроме особо оговоренных случаев, взяты из доклада [I21].

А. Выбросы и выпадение радионуклидов

1. Источник выброса радионуклидов

A23. С годами представления специалистов о количестве радиоактивных выбросов в ходе аварии стали значительно более точными; нынешние экспертные оценки приводятся в таблице А1. Большая часть радионуклидов в составе выбросов имели короткие периоды полураспада; радионуклиды с большими периодами полураспада в основном присутствовали в составе выбросов в небольших количествах. Экспертные оценки выбросов в целом соответствуют данным, представленным в документе [U3], но количества тугоплавких элементов, согласно новым оценкам, были меньше.

A24. К 2005 году большинство радионуклидов в составе выбросов распались до незначительных уровней. В течение следующих нескольких десятилетий важнейшим из

радионуклидов по-прежнему будет ^{137}Cs ; ^{90}Sr также будет представлять интерес в пределах ближней зоны, но в меньшей степени. В течение очень длительных периодов времени (от сотен до тысяч лет) интерес будут представлять лишь такие радионуклиды, как изотопы плутония и ^{241}Am . Начальные количества ^{241}Am в составе выбросов были столь малы, что их оценка даже не проводилась. Однако ^{241}Am образуется в результате радиоактивного распада ^{241}Pu . Исходя из того что начальное количество ^{241}Pu в составе выбросов составляло 2,6 ПБк (см. таблицу А1), данные о распаде ^{241}Pu и об образовании и распаде ^{241}Am представлены на рисунке А-III. Максимальная общая активность ^{241}Am в окружающей среде в 2058 году будет составлять 0,077 ПБк. Это небольшая величина по сравнению с начальным количеством ^{241}Pu (2,6 ПБк), но она более чем вдвое превышает количество ^{239}Pu и ^{240}Pu , вместе взятых, в указанный момент времени. ^{241}Am – единственный радионуклид, количество которого сейчас увеличивается со временем; количество остальных радионуклидов со временем будет продолжать сокращаться.

Таблица А1. Уточненные оценки общего выброса основных радионуклидов в атмосферу во время чернобыльской аварии^a

Радионуклид	Период полураспада	Активность в выбросе (ПБк)
Инертные газы		
^{85}Kr	10,72 года	33
^{133}Xe	5,25 сут.	6 500
Летучие элементы		
$^{129\text{m}}\text{Te}$	33,6 сут.	240
^{132}Te	3,26 сут.	~1 150
^{131}I	8,04 сут.	~1 760
^{133}I	20,8 час.	910
^{134}Cs	2,06 года	~47 ^b
^{136}Cs	13,1 сут.	36
^{137}Cs	30,0 года	~85
Элементы с промежуточной летучестью		
^{88}Sr	50,5 сут.	~115
^{90}Sr	29,12 года	~10
^{103}Ru	39,3 сут.	>168
^{106}Ru	368 сут.	>73
^{140}Ba	12,7 сут.	240
Тугоплавкие элементы (в том числе частицы топлива)^c		
^{95}Zr	64,0 сут.	84
^{99}Mo	2,75 сут.	>72
^{141}Ce	32,5 сут.	84
^{144}Ce	284 сут.	~50
^{239}Np	2,35 сут.	400
^{238}Pu	87,74 года	0,015

Радионуклид	Период полураспада	Активность в выбросе (ПБк)
^{239}Pu	24 065 лет	0,013
^{240}Pu	6 537 лет	0,018
^{241}Pu	14,4 года	~2,6
^{242}Pu	376 000 лет	0,00004
^{242}Cm	18,1 года	~0,4

a Большая часть данных взята из документов [D11, U3].

b При отношении $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$, равном 0,55, по состоянию на 26 апреля 1986 года [M8].

c При выбросе частиц топлива, равном 1,5 процента [K13].

2. Физико-химические формы выброшенных веществ; "горячие" частицы

A25. Радионуклиды в составе выбросов присутствовали в форме газов, конденсационных частиц и частиц топлива. Наличие топливных частиц было важной характерной особенностью данной аварии. В процессе окисления и распыления ядерного топлива произошло улетучивание некоторых радионуклидов. После того как начальное облако остыло, часть более летучих радионуклидов осталась в газовой фазе, а менее летучие, такие как ^{137}Cs , сконденсировались на частицах строительных материалов, сажи и пыли. Таким образом, химические и физические формы радионуклидов в составе выбросов определялись летучестью их соединений и условиями внутри реактора. Радиоактивные вещества с относительно высоким давлением насыщающих паров (в основном это изотопы инертных газов и йод в различных химических формах) переносились по воздуху в газовой фазе. Изотопы тугоплавких элементов (например, церия, циркония, ниобия и плутония) попали в атмосферу преимущественно в виде частиц топлива. Другие радионуклиды (изотопы цезия, теллура, сурьмы и т. д.) присутствовали в виде как топливных, так и конденсационных частиц. Относительные доли конденсационных и топливных частиц в составе выпадений на конкретном участке можно оценить по отношениям активности радионуклидов различных классов летучести.

A26. Наиболее значительную долю выпавших веществ в районе поврежденного реактора составляли частицы топлива. Такие радионуклиды, как ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{99}Mo , $^{141,144}\text{Ce}$, $^{154,155}\text{Eu}$, $^{237,239}\text{Np}$, $^{238-242}\text{Pu}$, $^{241,243}\text{Am}$ и $^{242,244}\text{Cm}$, в составе выбросов присутствовали только в матрице топливных частиц. Более 90 процентов активности $^{89,90}\text{Sr}$ и $^{103,106}\text{Ru}$ в составе выбросов также связано с частицами топлива. Доля выбросов ^{90}Sr , ^{154}Eu , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am (а значит, и самого ядерного топлива), выпавших за пределами территории ЧАЭС, согласно недавним оценкам, составляла лишь $1,5 \pm 0,5$ процента [K13], что вдвое меньше ранее сделанных оценок.

A27. По химическому и радионуклидному составу топливные частицы были аналогичны облученному ядерному топливу, но с меньшей долей летучих радионуклидов, с более высокой степенью окисления урана и с наличием различных примесей, особенно в поверхностном слое. Напротив, химический и радионуклидный состав конденсационных частиц колебался в широких пределах. Удельная активность радионуклидов в этих частицах зависела от продолжительности процесса кон-

денсации и температуры во время этого процесса, а также от характеристик самих частиц. В радионуклидном составе некоторых частиц присутствовали преимущественно один или два радионуклида, например $^{103,106}\text{Ru}$ или $^{140}\text{Ba}/^{140}\text{La}$.

A28. Форма того или иного радионуклида в составе выбросов определяла дальность его переноса по воздуху. Даже мельчайшие топливные частицы, состоящие из одного зерна кристаллита ядерного топлива, имели относительно большие размеры (до 10 мкм) и высокую плотность (8–10 г/см³). Из-за их большого размера дальность переноса по воздуху составляла лишь несколько десятков километров. Более крупные скопления частиц были обнаружены только в радиусе нескольких километров от АЭС. По этой причине выпадения тугоплавких радионуклидов значительно сокращались по мере удаления от поврежденного реактора и за пределами промышленной площадки АЭС отмечались лишь их следы. И наоборот, газообразные радионуклиды и конденсационные частицы размером менее 1 мкм выпадали в значительных количествах за тысячи километров от станции. Например, частицы рутения были обнаружены на территории всей Европы.

A29. Еще одно важное свойство выпавшего материала – его растворимость в водных растворах. Это определяет способность выпавших радионуклидов к переносу и их биологическую усвояемость в почвах и поверхностных водоемах в начальный период после выпадения. В выпавшем материале, пробы которого ежедневно отбирались Чернобыльской метеостанцией в период с 26 апреля по 5 мая 1986 года, доля растворимых в воде и способных к обмену (извлекаемых при помощи ацетата аммония с концентрацией 1М) форм ^{137}Cs составляла от 5 до более чем 30 процентов. По данным за 26 апреля, доля водорастворимых и способных к обмену форм ^{90}Sr в выпавшем материале составляла лишь около 1 процента, в последующие дни эта доля увеличилась до 5–10 процентов.

A30. Низкая растворимость выпавших ^{137}Cs и ^{90}Sr вблизи от АЭС указывает на то, что основную часть выпавшего материала составляли частицы топлива даже на расстоянии 20 км от источника. На меньшем удалении от АЭС доля водорастворимых и способных к обмену форм ^{137}Cs и ^{90}Sr была ниже в силу наличия частиц больших размеров; на больших расстояниях от АЭС увеличивалась доля растворимых конденсационных частиц. Один пример: практически весь ^{137}Cs , выпавший в 1986 году на территории Соединенного Королевства, обладал растворимостью в воде и способностью к обмену.

3. Метеорологические условия в период аварии

A31. Характеристика метеорологических условий в период аварии приведена в документах [I21, U3]. Новые данные отсутствуют, но постоянно ведутся исследования в целях более точного анализа погодных условий в период аварии [T5, T6]. В этом случае основная цель – возможность воспроизведения условий выпадения ^{131}I после аварии. Это связано с тем, что по-прежнему крупные исследовательские усилия посвящены реконструкции доз в щитовидной железе за счет радиоактивного йода, и недостает достоверных данных о плотности выпадения ^{131}I , особенно в Украине.

4. Концентрация радионуклидов в воздухе

A32. Проводились замеры концентрации радиоактивных веществ в атмосферном воздухе во многих районах бывшего Советского Союза и по всему миру. Примеры результатов проведенных измерений показаны на рисунке А-IV по данным замеров в двух населенных пунктах Украины – в Чернобыле и в Барышевке. В районе Чернобыля пробоотборник находился на метеостанции в г. Чернобыле, примерно в 15 км к юго-востоку от ЧАЭС. Начальные концентрации радиоактивных материалов в воздухе были очень высокими, но затем уменьшились в два этапа. Сначала происходило довольно резкое сокращение в течение нескольких месяцев, а затем – более постепенное сокращение в течение нескольких лет. По данным многолетних наблюдений, пробоотборник в Чернобыле постоянно регистрировал более высокие значения концентрации, чем в Барышевке (примерно в 150 км к юго-востоку от ЧАЭС), что, очевидно, связано с большим количеством частиц во взвешенном состоянии [H5].

A33. Даже сгладив данные с помощью скользящего среднего, можно отметить некоторые характерные особенности данных многолетних наблюдений. Отчетливый рост радиоактивности летом 1992 года (78-й месяц после аварии) был связан с лесными пожарами, охватившими обширные площади Украины и Беларуси.

5. Выпадение радионуклидов на почву

A34. Вплоть до 2000 года включительно проводилась интенсивная работа по составлению карт плотности выпадения ^{137}Cs по многим районам Северного полушария. Продолжается работа по картированию плотности выпадения ^{131}I , особенно в районах, где отмечен рост заболеваемости детей раком щитовидной железы. Ввиду того что ^{131}I имеет короткий период полураспада, данные прямых замеров плотности выпадения ограничены. В отсутствие таких данных реконструкция выпадения ^{131}I продолжается на основе трех подходов: а) с использованием ^{137}Cs в качестве суррогата; б) с использованием ^{129}I в качестве суррогата; и в) с использованием современных средств моделирования процессов переноса радионуклидов в атмосфере и их выпадения.

A35. Использование ^{137}Cs в качестве суррогата для ^{131}I описано в ряде работ, однако устойчивой взаимосвязи между показателями выпадения этих двух радионуклидов не отмечено. Это связано с разной летучестью двух данных элементов и интенсивностью их выпадения на почву в сухих и влажных

условиях. ^{129}I (с периодом полураспада 16 млн. лет) принято считать более естественным суррогатом, но его анализ связан с большими затратами и занимает много времени. Тем не менее такие работы ведутся, и за период с 2000 года опубликовано четыре большие статьи [M6, M7, P4, S17]. При условии отбора проб почв на достаточной глубине, где оседает ^{129}I , можно рассчитать плотность его выпадения. Затем, если известно изотопное отношение ^{129}I к ^{131}I на момент выпадения или его оценка, можно рассчитать плотность выпадения ^{131}I . Измеренные или оцененные значения этого отношения колеблются в широких пределах. В работе Pietrzak-Flis et al. [P4] для выпадений в Варшаве (Польша) используется отношение 32,8, а в работе Straume et al. [S17] для выпадений на территории Беларуси используется отношение 12 ± 3 . В работе Schmidt et al. [S11] содержится следующая рекомендация: “...наименьшее измеренное атомное отношение ^{129}I к ^{131}I должно в наибольшей степени соответствовать фактическому показателю выброса”. Это связано с тем, что намного выше вероятность попадания в пробы из внешних источников ^{129}I , чем ^{131}I .

A36. Выше упоминалась работа Talerko [T5, T6], где предпринимается попытка восстановить плотности выпадения ^{131}I при помощи модели переноса радионуклидов в атмосфере. Но эти расчеты предусматривают использование многочисленных допущений на основе весьма ограниченных данных, так что уровень неопределенности данного метода довольно высок.

В. Городская среда

A37. Выпадение радиоактивных веществ вызвало краткосрочное и долгосрочное повышение уровней радиации относительно естественных фоновых уровней в тысячах населенных пунктов, что, в свою очередь, стало причиной дополнительного внешнего облучения их жителей, а также внутреннего облучения в результате употребления в пищу пищевых продуктов, содержащих радионуклиды. В непосредственной близости от ЧАЭС, в городах Припять, Чернобыль и в ряде меньших населенных пунктов, произошло выпадение значительного количества радиоактивных веществ из “неразбавленного” радиоактивного облака в отсутствие дождя, а во многих более удаленных населенных пунктах значительные выпадения произошли с дождями, которые шли в момент прохождения над ними радиоактивного облака.

A38. Радиоактивные вещества оседали на открытых поверхностях – газонах, в парках, на улицах, крышах и стенах домов. Объемы и состав выпавшего материала в значительной степени зависели от того, какие погодные условия сложились в момент выпадения – сухие или влажные. В условиях сухой погоды более значительным уровням загрязнения подвержены деревья, кустарники, газоны и крыши домов. При наличии атмосферных осадков наибольшие объемы радиоактивных осадков выпадали на горизонтальные поверхности, в том числе на участки земли и газоны. Эти различия, в том числе заметные изменения с течением времени, отражены на рисунке А-V.

1. Перенос радионуклидов в городских условиях

A39. В городских условиях радионуклиды отделяются от поверхностей под воздействием естественных процессов

выветривания (например, во время дождя или таяния снега), а также под влиянием деятельности человека (дорожное движение, полив и уборка улиц). Основной вынос радионуклидов происходил со стоками в ливневые и/или канализационные системы, а также в периоды листопада. В результате этих природных процессов и деятельности человека в течение 1986 года и в последующий период мощности дозы в населенных районах и зонах отдыха были значительно снижены.

A40. В целом отложение радиоактивных осадков на вертикальных поверхностях зданий и выветривание с них ниже по сравнению с аналогичными показателями для горизонтальных поверхностей. Через 14 лет после аварии количество радионуклидов на стенах зданий сократилось на 50–70 процентов от начальных. В Дании за тот же период естественное снижение уровней радионуклидов на крышах домов составило 60–95 процентов от начального объема осадков (см. рисунок A-VI) [A6].

A41. Количество радиоцезия на асфальтированных поверхностях сократилось столь значительно, что в настоящее время остается менее 10 процентов от первоначально выпавшего количества. Лишь небольшая доля радиоцезия содержится в битуме, в основном радиоцезий содержится в тонком слое уличной пыли, которая постепенно выветрится.

A42. Одним из последствий этих процессов было вторичное загрязнение канализационных систем и накопителей сточных вод, что потребовало принятия специальных мер по их очистке. В целом перенос радионуклидов из почвы в другие районы в городах не отмечался, но под воздействием природных процессов и при земляных работах в садах и парках происходила миграция радионуклидов вглубь почвы.

2. Динамика мощности экспозиционной дозы в городских условиях

A43. Одной из наиболее значительных составляющих дополнительного внешнего облучения людей в результате аварии является гамма-излучение радионуклидов, выпавших в городской местности. По сравнению с мощностью дозы на открытой местности мощность дозы в населенных пунктах всегда существенно меньше вследствие поглощения фотонов зданиями, особенно кирпичными и бетонными. Внутри зданий, особенно на верхних этажах многоэтажных зданий, мощность доз меньше. Вследствие радиоактивного распада начальной смеси радионуклидов, вымывания их с твердых поверхностей и миграции в глубинные слои почвы мощности доз в воздухе с течением времени постепенно снижаются.

A44. Имеет значение и такой аспект, как изменение мощности доз в воздухе с течением времени в городах по сравнению с открытой местностью (это соотношение нередко называют “фактор места”). Данные об изменении фактора места с течением времени после чернобыльской аварии представлены на рисунке A-VII (по данным измерений в г. Новозыбкове в Российской Федерации) [G4].

С. Сельскохозяйственная среда

1. Перенос радионуклидов в наземной экосистеме

A45. Радионуклиды могут вести себя в окружающей среде по-разному. Некоторые из них, например радиоцезий, радиоактивный йод и радиостронций, обладают высокой подвижностью в окружающей среде и легко попадают в пищевые продукты. Напротив, слабо растворимые радионуклиды, например актиниды, обладают относительно низкой подвижностью и в основном остаются в почве. Основные пути миграции, приводящие к воздействию на человека, показаны на рисунке A-VIII [S13].

A46. Интенсивность переноса радионуклидов по путям их миграции в окружающей среде зависит от многих факторов. Среда, для которой характерны высокие степени переноса радионуклидов, в данном документе названа “радиоэкологически чувствительной”, так как такой перенос может приводить к относительно высокому облучению радиацией [H7].

A47. В ранний период после чернобыльской аварии (в первые два месяца) наиболее важную роль в облучении людей через сельскохозяйственную пищевую цепь играл ^{131}I , а в более долгосрочной перспективе – ^{137}Cs .

A48. Радиоэкологическая чувствительность к радиоцезию в полуприродных экосистемах, как правило, выше, чем в сельскохозяйственных экосистемах, иногда на несколько порядков величины [H9]. Эти различия связаны с действием ряда факторов, причем основными из них являются различное физико-химическое поведение в почвах, отсутствие конкуренции между Cs и K, вследствие чего повышаются темпы переноса радиоцезия в экосистемах с дефицитом питательных веществ, а также с наличием особых путей движения по пищевой цепи, приводящих к высоким концентрациям активности в продукции полуприродных экосистем. Кроме того, почвы лесов коренным образом отличаются от почв сельскохозяйственных; первые имеют четко выраженную многослойную вертикальную структуру, в которой, как правило, имеется минеральный слой с низким содержанием глин, служащий опорой для слоя, богатого органическими веществами. Напротив, в сельскохозяйственных почвах, как правило, меньше органических веществ и больше глин.

2. Системы производства пищевых продуктов, пострадавшие от аварии

A49. Вещества, выпавшие в результате чернобыльской аварии, оказали серьезное воздействие на эксплуатацию сельскохозяйственных и природных экосистем. Это относится не только к территориям бывшего Советского Союза, но и ко многим другим странам Европы.

A50. В странах бывшего Советского Союза на момент аварии система производства продуктов питания состояла из двух компонентов: крупные колхозы и мелкие индивидуальные хозяйства. В колхозах для повышения продуктивности, как правило, применялась система чередования земель наряду с пахотной обработкой земли и использованием удобрений для повышения урожайности. В традиционных мелких индивидуальных хозяйствах, напротив, искусственные удобрения почти

не применялись, а для повышения урожайности часто использовали навоз. В индивидуальных хозяйствах держали одну или несколько коров, и молоко производилось в основном для личного потребления. Для выпаса скота индивидуальные хозяйства сначала использовали лишь малоплодородные земли, которые не задействовались колхозами. В настоящее время они используют и более качественные пастбища.

A51. В Западной Европе малоплодородные земли используются для экстенсивного ведения сельского хозяйства, в основном для выпаса жвачных животных (например, овец, коз, оленей и крупного рогатого скота). К районам бедных почв относятся альпийские луга и гористые участки Западной и Северной Европы, где имеются почвы с высоким содержанием органических веществ.

a) Воздействие на сельскохозяйственные системы в начальный период после аварии

A52. В момент аварии растительность в разных районах находилась на разных стадиях роста, в зависимости от географической широты и высоты местности над уровнем моря. В начальный период основным путем загрязнения был перехват радионуклидов листьями растений. В среднесрочной и долгосрочной перспективе доминирующим фактором стало поглощение их корнями растений. Наибольшие значения концентрации радионуклидов в большинстве пищевых продуктов отмечались в 1986 году.

A53. На начальном этапе основным фактором внутреннего облучения был ^{131}I , который переносился по пути “пастбище–корова–молоко”. Радиоактивный йод, поступивший в организм коровы с травой, полностью поглощался в кишечнике, затем быстро проникал в щитовидную железу животного и в молоко (в течение одного дня). Таким образом, пиковые значения концентрации отмечались вскоре после выпадения радиоактивных веществ (в конце апреля – начале мая 1986 года, в зависимости от времени выпадения в той или иной стране). В ряде стран бывшего Советского Союза и в других странах Европы концентрации ^{131}I в молоке превышали национальные и региональные (Европейский Союз) уровни действия, которые составляли от нескольких сотен до нескольких тысяч беккерелей на литр.

A54. В конце апреля – начале мая 1986 года в странах Северной Европы коров и коз молочного направления еще не выпускали на пастбища, поэтому в их молоке концентрации ^{131}I были очень низкими. Вместе с тем в южных районах бывшего Советского Союза, а также в Германии, Франции и в странах Южной Европы молочный скот уже содержался на пастбищах, и в молоке коров, коз и овец отмечались значительные концентрации радиоактивных веществ. Концентрация ^{131}I в молоке убывала с эффективным периодом 4–5 дней ввиду малого периода полураспада и процессов удаления радионуклидов с листьев растений. Средний период полувыведения из травы радиоактивного йода путем выветривания составил 9 дней, а радиоцеция – 11 дней [K15]. Потребление в пищу листовых овощей, на поверхностях которых оседали радионуклиды, также способствовало попаданию радионуклидов в организм человека.

A55. Уровни содержания радиоцеция в растениях и животных тоже были повышенными по сравнению с показателями, вызванными его выпадением после испытаний ядерного оружия в атмосфере. Начиная с июня 1986 года радиоцеций

стал основным радионуклидом в большинстве проб из окружающей среды (за исключением проб из 30-километровой зоны) и в пищевых продуктах. Как показано на рисунке А-IX, уровни содержания ^{137}Cs в молоке весной 1986 года снижались с эффективным полупериодом около двух недель благодаря выветриванию, росту биомассы и другим естественным процессам. Однако в течение зимы 1986/87 года концентрации ^{137}Cs снова повысились в связи с тем, что коров кормили загрязненным сеном, которое было заготовлено весной и летом 1986 года. Это явление отмечалось во многих странах.

A56. Степень переноса в молоко других радионуклидов, присутствовавших в наземной среде в начальный период после аварии, была невысокой. Это связано с низкой усвояемостью этих элементов в пищеварительном тракте жвачных животных в сочетании с их низкой биодоступностью из-за связи с матрицей топливных частиц.

b) Долгосрочные последствия для сельскохозяйственных систем

A57. С осени 1986 года уровни радионуклидов в растениях и животных в основном определялись процессами взаимодействия между радионуклидами и различными компонентами почв, так как почва является основным коллектором долгоживущих радионуклидов, осевших в наземных экосистемах. Это взаимодействие регулирует биодоступность радионуклидов в отношении поступления в растения и животных, а также влияет на миграцию радионуклидов в глубинные слои почвы.

3. Физико-химические параметры радионуклидов в системе “почва–растение”

A58. Многочисленные замеры, сделанные после аварии, указывают на то, что основными факторами, определяющими радиоэкологическую чувствительность почв к радиоцецию, являются количество глинистых минералов и их природа. Эти свойства имеют важнейшее значение для понимания поведения радиоцеция, особенно в районах, удаленных от ЧАЭС, где ^{137}Cs первоначально выпадал главным образом в конденсированных, водорастворимых формах.

A59. Вблизи ЧАЭС радионуклиды выпадали в составе матрицы топливных частиц, которые с течением времени медленно растворяются. Наиболее значительные факторы, определяющие скорость растворения частиц топлива в почве, – это кислотность почвенного раствора и физико-химические свойства частиц (в частности, степень их окисления). При низких значениях pH (pH 4) 50 процентов частиц растворяются примерно за 1 год; при более высоких значениях pH (pH 7) на это уходит до 14 лет [F4, K14]. Таким образом, в кислых почвах почти все топливные частицы уже растворились. В нейтральных почвах количество подвижного ^{90}Sr , выделившегося из топливных частиц, все еще увеличивается, и это будет продолжаться в течение последующих 10–20 лет.

A60. Помимо минеральных веществ на судьбу радионуклидов в почвах существенное влияние могут оказывать микроорганизмы [K12, S21]. Микроорганизмы могут взаимодействовать с минеральными и органическими веществами и, следовательно, влиять на биологическую доступность радионуклидов. В частности, взаимодействуя с микоризными гри-

бами, почвенные микроорганизмы могут даже осуществлять перенос радионуклидов из почвенного раствора в растение.

А61. При помощи методов последовательной экстракции было установлено, что за первые 10 лет после 1986 года доля способного к обмену ^{137}Cs сократилась в 3–5 раз. Такая динамика, возможно, объясняется нарастанием фиксации радиоцезия в межслоевых узлах в глинистых минералах, низким коэффициентом диффузии и связыванием в узлах на неровных краях глинистых минералов. Эти процессы сокращают способность радиоцезия к обмену, в результате чего он не может переходить в почвенный раствор, из которого растения поглощают его через корни. Что касается ^{90}Sr , то было отмечено увеличение с течением времени доли радионуклида, способного к обмену, что объясняется выщелачиванием топливных частиц [K14].

a) Миграция радионуклидов в почве

А62. Вертикальная миграция радионуклидов в глубинные слои почвы может быть связана с различными механизмами переноса (конвективный перенос, дисперсия, диффузия, биологическое перемешивание). Высокие показатели поглощения радионуклидов корнями растений коррелируют с высокими показателями вертикальной миграции, так как в обоих процессах радионуклиды обладают относительно высокой подвижностью. Как правило, скорость переноса радионуклидов меняется в зависимости от типа почв и физико-химической формы. На рисунке А-Х приведен пример динамики глубинных профилей концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвенных слоях в Гомельской области Беларуси. Несмотря на значительную миграцию обоих радионуклидов вглубь почвы, активность радионуклидов в основном осталась в корнеобитаемом слое растений (0–10 см). В районах прямого выпадения радионуклидов на почву из атмосферы существует небольшая опасность миграции радионуклидов в грунтовые воды.

А63. Скорость вертикальной миграции радиоцезия и радиостронция в глубинные слои меняется в зависимости от типа почв. В торфяных почвах отмечается низкая скорость вертикальной миграции ^{90}Sr , в то время как скорость вертикальной миграции ^{137}Cs в этих почвах, для которых характерно высокое содержание органических веществ, наивысшая; в дерново-подзолистых и песчаных почвах подвижность ^{137}Cs существенно снижается. В суходольных лугах миграция ^{137}Cs из корнеобитаемого слоя (0–10 см) вглубь через 10 лет после аварии почти не регистрировалась. Таким образом, роль вертикальной миграции в снижении концентрации ^{137}Cs в корнеобитаемой зоне минеральных почв незначительна. На влажных лугах и на торфяниках, напротив, миграция в глубинные слои может быть важным фактором снижения концентрации ^{137}Cs в корнеобитаемой зоне.

А64. Повышенные скорости вертикальной миграции ^{90}Sr отмечаются в слабогумусных песчаных почвах, в дерново-подзолистых песчаных почвах и супесчаных почвах с низким содержанием органического вещества (<1 процента) [S13]. Как правило, наивысшая скорость вертикальной миграции ^{90}Sr отмечается при неравновесных состояниях почв. Это происходит в поймах рек, где их структура полностью не сформировалась (легкие гумусные пески), на пахотных почвах в неравновесном состоянии, на почвах, где был уничтожен органический слой, например, в результате лесных пожаров, а также на участках, покрытых песком осадочного происхожде-

ния с низким содержанием органического вещества (<1 процента). В этих условиях отмечается высокая скорость вертикальной миграции радиостронция в грунтовые воды вместе с конвективными потоками влаги, и в отдельных почвенных зонах могут возникать высокие активности. Так, пространственное распределение ^{90}Sr может быть особенно неоднородным в почвах, у которых изменились сорбционные свойства.

А65. На поведение радионуклидов большое влияние оказывает применение различных агротехнических приемов. В зависимости от глубины вспахивания земли и от используемых для этого технических средств в почве может происходить механическое перераспределение радионуклидов. На пахотных землях радионуклиды распределяются довольно равномерно по всей глубине пахотного слоя.

А66. Горизонтальное перераспределение радионуклидов по территории водосборных площадей, которое может быть вызвано водной или ветровой эрозией, происходит гораздо менее интенсивно, чем вертикальная миграция в глубинные слои почв и в более глубокие геологические слои [S13]. На интенсивность эрозии существенное влияние могут оказывать такие факторы, как тип и плотность растительного покрова. В зависимости от интенсивности эрозионных процессов содержание радионуклидов в пахотных почвах на равнинных участках с небольшим уклоном может изменяться до 75 процентов [B16].

b) Перенос радионуклидов из почвы в растения

А67. Поглощение радионуклидов корнями растений представляет собой конкурентный процесс, связанный с физиологией растений [E2]. Главными конкурентами радиоцезия и радиостронция являются калий и кальций, соответственно. Основные процессы, влияющие на перенос радионуклидов в корнеобитаемой зоне, схематично представлены на рисунке А-ХI, хотя относительное влияние каждого компонента меняется в зависимости от радионуклида и типа почвы.

А68. Основной процесс, определяющий усвоение радиоцезия корнями растений, – это взаимодействие между почвенной матрицей и почвенным раствором, которое зависит прежде всего от катионообменной емкости почвы. Для минеральных почв катионообменная емкость зависит от концентраций и типов глинистых минералов, а также от концентраций основных конкурирующих катионов, особенно калия и аммония. Примеры этих взаимозависимостей для радиоцезия и радиостронция представлены на рисунке А-ХII. Моделирование физико-химических свойств почвенных растворов с учетом этих важнейших факторов позволяет рассчитывать поглощение обоих радионуклидов корнями растений [K16, Z5].

А69. Доли выпавшего количества радионуклида, поглощаемые корнями растений, могут различаться на порядки величины в зависимости прежде всего от типа почвы. Для радиоцезия и радиостронция радиоэкологическую чувствительность почв можно в целом разделить на категории, которые приводятся в таблице А2. Что касается поглощения плутония корнями растений, то для всех типов почв и для всех видов растений оно незначительно по сравнению с прямым загрязнением листьев при выпадении дождя или ресуспензии.

Таблица А2. Классификация радиоэкологической чувствительности почв при переносе радиоцезия и радиостронция из почвы в растения [I21]

Чувствительность	Характеристики	Механизм	Пример
Для радиоцезия			
Высокая	Низкое содержание питательных веществ Отсутствие глинистых минералов Высокое содержание органики	Низкая конкуренция с калием и аммонием при поглощении корнями растений	Торфяные почвы
Средняя	Низкий питательный статус; состоит из минеральных веществ, включая некоторые глины	Ограниченная конкуренция с калием и аммонием при поглощении корнями растений	Подзолистые, другие песчаные почвы
Низкая	Высокий питательный статус Значительная доля глинистых минералов	Радиоцезий прочно связан с почвенной матрицей (глинистые минералы) Сильная конкуренция с калием и аммонием при поглощении корнями растений	Черноземные, глинистые и суглинистые почвы (используемые для интенсивного земледелия)
Для радиостронция			
Высокая	Низкий питательный статус Низкое содержание органики	Ограниченная конкуренция с кальцием при поглощении корнями растений	Подзолистые песчаные почвы
Низкая	Высокий питательный статус Высокое или среднее содержание органики	Сильная конкуренция с кальцием при поглощении корнями растений	Гумусоаккумулятивные глеевые почвы, торфяные почвы

А70. Для количественной характеристики процесса переноса радионуклидов из почвы в растения обычно применяют либо фактор переноса (TF , отн. ед., определяется как отношение концентрации активности в растении, в Бк/кг, к концентрации активности в почве, в Бк/кг), либо (агрегированный) коэффициент переноса (T_{ag} , м²/кг, – отношение концентрации активности в растении, в Бк/кг, к плотности выпадения радионуклидов на почву, в Бк/м²). При расчете этих характеристик обычно используют сухой вес для проб почвы и растительности.

А71. Наибольшее поглощение ¹³⁷Cs из почвы корнями растений отмечается в торфяных, болотистых почвах, где эти показатели на 1–2 порядка величины выше, чем в песчаных почвах; этот показатель нередко превышает аналогичные показатели для растений, растущих на плодородных сельскохозяйственных почвах, более чем на три порядка величины. Проблема высокого поглощения радиоцезия из болотистых почв в растения приобрела особое значение после чернобыльской аварии, так как во многих странах Европы на таких почвах расположены естественные неухоженные лугопастбищные угодья, используемые для выпаса жвачных животных и производства сена. Сельскохозяйственная деятельность нередко приводит к снижению переноса радионуклидов из почв в растения за счет физического разбавления (например, за счет вспахивания) или введения конкурирующих элементов (например, в составе удобрений).

А72. Поглощение радионуклидов из почвы зависит и от видов растений. Хотя интенсивность переноса радиоцезия из почвы в растения у разных видов растений может отличаться на порядок и даже на несколько порядков, влияние различий в радиоэкологической чувствительности почв зачастую имеет более важное значение для объяснения пространственных различий переноса радионуклидов в рамках сельскохозяйственных систем. Накопление радиоцезия в сельскохозяйственных культурах и на пастбищах связано с текстурой почвы. В песчаных почвах поглощение радиоцезия корнями растений примерно вдвое выше, чем в глинистых почвах, но это связано главным образом с более низким содержанием в песке основного конкурирующего элемента – калия.

А73. Таким образом, различия в уровне радиоэкологической чувствительности почв позволяют объяснить, почему в растениях и грибах полуприродных экосистем концентрации радиоцезия выше в некоторых районах относительно слабого его выпадения, и, наоборот, почему в районах относительно высокого выпадения концентрация его в растениях может оказаться низкой или средней.

с) *Динамика переноса радионуклидов в растения*

А74. В 1986 году содержание ¹³⁷Cs в растениях определялось прежде всего прямым выпадением из атмосферы и достигало своего максимального значения. В течение первого года после аварии (до конца 1987 года) содержание ¹³⁷Cs в растениях сократилось в 3–100 раз, так как основным путем загрязнения оставалось только его поглощение корнями растений в различных типах почв.

А75. В отношении луговых растений в первые годы после выпадения радиоактивных веществ поведение ¹³⁷Cs в значительной степени определялось распределением радионуклидов между почвой и дерновым слоем. В указанный период поглощение ¹³⁷Cs из дернового слоя существенно (до 8 раз) превышало его поглощение из почвы. В дальнейшем в результате разложения дернового слоя и последующего переноса радионуклидов в почву роль дернового слоя в этом процессе стала быстро уменьшаться, и в пятый год после начального выпадения радионуклидов доля дернового слоя в этом процессе составляла в автоморфных почвах не более 6 процентов, а в гидроморфных – 11 процентов [F4].

А76. В большинстве типов почв интенсивность переноса ¹³⁷Cs в растения с 1987 года продолжила снижаться, хотя скорость такого снижения уменьшилась, что можно видеть на рисунке А-ХIII [F7]. Аналогичное снижение с течением времени отмечается по результатам многих исследований различных растений.

А77. Снижение переноса радиоцезия из почвы в растения с течением времени может быть следствием: а) физического

распада радионуклида; *b*) его миграции из корнеобитаемой зоны в глубинные слои почвы; и *c*) его физико-химических взаимодействий с почвенной матрицей, приводящих к сокращению биодоступности радиоцезия. Для многих типов почв экологические полупериоды поглощения радиоцезия из почвы корнями растений можно охарактеризовать двумя компонентами: *a*) относительно быстрое снижение с полупериодом от 0,7 до 1,8 года (этот показатель доминировал в первые 4–6 лет после аварии, в результате концентрации радиоцезия в растениях сократились примерно на порядок по сравнению с 1987 годом); и *b*) медленное снижение с полупериодом от 7 до 60 лет [B20, F5, F7, P8].

A78. Вместе с тем делать обобщения на основе этих наблюдений следует с осторожностью, так как некоторые данные практически не показывают снижения поглощения радиоцезия в растения через корни с течением времени после первых 4–6 лет, и это означает, что его биодоступность в почве за период наблюдений не уменьшилась. Кроме того, количественные оценки экологических полупериодов, которые превышают период наблюдения, крайне ненадежны. Успешное применение любых контрмер, направленных на снижение концентраций радиоцезия в растениях, также приведет к изменению экологического полупериода.

A79. По сравнению с радиоцезием поглощение ^{90}Sr растениями с течением времени столь заметно не снижалось. В районах, расположенных вблизи ЧАЭС, постепенное растворение топливных частиц привело к увеличению биодоступности ^{90}Sr , поэтому его поглощение растениями с течением времени повышалось [K14].

A80. В отдаленных районах, где радиостронций выпадал в основном в конденсированной форме и в меньших количествах в виде мелкодисперсных частиц топлива, долгосрочная динамика переноса ^{90}Sr в растения была аналогична показателям радиоцезия, но экологические периоды поглощения радионуклида корнями растений и их вклады были другими. Эти различия связаны с разными механизмами переноса этих двух элементов в почву. Фиксация радиостронция в компонентах почвы в меньшей степени зависит от содержания глины в почве, чем для радиоцезия (см. таблицу A2). В более общем аспекте можно отметить, что показатели переноса ^{90}Sr из почвы в растения в меньшей степени зависят от свойств почвы, чем аналогичные показатели для радиоцезия [A3].

4. Перенос радионуклидов в организм животных

A81. Животные поглощают радионуклиды с кормами, а также непосредственно с почвой. Молоко и мясо домашних животных были основными источниками внутреннего облучения людей после чернобыльской аварии как в краткосрочной перспективе (из-за ^{131}I), так и в долгосрочной перспективе (из-за радиоцезия).

A82. Содержание радиоцезия в продуктах животного происхождения, полученных из экосистем, где сельское хозяйство ведется экстенсивными методами, могут быть высокими и могут сохраняться длительное время, даже при относительно небольших начальных выпадениях. Причины: *a*) почвы нередко способствуют значительному переносу радиоцезия в растения; *b*) некоторые виды растений, например вересковые и грибы, накапливают относительно большие количества радиоцезия; и *c*) многие такие участки являются пастбищами для

мелких жвачных животных, в организме которых радиоцезий накапливается в больших концентрациях, чем у более крупных жвачных животных [H8].

A83. Содержание радионуклидов в продуктах животного происхождения зависит от поведения радионуклидов в системе “растение–почва”, скорости усвоения радионуклидов кишечником животного, метаболического пути радионуклидов в организме животного, скорости потери радионуклидов (главным образом, за счет выделения с мочой, фекалиями и молоком). Основной путь поступления большинства радионуклидов в организм животного – поглощение их с кормом и последующее всасывание в желудочно-кишечном тракте. Всасывание большинства элементов из корма происходит в рубце (первом отделе желудка жвачных животных) или в тонком кишечнике с разной интенсивностью: например, актиниды практически не всасываются, радиоактивный йод всасывается полностью, а усвоение радиоцезия составляет от 60 до 100 процентов в зависимости от его формы [B15].

A84. После всасывания радионуклиды попадают в систему кровообращения. Некоторые из них накапливаются в отдельных органах; например, радиоактивный йод накапливается в щитовидной железе, а ионы многих металлов, в том числе ^{144}Ce , ^{106}Ru , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, – в печени. Актиниды и радиостронций, как правило, накапливаются в костях, а радиоцезий распределяется в мягких тканях по всему организму.

A85. Долгосрочная динамика изменения уровней радиоцезия в мясе и молоке (см., например, рисунок A-XIV) аналогична показателям для растений, и ее можно разделить на два временных этапа. В течение первых 4–6 лет после начального выпадения радиоцезия происходит довольно интенсивное снижение его содержания (экологические полупериоды от 0,8 до 1,2 года). В дальнейшем отмечается лишь небольшое снижение [F7].

A86. В значительной степени сельскохозяйственное производство в бывшем Советском Союзе было связано с выпасом коров индивидуальных хозяйств на бедных немелиорированных лугах. Из-за низкой продуктивности этих земель интенсивность переноса радиоцезия была относительно высока по сравнению с колхозными угодьями. В качестве примера различий между показателями двух систем ведения сельского хозяйства можно привести динамику изменения концентрации ^{137}Cs в молоке, произведенном в индивидуальных и коллективных хозяйствах Ровенской области Украины, – см. рисунок A-XV [P6]. Концентрации в молоке, произведенном в индивидуальных хозяйствах, превышали национальные уровни действия (получившие в странах бывшего Советского Союза название “временно допустимые уровни” (ВДУ)) вплоть до 1991 года, когда для индивидуальных хозяйств были приняты защитные меры.

5. Уровни содержания радионуклидов в пищевых продуктах в настоящее время и прогноз тенденций

A87. В таблице A3 представлены сводные данные (за 2000–2003 годы) о концентрации радиоцезия в зерновых, картофеле, молоке и мясе, произведенных в загрязненных районах Беларуси, Российской Федерации и Украины, на почвах различных типов с весьма разными показателями радиоэкологической чувствительности. Концентрация ^{137}Cs была во всех случаях выше в продуктах животного происхождения, чем в продукции растительного происхождения.

Таблица А3. Средние значения и диапазоны изменения концентрации ^{137}Cs в сельскохозяйственных продуктах в загрязненных районах Беларуси [В16], Российской Федерации [F7] и Украины [В14]

(Данные представлены в Бк/кг сырого веса для зерна, картофеля и мяса и в Бк/л для молока)

Плотность выпадения ^{137}Cs на почву	Зерно	Картофель	Молоко	Мясо
Беларусь				
>185 кБк/м ² (загрязненные районы Гомельской области)	30 (8–80)	10 (6–20)	80 (40–220)	220 (80–550)
37–185 кБк/м ² (загрязненные районы Могилевской области)	10 (4–30)	6 (3–12)	30 (10–110)	100 (40–300)
Российская Федерация				
>185 кБк/м ² (загрязненные районы Брянской области)	26 (11–45)	13 (9–19)	110 (70–150)	240 (110–300)
37–185 кБк/м ² (загрязненные районы Калужской, Тульской и Орловской областей)	12 (8–19)	9 (5–14)	20 (4–40)	42 (12–78)
Украина				
>185 кБк/м ² (загрязненные районы Житомирской и Ровенской областей)	32 (12–75)	14 (10–28)	160 (45–350)	400 (100–700)
37–185 кБк/м ² (загрязненные районы Житомирской и Ровенской областей)	14 (9–24)	8 (4–18)	90 (15–240)	200 (40–500)

А88. В 2008 году в результате естественных процессов и принятых защитных мер в сельском хозяйстве концентрации ^{137}Cs в пищевой сельскохозяйственной продукции в целом были ниже национальных, региональных (ЕС) и международных¹ уровней действия. Вместе с тем в отдельных районах с высокими уровнями выпадения радионуклидов (некоторые районы Гомельской и Могилевской областей Беларуси и Брянской области Российской Федерации) или в районах с бедными органическими почвами (Житомирская и Ровенская области Украины) концентрация ^{137}Cs в пищевых продуктах, особенно в молоке, по-прежнему превышала национальные временно допустимые уровни, составляющие около 100 Бк/кг.

А89. Через 15 лет после аварии индивидуальные хозяйства в более чем 400 населенных пунктах Украины, 200 населенных пунктах Беларуси и 100 населенных пунктах России производили коровье молоко с концентрацией ^{137}Cs свыше 100 Бк/л (действующий ВДУ для молока). В 2001 году в шести украинских, пяти белорусских и пяти российских населенных пунктах производилось молоко с содержанием ^{137}Cs свыше 500 Бк/л.

А90. Анализ динамики изменения концентрации ^{137}Cs и соответствующих коэффициентов переноса свидетельствует лишь о медленном снижении уровней ^{137}Cs в большинстве пищевых продуктов растительного и животного происхождения за 1998–2008 годы. Это показывает, что радионуклиды в сельскохозяйственных экосистемах близки к равновесному состоянию. Вместе с тем можно ожидать дальнейшего снижения концентраций радионуклидов вследствие их постоянной миграции в глубинные слои почвы и радиоактивного распада, несмотря на то что между ^{137}Cs в лабильных и стабильных

фракциях почв установилось равновесие. Учитывая нынешние низкие темпы снижения концентраций радионуклидов и значительные неопределенности в оценке долгосрочных эффективных полупериодов на основе имеющихся данных, невозможно прогнозировать дальнейшее существенное сокращение концентраций радионуклидов в ближайшие десятилетия, за исключением радиоактивного распада ^{137}Cs и ^{90}Sr , имеющих периоды полураспада около 30 лет.

А91. Концентрации радионуклидов в пищевых продуктах могут увеличиваться в ряде ограниченных географических районов вблизи Чернобыльской АЭС вследствие растворения топливных частиц, изменения уровня грунтовых вод в связи с изменением порядка использования ныне пустующих земель либо прекращения защитных мероприятий.

D. Лесная среда

1. Радионуклиды в европейских лесах

А92. Лесные экосистемы относятся к полуприродным экосистемам, серьезно пострадавшим в результате выпадения материалов из радиоактивного шлейфа. Наибольшую тревогу с радиологической точки зрения вызывают в долгосрочном плане концентрации ^{137}Cs (из-за его 30-летнего периода полураспада и биодоступности) в лесной среде и лесной продукции. В первые годы после аварии значительное воздействие оказывал также более короткоживущий изотоп ^{134}Cs . Другие радионуклиды (например, ^{90}Sr и изотопы плутония) играют ограниченную роль в качестве источника облучения человека в лесной зоне, за исключением сравнительно небольшой территории в пределах и вокруг 30-километровой зоны. В связи с этим основная часть собранных данных об окружающей среде была связана с оценкой поведения ^{137}Cs и соответствующими дозами излучения. Особое внимание в данном подразделе уде-

¹Нынешние рекомендуемые Комиссией "Кодекс Алиментариус" нормативы содержания ^{137}Cs в пищевых продуктах для использования в международной торговле составляют 1000 Бк/кг [С12].

лено распределению ^{137}Cs в лесной среде и основным путям радиационного воздействия на людей.

A93. После аварии на леса, расположенные на территории Беларуси, Российской Федерации и Украины, а также ряда стран за пределами бывшего Советского Союза, в первую очередь Финляндии, Швеции и Австрии, выпало значительное количество радиоактивного материала. Уровни выпадения ^{137}Cs на леса этих стран варьировались в диапазоне от более чем 10 МБк/м² в некоторых местностях до 10–50 кБк/м² в ряде стран Западной Европы. В каждой из этих стран леса не только представляют собой чрезвычайно важный экономический ресурс, но и играют ключевую роль во многих видах социальной и культурной деятельности. В некоторых случаях эти виды деятельности были свернуты из-за опасностей и ограничений, связанных с уровнями концентрации ^{137}Cs .

A94. Предшествующие исследования, связанные с глобальными выпадениями в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере, показали, что скорость очищения лесных экосистем от радионуклидов за счет естественных процессов крайне низка. Скорость очищения от ^{137}Cs в лесах, загрязненных радиоактивными выпадениями после чернобыльской аварии, составляла менее 1 процента в год, поэтому представляется вероятным, что без искусственного вмешательства уровни ^{137}Cs в долгосрочном плане будут определяться главным образом скоростью физического распада. Рециркуляция радиоактивного цезия в лесной экосистеме представляет собой динамический процесс, в котором обратимые переходы между биотическими и абиотическими компонентами экосистемы происходят с сезонной или большей периодичностью. Большой объем информации о таких процессах был получен из экспериментов и полевых измерений, при этом значительная часть этих данных была использована для построения прогнозных математических моделей [118].

2. Динамика концентрации радионуклидов на начальной стадии

A95. Уровни радиоактивности в лесах на территории бывшего Советского Союза вдоль траектории движения первого радиоактивного шлейфа сформировались в основном за счет сухого выпадения, в то время как на большем удалении, в таких странах, как Швеция и Австрия, происходило также мокрое выпадение частиц, которое приводило к образованию значительных “горячих пятен”. Радионуклиды выпадали с дождями и в других частях бывшего Советского Союза, например в Могилевской области Беларуси, в Брянской и других областях Российской Федерации.

A96. Основным механизмом загрязнения деревьев после аварии был непосредственный перехват начальных выпадений (от 60 до 90 процентов) кронами деревьев. В зоне радиусом 7 км вокруг реактора это привело к очень высоким уровням осаждения выпавших частиц на кронах сосен, которые вследствие этого получили летальные дозы радиации от сложной смеси коротко- и долгоживущих радионуклидов, выброшенных из поврежденного реактора. В зоне непосредственной близости к реактору мощность дозы гамма-излучения в течение первых дней и недель после аварии превышали 5 мГр/ч. По расчетам, доза гамма-излучения, поглощенная сосновой хвоей, составила примерно 100 Гр. Этот небольшой участок леса приобрел известность под названием “Рыжий лес” из-за красновато-коричневого цвета, который приобретали погиб-

шие деревья; это стало наиболее наглядным проявлением последствий воздействия радиации на живые организмы в этом районе.

A97. Уровни радионуклидов в кронах деревьев быстро снизились за период от недель до месяцев благодаря естественным процессам вымывания дождевыми водами и опаданию листьев и хвои. Радиоактивный цезий также поглощался с поверхности листьев, хотя измерить это непосредственно было трудно. К концу лета 1986 года в кронах деревьев сохранилось около 15 процентов выпавшего первоначально радиоцезия, а к лету 1987 года произошло дальнейшее снижение его количества приблизительно до 5 процентов. В течение этого периода, продолжавшегося около года, основное количество радиоцезия перешло из крон деревьев в подстилающие почвы.

A98. В течение лета 1986 года увеличилось содержание радиоцезия в природных продуктах, например в грибах и ягодах, что привело к росту его содержания в организме лесных животных, например оленей и лосей. В Швеции концентрация ^{137}Cs в организме лося превышала 2 кБк на кг свежего веса, а в организме косули она была еще выше.

3. Долгосрочная динамика уровней радиоцезия в лесах

A99. Приблизительно к исходу первого года после начала выпадения основная часть радиоцезия в лесу перешла в почву. По мере миграции радиоцезия в глубокие слои почвы доминирующим процессом в долгосрочном плане стало его поглощение корнями деревьев и подлеска. Скорость циркуляции радиоцезия, как и его химического аналога – биогенного калия, в экосистеме леса высока, и поэтому в течение нескольких лет после первоначального выпадения его распределение достигает квазиравновесия [S12]. Верхние слои почвы, обогащенные органикой, служат долгосрочным хранилищем, однако они же играют роль общего источника радиоцезия для лесной растительности, хотя отдельные виды растений существенно различаются по своей способности накапливать радиоцезий из этой органической почвы (рисунок А-XVI).

A100. Потери радиоцезия из экосистемы за счет дренажного стока обычно ограничены из-за удержания этого элемента на слюдяно-глинистых минералах. Важной ролью лесной растительности в рециркуляции радиоцезия является частичное и временное удержание этого элемента, в частности в многолетних древесных компонентах. Хотя концентрация радиоцезия в стволах и ветвях деревьев невелика, в силу их большой биомассы общие запасы ^{137}Cs могут быть значительными. Однако часть радиоцезия, поглощенная растительностью из почвы, ежегодно возвращается в процесс рециркуляции за счет выщелачивания и опадания листьев/хвои, результатом чего становится долговременная биодоступность радиоцезия в поверхностных слоях почвы. Запас радиоцезия в лесной биомассе на корню составляет около 10 процентов от общей активности в экосистеме лесов умеренных широт; основная часть этой активности приходится на деревья.

A101. Благодаря биологическому круговороту и удержанию радиоцезия миграция в лесных почвах ограничена, и в долгосрочном плане основная масса радиоцезия скапливается в верхних органических горизонтах. Однако продолжается медленная вертикальная миграция радиоцезия вглубь, хотя ее скорость меняется в широких пределах в зависимости от типа почвы и климата.

A102. Гидрологический режим лесных почв является важным фактором, определяющим перемещение радионуклидов в лесных экосистемах. В зависимости от гидрологического режима значение T_{ag} радиоцеция для деревьев, грибов, ягод и кустарников может меняться в пределах более чем трех порядков величины. Минимальные значения T_{ag} зафиксированы для автоморфных (сухих) лесов и почв, образовавшихся на относительно плоских поверхностях с низким стоком воды. Максимальные значения T_{ag} связываются с гидроморфными лесами, выросшими в условиях продолжительного застоя поверхностных вод. К другим важным факторам, влияющим на перемещение радионуклидов в лесах, относятся распределение корневых систем (мицелия) по профилю почвы и способность различных растений аккумулировать радиоцеций [F6].

A103. Вертикальное распределение радиоцеция в почве оказывает большое влияние на динамику его поглощения травянистыми растениями, деревьями и грибами. Еще одним важным результатом является снижение мощности дозы внешнего гамма-излучения со временем благодаря экранированию излучаемой радиации верхними слоями почвы по мере перемещения радионуклидов в более глубокие слои. Наиболее быстрое вертикальное перемещение вглубь почвы наблюдалось в гидроморфных лесах.

A104. С момента первоначального выпадения на леса крупномасштабное горизонтальное перераспределение радиоцеция ограничено. К процессам мелкомасштабного перераспределения относятся ресуспензия под действием ветра и пожаров, а также эрозия и перенос стоком воды; однако ни один из этих процессов, видимо, не может привести к сколько-нибудь значительному перемещению радиоцеция за пределы зоны его первоначального выпадения.

4. Переход в пищевые продукты

A105. К пищевым продуктам, добываемым в лесу, относятся грибы, плоды и охотничье-промысловые животные; в местах, где отмечалось выпадение радиоактивных материалов на леса, во всех перечисленных продуктах были обнаружены радионуклиды. Самые высокие уровни радиоцеция отмечались в грибах из-за их способности интенсивно накапливать некоторые минеральные питательные вещества, в том числе радиоцеций. Грибы являются распространенным и важным пищевым продуктом во многих из наиболее пострадавших стран, особенно в пределах бывшего Советского Союза. Изменение концентрации ^{137}Cs в грибах со временем отражает его биодоступность в различных источниках питания, используемых разными видами грибов.

A106. Высокие уровни содержания радиоцеция в различных видах грибов обусловлены обычно высокими значениями коэффициента перехода «почва–гриб». Однако эти коэффициенты перехода (T_{ag}) также демонстрируют значительную изменчивость и могут меняться от 0,003 до 7 м²/кг, т. е. более чем в 2 тыс. раз [I15]. Способность накопления радиоцеция в различных видах грибов может существенно различаться; интенсивность такого накопления обычно отражает экологическую нишу, которую занимает данный вид. Как и в случае растений, агрохимические свойства лесных почв и условия произрастания оказывают большое влияние на коэффициенты переноса ^{137}Cs из почвы в разные виды лесных грибов [K12]. Степень изменчивости уровней содержания радиоцеция в грибах иллюстрируется на рисунке A-XVII [I18], на котором

также показана тенденция к медленному снижению этих уровней в 1990-х годах.

A107. Содержание радиоцеция в лесных грибах часто оказывается намного выше его содержания в лесных ягодах, например в чернике. Это отражается в суммарных коэффициентах переноса для лесных ягод, которые варьируются в пределах 0,02–0,2 м²/кг [I15]. Благодаря тому, что уровень содержания радиоцеция в лесных ягодах обычно меньше, чем в грибах, как и их съедобная масса, облучение вследствие потребления лесных ягод меньше, чем при потреблении грибов. Однако оба эти продукта составляют значительную часть рациона травоядных животных, создавая, следовательно, второй путь воздействия радиации на человека за счет потребления мяса диких животных. Животные, пасущиеся в лесах и других полуприродных экосистемах, зачастую дают мясо с высокой концентрацией радиоцеция. К таким животным относятся кабан, косуля, лось и северный олень, как, впрочем, и домашние животные, такие как коровы и овцы, которые могут пастись на опушках леса.

A108. Большая часть данных об уровнях содержания радионуклидов в организме промысловых животных, таких как олень и лось, была получена из тех западноевропейских стран, где распространены охота на таких животных и использование их в пищу. Содержание радиоцеция в организме этих животных подвержено значительным сезонным колебаниям в связи с соответствующими изменениями в доступности разных видов пищи, в частности грибов и лишайника; последний особенно важен в качестве компонента рациона северного оленя. В частности, весьма представительные временные ряды измерений получены в странах Северной Европы и в Германии. На рисунке A-XVIII показан полный временной ряд среднегодовых значений концентрации радиоцеция в организме лоса на одной из охотничьих территорий в Швеции с 1986 по 2003 год. Важнейшим фактором, определяющим поглощение радионуклидов промысловыми животными, в частности косулями, является высокая концентрация радиоцеция в грибах. Коэффициенты переноса для организма лоса колеблются от 0,006 до 0,03 м²/кг [I15]. Среднее значение T_{ag} для лоса в Швеции снижалось с высоких уровней в начальном периоде, свидетельствуя о том, что экологический полупериод радиоцеция в организме лоса заметно короче 30 лет, соответствующего физическому периоду полураспада ^{137}Cs .

5. Радионуклиды в древесине

A109. Авария привела к выпадению радионуклидов во многих лесах Европы и стран бывшего Советского Союза; эти леса по большей части высаживаются и выращиваются для производства лесоматериалов. Один из важных возможных путей облучения человека связан с производством таких материалов. Экспорт и последующая обработка и использование лесоматериалов, содержащих радионуклиды, являются путями облучения людей, которые в обычных условиях не подверглись бы такому воздействию непосредственно в лесу. Переход радиоцеция из лесных почв в древесину невелик; коэффициенты перехода варьируются в пределах 0,0003–0,003 м²/кг. Поэтому применение дерева для изготовления мебели, стен и полов в домах вряд ли приведет к значительному воздействию облучения на людей, пользующихся этими изделиями [I19]. Однако производство потребительских товаров, в том числе бумаги, дает как жидкие, так и твердые отходы, в которых происходит концентрирование радиоцеция.

Обращение работников с такими отходами на целлюлозно-бумажных комбинатах может привести к профессиональному облучению.

A110. Сжигание других частей деревьев (например, хвои, коры и сучьев) может создать проблему захоронения радиоактивной золы деревьев. Такая практика получила значительное распространение в последние годы в связи с ростом интереса к биотопливным технологиям в странах Северной Европы. Проблема наличия радиоцезия в золе деревьев приобретает особую важность в связи с тем, что концентрация этого элемента в золе превосходит соответствующие значения в исходной древесине в 50–100 раз. Для местного населения, использующего дрова из этих лесов, накопление золы в домах и/или на приусадебных участках может привести к внешнему воздействию гамма-излучения радиоцезия и к внутреннему облучению в результате вдыхания [119]. Однако уровни такого облучения обычно невелики.

Е. Радионуклиды в водных системах

1. Введение

A111. В связи с чернобыльской аварией в системах поверхностных вод во многих частях Европы оказались повышены уровни радиоактивных веществ. Однако основная часть радиоактивных материалов выпала в бассейне реки Припять, которая является важным элементом Днепровской системы рек и водохранилищ, одной из крупнейших систем поверхностных вод в Европе. Вследствие этого после аварии возникли серьезные опасения, связанные с возможным радиоактивным загрязнением системы водоснабжения территории вдоль Днепровского каскада водохранилищ, протянувшегося на расстояние около 1 тыс. км до Черного моря. Уровни радиоактивности увеличились и в других крупных речных системах Европы, в частности в системах Рейна и Дуная, хотя уровень загрязнения этих рек был незначительным [U3].

A112. Начальные концентрации радионуклидов в речных водах в отдельных частях Беларуси, Российской Федерации и Украины были относительно высоки по сравнению как с уровнями в других европейских реках, так и с нормами содержания радионуклидов в питьевой воде за счет прямого выпадения на поверхность рек и выноса радионуклидов со стоком с водосборных территорий. В первые недели после аварии концентрация в речной воде быстро упала из-за физического распада короткоживущих радионуклидов и поглощения радионуклидов почвами на водосборах и донными отложениями. В долгосрочном плане доминирующими радионуклидами в водных экосистемах стали долгоживущие ^{137}Cs и ^{90}Sr . Хотя в долгосрочном плане уровни этих радионуклидов в реках были невысокими, временные подъемы концентрации во время паводков на реке Припять вызвали серьезную озабоченность в районах, использующих воду Днепровского каскада.

A113. В озерах и водохранилищах были повышенные уровни радиоактивности в связи с непосредственным выпадением радионуклидов на поверхность воды и переносом радионуклидов из материала, выпавшего на территорию окружающих водосборов, за счет поверхностного стока. Концентрация радионуклидов в воде водохранилищ и озер с высокой проточностью (“открытые” озерные системы) быстро падала. Однако в некоторых случаях концентрации

радиоцезия в озерах сохранялись относительно высокими из-за стока с органических почв на водосборе. Кроме того, внутренний круговорот радиоцезия в “замкнутых” озерных системах (т. е. в озерах с низкой проточностью) приводил к формированию в воде и водной биоте концентрации, намного превосходящей значения, обычно наблюдаемые в открытых озерах и реках.

A114. Биоаккумуляция радионуклидов (в частности, радиоцезия) в рыбе привела к концентрациям (как в наиболее пострадавших районах, так и в Западной Европе), которые в ряде случаев значительно превосходили национальные уровни действия для потребления, т. е. имели порядок от нескольких сотен до нескольких тысяч и даже десятков тысяч беккерелей на килограмм. В некоторых озерах Беларуси, Российской Федерации и Украины эти проблемы сохранились до настоящего времени и могут оставаться актуальными в обозримом будущем. Пресноводная рыба служит важным источником питания для многих жителей пострадавших районов. В Днепровском каскаде Украины промышленные уловы рыбы составляют более 20 тыс. тонн в год. В некоторых других районах Европы, в частности в Скандинавии, концентрации радиоцезия в рыбе все еще превышают допустимые уровни.

A115. Ближайшими к ЧАЭС морскими экосистемами являются Черное и Балтийское моря, каждое из которых отстоит от места аварии на несколько сотен километров. Со времени аварии проводилось интенсивное изучение уровней радиоактивности в воде и в организме рыб этих морей. Поскольку средние показатели непосредственного выпадения на поверхность воды указанных морей были сравнительно невелики, а также благодаря высокой степени разбавления в морских системах концентрации в этих морях были намного ниже, чем в пресноводных системах [I20].

2. Поглощение радионуклидов пресноводными рыбами

A116. Потребление пресноводной рыбы служит важной составляющей водного пути переноса радионуклидов к человеку. Хотя переход радионуклидов в организм рыб изучался во многих странах, основное внимание здесь будет уделено Беларуси, Российской Федерации и Украине в связи с наличием относительно более высоких концентраций радионуклидов в водных объектах этих стран.

a) Содержание ^{131}I в пресноводной рыбе

A117. Данные о содержании ^{131}I в рыбе ограничены. ^{131}I быстро поглощался рыбой в Киевском водохранилище; максимальные его концентрации в рыбе отмечались в начале мая 1986 года. Концентрации в мышечной ткани рыб снизились с уровня около 6 тыс. Бк на килограмм свежего веса по состоянию на 1 мая 1986 года примерно до 50 Бк на килограмм свежего веса на 20 июня 1986 года. Скорость снижения при этом соответствовала скорости физического распада ^{131}I . Благодаря быстрому физическому распаду уровни ^{131}I в рыбе упали до незначительных в течение нескольких месяцев после аварии.

b) Содержание ^{137}Cs в пресноводной рыбе и другой водной биоте

A118. За годы, прошедшие после чернобыльской аварии, было проведено множество исследований содержания радио-

цеция в пресноводной рыбе. Вследствие высоких коэффициентов биоаккумуляции радиоцеция в некоторых районах в рыбе сохранялись значительные концентрации этого радионуклида, несмотря на невысокие уровни его содержания в воде. Поглощение радиоцеция небольшими рыбами происходило сравнительно быстро, при этом максимальные концентрации наблюдались в первые недели после аварии. Из-за медленного поглощения радиоцеция крупными хищными рыбами (щука и угорь) максимальные уровни концентрации активности отмечены лишь через 6–12 месяцев после первоначального выпадения, как показано на рисунке А-ХІХ [U19].

A119. В Киевском водохранилище уровни ^{137}Cs в организме взрослых нехищных рыб составили 0,6–1,6 кБк на килограмм свежего веса в 1987 году и 0,2–0,8 кБк/кг в 1990–1995 годах, а затем упали до 0,2 кБк/кг и ниже в 2002 году. Значения для хищных видов рыб составили 1–7 кБк/кг в 1987 году и 0,2–1,2 кБк/кг в период с 1990 по 1995 год.

A120. В озерах Брянской области России, приблизительно в 200 км от Чернобыля, концентрация ^{137}Cs в некоторых видах рыб в период 1990–1992 годов менялась в пределах 0,2–19 кБк на килограмм свежего веса. В мелководных бессточных озерах, таких как Кожановское (Брянская область, Российская Федерация) и Святое (Костюковичский район, Беларусь), концентрация ^{137}Cs в организме рыбы снижалась медленнее, чем в рыбе, населяющей реки и открытые озерные системы, из-за медленного снижения концентрации ^{137}Cs в водах этих озер [B22].

A121. Биоаккумуляция радиоцеция в разных видах рыб может существенно различаться. Например, в озере Святое (Беларусь) уровни активности в организме крупной щуки и окуня (хищные рыбы) были в 5–10 раз выше, чем в нехищной рыбе, такой как плотва. Подобным образом, коэффициенты биоаккумуляции в озерах с низкой концентрацией калия могут быть на порядок выше, чем в озерах, богатых калием. Так, в [S15] отмечалось, что рыба из озер в сельскохозяйственных районах Беларуси (где наблюдается значительный сток калиевых удобрений) имела более низкие коэффициенты биоаккумуляции, чем рыба из озер в полуприродных районах.

с) Содержание ^{90}Sr в пресноводной рыбе

A122. Химическое и биологическое поведение стронция аналогично кальцию. Биоаккумуляция стронция происходит наиболее активно в бедных кальцием (“мягких”) водах. Сравнительно низкие коэффициенты биоаккумуляции ^{90}Sr в пресной воде (порядка 100 л/кг) в сочетании с более низкой плотностью выпадения этого радионуклида привели к тому, что концентрация ^{90}Sr в организме рыбы была, как правило, намного ниже, чем ^{137}Cs . В 2000 году максимальная концентрация ^{90}Sr в мышечной ткани хищной и нехищной рыбы в озерах вокруг ЧАЭС с самыми высокими уровнями активности варьировалась в пределах 2–15 Бк на килограмм свежего веса. В 2002–2003 годах концентрации ^{90}Sr в мышечной ткани рыбы в водохранилищах Днепровского каскада составляли всего лишь 1–2 Бк/кг, что близко к уровням до аварии. Пресноводные моллюски отличались от рыб намного более высокими показателями биоаккумуляции ^{90}Sr . В Днепре содержание ^{90}Sr в тканях моллюсков на килограмм веса было примерно в 10 раз выше, чем в мышечной ткани рыб. При этом биоаккумуляция ^{90}Sr в костях и коже рыб также была примерно в 10 раз выше, чем в мышечной ткани.

3. Уровни радиоактивности в морских экосистемах

A123. Морские экосистемы не подверглись серьезному воздействию из-за выпадения материалов в результате аварии. Ближайшими к реактору морями были Черное (около 520 км) и Балтийское (около 750 км). Уровни активности в этих морях повысились в первую очередь из-за непосредственного выпадения из радиоактивного облака, а также из-за небольших поступлений с речным стоком за годы после аварии. Суммарное выпадение ^{137}Cs на поверхность составило около 2,8 ПБк в Черном море и 3,0 ПБк в Балтийском море.

F. Меры защиты и реабилитации

A124. С первых дней после чернобыльской аварии были приняты контрмеры для снижения доз у людей. Круг этих мер был весьма широким: от экстренной эвакуации жителей в 1986 году с близлежащих территорий, где выпадения радионуклидов были наибольшими, до запрета на употребление загрязненных пищевых продуктов во многих европейских странах [S16]. Весь спектр принятых мер и их эффективность рассматривались в ряде международных докладов (например, [I17, U3]).

A125. В настоящем разделе не рассматриваются конкретные чрезвычайные меры по смягчению последствий аварии, осуществившиеся в прошлом на ЧАЭС в целях снижения и прекращения радиоактивных выбросов в окружающую среду. Не рассматриваются также критерии и практические методы защиты для участников операций по ликвидации чрезвычайной ситуации и смягчению ее последствий, как и методы и политика эвакуации 115 тыс. жителей из наиболее загрязненных районов бывшего Советского Союза в 1986 году и последующего дополнительного перемещения 220 тыс. жителей в 1989–1992 годах [U3] с загрязненных территорий в “чистые” районы.

A126. Некоторые контрмеры принимались непосредственно в отношении населения, например упомянутые выше эвакуация и переселение. Кроме того, осуществлялось организованное и самостоятельное временное переселение детей из районов, которые считались загрязненными. В некоторых случаях среди населения распространялись таблетки йодида калия (KI) с инструкцией по их применению. К сожалению, на наиболее загрязненных территориях Беларуси, Российской Федерации и Украины это распределение было недостаточно хорошо организовано и имело невысокую эффективность. Опыт более успешного использования йодида калия в Польше представлен в дополнении В в связи с оценкой доз на щитовидную железу.

A127. Защитные меры осуществлялись с 1986 года в городской, сельскохозяйственной, лесной, а также в водной средах. Многие из этих мероприятий проводились в связи с необходимостью обеспечить выполнение соответствующих международных или национальных радиологических критериев; все они были направлены на снижение доз, полученных людьми.

1. Дезактивация населенной местности

A128. Дезактивация населенных пунктов была одним из основных защитных мероприятий, направленных на снижение

внешнего облучения населения на начальном этапе ликвидации последствий аварии. Анализ вклада источников радиации в дозу внешнего облучения для различных групп населения, проживающих на таких территориях, позволил установить, что значительную часть дозы люди получали от радионуклидов в почве, на поверхностях с покрытием (например, асфальтовым или бетонным) и в небольшой степени – на стенах и крышах зданий. Вот почему одна из наиболее эффективных технологий дезактивации включала удаление верхнего слоя почвы.

A129. В случае сухого выпадения эффективными и недорогими мерами, позволившими добиться значительного снижения дозы, были чистка улиц, удаление деревьев и кустарников и вспашка приусадебных участков. Значительный вклад в дозу вносили загрязненные крыши, но не стены.

A130. Крупномасштабные мероприятия по дезактивации были осуществлены в 1986–1989 годах в городах и сельских населенных пунктах бывшего Советского Союза с наибольшими уровнями радиоактивности. Эти операции обычно выполнялись военнослужащими и включали мытье зданий водой или специальными растворами, очистку жилых территорий, удаление загрязненной почвы, очистку и мытье дорог, а также дезактивацию открытых источников воды. Особое внимание уделялось детским садам, школам, больницам и другим зданиям, которые часто посещаются большим числом людей. Всего было обработано около тысячи населенных пунктов; эта работа включала очистку десятков тысяч жилых и общественных зданий и более тысячи сельскохозяйственных ферм (например, [A7]).

A131. В первое время после аварии существовало опасение, что вдыхание радиоактивных частиц почвы и ядерного топлива, находящихся в воздухе во взвешенном состоянии, способно значительно повысить дозу внутреннего облучения. Для подавления образования пыли над загрязненными местами распыляли органические растворы, которые после высыхания образовывали невидимую полимерную пленку. Улицы городов поливали водой, чтобы предотвратить образование пыли и смыть радионуклиды в канализационную систему².

A132. В зависимости от используемых технологий дезактивации мощность дозы на различных участках, где проводились замеры, была снижена в 1,5–15 раз. Однако высокая стоимость таких мероприятий не позволяла проводить их на всех пострадавших территориях. Из-за этих ограничений снижение годовой дозы внешнего облучения для населения в среднем составило 10–20 процентов с диапазоном изменения этих цифр от примерно 30 процентов у детей, посещающих школу или детский сад, до менее чем 10 процентов у людей, работающих на открытом воздухе (пастухи, лесники и т. д.). Эти данные подтверждены измерениями индивидуальных внешних доз, выполненными до и после крупномасштабных операций по дезактивации, проведенных в 1989 году в Брянской области Российской Федерации [B12].

A133. Регулярный мониторинг дезактивированных участков в населенных пунктах в течение пятилетнего периода

показал, что после 1986 года не наблюдалось значительного повторного загрязнения, а мощность экспозиционной дозы в долгосрочном плане уменьшалась. Коллективная доза внешнего облучения, предотвращенная для 90 тыс. жителей в 93 наиболее пострадавших населенных пунктах Брянской области, оценивается приблизительно в 1000 чел.-Зв [B12].

A134. С 1990 года крупномасштабные операции по дезактивации в странах бывшего Советского Союза были прекращены, однако отдельные участки и здания, на которых измерения выявили высокие уровни радиации, обрабатывались индивидуально.

A135. Еще один вид продолжающейся деятельности по дезактивации связан с очисткой промышленного оборудования и помещений, которые были загрязнены в результате работы вентиляционных систем в период выброса/выпадения частиц в 1986 году и непосредственно после этого.

2. Защитные мероприятия в сельском хозяйстве

A136. После чернобыльской аварии в сельском хозяйстве проводились широкомасштабные защитные мероприятия как в наиболее пострадавших странах бывшего Советского Союза, так и в Западной Европе. Основной целью таких мероприятий в сфере сельского хозяйства было производство пищевых продуктов с концентрацией активности радионуклидов, лежащей ниже уровней действия. Многие из защитных мероприятий широко применялись в первые годы после аварии и продолжают применяться в настоящее время. В целом чем раньше вводились защитные меры в сельском хозяйстве, тем выше была их экономическая эффективность [P7]. Сельскохозяйственные контрмеры рассмотрены Fesenko et al. [F9].

а) Начальная стадия

A137. В период 2–5 мая 1986 года из 30-километровой зоны вместе с людьми было эвакуировано около 50 тыс. голов крупного рогатого скота, 13 тыс. свиней, 3300 овец и 700 лошадей [N8]. Более 20 тыс. сельскохозяйственных и домашних животных, оставшихся в 30-километровой зоне, было убито и захоронено. Из-за недостатка кормов для эвакуированных животных и трудностей с обслуживанием большого числа животных на территориях, куда они были вывезены, многие из них впоследствии были забиты. В самый трудный период непосредственно после аварии было невозможно устанавливать различия в уровнях радиоактивного загрязнения животных, и в мае–июле 1986 года общее число забитых животных достигло 95 500 голов крупного рогатого скота и 23 тыс. свиней.

A138. Большое количество трупов животных было захоронено, а некоторые хранились в холодильниках, однако это создавало значительные санитарно-гигиенические, практические и экономические проблемы. Конфискация мяса была простой и эффективной защитной мерой для снижения возможных доз, связанных с употреблением в пищу загрязненных продуктов животноводства, и широко использовалась как в бывшем Советском Союзе, так и в других странах. Однако эта мера потребовала весьма больших затрат и привела к созданию больших объемов загрязненных отходов.

A139. В первые недели после аварии основной целью защитных мер, применявшихся в бывшем Советском Союзе, было сни-

²Эффективность первых мероприятий по дезактивации в 1986 году еще ждет своей оценки. Однако, согласно Los and Likhhtarev [L7], ежедневное мытье улиц в Киеве, городе с населением 3 млн. человек, снизило коллективную дозу внешнего облучения на 3 тыс. чел.-Зв, а дезактивация школ и школьных дворов позволила избежать дозы еще в 600 чел.-Зв.

жение концентрации ^{131}I в молоке или предотвращение попадания молока с повышенным содержанием радионуклидов в цепочку питания человека. Были даны следующие рекомендации: исключить загрязненные пастбищные травы из рациона животных путем перехода от выпаса к кормлению “чистым” кормом в помещениях; проводить радиационный мониторинг и по его результатам отбраковывать на перерабатывающих заводах молоко, в котором концентрация ^{131}I превышала национальные временно допустимые уровни (ВДУ, 3700 Бк/л в то время); а также перерабатывать отбракованное молоко (в основном вырабатывая из него продукты, допускающие длительное хранение, например сгущенное или сухое молоко, сыр или масло).

A140. В первые несколько дней после аварии защитные меры были направлены главным образом на контроль молока с колхозных ферм, а число охваченных частных фермеров было невелико. Информация о защитных мерах, касающихся молока, распространялась среди ограниченного круга руководителей предприятий и местных органов власти и не охватывала систему частных ферм в сельской местности. Результатом этого стало ограниченное или запоздалое применение защитных мер, особенно в сельских населенных пунктах, где молоко производилось в частных хозяйствах; как следствие, в некоторых районах эффективность этих мер оказалась низкой.

A141. В течение нескольких недель после аварии было начато кормление животных “чистым” кормом, поскольку это могло снизить концентрацию ^{137}Cs в организме животных до приемлемых уровней в течение 1–2 месяцев. Однако эта защитная мера не получила широкого распространения на данной стадии отчасти из-за нехватки “чистого” корма в начале периода вегетации.

A142. Уже в начале июня 1986 года были составлены карты плотности радиоактивного выпадения в пострадавших районах. Это позволило провести оценки уровней выпадения на пастбища и выявить зоны, где была велика вероятность загрязнения молока.

A143. В течение вегетационного периода 1986 года, когда еще сохранялось значительное поверхностное загрязнение растений, защитные меры в сельском хозяйстве носили в основном ограничительный характер. В первые несколько месяцев наиболее загрязненные земли были выведены из оборота, и были разработаны рекомендации по подходящим защитным мерам, которые позволили бы продолжать производство на менее загрязненных землях. В более сильно загрязненных районах было запрещено содержать молочный скот. Эффективной мерой для снижения содержания радионуклидов в сельскохозяйственных культурах оказалась задержка уборки кормовых и продовольственных культур. На каждом этапе производства, хранения и обработки продуктов питания был введен радиационный контроль.

A144. По результатам радиологического обследования, проведенного с мая по июль 1986 года, около 130 тыс., 17,3 тыс. и 57 тыс. га сельскохозяйственных земель были первоначально исключены из экономического пользования в Беларуси, Российской Федерации и Украине.

A145. С июня 1986 года началась реализация других мероприятий, направленных на снижение поступления ^{137}Cs в сельскохозяйственные продукты: был введен запрет на забой скота в районах, где уровни выпадения ^{137}Cs превысили 555 кБк/м² (животных следовало откармливать чистым кормом в течение 1,5 месяца перед забоем); некоторые операции, обычно применяемые в растениеводстве, были исключены для снижения внешнего облучения и образования загрязненной пыли; было ограничено использование загрязненного навоза в качестве удо-

бления; введено производство силоса из кукурузы для замены сена; ограничено потребление молока, произведенного в частном секторе; введены обязательный радиационный мониторинг сельскохозяйственных продуктов и обязательная переработка молока.

A146. Дезактивация путем удаления верхнего слоя почвы была оценена как неприемлемая операция для сельскохозяйственных земель из-за ее высокой стоимости, нарушения плодородия почв, а также серьезных экологических проблем, связанных с захоронением загрязненных почв.

A147. Еще в августе–сентябре 1986 года каждый колхоз получил карты выпадения ^{137}Cs на его сельскохозяйственных землях и руководство с указанием возможного содержания радионуклидов в продуктах, а также инструкции по сельскохозяйственным работам на личных участках.

A148. В Швеции были отмечены относительно высокие уровни радиоактивных выпадений среди стран за пределами бывшего Советского Союза. Сначала в этой стране был введен контроль за активностью ^{131}I и ^{137}Cs в импортируемых и отечественных продуктах. Был также предпринят ряд других мер: а) скот не допускался на пастбище, если уровни выпадения на землю превышали 10 кБк/м² для ^{131}I и 3 кБк/м² для радиоцезия; б) было рекомендовано не употреблять в пищу свежие листовые овощи, а также рекомендовано мыть другие свежие овощи; в) были введены ограничения на использование осадков сточных вод в качестве удобрений для почвы; г) были рекомендованы более глубокая вспашка; и е) срезание урожая трав на большей высоте.

A149. В Норвегии проводился мониторинг сельскохозяйственных культур на полях после уборки, и при концентрации радиоцезия выше 600 кБк на килограмм свежего веса соответствующая часть урожая отбраковывалась и запаховалась. Проводился также мониторинг сена и силоса, заготовленных в июне, и при превышении установленных нормативов эти корма не использовались.

A150. В Германии часть молока в Баварии была направлена на перерабатывающие предприятия для превращения в сухое молоко. Предполагалось использовать сухое молоко для кормления свиней, однако из-за высокого содержания радиоцезия от этой идеи отказались.

A151. В Соединенном Королевстве рекомендовалось контролировать потребление некоторой дичи, добытой в горных районах, а также были введены ограничения на перемещение и забой овец из ряда наиболее пострадавших горных районов.

A152. В Австрии было рекомендовано не скармливать свежую траву коровам в течение короткого периода в мае 1986 года.

b) Поздняя стадия

A153. Радиологические исследования сельскохозяйственных продуктов показали, что к концу 1986 года в четырех областях Российской Федерации (Брянской, Тульской, Калужской и Орловской), пяти областях Украины (Киевской, Житомирской, Ровенской, Волынской и Черниговской) и трех областях Беларуси (Гомельской, Могилевской и Брестской) в пищевых продуктах концентрации радиоцезия превышали национальные ВДУ. В наиболее пострадавших районах Гомельской, Могилевской, Брянской, Киевской и Житомирской областей в первый год после аварии доля зерна и молока с превышением ВДУ составляла около 80 процентов [I17, N8].

A154. С 1987 года высокие концентрации радиоцезия в сельскохозяйственной продукции отмечались только в продуктах животноводства: реализация защитных мер, направленных на снижение концентрации ^{137}Cs в молоке и мясе, была основным пунктом стратегии восстановления интенсивного сельского хозяйства. Концентрация радиоцезия в выращиваемых картофеле и корнеплодах находилась на приемлемо низком уровне. На второй год концентрация радиоцезия в зерне была намного ниже, чем в первый год, и это означало, что применение защитных мер привело к снижению этой характеристики ниже ВДУ для большей части зерна. К 1991 году во всех трех странах содержание радиоцезия в концентрациях выше 370 Бк/кг отмечалось менее чем в 0,1 процента зерна.

A155. Наиболее трудной из оставшихся проблем было производство молока, соответствующего принятым нормам. Однако широкомасштабное применение ряда защитных мероприятий (описанных ниже) позволило добиться резкого снижения во всех трех странах количества продуктов животноводства с концентрацией радиоцезия, превышающей ВДУ. Изменения со временем количества молока, в котором превышены ВДУ, показаны на рисунке А-XX [N8]; однако важно отметить, что в каждой из трех стран величины ВДУ со временем были снижены, поэтому прямое сравнение данных невозможно. Изменения допустимых уровней в каждой из стран показаны на рисунке А-XXI [S14].

A156. Различия между временными тенденциями для разных стран, показанные на рисунке А-XX, связаны в основном с изменениями национальных ВДУ, однако отражают также и масштаб применения защитных мер. Это особенно очевидно в случае молока в России, где концентрация радиоцезия после 1997 года росла из-за частичного свертывания защитных мероприятий. Недавнее снижение в Украине и Беларуси количества мяса с превышением национальных ВДУ связано с мониторингом животных перед забоем, с тем чтобы гарантировать соответствие мяса установленным требованиям. В Российской Федерации, где также проводится мониторинг животных перед забоем, показатели концентрации выше, поскольку они характеризуют мясо как из частных, так и из коллективных ферм. Наличие в каждой стране небольшого количества мяса с превышением национальных ВДУ в настоящее время связано по большей части с забоем животных, получивших травмы и не выкормленных чистым кормом.

A157. Максимальный эффект снижения дозы благодаря применению защитных мер был достигнут в период 1986–1992 годов. После этого из-за финансовых ограничений в середине 1990-х годов использование этих мер в сельском хозяйстве резко сократилось. Однако благодаря оптимизации имеющихся ресурсов эффективность защитных мер оставалась на уровне, достаточном для удержания концентрации ^{137}Cs в большинстве продуктов животноводства на приемлемом уровне.

с) Защитные мероприятия, применявшиеся в интенсивном сельскохозяйственном производстве

A158. Ниже кратко описаны основные защитные мероприятия, проводившиеся в бывшем Советском Союзе, а позднее в трех независимых странах. Основное внимание уделялось химическим удобрениям для повышения плодородия почв и уменьшения уровней поглощения радиоцезия сельскохозяйственными культурами и растениями, применяемыми в каче-

стве корма. Масштабы проведения каждого из мероприятий в трех странах были различны. Рекомендации относительно того, какие защитные мероприятия следует проводить, неоднократно пересматривались и дорабатывались [A4, B19, P5].

1) Обработка почвы

A159. Обработка почвы снижает поглощение радиоцезия (и радиостронция) растениями. В число мероприятий могут входить вспашка, повторный сев и/или применение азотных, фосфорных и калийных (АФК) удобрений и извести. Вспашка приводит к разбавлению радиоактивных компонентов, первоначально находившихся в верхних слоях почвы, из которых большинство растений поглощают питательные вещества. Широко применялась как глубокая, так и мелкая вспашка, наряду с которыми использовалась вспашка с захоронением. Использование удобрений приводит к повышению урожайности и, таким образом, снижает концентрацию радионуклидов в растениях за счет разбавления. Кроме того, при использовании удобрений снижается поглощение радиоцезия корнями растений из-за уменьшения отношения Cs:K в почвенном растворе [A5].

A160. В первые несколько лет после аварии внимание было сконцентрировано на радикальной мелиорации, включавшей повышенное применение удобрений. Обычно на обработанных землях выращивались ценные бобовые и зерновые культуры. Тип мероприятий и эффективность радикальной мелиорации сенокосов и пастбищ в большой степени зависят от вида луга и свойств почв. Традиционное поверхностное окультуривание, включающее обработку дисковым культиватором, внесение удобрений и поверхностное известкование, оказалось менее эффективным. Кислые почвы удобряли известью. Некоторые заболоченные участки осушали, глубоко вспахивали, окультуривали и использовали в качестве сенокосных угодий. В 1990-е годы основное внимание уделялось местным особенностям, для того чтобы гарантировать применение методов обработки почвы, наиболее подходящих и эффективных для преобладающих конкретных условий. В дальнейшем появилась необходимость в повторной подкормке удобрениями уже обработанных почв, при этом тщательно оценивали требуемые дозы внесения удобрений. Однако фактически применяемые дозы иногда ограничивались имеющимися средствами [A5, V1].

A161. Эффективность обработки почвы зависит от ее типа, питательного режима и pH, а также от видов растений, выбранных для пересева. Кроме того, на достигаемый уровень снижения радиоактивности влияют применяемые дозы АФК-удобрений и извести. В ряде исследований показано, что коэффициенты снижения перехода радиоцезия из почвы в растение, достигнутые в результате радикальной мелиорации, известкования и внесения удобрений, лежали в пределах 2–4 для бедных песчаных почв и 3–6 для почв с более высоким содержанием органики. Дополнительным преимуществом было снижение дозы внешнего облучения в 2–3 раза благодаря разбавлению радиоцезия в поверхностном слое в результате вспашки.

A162. Хотя проблемы, связанные с содержанием ^{90}Sr , менее острые, чем в отношении ^{137}Cs , были разработаны некоторые защитные мероприятия, включающие обработку дисковым культиватором, вспашку и пересев, что позволило снизить переход радиостронция из почвы в растения в 2–4 раза.

A163. Несмотря на эти меры, в наиболее пострадавших районах на юго-западе Брянской области концентрация радиоцезия на 20 процентах пастбищ и сена на фермах в 1997–2000 годах все еще превышала национальные ВДУ. Концентрация ^{137}Cs в сене колебалась между 650 и 66 тыс. Бк на килограмм сухого веса.

ii) Замена кормовых культур, выращиваемых на пострадавших землях

A164. Как видно из рисунка А-XXII, где представлены экспериментальные данные, собранные в Беларуси в 1997–2002 годах [B18], в разных видах растений степень поглощения радиоцезия различна. Эти различия могут быть значительными, поэтому такие кормовые культуры, как люпин, горошек, гречиха и клевер, которые накапливают значительные уровни радиоцезия, были полностью или частично исключены из оборота.

A165. В Беларуси на пострадавших территориях выращивается рапс для производства двух продуктов: пищевого масла и белковых лепешек на корм скоту. Выращиваются сорта рапса, известные своей способностью поглощать в 2–3 раза меньше ^{137}Cs и ^{90}Sr , чем многие другие сорта. При выращивании рапса используются дополнительные удобрения (известкование 6 т/га и внесение удобрений с $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{180}$), позволяющие снизить поглощение радиоцезия и радиостронция растениями примерно в 2 раза. В результате уменьшается содержание радиоцезия в семенах, используемых для изготовления белковых лепешек. При обработке рапса эффективно удаляется как радиоцезий, так и радиостронций. За последнее десятилетие площади возделывания рапса увеличились в 4 раза и достигли 22 тыс. га [B17].

iii) Чистое выкармливание

A166. Обеспечение животных незагрязненными кормами или пастбищами в определенный период перед забоем (так называемое “чистое выкармливание”) эффективно снижает содержание радионуклидов в мясе и молоке со скоростью, зависящей от биологического периода полувыведения из организма каждого радионуклида. Концентрация радиоцезия в молоке быстро реагирует на изменения рациона, поскольку биологический полупериод составляет несколько дней. Для мяса время реакции больше из-за более продолжительного биологического периода полувыведения радионуклидов, содержащихся в мышечных тканях [P5].

A167. Чистое выкармливание стало одной из важнейших и популярных защитных мер после чернобыльской аварии для мяса сельскохозяйственных животных как в странах бывшего Советского Союза, так и в Западной Европе. По официальным оценкам, ежегодное число голов скота, прошедших такую процедуру, составляло от 5 тыс. до 20 тыс. в Российской Федерации и 20 тыс. в Украине (при государственной поддержке вплоть до 1996 года). Чистое выкармливание является рутинной процедурой, применяемой для производства мяса во всех трех странах бывшего Советского Союза в сочетании с мониторингом животных, благодаря которому при концентрациях радионуклидов в мышечных тканях животных, превышающих национальные ВДУ, последние отправляются на ферму для продолжения чистого выкармливания.

iv) Введение веществ, связывающих Cs

A168. Соединения гексацианоферратов (известных под названием “берлинская лазурь”) весьма эффективно связывают радиоцезий; эти соединения можно добавлять в корм молочных, а также мясных животных для снижения перехода радиоцезия в молоко и мясо за счет подавления всасывания в пищеварительном тракте. Эти вещества имеют низкую токсичность и безопасны в использовании. В разных странах разработано множество вариантов химического состава гексацианоферратов, с одной стороны, для выявления наиболее эффективного соединения, а с другой – для производства более дешевого продукта, доступного в данной местности. Соединения гексацианоферратов способны обеспечить снижение содержания радионуклидов в животных продуктах до 10 раз [I16].

A169. Берлинская лазурь вводилась в рацион животных в виде порошка, добавлялась в гранулированный корм при его производстве или давалась в виде смеси с опилками. В Российской Федерации разработан собственный гексацианоферрат, который производится под названием ферроцин (смесь 5 процентов $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ и 95 процентов $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$). Он вводился в виде 98-процентного чистого порошка, солевых лизунцов (10-процентный ферроцин) и в опилках, содержащих 10 процентов адсорбированного ферроцина (под названием бифеж) [R5].

A170. Кроме того, были разработаны большие пилюли пролонгированного действия, содержащие гексацианоферрат, которые вводились в рубец животного и постепенно отдавали препарат, связывающий цезий, в течение нескольких месяцев. Эти пилюли, первоначально разработанные в Норвегии, состояли из спрессованной смеси 15 процентов гексацианоферрата, 10 процентов воска и 75 процентов барита [H6].

A171. Берлинская лазурь использовалась для снижения концентраций ^{137}Cs в животных продуктах с начала 1990-х годов. Ее применение оказалось особенно полезным и эффективным в населенных пунктах, где отсутствуют луга, пригодные для радикальной мелиорации. При первых испытаниях берлинская лазурь снизила переход ^{137}Cs из корма в молоко в 1,5–6,0 раза. В Беларуси производится специальный концентрат с берлинской лазурью, который давали животным в количестве 0,5 кг в день на корову, и это позволило снизить переход в молоко в среднем в 3 раза. Пилюли вводились молочным коровам в интенсивных системах ведения хозяйства как в Беларуси, так и в Российской Федерации.

A172. В Украине в небольших масштабах использовались местные глино-минеральные связывающие вещества, которые были менее эффективны, чем берлинская лазурь, но более дешевы.

A173. Однако использование берлинской лазури и аналогичных веществ не всегда приводило к успеху. Пилюли иногда трудно вводить, а солевые лизунцы не всегда обеспечивали потребление необходимого количества нужных веществ.

d) Защитные мероприятия, применяемые в экстенсивном сельскохозяйственном производстве

A174. Экстенсивное производство в рассматриваемых трех странах бывшего Советского Союза в основном сводится к

выпасу коров, находящихся в частной собственности, на бедных немелиорированных лугах. Из-за низкой продуктивности этих участков поглощение радиоцезия растениями выше, чем на землях, принадлежащих коллективным хозяйствам. Радикальная мелиорация лугов, используемых для выпаса частных коров, применяется во всех трех странах с начала 1990-х годов. Чистое выкармливание, как правило, не используется в частных хозяйствах, хотя в некоторых случаях коллективные фермы предоставляли частным хозяйствам незагрязненные корма или пастбища. Берлинская лазурь применяется частными фермерами как в Беларуси, так и в Российской Федерации. В Российской Федерации используются все три системы введения берлинской лазури, исходя из наличия и предпочтений.

A175. В экстенсивных системах, например на горных пастбищах в Западной Европе, наиболее распространенными защитными мерами по отношению к свободно пасущимся животным были чистое выкармливание, введение препаратов, связывающих цезий, мониторинг живых животных, организационные ограничения и изменение времени забоя. Многие из этих мероприятий продолжали применяться в 2004 году. Осуществление долгосрочных мер было наиболее масштабным в Норвегии и Швеции, но такие меры применялись также и в Соединенном Королевстве и Ирландии.

A176. AFCS, называемое также берлинской лазурью, представляет собой высокоэффективное соединение гексацианоферрата, обеспечивающее снижение содержания ^{137}Cs до 5 раз в мясе ягнят и северного оленя, до 3 раз – в коровьем молоке и до 5 раз – в козьем. Использование AFCS было временно санкционировано в странах ЕС и некоторых других странах. AFCS в качестве вещества, связывающего цезий, эффективно действует в системах экстенсивного производства в отличие от многих других защитных мероприятий, применимость которых в этих случаях ограничена. Пиллюли особенно удобны для обработки свободно пасущихся, редко обслуживаемых животных, поскольку при этом пиллюли вводятся в период, когда животных собирают для выполнения стандартных операций по их обслуживанию. Для использования в экстенсивных системах пиллюли можно покрывать защитным восковым слоем для задержки начала высвобождения AFCS, что позволяет повысить эффективность действия к моменту, когда животных собирают для забоя. По оценкам Brynildsen et al. [B21], использование пиллюль в качестве защитной меры для овец оказалось в 2,5 раза более эффективным, чем кормление незагрязненным кормом. Применялись также солевые лизунцы, содержащие AFCS, однако их эффективность оказалась ниже.

A177. Режимы содержания некоторых животных в пострадавших районах были изменены. Например, время забоя изме-

няли так, чтобы гарантировать относительно низкий уровень концентрации ^{137}Cs . В некоторых районах Соединенного Королевства были задействованы ограничения на перемещения и забой горных овец, а также введен мониторинг животных для обеспечения того, чтобы концентрация ^{137}Cs перед их забоем не превышала национального уровня действия. Использование мониторинга играет также важную роль в поддержании доверия населения к продуктам из пострадавших районов. Такие режимы содержания животных в некоторых районах оказались более полезными и практичными, чем использование берлинской лазури.

3. Защитные мероприятия в лесах

A178. До чернобыльской аварии вопросу защитных мероприятий для снижения доз при крупномасштабном радиоактивном загрязнении лесов не уделялось серьезного внимания на международном уровне. Однако в трех рассматриваемых странах бывшего Советского Союза были приняты меры для ограничения деятельности людей в наиболее пострадавших зонах, включающих значительные лесные территории [F3]. Эти меры в целом были достаточно просты и касались ограничения основных видов деятельности, включая доступ в леса и сбор природных пищевых продуктов и дров. Остается открытым важный вопрос: можно ли проводить в существующих лесах какие-либо другие сложные или технологические защитные мероприятия в реальных масштабах?

4. Защитные мероприятия для водоемов

A179. Было установлено, что в случае атмосферного выпадения радионуклидов на наземные и водные системы дозы, получаемые человеком с растущими на земле пищевыми продуктами, в общем случае во много раз выше, чем дозы, связанные с питьевой водой и водными пищевыми продуктами. Однако в системе Днепра речная вода переносила радионуклиды на территории, не подвергшиеся значительным атмосферным выпадениям. Это породило серьезную обеспокоенность населения и необходимость для руководящих лиц обеспечить снижение потоков радионуклидов из загрязненной зоны через водную систему. Было осуществлено много различных мероприятий, однако, поскольку эти действия не были подчинены объективной цели снижения дозы, большинство из них оказались неэффективными. Кроме того, лица, которые реализовывали эти меры, получили относительно высокие дозы.

A180. Насколько известно Комитету, для морских систем не требовались и не применялись какие-либо защитные мероприятия, связанные с чернобыльской аварией.

III. РЕЗЮМЕ

A181. 26 апреля 1986 года на ядерном реакторе Чернобыльской атомной электростанции произошла крупнейшая ядерная авария. Она случилась во время технических испытаний реактора четвертого блока в режиме малой мощности. Нештатная и нестабильная работа реактора сделала возможным неконтролируемый выброс мощности, приведший к серии паровых взрывов, результатом которых стали значительные повреждения здания реактора и полное разрушение самого реактора.

A182. Выбросы радионуклидов из поврежденного реактора происходили в основном в течение 10-дневного периода, хотя и с различной скоростью. Важнейшими из радионуклидов были ^{131}I , ^{134}Cs и ^{137}Cs , поскольку они являлись основными источниками радиационного воздействия на население. По оценкам, выбросы ^{131}I , ^{134}Cs и ^{137}Cs составили 1760, 47 и 85 ПБк, соответственно. Однако дозы в результате аварии оценивались по измерениям в окружающей среде, щитовидной железе или в организме, поэтому знание выброшенных количеств в этом случае не обязательно.

A183. Три основных района загрязнения, определяемые по плотности выпадения ^{137}Cs , превышающей 37 кБк/м² (1 Ки/км²), расположены в Беларуси, Российской Федерации и Украине; они получили названия Центрального, Гомельско-Могилевско-Брянского и Калужско-Тульско-Орловского районов. Суммарная площадь территорий, определенных как “загрязненные”, в пределах бывшего Советского Союза составила около 150 тыс. км². На этих территориях проживало более 6 млн. человек.

A184. За пределами бывшего Советского Союза было выявлено много районов в Западной Европе, где плотность выпадения ^{137}Cs находилась в интервале 37–200 кБк/м². Эти районы имеют суммарную площадь 45 тыс. км², или около трети площади загрязненных территорий, выявленных в пределах бывшего Советского Союза.

A185. Поведение выпавших радионуклидов в окружающей среде зависит от физических и химических характеристик рассматриваемого радионуклида, от типа выпадения (сухое или мокрое) и от характеристик окружающей среды. Для короткоживущих радионуклидов, таких как ^{131}I , основным путем облучения человека был перенос веществ, выпавших на траву пастбищ, за счет того, что съедаемая коровами или козами трава приводит к появлению радионуклидов в молоке. Употребление человеком в пищу загрязненных листовых овощей также было одним из значительных путей облучения некоторых людей в течение нескольких недель после аварии. Выпадающие на растения радионуклиды сохраняются с экологическим полупериодом около двух недель до их перемещения на поверхность земли и в почву. Для долгоживущих радионуклидов, например ^{137}Cs , необходимо рассматривать долговременный процесс перехода из почвы в продукты, потребляемые через несколько недель и более после выпадения.

A186. Также имели место выбросы радиоизотопов стронция и плутония, однако выпадение большей их части пришлось на зону вблизи реактора и было связано с частицами топлива. Подвижность в окружающей среде этих радионуклидов, содержащихся в частицах топлива, была невысока, однако она увеличивается со временем по мере растворения частиц топлива. Большая часть радионуклидов, содержащихся в

исходном выбросе, исчезла за счет радиоактивного распада, а из оставшихся наибольшую опасность представляет ^{137}Cs . В будущем (более чем через 100 лет) останутся только изотопы плутония и ^{241}Am . Однако вклад этих долгоживущих радионуклидов в облучение людей будет минимальным.

A187. Выпадение радиоактивных материалов в городской среде ближайшего города Припять и в окружающих населенных пунктах могло бы привести к значительным дозам внешнего облучения, которое было предотвращено путем эвакуации населения. Выпадение радиоактивных материалов на других городских территориях внесло значительный вклад в облучение в годы после аварии вплоть до настоящего времени.

A188. В первые недели и месяцы после аварии переход короткоживущих радиоактивных изотопов йода в молоко происходил быстро и в больших масштабах, что привело к серьезным радиологическим проблемам на территории бывшего Советского Союза. Из-за сложившейся чрезвычайной ситуации и короткого периода полураспада ^{131}I имеется мало надежных данных о пространственном распределении выпавшего радиоактивного йода. Текущие измерения ^{129}I можно использовать для уточнения оценки выпадения ^{131}I и тем самым дополнить реконструкцию дозы в щитовидной железе человека.

A189. Высокие концентрации радиоактивных веществ, наблюдавшиеся в поверхностных водах непосредственно после аварии, быстро снизились, поэтому питьевая вода, а также вода, используемая для орошения, в настоящее время имеют весьма низкую концентрацию радионуклидов.

A190. В настоящее время в большинстве населенных пунктов, подвергшихся радиоактивному выпадению, мощность дозы в воздухе над твердой поверхностью уже вернулась на фоновый уровень, существовавший до аварии. Повышенные мощности дозы в воздухе сохраняются только над ненарушенной почвой.

A191. С лета 1986 года главную опасность для сельскохозяйственных продуктов представляли радионуклиды ^{137}Cs и ^{134}Cs в молоке и мясе. В течение первых нескольких лет значительные объемы пищевых продуктов были изъяты из потребления человеком. Наибольшие концентрации радиоцезия отмечались в пищевых продуктах из лесной местности, особенно в грибах, ягодах, а также в мясе дичи и северного оленя. Высокие концентрации радиоцезия в рыбе отмечались в озерах с низкой или нулевой проточностью, особенно если озеро также было мелководным с низким содержанием минеральных питательных веществ.

A192. Особенно медленное снижение концентрации ^{137}Cs после первоначального выпадения отмечалось в некоторых продуктах леса, и можно ожидать, что некоторые виды грибов будут иметь высокие концентрации ^{137}Cs в течение нескольких десятилетий. При определенных погодных условиях биомасса грибов осенью может намного превышать обычное значение, что приведет к значительным сезонным подъемам концентрации ^{137}Cs в мясе диких животных. В связи с этим было бы не совсем верно предполагать, что концентрация ^{137}Cs в организме животных будет оставаться на существующем уровне или снижаться с каждым годом.

A193. Отмечались значительные долговременные вариации концентрации ^{137}Cs в пищевых продуктах не только из-за различий в уровнях выпадения, но и за счет различий в типах почв и методах их использования. На многих территориях до сих пор встречаются пищевые продукты (особенно из систем экстенсивного сельскохозяйственного производства и лесов), в которых концентрация ^{137}Cs превышает максимально уровни действия.

A194. Наиболее серьезные и долговременные проблемы на пострадавших территориях возникают в системах экстенсивного сельскохозяйственного производства с почвами, богатыми органикой, и при выпасе животных на немелиорированных пастбищах. Это приводит к негативным последствиям для сельских жителей бывшего Советского Союза, которые обычно ведут натуральное хозяйство и имеют молочных коров.

A195. В целом отмечалось значительное начальное снижение переноса ^{137}Cs на растения и животных, чего и следовало ожидать, учитывая выветривание, физический распад, вертикальную миграцию радионуклидов вглубь почвы и снижение биодоступности. Однако в последнее десятилетие наблюдалось лишь незначительное дополнительное достоверное снижение, и долгосрочные эффективные полупериоды было трудно оценить.

A196. Вследствие разбавления концентрация ^{137}Cs в морской рыбе в Черном и Балтийском морях никогда не достигала высоких значений.

A197. После чернобыльской аварии органами власти бывшего Советского Союза был проведен обширный комплекс мероприятий и принят ряд краткосрочных и долгосрочных экологических контрмер, направленных на снижение негативных последствий. В ходе реализации этих мероприятий использовались значительные людские, экономические и научные ресурсы.

A198. Ниже приведены некоторые наиболее важные замечания, касающиеся защитных мероприятий:

- Защитные меры, принятые на ранних стадиях чернобыльской аварии, имели лишь ограниченную эффективность для снижения поступления радиоактивного йода через молоко из-за отсутствия своевременной информации об аварии и рекомендаций относительно необходимых действий, особенно для частных фермеров.

- Наиболее эффективными защитными мерами на ранних стадиях были исключение из рациона животных трав с пострадавших пастбищ и отбраковка молока (с последующей переработкой) на основании данных радиационного мониторинга. Питание животных “чистыми” кормами эффективно осуществлялось в некоторых странах.
- Наиболее серьезной долгосрочной проблемой было содержание радиоцезия в молоке и мясе. В бывшем Советском Союзе и позже в трех независимых странах эта проблема решалась путем обработки земель, используемых под кормовые культуры (включая расширенное применение удобрений и изменение методов возделывания), чистого вскармливания и введения животным препаратов, связывающих цезий, что позволило продолжать большинство видов сельскохозяйственной деятельности на пострадавших территориях и привело к значительному снижению доз.
- В районах бывшего Советского Союза в первые годы после аварии широко применялась дезактивация населенных пунктов в качестве средства снижения внешнего облучения населения.
- Перечисленные ниже ограничения, относящиеся к лесам и широко применявшиеся в бывшем Советском Союзе, а позже и в трех рассматриваемых независимых странах и частично в Скандинавии, снизили дозы радиации, которые мог получить человек, проживающий в лесу и потребляющий продукты леса: ограничение доступа населения и работников леса в качестве меры против внешнего облучения; ограничения для населения на добычу пищевых продуктов, в том числе дичи, ягод и грибов (в пострадавших странах грибы широко употребляются в пищу, поэтому данное ограничение имело особенно большое значение); и изменение методов охоты для предотвращения потребления мяса с высокими сезонными уровнями радиоцезия.
- Раннее ограничение на питьевую воду и переход на альтернативные источники водоснабжения привели к снижению доз внутреннего облучения за счет водных путей в начальный период. Ограничения на употребление в пищу пресноводной рыбы также показало свою эффективность в Скандинавии и Германии. Ожидается, что ограничения на потребление рыбы сохранятся в ряде случаев (для так называемых бессточных озер) еще в течение нескольких десятилетий.

Рисунок А-1. Приблизительные шлейфы при мгновенных выбросах для преобладающих метеорологических условий в указанные день и время (универсальное координированное время) [B24]

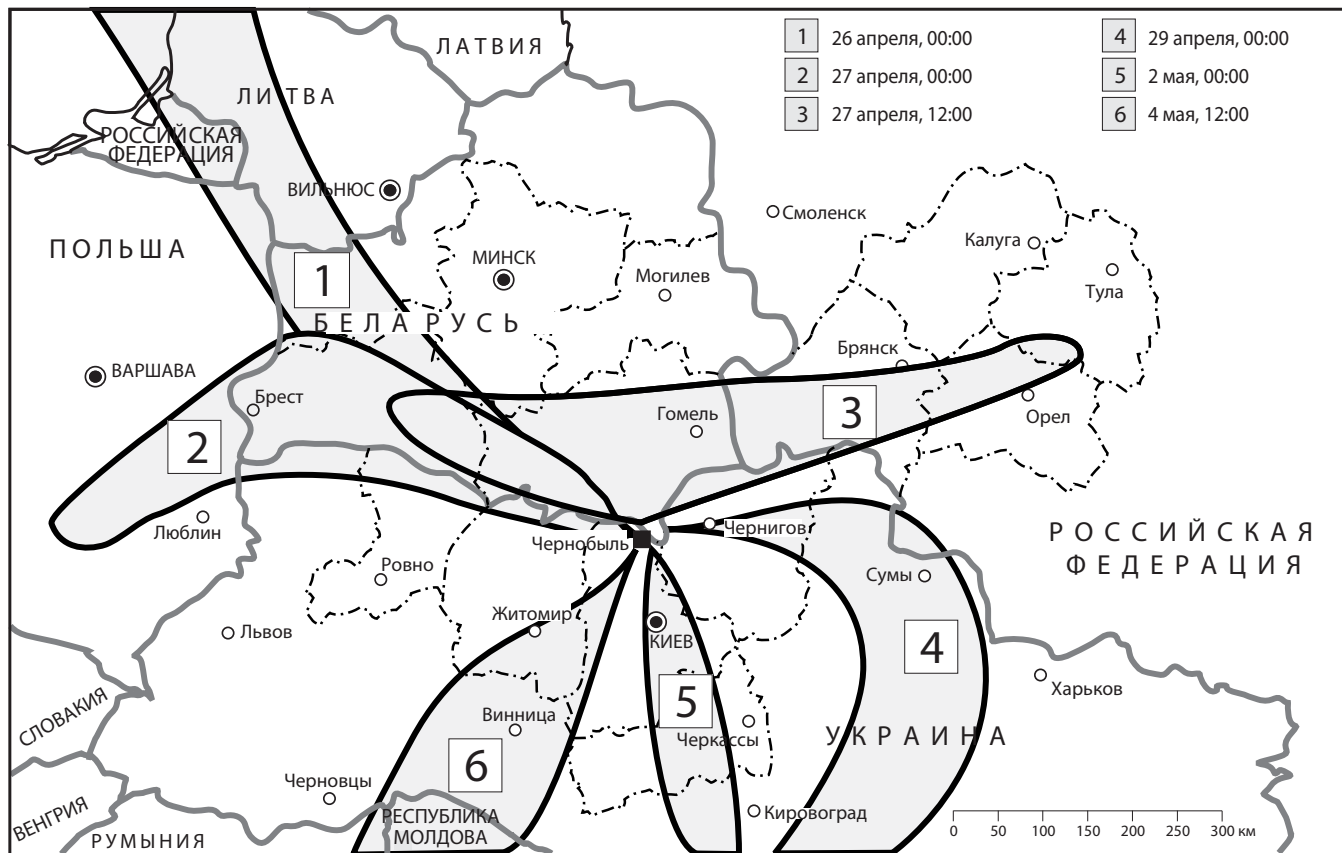


Рисунок А-II. Карта уровней выпадения ¹³⁷Cs в 1989 году в Беларуси, Российской Федерации и Украине [128]

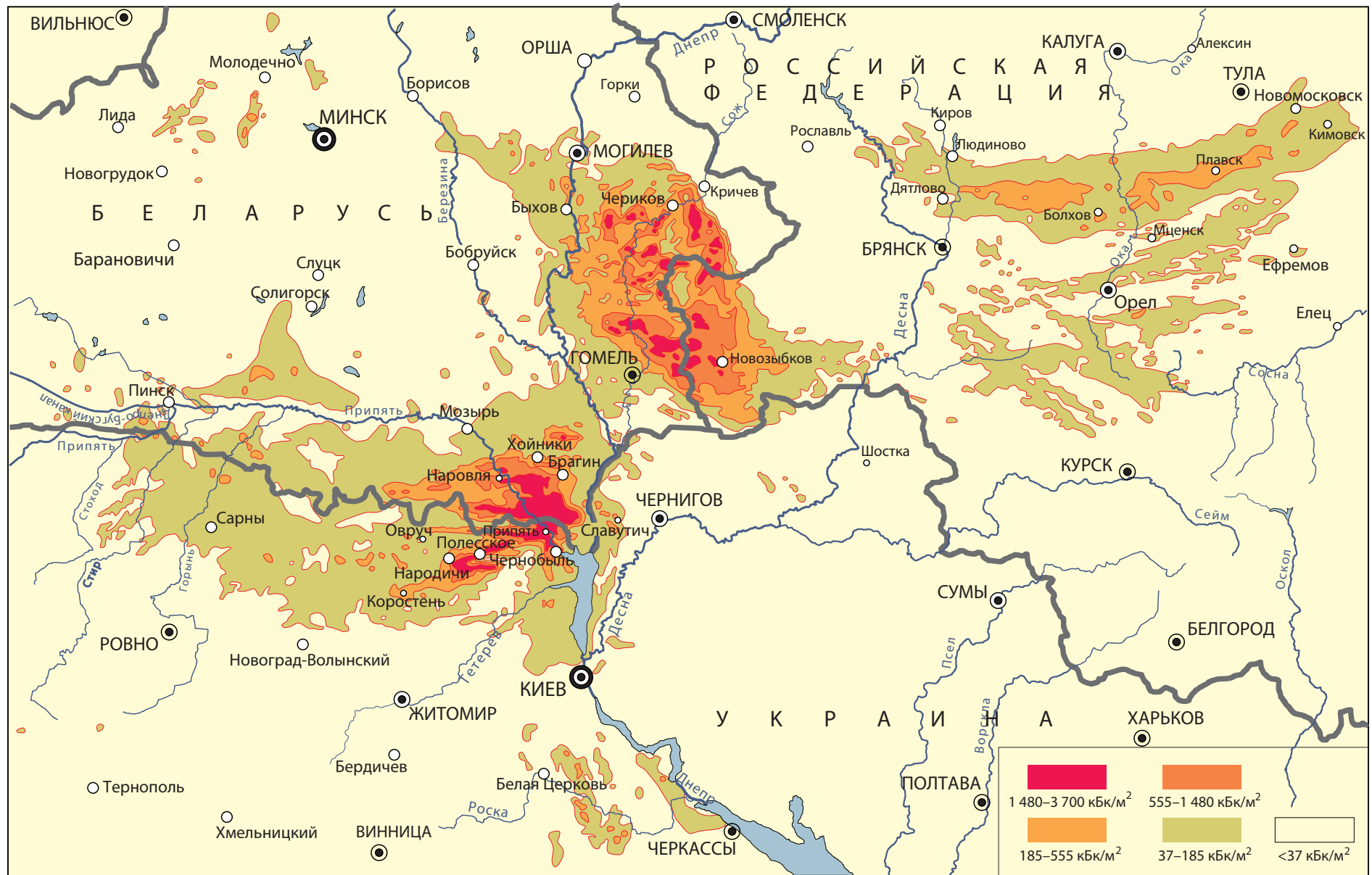


Рисунок А-III. Общие количества в окружающей среде выброшенных радионуклидов и их дочерних продуктов в зависимости от времени, прошедшего после аварии

Хотя количество ^{241}Am , первоначально выброшенного в окружающую среду, было весьма мало, общая активность ^{241}Am со временем будет возрастать из-за распада ^{241}Pu . Она достигнет пика через 72 года, после чего начнет медленно снижаться. Через 320 лет активность ^{241}Am станет наибольшей из оставшихся радионуклидов

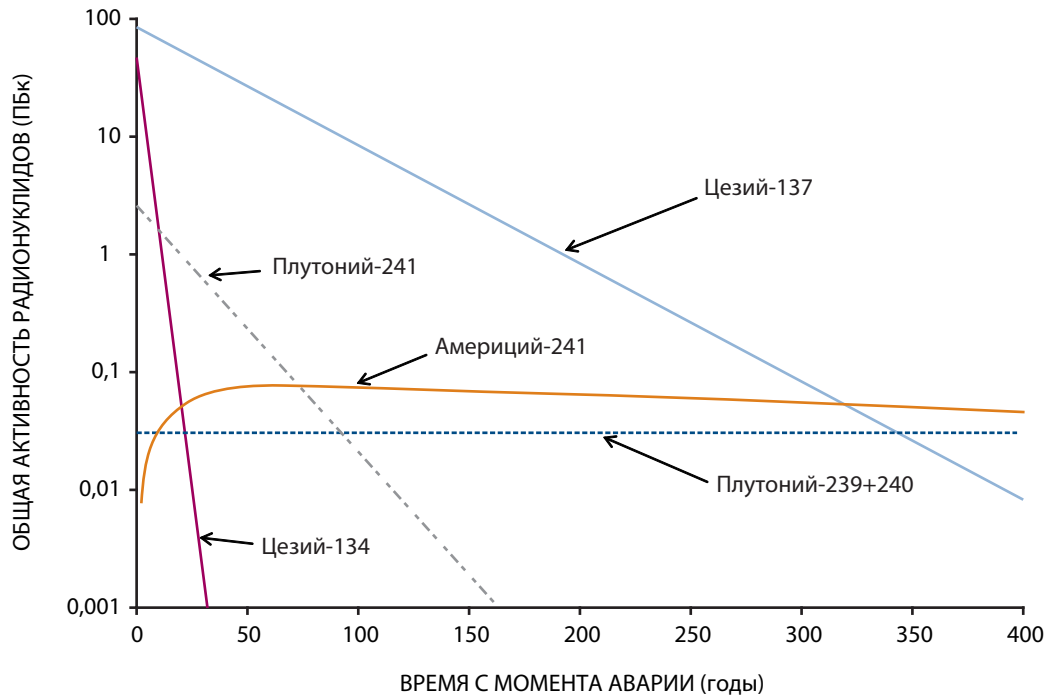


Рисунок А-IV. Скользящие 7-месячные средние концентрации ^{137}Cs в воздухе в Барышевке и Чернобыле (июнь 1986 года – август 1994 года) [Н5]

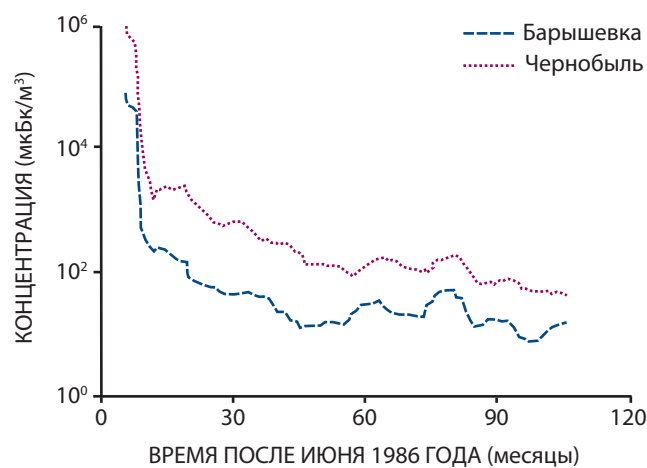
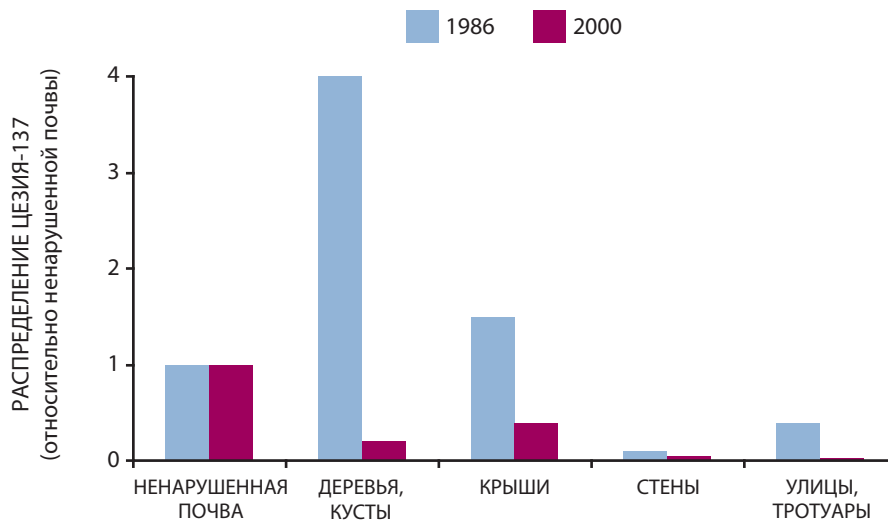


Рисунок А-V. Типичное относительное распределение ^{137}Cs на различных поверхностях в населенных пунктах в 1986 году и спустя 14 лет (содержание цезия в ненарушенной почве в 1986 и 2000 годах принято за 1) [R10]

а) Сухое выпадение



б) Влажное выпадение

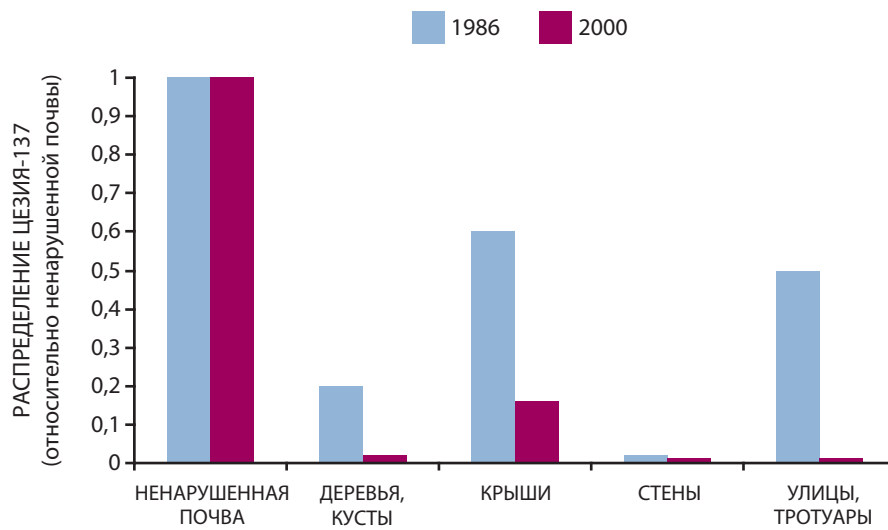


Рисунок А-VI. Измеренные уровни активности ¹³⁷Cs (относительно начального выпадения на почву) для трех типов крыш в Рисё, Дания [А6]

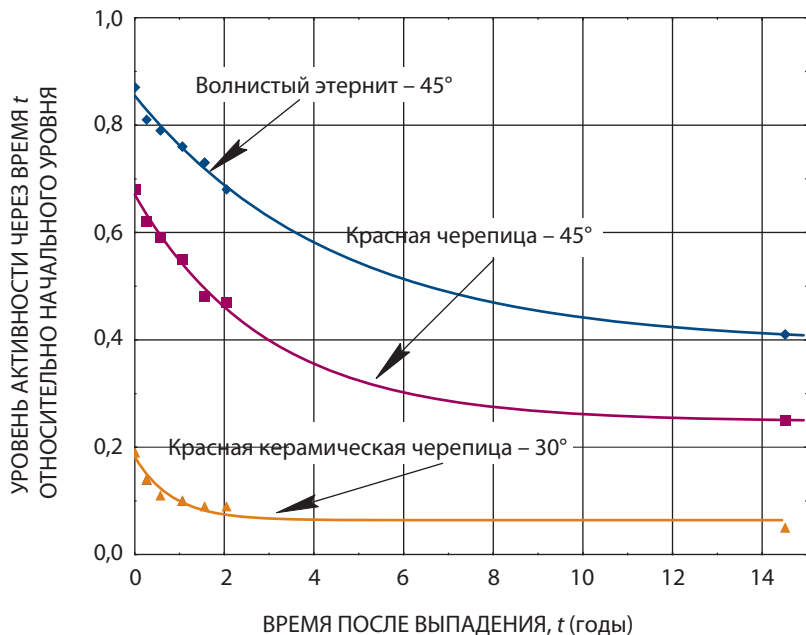


Рисунок А-VII. Соотношение мощности доз над различными поверхностями и на открытых пространствах г. Новозыбкова, Российская Федерация [G4]

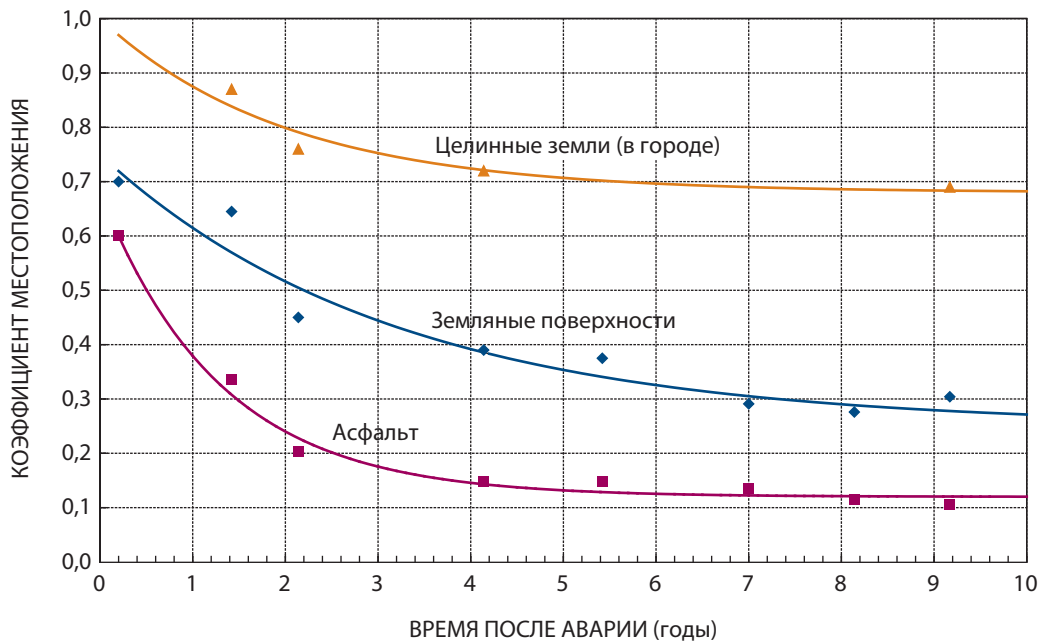


Рисунок А-VIII. Основные пути долговременной миграции радионуклидов в наземной среде [S13]

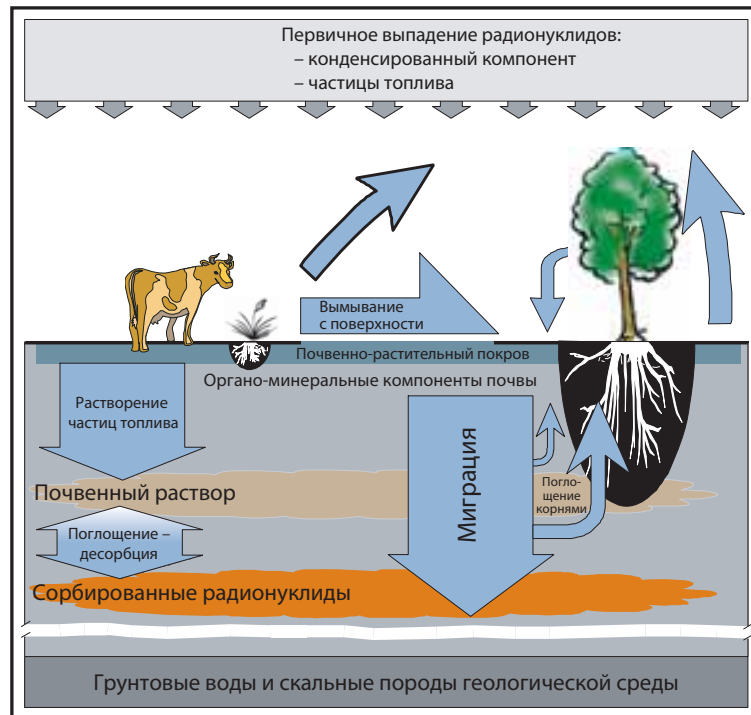
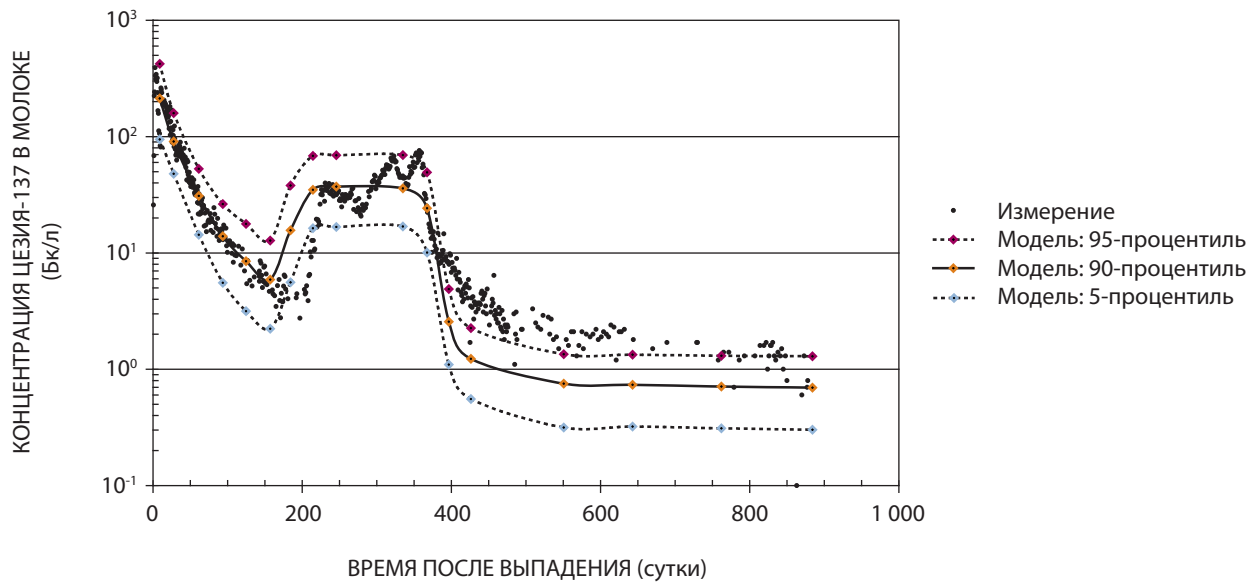
Рисунок А-IX. Концентрация ^{137}Cs в коровьем молоке в окрестностях Мюнхена после чернобыльской аварии на основе данных наблюдений и расчетов с использованием модели ECOSYS-87 [M24]

Рисунок А-Х. Распределение ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr по глубине дерново-глеевой песчаной почвы на основе измерений, проведенных в 1987 и 2000 годах (в % от общей активности) [S14]

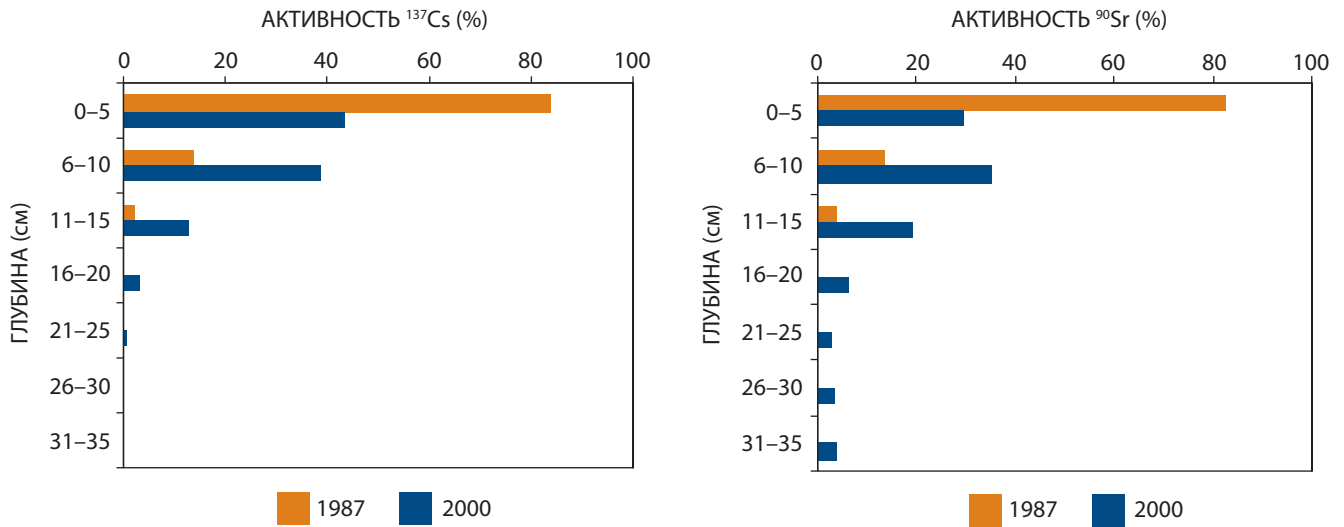


Рисунок А-ХI. Пути переноса радионуклидов из почвы в растения с учетом биотических и абиотических процессов [Т8]

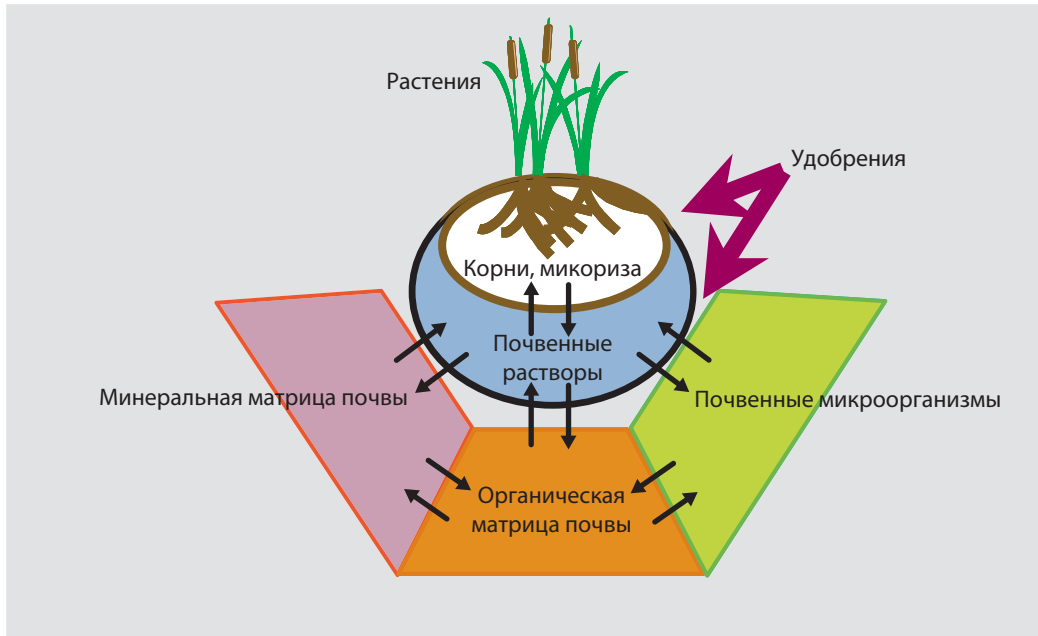
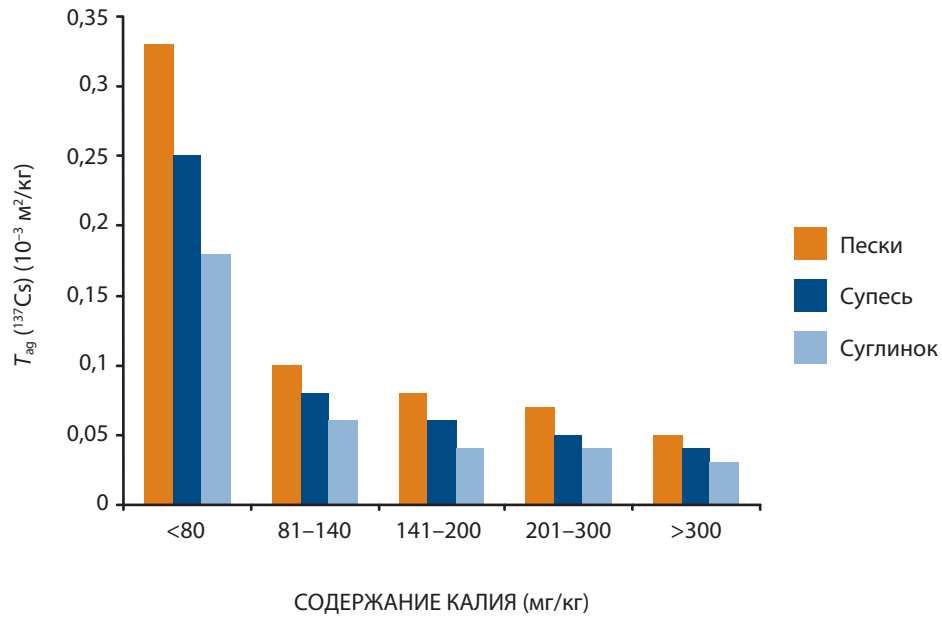


Рисунок А-ХII. *a)* Переход ^{137}Cs в зерно овса в дерново-подзолистых почвах разной структуры с различным содержанием калия [B25] и *b)* переход ^{90}Sr в семена озимой ржи в различных почвах с разными концентрациями обменноспособного кальция [K20]

a)



b)

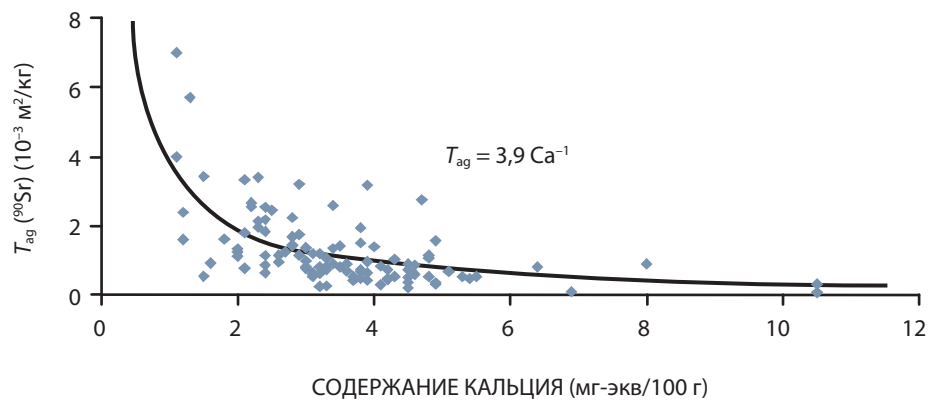


Рисунок А-ХІІІ. Концентрации ^{137}Cs в зерне и картофеле, произведенных в загрязненных районах Брянской области, Российская Федерация [F7]

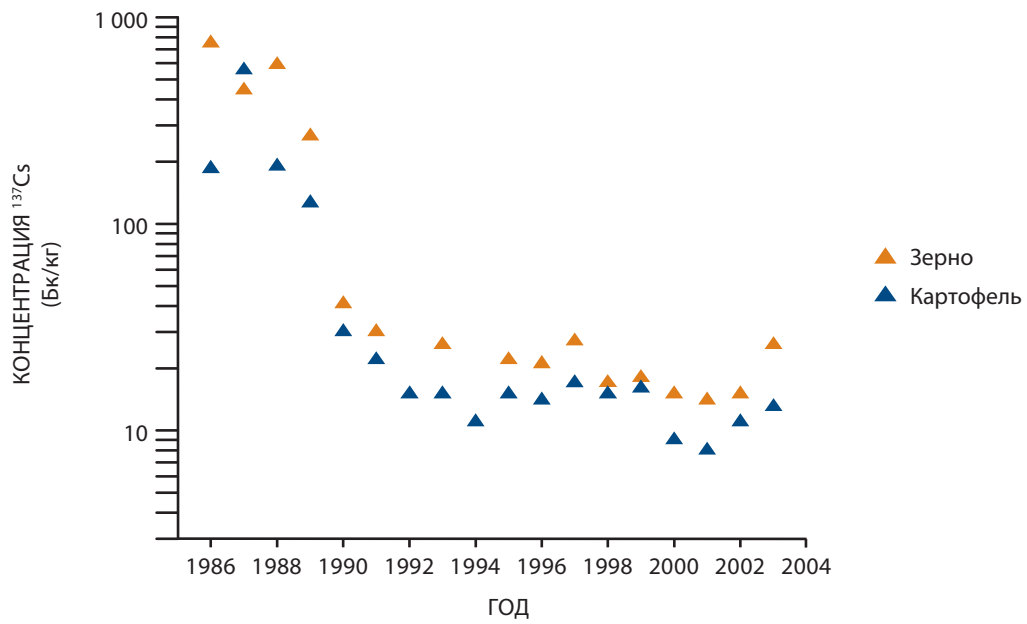


Рисунок А-ХІV. Средняя концентрация ^{137}Cs в мясе и молоке, произведенных в загрязненных районах Брянской области, Российская Федерация [F7]

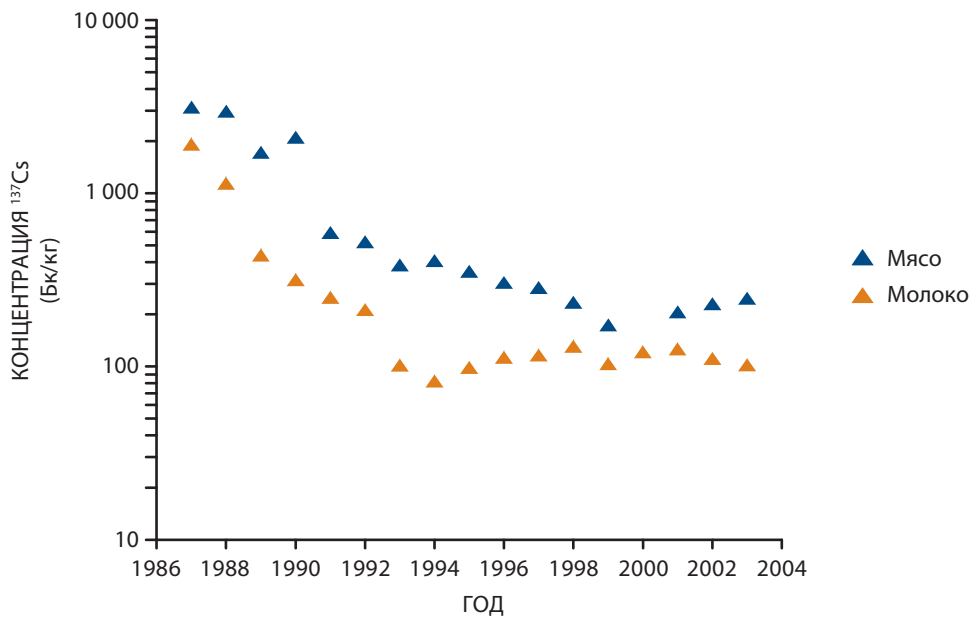
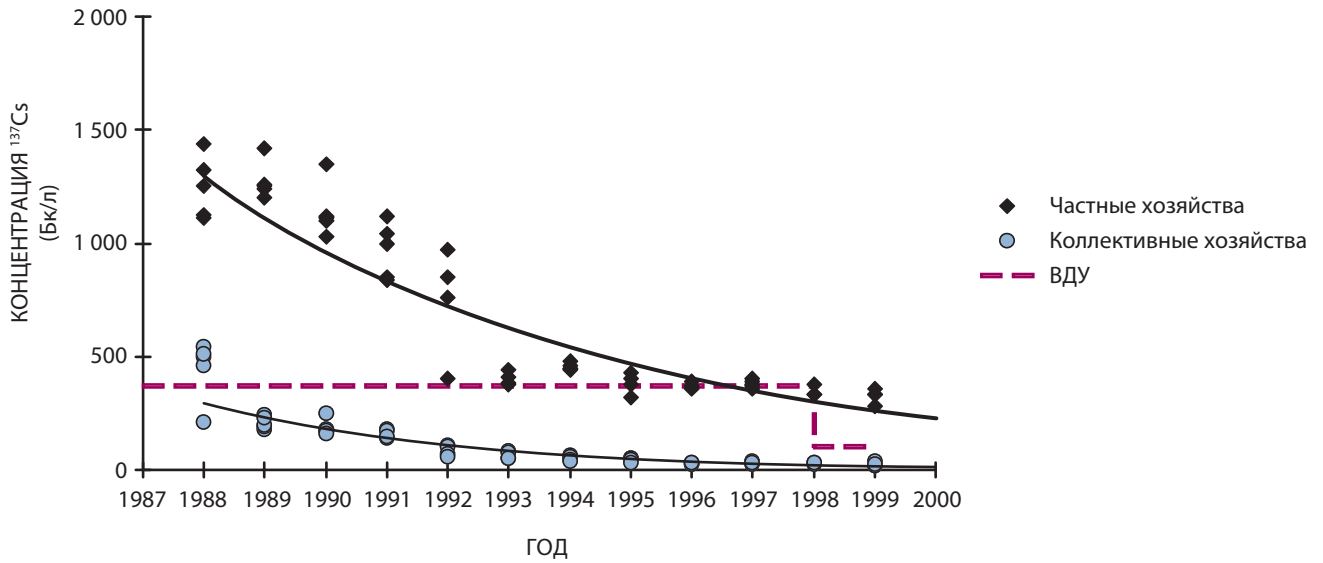


Рисунок А-XV. Типичная динамика концентрации ^{137}Cs в молоке, произведенном в индивидуальных и коллективных хозяйствах в Ровенской области, Украина, в сравнении с национальным временно допустимым уровнем (ВДУ) [Р6]^a



^a В настоящее время в международной торговле пищевыми продуктами используется рекомендованный комиссией "Кодекс Алиментариус" норматив для ^{137}Cs , равный 1000 Бк/кг [С12].

Рисунок А-XVI. Оценка процентного распределения радиоцезия по различным компонентам экосистем хвойного леса [S22]

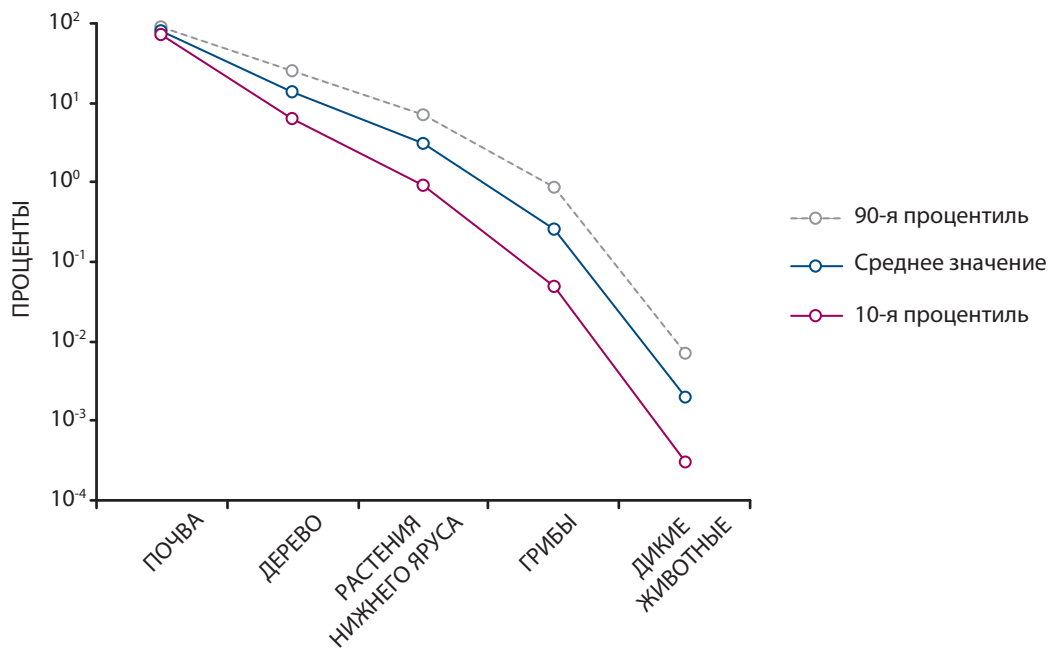
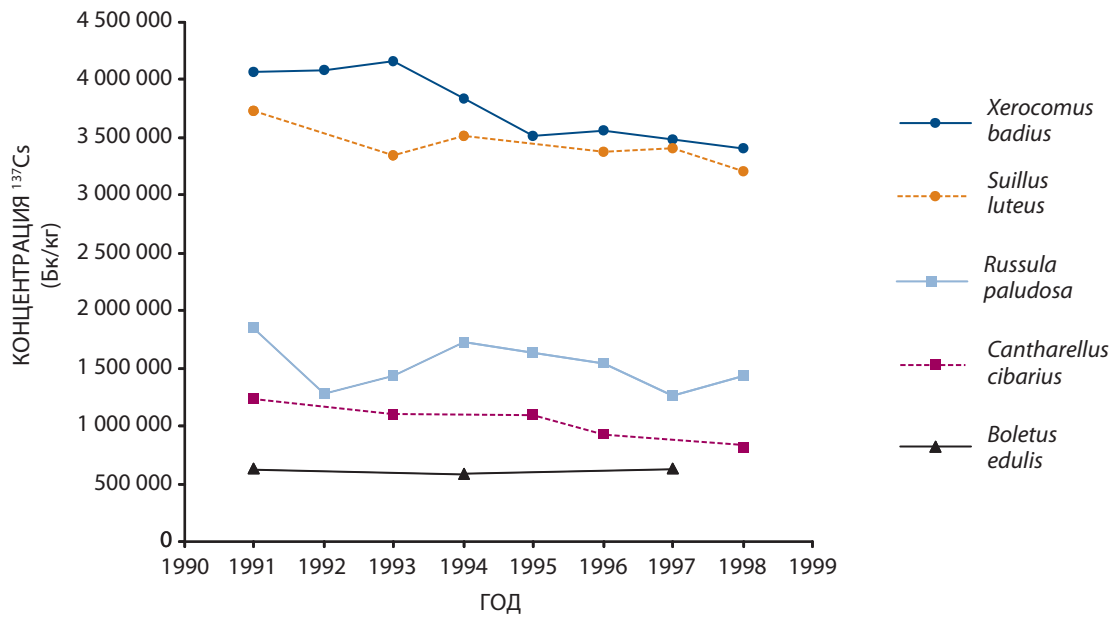


Рисунок А-ХVII. Концентрации ^{137}Cs в некоторых видах грибов

Собраны в сосновом лесу в Житомирской области Украины приблизительно в 130 км к юго-западу от Чернобыля (Бк/кг сухого веса). Плотность выпадения ^{137}Cs на почву в этом месте в 1986 году составила 555 кБк/м² [118]

**Рисунок А-ХVIII. Средняя концентрация ^{137}Cs в организме лосося на одной из охотничьих территорий в Швеции**

На основе обследования приблизительно 100 животных в год [15]

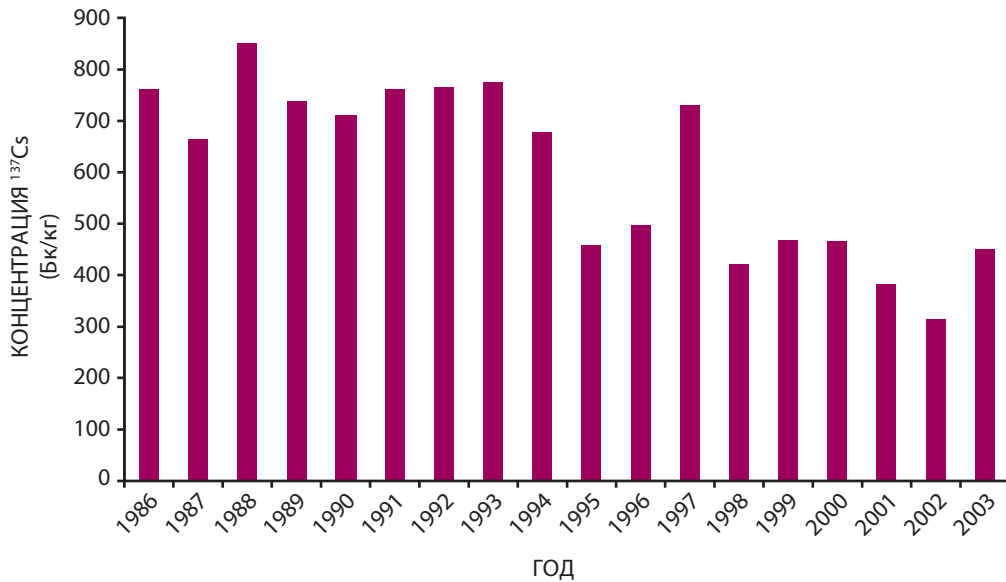


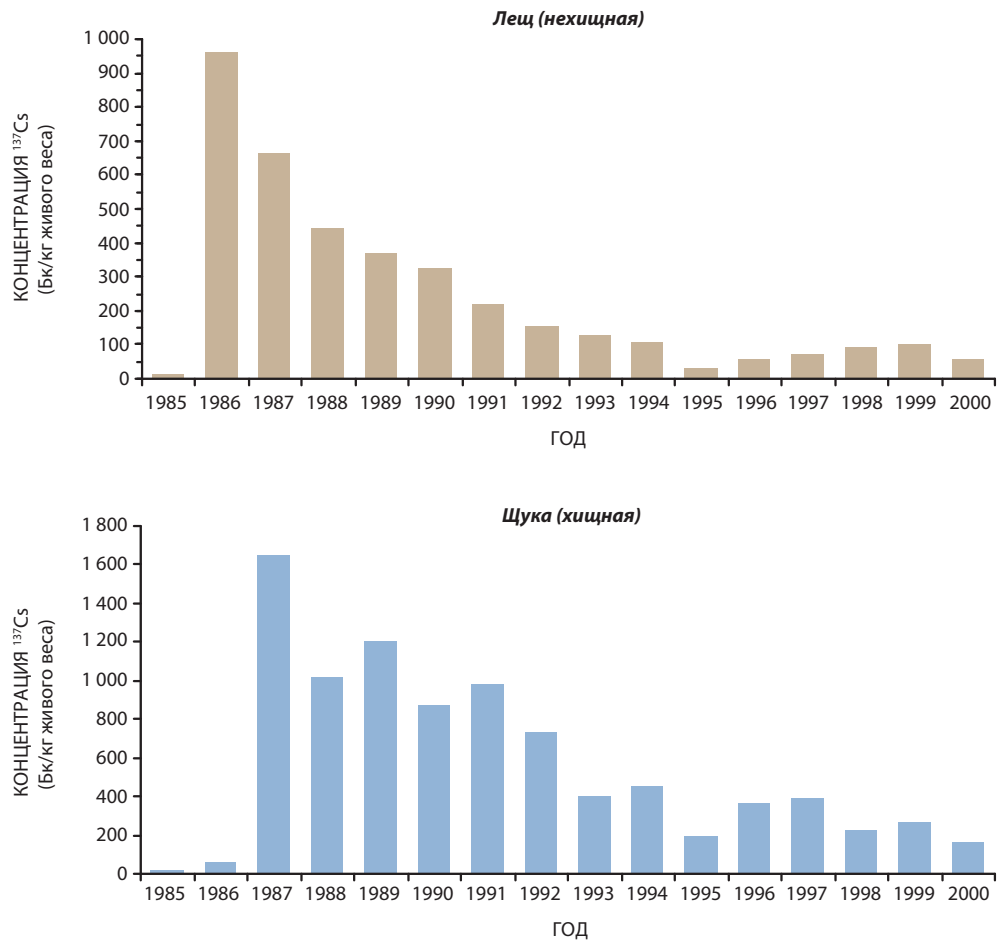
Рисунок А-ХІХ. Средняя концентрация ^{137}Cs в рыбе из Киевского водохранилища [U19]

Рисунок А-XX. Количество молока и мяса с превышением временно допустимых уровней (ВДУ) в Российской Федерации (коллективные и индивидуальные хозяйства), Украине и Беларуси [N8]

Эти показатели относятся к молоку и мясу, поступающим на перерабатывающие предприятия

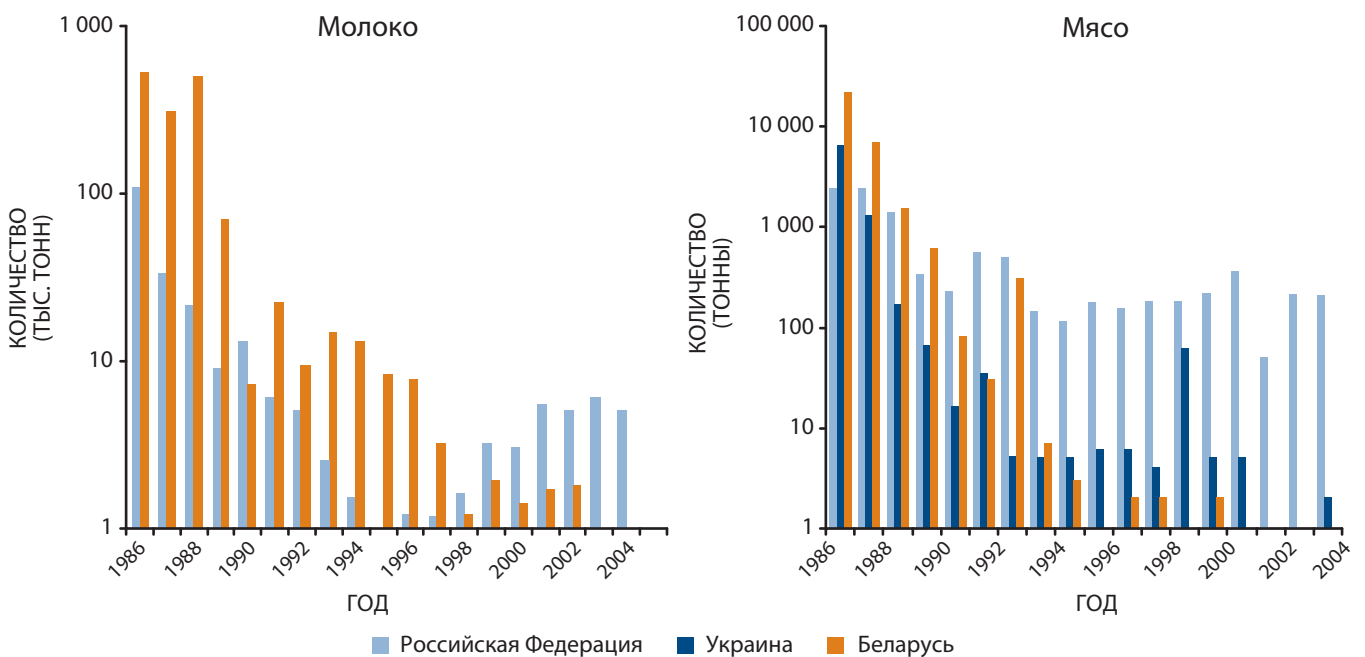
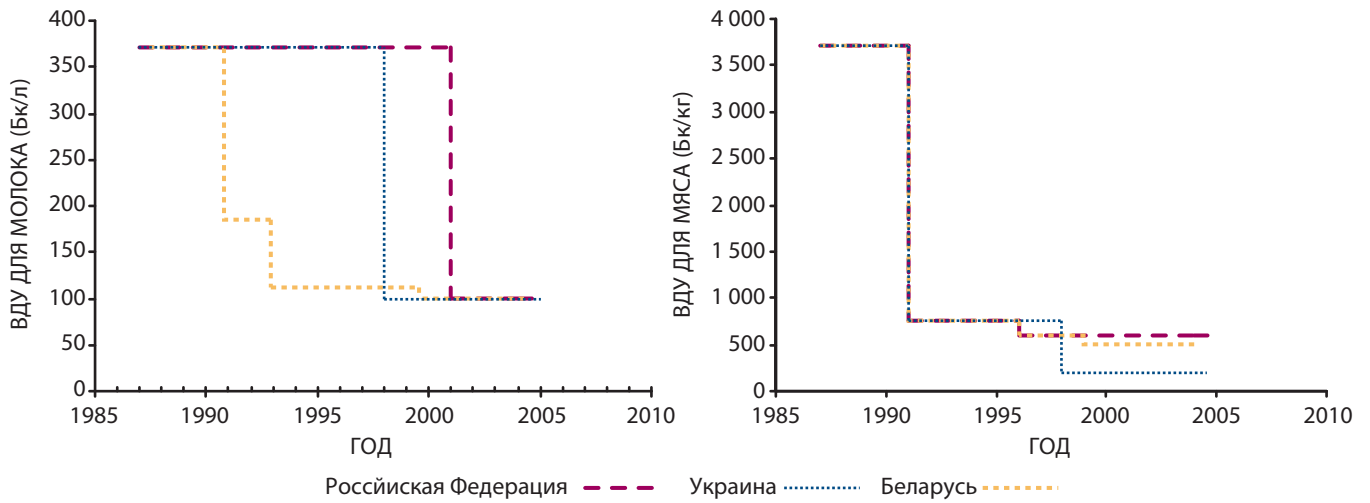
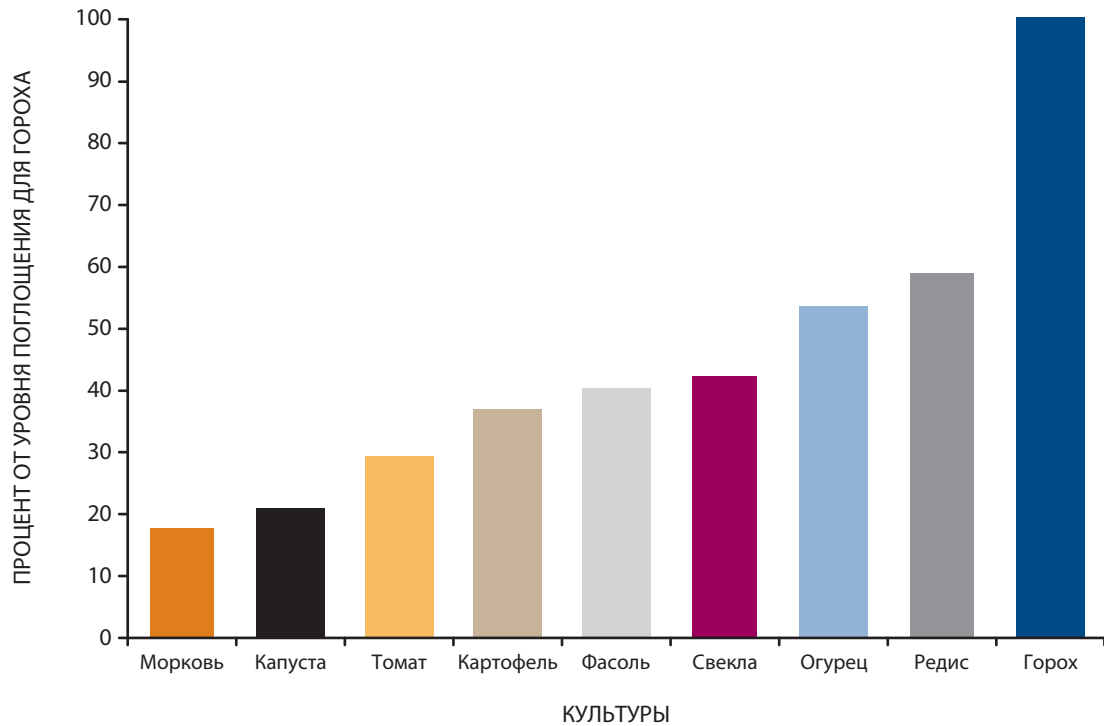


Рисунок А-XXI. Изменения со временем временно допустимых уровней (ВДУ) ¹³⁷Cs в бывшем Советском Союзе и позже в трех независимых странах [S14]^a



^a В настоящее время в международной торговле пищевыми продуктами используется рекомендованный комиссией "Кодекс Алиментариус" норматив для ¹³⁷Cs, равный 1000 Bq/kg [C12].

Рисунок А-XXII. Сравнение уровня поглощения ¹³⁷Cs различными сельскохозяйственными культурами. Нормализовано по значению для гороха [B18]



ДОПОЛНЕНИЕ В ДОЗЫ РАДИАЦИИ, ПОЛУЧЕННЫЕ ОБЛУЧЕННЫМИ ГРУППАМИ НАСЕЛЕНИЯ

I. РЕЗЮМЕ ПРЕДЫДУЩИХ ДОКЛАДОВ НКДАР ООН

В1. Оценка средних доз от радиоактивных выпадений, полученных населением стран и некоторых субрегионов стран Северного полушария в результате чернобыльской аварии, дана в приложении D “Облучение вследствие чернобыльской аварии” доклада НКДАР ООН за 1988 год [U7]. Давая свою оценку, Комитет полагался на многочисленные измерения в окружающей среде в течение первого года после аварии и результаты общего моделирования. Данные о профессиональном воздействии не включены в это приложение, поскольку на тот период времени информация о дозах, полученных работниками, которые участвовали в ликвидации последствий аварии и восстановительных работах в бывшем Советском Союзе, отсутствовала. Кроме того, имелось относительно мало информации о дозах у населения в бывшем Советском Союзе.

В2. На основе результатов оценки доз у населения был сделан общий вывод о том, что, “несмотря на то что население в странах Европы и в меньшей степени в странах Северного полушария подверглось облучению, в перспективе радиационное воздействие не было слишком значительным” [U7].

В3. В Европе наиболее высокие средние эффективные дозы радиации в первый год составляли 760 мкЗв в Болгарии, 670 мкЗв в Австрии, 590 мкЗв в Греции и 570 мкЗв в Румынии. За ними следовали другие страны в Северной, Восточной и Юго-Восточной Европе. Дозы в странах, расположенных дальше на западе Европы, и в странах Азии, Африки и Северной и Южной Америки были гораздо меньше, что соответствует уровням выпадения радионуклидов.

В4. По прогнозам Комитета [U7], “воздействие радиации, главным образом в результате выброса ^{137}Cs , будет продолжаться в течение нескольких десятков лет вследствие внешнего облучения и поступления в организм человека с пищей”. Оценка ожидаемых доз проводилась для более крупных географических районов на основании моделей прогноза, разработанных с использованием измерений глобальных радиоактивных выпадений в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере. Оценка дозы для всего населения Северного полушария проводилась на основании информации о соотношении между уровнем выпадения ^{137}Cs и расстоянием от Чернобыля. Коллективная ожидаемая эффективная доза для жителей составила порядка 600 тыс. чел.-Зв.

В5. Уточненная информация о дозах радиации представлена в приложении J “Облучение и эффекты в результате чер-

нобыльской аварии” к докладу НКДАР ООН за 2000 год [U3]. Оценка доз проводилась для: *a)* работников, которые участвовали в устранении аварии непосредственно во время аварии (“аварийных работников”) и после аварии (“ликвидаторов последствий аварии”); и *b)* лиц из состава населения, которые были эвакуированы для предотвращения чрезмерного облучения, и тех, кто все еще проживает на загрязненных территориях (к их числу были отнесены районы в Беларуси, Российской Федерации и Украине, где плотность выпадения ^{137}Cs превышала 37 кБк/м²). Были произведены многочисленные измерения радиации (плёночными дозиметрами, термолюминесцентными дозиметрами, измерения во всем теле и щитовидной железе и т. д.), для того чтобы оценить уровни облучения, полученные рассматриваемыми группами населения.

В6. Наибольшие дозы были получены примерно 600 аварийными работниками, которые находились на территории Чернобыльской электростанции в ночь аварии. Наибольшее воздействие было обусловлено внешним облучением, поскольку поступление радионуклидов ингаляционным путем было в большинстве случаев относительно малым. Острая лучевая болезнь была диагностирована у 134 из этих аварийных работников. Из них 41 пациент получил в результате внешнего облучения дозу на все тело меньше 2,1 Гр. Девяносто три больных получили более высокие дозы и страдали более тяжелой формой острой лучевой болезни: 50 человек получили дозы от 2,2 до 4,1 Гр; 22 – от 4,2 до 6,4 Гр и 21 – от 6,5 до 16 Гр. Дозы на кожу от бета-излучения, оцененные для восьми пациентов с острой лучевой болезнью, были в 10–30 раз больше, чем дозы на все тело от внешнего облучения.

В7. В соответствии с законами, принятыми в Беларуси, Российской Федерации и Украине, около 600 тыс. лиц (гражданских и военных) получили специальные свидетельства, подтверждающие их статус участников ликвидации последствий аварии (ликвидаторов). Из них около 240 тыс. составили военнослужащие. Основные задачи, которые выполнялись участниками ликвидации последствий аварии, включали дезактивацию реакторного блока, реакторной площадки и дорог, а также сооружение “саркофага”, поселка для персонала реактора и хранилищ отходов. Эти задачи были выполнены к 1990 году.

В8. В 1986 году был создан официальный регистр участников ликвидации последствий аварии. В этот регистр вклю-

чены оценки доз внешнего облучения, которое было преобладающим путем облучения ликвидаторов. Как явствует из регистра, средние зарегистрированные дозы уменьшались год от года, составляя около 0,17 Зв в 1986 году, 0,13 Зв – в 1987 году, 0,03 Зв – в 1988 году и 0,015 Зв – в 1989 году. В целом, однако, достоверность сообщенных данных сложно оценить по ряду причин: *a)* в различных организациях использовались разные дозиметры без какой-либо взаимной калибровки; *b)* большое число зарегистрированных доз приближается к пределу дозы; и *c)* имеется большое число округленных величин, таких как 0,1 Зв, 0,2 Зв или 0,5 Зв. Тем не менее есть основания полагать, что средняя эффективная доза внешнего гамма-облучения участников ликвидации последствий аварии в 1986–1987 годах составляла около 0,1 Зв.

V9. Выбросы радионуклидов из поврежденного реактора привели к загрязнению радиоактивными выпадениями больших площадей, что привело к облучению лиц из состава населения. Выбросы радионуклидов происходили главным образом в течение 10-дневного периода, хотя их интенсивность менялась. Наиболее важными для рассмотрения являются выбросы ^{131}I и ^{137}Cs . Йод-131 стал основным источником доз на щитовидную железу, полученных преимущественно за счет внутреннего облучения в первые несколько недель после аварии. В отличие от него ^{137}Cs был (и остается) основным источником доз как внешнего, так и внутреннего облучения органов и тканей помимо щитовидной железы, которое продолжится с небольшой мощностью еще несколько десятилетий.

V10. В течение нескольких недель после аварии около 116 тыс. человек были эвакуированы из районов Украины и Беларуси с наиболее высоким уровнем выпадения радионуклидов. Дозы на щитовидную железу, полученные эвакуированными лицами, варьировались в зависимости от их возраста, места проживания и даты эвакуации. Например, для жителей Припяти, в основном эвакуированных в течение 48 часов после аварии, взвешенная по численности населения средняя

доза на щитовидную железу составляла, по оценкам, 0,17 Гр и варьировалась от 0,07 Гр у взрослых до 2 Гр у младенцев. Для всей группы эвакуированных взвешенная по численности населения средняя доза на щитовидную железу составляла 0,47 Гр. В среднем дозы на органы и ткани помимо щитовидной железы были гораздо меньше.

V11. Наряду с этим была произведена оценка доз на щитовидную железу у жителей загрязненных территорий, которые не были эвакуированы. В каждой из трех республик у наиболее облученных младенцев дозы на щитовидную железу были оценены выше 1 Гр. Среди жителей любого выбранного селения дозы на щитовидную железу у взрослых были примерно в 10 раз меньше, чем у детей. По расчетам, средняя доза на щитовидную железу, полученная населением трех республик, составляла 7 мГр.

V12. В течение первых нескольких недель после аварии основным источником облучения был ^{131}I , а затем облучение продолжалось при гораздо меньшей мощности дозы за счет радионуклидов с гораздо большим периодом полураспада. С 1987 года дозы, получаемые населением загрязненных территорий, в основном были следствием внешнего облучения за счет ^{134}Cs и ^{137}Cs , осевших на землю, и внутреннего облучения, обусловленного загрязнением пищевых продуктов ^{134}Cs и ^{137}Cs . Прочие, как правило, незначительные составляющие долговременного облучения были результатом потребления пищевых продуктов, содержащих ^{90}Sr , и вдыхания аэрозолей, содержащих изотопы плутония. И внешнее и внутреннее облучение от ^{134}Cs и ^{137}Cs привело к получению примерно одинаковых доз на все органы и ткани тела. Средние эффективные дозы, полученные от ^{134}Cs и ^{137}Cs в течение первых 10 лет после аварии жителями загрязненных территорий, составляют, по оценкам, около 10 мЗв. Медианное значение эффективной дозы составляло около 4 мЗв, и только около 10 тыс. человек, по оценкам, получили эффективные дозы более 100 мЗв. Ожидается, что пожизненные эффективные дозы будут примерно на 40 процентов больше, чем дозы, полученные в первые 10 лет после аварии.

II. НОВЫЕ ДАННЫЕ

V13. Комитет привел уточненные оценки доз излучения для тех же групп населения, которые включены в приложение J “Дозы и последствия облучения в результате чернобыльской аварии” доклада НКДАР ООН за 2000 год [U3]. Кроме того, были уточнены оценки доз у населения всех районов Беларуси и Украины, а также отдельных районов Российской Федерации. Наряду с этим приводятся некоторые данные об облучении населения в отдаленных странах Европы.

V14. Для проведения тщательного анализа возможных последствий облучения для здоровья аварийных работников, ликвидаторов и населения необходима надлежащая дозиметрическая база, чтобы определить такие параметры, как коэффициенты радиационного риска и зависимость доза–эффект. Общеизвестно, что наиболее полезными дозиметрическими параметрами для эпидемиологических исследований являются поглощенные дозы в органах или тканях, а также информация о линейной передаче энергии (ЛПЭ) излучением и

о мощности дозы. После чернобыльской аварии как работники, так и население подверглись внешнему и внутреннему облучению бета- и гамма-излучением с низкой ЛПЭ.

V15. При исследовании острых лучевых эффектов у аварийных работников [U7] используются поглощенные дозы во всем теле (в красном костном мозге) и в коже. Эти дозы были реконструированы по биологическим показателям, таким как концентрация клеток крови и цитогенетические параметры. Однако во многих исследованиях, посвященных изучению долгосрочных последствий облучения для здоровья различных когорт, пострадавших в результате аварии, как и в настоящем докладе, применялись другие дозиметрические характеристики, которые изначально не предназначались для анализа соотношения доза–эффект. Например, дозы внешнего гамма-излучения, полученные ликвидаторами, обычно оценивались физической величиной “экспозиционная доза” (выражаемой в рентгенах), а позднее для сохранения информации в

электронных базах данных пересчитывались в поглощенные дозы (выражавшиеся в миллигреях) простым умножением на десять. Хотя экспозиционная доза в воздухе, как правило, недостаточна для определения дозы в теле человека, тем не менее для типичных условий облучения после аварии (ротационная геометрия на 360° и средняя энергия гамма-излучения от 0,6 до 0,8 МэВ) поглощенная доза, рассчитанная таким образом, близка к поглощенной дозе в поверхностных тканях тела. Однако при тех же условиях облучения поглощенная доза в органах и тканях, расположенных дальше от поверхности тела, меньше в 1,2–1,8 раза [G11, I33]. Длительность облучения, которому подвергались ликвидаторы, оценивалась на основе информации о продолжительности работы на месте аварии или на других загрязненных радионуклидами территориях; это время обычно варьировало в интервале от нескольких дней до нескольких месяцев.

V16. Дозиметрические оценки для исследований, посвященных воздействию радиации на щитовидную железу, с самого начала осуществлялись на основе средней поглощенной дозы в щитовидной железе (выраженной в греях или миллигреях), которая считалась адекватной количественной характеристикой для таких целей. Продолжительность облучения щитовидной железы оценивалась по физическому периоду полураспада, периоду половинного снижения концентрации в пище и удержания в щитовидной железе ^{131}I , который давал основной вклад в ее облучение. Эффективное время половинного снижения ^{131}I в щитовидной железе составляло от пяти до семи дней в зависимости от возраста, что соответствовало времени облучения около месяца.

V17. Полученные населением дозы внешнего и внутреннего облучения от смеси радионуклидов в окружающей среде (в которой преобладали ^{137}Cs и ^{134}Cs) обычно были представлены в эффективной дозе (выраженной в миллизивертах). Однако, как отмечалось в других исследованиях, эффективная доза – это величина, разработанная для целей радиационной защиты и не предусматривающая применения для интерпретации данных о медицинских эффектах. Величина – эффективная доза – включает суждения о качестве излучения и относительной чувствительности к облучению различных органов и тканей в отношении стохастических последствий для здоровья, и поэтому ее нельзя использовать для анализа доза–эффект. Факт широкого применения данной величины обусловлен ее важностью для современной радиационной защиты [I30, I33] и наличием номинальных дозовых коэффициентов как для внешнего, так и для внутреннего облучения, разработанных МКРЗ. Однако в случаях относительно изотропного внешнего гамма-облучения человеческого тела от радионуклидов, распределенных в окружающей среде, и сравнительно однородного внутреннего облучения от попавших в организм ^{137}Cs и ^{134}Cs численные значения поглощенной дозы (в миллигреях) во многих органах и тканях находятся в пределах 30 процентов от численных значений эффективной дозы (в миллизивертах). Оценки эффективной дозы внутреннего облучения, представленные в настоящем дополнении, не учитывают влияния попавших в организм радиоактивных изотопов йода и теллура, хотя вклад этих радионуклидов учитывается при оценке доз, обусловленных внешним облучением. Облучение населения за счет радионуклидов, выпавших в результате аварии в окружающей среде, длится несколько десятилетий; при этом доза, полученная за первый год, состав-

ляет от 30 до 40 процентов дозы за всю жизнь. Оценки эффективной дозы внешнего облучения отражают дозу, полученную за рассматриваемый период времени, тогда как дозы внутреннего облучения (так называемые “ожидаемые дозы”) отражают дозы за весь период присутствия радионуклида в организме до его распада и выведения.

V18. Опубликовано множество научных работ, книг, докладов и материалов конференций на русском, английском и других языках по различным аспектам дозиметрии в связи с чернобыльской аварией. К числу важнейших публикаций на английском языке относятся два основных доклада Чернобыльского форума [I21, W5], два предыдущих доклада Комитета [U3, U7], а также многочисленные книги и материалы конференций [A8, E4, I25, I29, I34, K21, K29, M12, M17, N13, N15, N16, V2, V3, Y2, Y3]. Большая часть из представленных в настоящем докладе материалов базируется на четырех основных докладах, подготовленных Организацией Объединенных Наций или ее учреждениями [I21, U3, U7, W5], с использованием дополнительной информации из недавних публикаций, а также сведений, полученных от контактных лиц из Беларуси, Российской Федерации и Украины.

А. Работники, участвовавшие в ликвидации аварии и ее последствий

V19. К аварийным работникам относятся работники, участвовавшие в ликвидации аварии, например пожара, в день аварии (26 апреля 1986 года). Ликвидаторы – это лица, работавшие на территории электростанции или в прилегающей к ней зоне в 1986–1990 годах и выполнявшие работы по дезактивации объектов и территории и сооружению саркофага и другие работы по ликвидации последствий аварии. К этой группе также относятся работники других блоков атомной электростанции.

1. Аварийные работники

V20. Информация об аварийных работниках, получивших очень большие дозы излучения, подробно рассматривается в приложении J “Дозы и последствия облучения в результате чернобыльской аварии” к докладу НКДАР ООН за 2000 год [U3]. 134 аварийных работника, которым был поставлен диагноз “острая лучевая болезнь”, получили дозы во всем теле (или костном мозге) от внешнего гамма-излучения в пределах от 0,8 до 16 Гр. Дозы в коже у отдельных лиц превышали дозы в костном мозге в 10–30 раз; у некоторых из них дозы в коже составляли, по оценкам, от 400 до 500 Гр [M13]. Дозы у этих работников определяли главным образом методами клинической дозиметрии, т. е. на основе анализа состава крови и/или цитогенетических параметров лимфоцитов [U3]; эти методы пригодны для небольшого числа изучаемых лиц, но не для проведения масштабных эпидемиологических исследований.

2. Ликвидаторы

V21. Основным путем облучения ликвидаторов являлось внешнее гамма-излучение радиоактивных материалов, выпавших на почву и поверхности зданий. Эти дозы внешнего облу-

чения были зарегистрированы в национальных регистрах примерно у половины работников. Эффективные дозы и поглощенные дозы в коже и хрусталике глаза в результате внешнего бета-излучения, а также дозы в щитовидной железе в результате внутреннего излучения были оценены лишь для небольшого числа работников.

a) Дозы от внешнего облучения источниками гамма-излучения

V22. Оценки доз вследствие внешнего гамма-облучения участников ликвидации последствий аварии могли быть получены либо во время облучения, либо позднее. Во время облучения использовались три метода: *a)* индивидуальные измерения дозы у работников атомной энергетики и незначительной части военнослужащих в период после июня 1986 года; *b)* групповые измерения дозы (т. е. с помощью индивидуального дозиметра, который носил один из членов группы участников ликвидации последствий аварии, которым было поручено выполнение конкретной задачи; при этом предполагалось, что все члены данной группы получили одну и ту же дозу); и *c)* предварительная оценка дозы, полученной группой участников ликвидации последствий аварии, по мощности дозы на месте проведения работ и запланированной продолжительности работы. Для оценки доз, полученных большинством военнослужащих, всегда использовались методы *b)* и *c)* либо их сочетание. В дальнейшем использовались методы ретроспективной оценки доз. Эти методы включают: *d)* исследования по методу хронометража (т. е. измерения уровней гамма-излучения производились на различных участках площадки реактора, а индивидуальная доза оценивалась как функция показателей на участках, где работал ликвидатор, и проведенного на этих участках времени); и *e)* биодозиметрия (т. е. исследование зубной эмали методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) или измерения методом флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH), проводимые на лимфоцитах крови). До настоящего времени метод *e)* использовался лишь у ограниченного числа работников в целях подтверждения достоверности результатов [W5]. В период проведения очистных работ в 1986–1990 годах все средства радиометрического и дозиметрического контроля были градуированы в физической величине “мощность экспозиционной дозы” (выраженной в единицах мР/ч или Р/ч), но в научной литературе, как правило, приводятся данные о поглощенных дозах излучения (выраженных в миллизивтах) или об эффективных дозах (выраженных в миллизивтах), исходя из приблизительного соответствия: $1 \text{ Р} = 10 \text{ мГр} = 10 \text{ мЗв}$. В настоящем приложении результаты приводятся в единицах поглощенной дозы.

V23. К числу основных источников погрешностей при использовании различных методов оценки дозы относятся следующие: *a)* индивидуальная дозиметрия: неправильное использование дозиметров (умышленные или неумышленные действия, приводящие либо к передержке, либо к недодержке дозиметров); *b)* и *c)* групповая дозиметрия: крайне высокий градиент мощности экспозиционной дозы на площадке реактора; *d)* исследования по методу хронометража: недостаток данных о маршрутах перемещения работников и о времени, проведенном на различных рабочих участках, в сочетании с погрешностями в оценке мощности экспозиционной дозы; и *e)* биодозиметрия: относительно высокий сигнал за счет фонового излучения, не позволяющий точно измерить дополнительные низкие дозы, а также отсутствие сведений о других

естественных и искусственных источниках облучения [W5]. На ранних этапах метод *e)* применяли с существенным консерватизмом. Согласно оценкам, погрешность, связанная с применением различных методов оценки доз, составляет: до 50 процентов по методу *a)* (при условии правильного использования дозиметра); до 3-кратной по методу *b)*; и до 5-кратной по методам *c)* и *d)* [P1]. Погрешность при проведении ЭПР-дозиметрии по методу *e)* выражена в абсолютных единицах для доз до 250 мГр и составляет 25 мГр (одно стандартное отклонение), а для доз свыше 250 мГр – в относительных единицах и составляет около 10 процентов [C15].

V24. Всего в национальные регистры Беларуси, Российской Федерации, Украины, Латвии, Литвы и Эстонии по состоянию на 2006 год занесены сведения примерно о 500 тыс. ликвидаторов и о зарегистрированных дозах от внешнего гамма-излучения примерно для 250 тыс. из них (таблица В1). Эти показатели отличаются от представленных в предыдущем докладе НКДАР ООН [U3] и в более позднем докладе Чернобыльского форума [W5] в связи с тем, что: *a)* с 2000 года ведется обновление национальных регистров, и *b)* теперь в них добавлены данные по трем балтийским странам. В результате информация содержит на 38 процентов больше данных о ликвидаторах, чем в 2000 году [U3]. Численность работников, внесенных в регистры в качестве ликвидаторов, с каждым годом сокращалась. Снижалось и среднее значение зарегистрированных доз: в 1986 году средняя доза составляла около 150 мГр, в 1987 году – 100 мГр, а в 1988–1990 годах – 40–50 мГр. Снижение со временем зарегистрированных доз после аварии отражает снижение как мощности доз, так и пределов дозы (для большинства работников пределы дозы составляли: 250 мГр в 1986 году, 100 мГр в 1987 году и 50 мГр в 1988 году и в последующие годы). Наименьшая доля ликвидаторов, имеющих зарегистрированные дозы, была зафиксирована в 1986 году (35 процентов), когда система дозиметрического мониторинга еще не была полностью развернута [C13]; в 1987 году эта доля увеличилась до 64 процентов и затем почти не менялась вплоть до 1990 года. Хотя указанные в таблице В1 сведения о дозах дают представление об уровнях облучения, на них нельзя полагаться при проведении эпидемиологических исследований без дополнительного анализа, поскольку при использовании некоторых методов оценки доз имеются систематические ошибки, а данные у небольшой процентной доли работников, возможно, были намеренно искажены [B11, C13].

V25. Средняя доза внешнего облучения всех ликвидаторов составила около 120 мГр (таблица В1). Среди представителей стран, из которых приезжали ликвидаторы, наивысшее значение средней дозы (около 150 мГр) отмечалось у работников из Украины, которые были задействованы при выполнении наиболее трудных работ на территории ЧАЭС и в 30-километровой зоне на начальных этапах. Самое низкое значение средней дозы (около 50 мЗв) получили работники из Беларуси, поскольку их не направляли в промышленную зону. Данные исследования ликвидаторов из России [I14, I25], по-видимому, указывают на то, что средняя доза у них практически не зависела от продолжительности пребывания на территории ЧАЭС в период первой командировки (таблица В2). Из этой таблицы также следует, что большинство ликвидаторов во время первой командировки провели на территории ЧАЭС менее шести месяцев. Однако некоторые из них впоследствии неоднократно приезжали на ЧАЭС и в общей сложности проработали на ее территории несколько лет [C16].

V26. Распределение примерно 250 тыс. ликвидаторов по величине зарегистрированных доз внешнего облучения представлено в таблице В3, включающей данные для Беларуси, Российской Федерации, Украины, Латвии, Литвы и Эстонии, а также сводные данные по всем этим странам. В большинстве стран дозы у большей части работников находятся в интервале от 50 до 500 мГр. Дозы варьируются от менее 10 мГр до более 1000 мГр, но примерно 85 процентов этих работников получили дозы в интервале от 20 до 500 мГр. У 219 ликвидаторов зарегистрированы дозы свыше 1 Гр; достоверность доз у этих работников подтверждена. Средняя доза у всех работников с зарегистрированными дозами составляет 110 мГр; у представителей разных стран средние значения доз разные – от 43 мГр у работников из Беларуси до 180 мГр у работников из Латвии.

V27. Для проведения аналитических эпидемиологических исследований необходима дозиметрическая информация о поглощенной дозе в соответствующем органе (костном мозге при болезнях крови, молочной железе при раке молочной железы и т. д.) у всех лиц, участвующих в конкретном исследовании, а также об оценке погрешности, возникающей при определении дозы. В целях проведения таких исследований данные регистров были дополнены или заменены другой информацией, в том числе некоторыми сведениями, полученными в ходе личных опросов. Проведенные в Украине исследования в целях оценки достоверности данных о дозах ликвидаторов из числа военнослужащих (около половины от общего числа работников) показали, что большинство (90–95 процентов) документов, содержащих сведения о дозах, скорее всего, не подвергались фальсификации [С14], однако дозы, представленные в этих документах, превышают фактические дозы примерно вдвое [С13, С17]. При проведении текущих эпидемиологических исследований используется метод хронометража, известный как метод RADRUE [С16, К5, К30]. Для использования этого метода необходимо иметь информацию о местонахождении работника (полученную путем личных опросов) и о радиационном поле на этих участках. Биодозиметрические методы также могут использоваться для калибровки результатов дозиметрии, занесенных в регистры или полученных с помощью метода RADRUE, хотя в настоящее время степень точности и достоверности биодозиметрических методов недостаточна для их использования в эпидемиологических исследованиях при малых дозах [В11].

b) Дозы в коже и хрусталике глаза от внешних источников бета-излучения

V28. Дозы в незащищенных участках кожи от источников бета-излучения, согласно оценкам, в несколько раз превышали дозы от гамма-излучения. Отношение мощности дозы суммарного облучения в результате бета- плюс гамма-излучения к мощности дозы гамма-излучения, измеренное на уровне лица, у ликвидаторов, занятых на работах по общей дезактивации, находилось в диапазоне от 2,5 до 11 (в среднем около 5), а у ликвидаторов, работавших в центральном зале реактора третьего блока, – в диапазоне от 7 до 50 (в среднем около 28) [О1]. Большая часть кожного покрова ликвидаторов была защищена одеждой, и поэтому доза бета-излучения в защищенной коже была гораздо меньше дозы в незащищенной коже. Проблема оценки дозы бета-излучения в хрусталике глаза рассматривалась в рамках Украинско-американского чернобыльского офтальмологического исследования, представлявшего собой когортное исследование возникновения катаракты у 8607 украинских участников ликвидации последствий аварии. Дозы

бета-излучения оценивали на основе данных о дозе гамма-излучения у обследуемых лиц. Коэффициенты перехода от дозы гамма-излучения к дозе бета-излучения были рассчитаны с использованием методов Монте-Карло для различных спектров источников бета-излучения и условий облучения. Было установлено, что индивидуальные соотношения доз бета- и гамма-излучения распределяются в довольно широком диапазоне – фактически от 0 до 3,5, при этом 56 процентов значений не достигают 0,5, а 32 процента значений ≥ 1 .

с) Дозы внутреннего облучения

V29. Ввиду наличия большого количества ^{131}I и других радиоактивных изотопов йода с более короткими периодами полураспада вблизи реактора в период аварии ликвидаторы, работавшие на территории АЭС в первые несколько недель после аварии, возможно, получили значительные дозы внутреннего облучения щитовидной железой [U3]. По результатам ограниченного числа обследований более 600 ликвидаторов, проведенных в период с 30 апреля по 7 мая 1986 года, дозы в щитовидной железе этих работников в среднем были оценены в 0,21 Гр [К6, U3], исходя из однократного поступления радионуклида в день аварии без профилактики стабильным йодом. Медианное значение отношения дозы в щитовидной железе к эффективной дозе, согласно оценкам, составляло 0,3 [К6]. Дозы внутреннего облучения вследствие поступления ^{131}I были незначительными по сравнению с дозами внешнего облучения в период после мая 1986 года. Более подробная информация представлена в приложении J к докладу НКДАР ООН за 2000 год [U3].

V30. В приложении J к докладу НКДАР ООН за 2000 год [U3] также приводятся ограниченные сведения о дозах внутреннего облучения вследствие поступления ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{239}Pu и других радионуклидов. Примерно у 300 ликвидаторов, которые были выбраны для обследования на основании полученных ими больших доз внешнего облучения, средняя эффективная доза от поступления этих радионуклидов составила, по оценкам, 85 мЗв.

3. Коллективные дозы

V31. Коллективная доза внешнего облучения примерно 0,5 млн. зарегистрированных аварийных работников и ликвидаторов, которые работали на Чернобыльской АЭС и других территориях, загрязненных радионуклидами, за период с 1986 по 1990 год составляет около 60 тыс. чел.-Гр. 73 процента этой дозы приходится на 1986 год, 22 процента – на 1987 год, а оставшиеся 5 процентов – на последующие три года. Более половины коллективной дозы (56 процентов) приходится на работников из Украины, 33 процента – на работников из России, а оставшиеся 11 процентов – на работников из Беларуси, Латвии, Литвы и Эстонии. Дозы, полученные работниками из других республик бывшего Советского Союза, не оценивались.

V32. В таблице В3 также представлены данные о распределении коллективной дозы по уровням индивидуальных доз для Беларуси, Российской Федерации, Украины, Латвии, Литвы и Эстонии, а также сводные данные для всех этих стран. Около 85 процентов коллективной дозы у всех ликвидаторов с зарегистрированными дозами приходится на работников, получивших дозы от 50 до 500 мГр.

В. Дозы, полученные населением

В33. Что касается доз, полученных населением вследствие радиоактивных выпадений, то необходимо проводить различие между дозой в щитовидной железе и дозой во всем теле. Йод-131 являлся главным источником облучения щитовидной железы, дозы в которой были получены в основном путем внутреннего облучения в первые недели после аварии. Однако основным источником облучения других органов и тканей был и остается ^{137}Cs , который выступает как источник внешнего и внутреннего излучения; накопление этих доз с низкой интенсивностью будет продолжаться в течение еще нескольких десятилетий.

В34. Дозы в щитовидной железе вследствие чернобыльской аварии включают четыре компонента: *a)* доза внутреннего облучения в результате поступления ^{131}I ; *b)* доза внутреннего облучения в результате поступления других короткоживущих радиоактивных изотопов йода (^{132}I , ^{133}I и ^{135}I) и короткоживущих радиоактивных изотопов теллура ($^{131\text{m}}\text{Te}$ и ^{132}Te); *c)* доза внутреннего облучения в результате поступления долгоживущих радионуклидов, таких как ^{134}Cs и ^{137}Cs ; и *d)* доза внешнего облучения в результате выпадения радионуклидов на почву и другие поверхности. Для большинства людей доза внутреннего облучения в результате поступления ^{131}I является наиболее серьезным последствием, и именно этому виду облучения научное сообщество уделяет основное внимание.

В35. Оценка доз в щитовидной железе вследствие поступления ^{131}I основана на результатах измерений гамма-излучения с помощью радиационных детекторов, помещенных перед шей. В течение первых нескольких недель после аварии было произведено примерно 350 тыс. подобных измерений (называемых “прямыми измерениями щитовидной железы”) в Беларуси, Российской Федерации и Украине [G1, L1, S31, U6, Z1]. Как правило, обследуемые подвергались этой процедуре только один раз, поэтому при измерении могла быть определена только мощность дозы в щитовидной железе в момент измерения. Для вычисления дозы в щитовидной железе необходимо было оценить изменение мощности дозы со временем. При этом учитывали относительную скорость поступления ^{131}I до и после прямого измерения щитовидной железы, а также метаболизм ^{131}I в организме, на который мог повлиять прием стабильного йода в профилактических целях.

В36. По прошествии первых нескольких недель после аварии, когда основной составляющей облучения был ^{131}I , продолжалось облучение с меньшей мощностью дозы от радионуклидов с гораздо большим периодом полураспада. Затем последовал переходный период, длившийся несколько месяцев, в течение которого источниками внешнего облучения в различной степени были радионуклиды со средними периодами полураспада, такие как ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{141}Ce и ^{144}Ce . С 1987 года дозы, полученные населением загрязненных территорий, были обусловлены главным образом внешним облучением от выпавших на почву ^{134}Cs и ^{137}Cs и внутренним облучением в результате загрязнения пищевых продуктов ^{134}Cs и ^{137}Cs . Как внешнее, так и внутреннее облучение от этих радионуклидов приводят к получению всеми органами и тканями тела сравнительно одинаковых доз. Эти дозы в результате чернобыльской аварии были представлены в отчетах как дозы во всем теле (выраженные в миллигреях) либо как эффективные дозы (в миллизивертах) и по определению не включали дан-

ные о дозах в щитовидной железе вследствие поступления ^{131}I в первые несколько недель после аварии.

В37. Комитетом рассмотрены три категории населения: *a)* эвакуированное население; *b)* население Беларуси, Российской Федерации и Украины, проживавшее на территориях, признанных загрязненными; и *c)* население большинства других стран Европы. Для первых двух категорий населения расчеты дозы в щитовидной железе производились по четырем возрастным группам: дошкольники (от 0 до 6 лет), школьники (от 7 до 14 лет), подростки (от 15 до 17 лет) и взрослые. По каждой возрастной группе оценивалось распределение числа лиц и коллективной дозы по уровням дозы. Кроме того, для первых двух категорий населения выполнены расчеты эффективных доз от внешних и внутренних источников излучения. Для населения Беларуси, Российской Федерации и Украины выполнена оценка распределения числа жителей и коллективной дозы по плотности выпадения ^{137}Cs . Для населения большинства других стран Европы выполнена оценка только средних по странам доз в щитовидной железе и эффективных доз для сопоставления с дозами, полученными населением Беларуси, Российской Федерации и Украины.

1. Эвакуированное население

В38. В своем докладе за 2000 год Комитет указывал, что, согласно оценкам, в основном в период с апреля по июнь 1986 года, а также в августе–сентябре этого года из наиболее загрязненных районов Беларуси, Российской Федерации и Украины было эвакуировано около 116 тыс. жителей. Число эвакуированных лиц было уточнено, и в настоящее время считается, что оно составляло около 115 тыс. человек, в том числе около 25 тыс. жителей Беларуси, 200 жителей Российской Федерации и 90 тыс. жителей Украины. Эвакуация населения производилась из районов, входящих в так называемую “зону отчуждения”, которая охватывает не только 30-километровую зону, т. е. зону в радиусе 30 км от чернобыльского реактора, но и прилегающие к 30-километровой зоне районы с высокими уровнями загрязнения и более отдаленные районы с высокой плотностью выпадения ^{137}Cs .

a) Доза в щитовидной железе

В39. Дозы в щитовидной железе у эвакуированного населения варьировались в зависимости от возраста, места проживания, потребительских привычек и даты эвакуации. Например, у жителей Припяти, эвакуированных в основном в первые 40 часов после аварии, взвешенная по численности населения средняя доза в щитовидной железе составила, по оценкам, 370 мГр и распределялась от 275 мГр у взрослых до примерно 1000 мГр у дошкольников [B35]. Гораздо большие дозы, по оценкам, получили жители Беларуси, которых эвакуировали в мае 1986 года: взвешенная по численности населения средняя доза в щитовидной железе составила около 1400 мГр, у взрослых – 920 мГр, у дошкольников – 4600 мГр (таблица В4). Взвешенная по численности населения средняя доза в щитовидной железе для всего эвакуированного населения оценивается в 490 мГр; значения аналогичного показателя для населения, эвакуированного из Беларуси, Российской Федерации и Украины, составляют соответственно 1100 мГр, 440 мГр и 330 мГр (таблица В4).

V40. Распределение эвакуированного населения из Беларуси и Украины по интервалу дозы в щитовидной железе представлено в таблице В5. Дозы в щитовидной железе у эвакуированных лиц находились в интервале от менее 0,05 Гр до более 5 Гр; около 5 процентов эвакуированных дошкольников получили дозы, превышающие 5 Гр. Рассматривались две группы эвакуированных жителей Беларуси: лица, эвакуированные в мае, и лица, эвакуированные в июне–сентябре 1986 года. Среди жителей Беларуси, эвакуированных в мае, наибольшее число дошкольников попало в категорию с дозами в щитовидной железе выше 5 Гр, тогда как интервал доз, полученных наибольшим числом детей школьного возраста, составлял от 2 до 5 Гр, а интервал доз, полученных наибольшим числом подростков и взрослых, – от 0,2 до 0,5 Гр. В целом у эвакуированных жителей Украины и белорусов, эвакуированных в июне–сентябре 1986 года, дозы в щитовидной железе были ниже. Однако интервал доз в щитовидной железе, полученных наибольшим числом подростков и взрослых, по-прежнему составлял от 0,2 до 0,5 Гр.

V41. Для большинства эвакуированных, кроме жителей Припяти, облучение щитовидной железы в основном было обусловлено потреблением молока, содержащего ^{131}I ; другие радионуклиды и пути их попадания в организм играли незначительную роль. Важнейшим фактором облучения щитовидной железы короткоживущими радионуклидами (^{132}I и ^{133}I) являлось вдыхание радиоактивных изотопов йода вскоре после аварии людьми, которые в дальнейшем были эвакуированы из загрязненных районов. В этом случае облучение щитовидной железы происходило в основном путем вдыхания радионуклидов. Анализ результатов измерений, проводившихся *in vivo* в первые дни после аварии у жителей Припяти, которые вдыхали радиоактивные изотопы йода в течение примерно 1,5 суток до эвакуации, действительно показал, что у этих людей вклад короткоживущих радиоактивных изотопов йода в дозы в щитовидной железе был весьма значительным [В4]. Так, у лиц, входящих в эту группу, которые не принимали либо не могли принимать препараты стабильного йода в профилактических целях (в частности, таблетки йодида калия), средняя доля ^{132}I в общей дозе в щитовидной железе составляла, по оценкам, 9 процентов, а доля ^{133}I – около 21 процента. В целом у лиц, не принимавших стабильный йод, около 30 процентов дозы в щитовидной железе, обусловленной внутренним облучением, составлял вклад короткоживущих радиоактивных изотопов йода. Вместе с тем у жителей, принимавших таблетки йодида калия 26–27 апреля 1986 года, доля короткоживущих радионуклидов в общей дозе в щитовидной железе была намного больше: например, доля ^{132}I составила около 40 процентов, а доля ^{133}I – около 14 процентов. Таким образом, в этой группе более половины дозы внутреннего облучения щитовидной железы составляло излучение короткоживущих радиоактивных изотопов йода. Кроме того, в результате приема стабильного йода в профилактических целях ожидаемая доза в щитовидной железе от ^{131}I у этой группы населения оказалась на порядок меньше, а суммарная доза на щитовидную железу вследствие облучения радиоактивным йодом – примерно в 5 раз меньше. У жителей, которые до эвакуации в основном находились в помещении, доза в щитовидной железе от облучения ^{131}I в среднем оказалась вдвое меньше, чем у жителей, которые в основном находились на открытом воздухе [В4].

b) Эффективные дозы

V42. Средние (арифметические) значения эффективных доз внешнего облучения, согласно оценкам, составляли: у населения, эвакуированного из Беларуси, около 30 мЗв; у лиц, эвакуированных из России, – около 25 мЗв; у лиц, эвакуированных из Украины, – около 20 мЗв [U3]. Эти дозы по крайней мере в 10 раз меньше соответствующих доз внутреннего облучения щитовидной железы [В31]. Средние (арифметические) эффективные дозы внутреннего облучения составляли: у населения, эвакуированного из Беларуси, около 6 мЗв; у лиц, эвакуированных из Украины, – около 10 мЗв [U3]; у лиц, эвакуированных из России, – около 10 мЗв [В28]. Эти значения по крайней мере вдвое меньше соответствующих эффективных доз внешнего облучения. Сводные оценки средних эффективных доз у лиц, эвакуированных из Беларуси, Российской Федерации и Украины, приводятся в таблице В6.

c) Коллективные дозы

V43. Распределения коллективной дозы в щитовидной железе по уровню индивидуальных доз представлены в таблице В7. Наибольшие вклады в коллективную дозу в щитовидной железе приходятся: среди эвакуированных жителей Беларуси – на лиц, получивших дозы свыше 5 Гр; среди эвакуированных жителей Украины – на лиц, получивших дозы от 0,2 до 0,5 Гр. Что касается показателей для всего эвакуированного населения, то наибольшая доля коллективной дозы в щитовидной железе приходится на жителей, получивших дозы от 0,2 до 0,5 Гр. Для эвакуированных из двух стран коллективная доза в щитовидной железе, согласно оценкам, составляет порядка 60 тыс. чел.-Гр.

V44. В таблице В6 представлены сводные оценки коллективных эффективных доз для населения районов, жители которых были эвакуированы в 1986 году. Суммарная коллективная эффективная доза оценивается примерно в 3600 чел.-Зв. Максимальная доля коллективной эффективной дозы приходится на Украину, что обусловлено главным образом наибольшим числом эвакуированных лиц.

2. Лица, проживающие в Беларуси, Российской Федерации и Украине

V45. В докладе за 2000 год [U3] Комитет уделил основное внимание примерно 5 млн. жителей загрязненных территорий, определенных как территории, на которых плотность выпадения ^{137}Cs превышала 37 кБк/м². В настоящем приложении дозы на щитовидную железу и эффективные дозы оценивались для всего населения Беларуси и Украины, а также для жителей регионов Российской Федерации, которые были признаны пострадавшими¹, что в совокупности составляет население численностью порядка 100 млн. человек. Кроме того, особое внимание было уделено оценке доз в щитовидной железе, которые были получены лицами, участвующими в текущих эпидемиологических исследованиях.

¹Некоторые районы в 19 районах Российской Федерации были признаны “загрязненными” (т. е. с плотностью выпадения более 37 кБк/м²).

a) Дозы в щитовидной железе

В46. Как и в случае с эвакуированными лицами, дозы в щитовидной железе, полученные жителями Беларуси, Российской Федерации и Украины, были в основном следствием потребления свежего молока, содержавшего ^{131}I . Как указывалось ранее, оценка доз на щитовидную железу, обусловленных поглощением ^{131}I , осуществлялась на базе результатов прямых измерений щитовидной железы, которые были проведены в течение первых нескольких недель после аварии с помощью радиационных детекторов, помещенных перед шеей. Дальнейшая деятельность по дозиметрии щитовидной железы в период после публикации доклада НКДАР ООН за 2000 год [УЗ] была направлена на реконструкцию доз для использования в различных эпидемиологических исследованиях, продолженных либо начатых после публикации данного доклада.

В47. Оценка доз в щитовидной железе проводилась для лиц, не прошедших процедуру прямого мониторинга, но проживавших в районах, где значительная часть населения была охвачена мониторингом. Дозы в щитовидной железе были определены на основании статистического распределения таких доз, реконструированных для лиц с прямыми измерениями; при этом учитывали особенности питания изучаемых лиц. Кроме того, были реконструированы дозы на щитовидную железу для жителей районов, где в течение первых нескольких недель после аварии прямые измерения щитовидной железы проводились в очень малом количестве или не проводились вовсе. Эти оценки были сделаны с использованием зависимостей между имеющимися в наличии данными о выпадении ^{131}I или ^{137}Cs , мощности экспозиционной дозы или

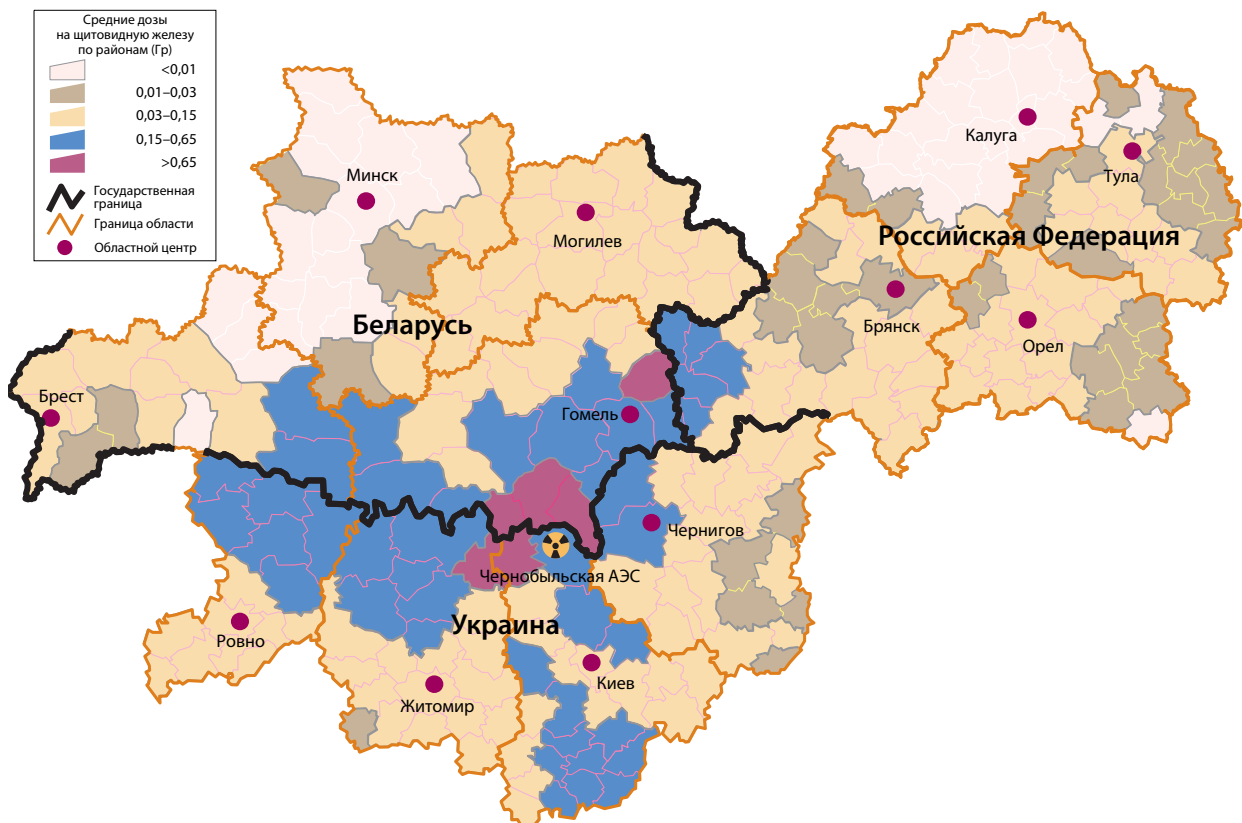
концентрациях ^{131}I в молоке и дозами в щитовидной железе [УЗ].

В48. Таким образом, существуют различные типы оценок доз в щитовидной железе, различающиеся по качеству и связанному с ним уровню погрешности:

a) Оценки доз, полученных конкретными лицами (называемые “индивидуальными” дозами), необходимы для проведения аналитических эпидемиологических исследований. Наиболее достоверными являются индивидуальные дозы в щитовидной железе, полученные на основании прямых измерений щитовидной железы у данных лиц с учетом информации личного характера о местах проживания и особенностях питания, собранной в ходе опросов. Модели окружающей среды и метаболизма, имитирующие поведение ^{131}I в окружающей среде и в организме человека, также необходимы для оценки относительных изменений содержания ^{131}I в щитовидной железе до и после прямого измерения железы. В таблице В8 представлены полученные таким способом оценки доз в щитовидной железе примерно для 25 тыс. участников двух эпидемиологических исследований, проведенных в Беларуси и Украине; распределение дозы на щитовидную железу в двух указанных странах схоже; при этом медианы дозы в щитовидной железе для Украины и Беларуси составляют соответственно около 0,3 и 0,5 Гр (таблица В9). Значительная доля населения, участвовавшего в исследованиях, получила дозы свыше 1 Гр (таблица В8).

b) Менее достоверные оценки индивидуальных доз в щитовидной железе были получены в рамках исследований методом “случай–контроль”, в ходе которых значительное

Рисунок В-1. Территориальное распределение оцененных доз в щитовидной железе детей и подростков, проживавших в наиболее пострадавших от аварии регионах Беларуси, Российской Федерации и Украины [K8, L4, R6, Z4]



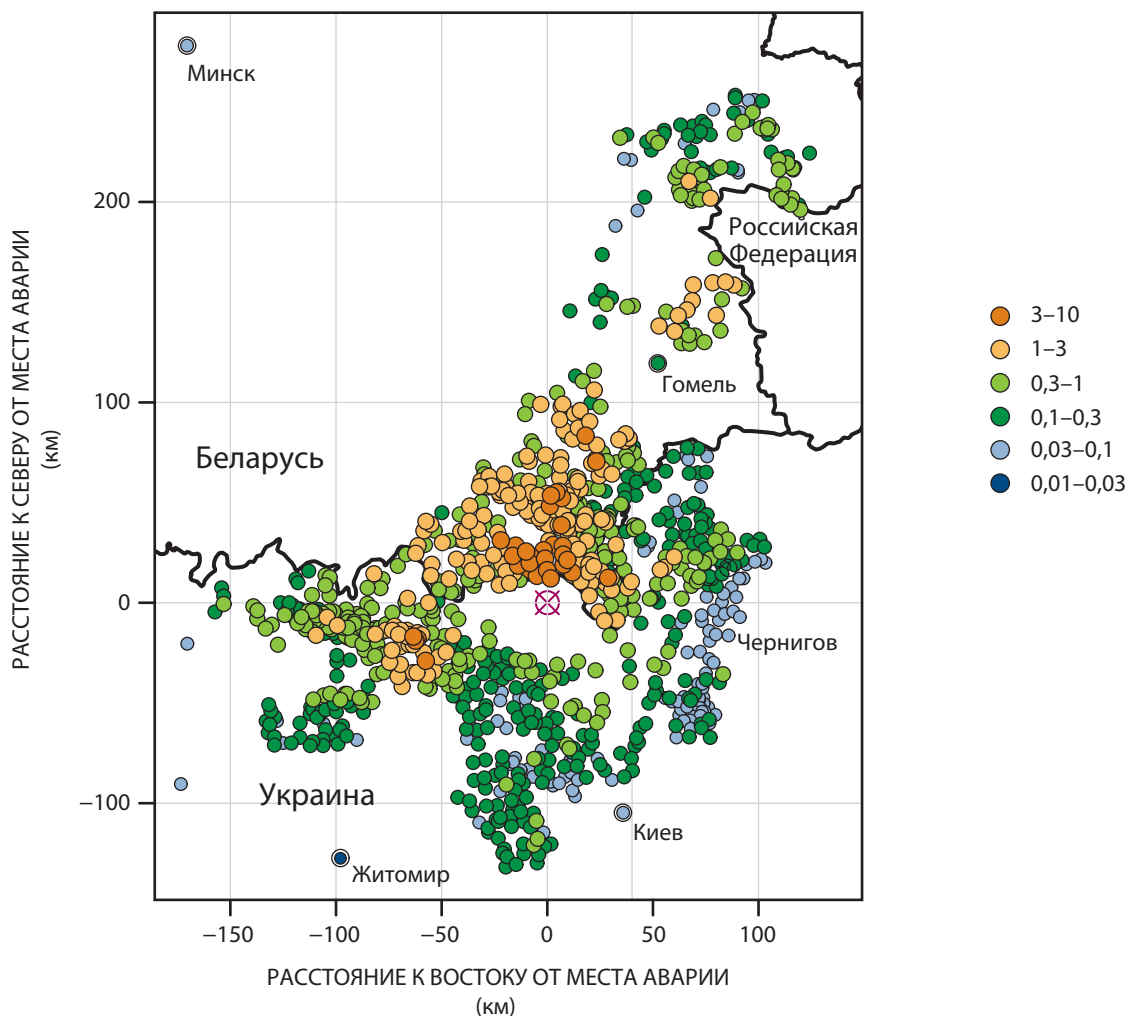
число обследуемых не подвергалось процедуре прямого измерения щитовидной железы. Их дозы в щитовидной железе оценивались с помощью моделей. Информация личного характера о местах проживания и особенностях питания обследуемых была получена в ходе опросов [G2, S32].

с) Для проведения географических корреляционных (часто называемых “экологическими”) исследований достаточно наличия данных о дозах, полученных теми или иными лицами (называемых “групповыми” дозами), которые отражают среднюю дозу у представителей определенной возрастной группы, проживающих в конкретной местности (населенный пункт, район или часть области). В целом самый низкий уровень погрешности имеют данные о средних дозах в щитовидной железе у представителей определенных возрастных групп жителей населенных пунктов, полученные в результате достаточного количества измерений содержания ^{131}I в щитовидной железе человека. Это объясняется тем, что погрешности оценки индивидуальных доз, связанные с отсутствием индивидуальных данных о массе щитовидной железы, в меньшей степени влияют на погрешность оценки средней дозы [J4, L8]. Например, в Российской Федерации принят официальный метод реконструкции средней дозы на щитовидную железу для населенных пунктов [B3]. При помощи этого

метода были рассчитаны средние дозы в щитовидной железе по шести возрастным группам лиц более чем в 3500 населенных пунктах, расположенных в четырех наиболее загрязненных областях Российской Федерации: Брянской, Тульской, Орловской и Калужской. Эти данные были опубликованы в качестве справочника средних доз в щитовидной железе [B31] и в настоящее время используются при проведении географических корреляционных (“экологических”) эпидемиологических исследований в России. Имеется аналогичный каталог оценок доз на щитовидную железу, полученных облученными группами населения Украины. Оценки средних и коллективных доз в щитовидной железе для Беларуси, Российской Федерации и Украины (для стран в целом и для загрязненных районов) представлены в таблицах B10, B11 и B12, а также в виде карты на рисунке B-I.

B49. В методах, используемых в трех странах для оценки доз на щитовидную железу, имеются различия, но в их основе лежат общие идеи. Применяются главным образом методы двух типов: полуэмпирические методы и методы, основанные на переносе в окружающей среде. Объединить их, с тем чтобы создать “общий” метод, чрезвычайно сложно. Однако результаты ограниченных сравнительных исследований, проведенных Международным агентством по изучению рака (МАИР),

Рисунок B-II. Средние дозы в щитовидной железе (Гр) лиц, родившихся в 1968–1985 годах, в 608 украинских и 426 белорусских населенных пунктах, где в мае–июне 1986 года было проведено более 10 измерений активности ^{131}I в щитовидной железе человека [J4]



свидетельствуют о том, что используемые методы в достаточной мере согласуются между собой, за исключением территорий с низкой плотностью выпадения радионуклидов [B35]. Сравнение оценок средних доз в населенных пунктах, в которых в мае–июне 1986 года проводилось большое количество прямых измерений активности ^{131}I в щитовидной железе человека, показало высокую согласованность результатов дозиметрии в Беларуси и Украине. Оценки доз для белорусских и украинских населенных пунктов, расположенных вблизи границы между этими странами, также очень близки (рисунок B-II) [J4].

B50. Погрешности в оценках дозы в щитовидной железе от ^{131}I . Для определения погрешностей в оценках индивидуальных и групповых доз в щитовидной железе, используемых в эпидемиологических исследованиях, были предприняты значительные усилия. В качестве примера можно привести оценку доз в щитовидной железе в рамках когортных исследований, проводившихся в Беларуси и Украине совместно с Национальным институтом рака США. Распределение погрешностей в оценках доз, выраженных в стандартных геометрических отклонениях, различно для разных лиц и варьируется от 1,6 до более 5,0 [L3] для всех оценок, основанных на прямых измерениях щитовидной железы. Медианы распределения геометрических стандартных отклонений составляют 1,7 для обследуемых из Украины и 2,1 – для обследуемых из Беларуси. В другом исследовании [J4] распределение погрешностей средних оценок доз в щитовидной железе с разбивкой по возрасту для населенных пунктов Беларуси, где проводилось более 10 измерений активности ^{131}I в щитовидной железе человека, соответствовало геометрическому стандартному отклонению 1,6.

B51. Был проведен анализ чувствительности вкладов разных компонентов в погрешность оценок дозы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что наиболее серьезное влияние на эти оценки оказывают погрешности в определении массы щитовидной железы и содержания в ней ^{131}I при прямом измерении. Погрешности в прямых измерениях щитовидной железы были выше в Беларуси, чем в Украине, поэтому и погрешности в оценках дозы в щитовидной железе в среднем выше для обследуемых жителей Беларуси, чем для жителей Украины. Еще более высокие значения погрешности следует ожидать при проведении исследований методом “случай–контроль”, при которых дозы реконструируются с помощью моделей.

B52. Достаточно точное определение погрешностей в оценках дозы в щитовидной железе имеет большое значение, поскольку соответствующие данные могут использоваться для выявления параметров, приводящих к максимальным погрешностям, и, таким образом, способствовать научным исследованиям, направленным на снижение этих погрешностей. Кроме того, величина дозиметрических погрешностей и структура ошибок измерения могут оказывать значительное влияние на значения любых коэффициентов риска, которые определяются по результатам эпидемиологических исследований.

B53. Влияние недостатка йода в пище. Опубликованные результаты исследований [Z2] свидетельствуют о том, что оценки дозы в щитовидной железе, базирующиеся на определении поступления радиоактивного йода, в целом не зависят от уровня потребления стабильного йода с пищей, поскольку колебания в уровнях поглощения радиоактивного йода щитовидной железой у разных людей частично компенсируются

колебаниями массы щитовидной железы. По этой причине в моделях оценки доз на щитовидную железу, которые применялись до настоящего времени, использовались рекомендованные МКРЗ референтные значения. Однако в Беларуси, Российской Федерации и Украине существуют районы, в которых население испытывает йодную недостаточность, а поглощение радиоактивного йода щитовидной железой, как ожидается, было усиленным. Неопубликованные результаты недавних исследований [L4], по всей видимости, дают основания полагать, что доза в щитовидной железе на единицу поступления радиоактивного йода может быть выше для лиц с более низким уровнем потребления стабильного йода. Если этот факт найдет подтверждение, возникнет необходимость в пересмотре оценок дозы в щитовидной железе с учетом уровня потребления с пищей стабильного йода. Во всяком случае, как указывалось выше, при определении доз в щитовидной железе на основании прямых измерений важно привести в соответствие значения массы щитовидной железы и уровня потребления стабильного йода с пищей.

B54. Роль йодной профилактики. В целях обеспечения эффективной защиты от облучения ^{131}I необходимо до облучения или сразу же после него осуществить йодную профилактику [I2]. К сожалению, среди значительной части пострадавшего населения такая работа, по-видимому, не была проведена. Удовлетворительным образом йодная профилактика была проведена только в отношении: *a)* жителей города Припять усилиями местных специалистов-медиков, осведомленных об опасностях облучения ^{131}I ; и *b)* участников ликвидации последствий аварии, которым предлагались таблетки, содержащие стабильный йод, по прибытии на территорию ЧАЭС в первые несколько недель после аварии [U3]. От 60 до 70 процентов жителей Припяти приняли таблетки йодида калия в течение полутора суток после аварии [B4, G8].

B55. Оценка доз, полученных *in utero*. Дозы в щитовидной железе, полученные *in utero*, существенно варьируют в зависимости от стадии беременности, но они в любом случае меньше, чем дозы, полученные младенцами. До настоящего времени дозы, полученные *in utero*, оценивались с использованием модели, опубликованной в 1982 году Джонсоном [J3] и основанной на немногочисленных клинических данных. Недавно была опубликована модель Берковского [B6], которая предусматривает использование данных, полученных не только на людях, но и на животных. Эта модель была одобрена МКРЗ [I4], а получаемые с ее помощью оценки дозы в щитовидной железе плода, подвергавшегося облучению в течение последних двух месяцев беременности, больше доз, полученных с использованием модели Джонсона.

B56. Дозы в щитовидной железе, связанные с другими радионуклидами и другими путями облучения. Как было показано выше, обычно небольшими составляющими дозы в щитовидной железе являются: *a)* доза, обусловленная поступлением короткоживущих радиоактивных изотопов йода (^{132}I , ^{133}I и ^{135}I) и короткоживущих радиоактивных изотопов теллура ($^{131\text{m}}\text{Te}$ и ^{132}Te); *b)* доза внешнего облучения, обусловленного выпадением радионуклидов на почву и другие поверхности; и *c)* доза внутреннего облучения, обусловленного поглощением долгоживущих радионуклидов, таких как ^{134}Cs и ^{137}Cs .

B57. Вклад этих радионуклидов и путей облучения в дозы на щитовидную железу, полученные участниками эпидемиологического исследования детей из Беларуси [A1], был определен и представлен в двух публикациях [G2, M16].

Короткоживущие радионуклиды в целом не имели существенного значения для групп населения, которые не были эвакуированы в течение первых нескольких дней после аварии. По оценкам, для этих групп населения вклад в дозу короткоживущих радионуклидов не превышал 20 процентов от дозы в щитовидной железе, полученной от ^{131}I , если поступление радионуклидов происходило исключительно ингаляционным путем, и составляла порядка нескольких процентов в случае употребления загрязненных пищевых продуктов [G2].

V58. Внешнее облучение населения после чернобыльской аварии главным образом было обусловлено выпадением гамма-излучающих радионуклидов ^{132}Te , $^{131/132}\text{I}$, ^{140}Ba , ^{140}La , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{99}Mo , $^{103/106}\text{Ru}$, $^{141/144}\text{Ce}$ и $^{134/136/137}\text{Cs}$. Поскольку ^{137}Cs являлся радионуклидом, который чаще всего измеряли на всех загрязненных территориях, плотность выпадения других радионуклидов обычно соотносилась с показателями для ^{137}Cs . Внешнее облучение от ^{137}Cs и других сравнительно долгоживущих радионуклидов имеет низкую мощность дозы, а дозы накапливаются медленно из-за длительных периодов полураспада (примерно 30 лет для ^{137}Cs). Доля внешнего облучения в дозе на щитовидную железу у обследуемых в целом была больше и в большей степени варьировала по сравнению с дозой от короткоживущих радионуклидов йода; ее медианное и среднее значения составляли 1,2 и 1,8 процента от общей дозы в щитовидной железе, соответственно [M16].

V59. После распада ^{131}I в течение нескольких недель после аварии основным путем внутреннего облучения стало поступление в организм радиоактивного цезия, содержащегося в пищевых продуктах местного производства. Дозы в щитовидной железе, обусловленные поступлением в организм радиоактивного цезия (^{134}Cs и ^{137}Cs), зависели от в первый год после аварии от внешнего загрязнения растений, а позднее – от поглощения корнями растений и, следовательно, от типа почвы, на которую выпали радионуклиды. Анализ показал, что вклад в дозу, обусловленный попаданием в организм долгоживущих радионуклидов, главным образом радиоактивного цезия, как правило, составлял менее 3 процентов от дозы в щитовидной железе, полученной обследуемыми. Медиана и средняя относительная доля составили 0,76 и 0,95 процента соответственно [M16].

b) Дозы в других органах и эффективные дозы

V60. Облучение других органов и вклад в эффективную дозу обусловлены главным образом наличием ^{137}Cs и – в меньшей степени – ^{134}Cs в окружающей среде. В результате как внешнего, так и внутреннего облучения ^{134}Cs и ^{137}Cs все органы и ткани тела получают сравнительно одинаковые дозы. По определению, эффективные дозы внутреннего облучения, которые вычисляли в рамках исследований, связанных с чернобыльской аварией, не включают дозы на щитовидную железу. Вследствие этого оценки эффективной дозы, выраженной в миллизивертах (мЗв), в первом приближении численно равны оценкам дозы, полученной любым органом тела (помимо щитовидной железы) и выраженной в миллигреях (мГр).

V61. В Беларуси, Российской Федерации и Украине были разработаны методики оценки доз, которые применялись при обследовании населения, проживающего на загрязненных территориях (например, для Российской Федерации см. публикации [B2, B30]). Дозы внешнего облучения определяли на

основе: *a)* большого числа измерений мощности экспозиционной дозы и концентрации радионуклидов (особенно ^{137}Cs) в почве, которые осуществлялись в трех странах; и *b)* обследований занятости населения в помещении и на открытом воздухе с учетом возраста, времени года, рода занятий и типа строения [I21, U3]. В используемых моделях переноса излучения принимается во внимание поведение радиоактивных выпадений в городской и сельской средах [E6, G3, G4, L2, U3, U7]. Дозы внутреннего облучения, полученные главным образом в результате попадания в организм радиоактивных веществ с пищей, рассчитывали на основе измерений содержания ^{134}Cs и ^{137}Cs во всем теле при наличии таких данных (например, [H14, H15]), но чаще – на основе оценки их поступления с пищей с учетом измеренных концентраций ^{134}Cs и ^{137}Cs в пищевых продуктах и стандартных допущений об их потреблении [I21, U3].

V62. Существуют каталоги, содержащие оценки средних доз во всех населенных пунктах, расположенных на загрязненных территориях в Российской Федерации и Украине [B28, B36, M5]. Оценка эффективных доз, полученных в результате внутреннего и внешнего облучения, проводилась приблизительно для 100 млн. жителей Беларуси, Российской Федерации и Украины (таблицы B13, B14 и B15). Средние эффективные дозы от ^{134}Cs и ^{137}Cs , которые были получены в течение первых двадцати лет после аварии жителями загрязненных территорий, по оценкам, составляют около 0,9 мЗв для внешнего облучения и 0,4 мЗв для внутреннего облучения. Учитывая различия в мощности доз, получаемых с 1986 года, и тот факт, что население будет подвергаться облучению в течение нескольких последующих десятилетий, интересно сопоставить дозы в относительном выражении за различные периоды времени. По оценкам [I21], для населения загрязненных территорий 25 процентов эффективной дозы от внешнего облучения за весь период жизни (принято за период 1986–2056 годов) обычно составило облучение в 1986 году; соответствующие показатели за периоды 1987–1995 годов, 1996–2005 годов и 2006–2056 годов составляют 40, 15 и 20 процентов, соответственно. По сравнению с внешним облучением в результате внутреннего облучения в 1986 году была получена большая часть дозы, а дозы, получаемые в дальнейшем, составляют меньшую часть. Таким образом, более 80 процентов пожизненной дозы внутреннего облучения было получено к 2005 году и менее 20 процентов дозы будет получено в течение последующих 50 лет при низкой мощности дозы.

V63. Дозиметрические данные, необходимые для проведения аналитических эпидемиологических исследований, включают сведения об индивидуальных поглощенных дозах в изучаемых тканях для всех обследуемых, а также оценки соответствующих погрешностей. Метод, применяемый в настоящее время для получения оценок индивидуальных доз, состоит в корректировке представленных в каталогах средних доз с использованием информации, полученной в ходе личных опросов. В случае внешнего облучения необходимой информацией являются сведения о местах проживания, а также о типе строений, где обследуемый работал и жил. В случае внутреннего облучения необходимы сведения о пищевых продуктах (вид, происхождение и объемы потребления). Для того чтобы оценить или уменьшить погрешности при определении индивидуальных доз, были проведены исследования с целью подтверждения достоверности полученных результатов [G3] с использованием персональных дозиметров для определения доз внешнего облучения, а для определения доз внутреннего облучения – данных о содержании радионуклидов во всем

теле или об их концентрации в пищевых продуктах (как правило, в молоке) [B12, B32]. Обычные персональные термолюминесцентные дозиметры показывают только величину дозы, которая была накоплена в течение сравнительно короткого периода ношения дозиметра. Подтвердить достоверность данных о накопленной дозе за весь период времени – с момента аварии и до момента, представляющего интерес для эпидемиологического исследования, – можно непосредственно, исследовав образцы эмали человеческих зубов методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) [I36, S28], или косвенно путем исследования образцов включений кварца в кирпичах методом люминесцентной ретроспективной дозиметрии (ЛРД) [B26, B27]. Вместе с тем следует отметить, что при использовании метода ЭПР погрешности в оценке поглощенных доз менее 100 мГр слишком значительны, для того чтобы подтвердить достоверность других оценок индивидуальных доз. Кроме того, учитывая, что метод ЛРД можно использовать только для проверки достоверности данных о поглощенных дозах компонентами окружающей среды, он имеет ограниченную ценность для проверки достоверности оценки дозы внутреннего облучения.

с) Коллективные дозы

B64. В таблице B10 представлены оценки коллективных доз в щитовидной железе для лиц четырех возрастных категорий и населения в целом в зависимости от района/области или города проживания и для загрязненных районов трех стран (всей Беларуси и Украины и 19 районов Российской Федерации). В таблице B12 представлены оценки коллективных доз в щитовидной железе в разбивке на восемь интервалов индивидуальных доз от менее 0,05 Гр до более 5 Гр; в таблице B11 указаны число лиц в каждой возрастной категории и дозовый интервал. Аналогичная информация об оценках коллективных эффективных доз представлена в таблицах B13, B14 и B15. В таблице B13 приведены оценки коллективной эффективной дозы за период 1986–2005 годов по каждому региону и большому городу и по пяти интервалам плотности выпадения ^{137}Cs от менее 37 до более 1480 кБк/м². В таблице B15 оценки коллективных эффективных доз представлены отдельно для дозы, зарегистрированной в 1986 году, и для дозы, зарегистрированной за период 1986–2005 годов, по каждому из восьми дозовых интервалов. Данные о численности лиц в каждой категории приведены в таблице B14.

B65. На региональном уровне наибольшая коллективная доза в щитовидной железе, по оценкам, была получена в Гомельской области, где доза в 320 тыс. чел.-Гр распределяется на население численностью 1,6 млн. человек, что соответствует средней дозе в щитовидной железе около 200 мГр. Однако на уровне стран наибольшей является оценка коллективной дозы в щитовидной железе для Украины, где 960 тыс. чел.-Гр распределяются на население численностью 51 млн. человек, хотя оценка средней дозы для Украины примерно в 3 раза ниже, чем для Беларуси. В целом коллективная доза в щитовидной железе, полученная 98 млн. человек в трех странах, оценена в 1630 тыс. чел.-Гр; большинство людей получили дозу менее 0,05 Гр, и только 1 процент получили дозу более 0,2 Гр. Жители загрязненных территорий получили лишь 40 процентов коллективной дозы на щитовидную железу; остальные 60 процентов получили жители районов трех стран, в которых плотность выпадения ^{137}Cs составляла менее 37 кБк/м². Как и предполагалось, средняя доза в щитовидной железе обычно уменьшалась с возрастом; при этом оценка

дозы для детей дошкольного возраста в 2–4 раза выше средней дозы для населения; и, по расчетам, 4 процента детей дошкольного возраста получили дозы в щитовидной железе более 0,2 Гр, а 0,005 процента детей этого возраста получили дозы более 5 Гр (таблица B11).

B66. В докладе НКДАР ООН за 1988 год [U7] оценки дозы на щитовидную железу составили 5 мГр для детей младшего возраста и 1,4 мГр для взрослых в среднем по населению бывшего Советского Союза, равному 279,1 млн. человек. Эти оценки 1988 года соответствуют коллективной дозе в щитовидной железе около 500 тыс. чел.-Гр. Поскольку данные 1988 года были представлены Комитету без достаточных пояснений, невозможно определить причины, по которым две вышеприведенные оценки различаются примерно в 3 раза. Однако логично предположить, что в докладе НКДАР ООН за 1988 год и в настоящем дополнении речь идет об одних и тех же группах пострадавшего населения. Тем не менее два показателя коллективной дозы в щитовидной железе довольно близки, если учесть тот факт, что во время подготовки доклада НКДАР ООН за 1988 год в Беларуси, России и Украине не проводились комплексные мероприятия по реконструкции доз в щитовидной железе.

B67. Коллективная эффективная доза, которая была получена за период 1986–2005 годов 98 млн. человек в трех странах, составляет 125 тыс. чел.-Зв; около половины этой коллективной дозы приходится на лиц, проживавших на территориях, где плотность выпадения ^{137}Cs не превышала 37 кБк/м². Соответствующая средняя эффективная доза за период 1986–2005 годов, по оценкам, составляет 1,25 мЗв, что примерно в 3 раза превышает оценку эффективной дозы за 1986 год. Такое же соотношение – примерно в 3 раза – получено по компонентам суммарной дозы от внешнего и внутреннего облучения. Что касается оценки эффективной дозы, полученной в период 1986–2005 годов, то примерно 70 процентов населения получили дозы в интервале < 1 мЗв и 20 процентов – в интервале от 1 до 2 мЗв. По оценкам, коллективная эффективная доза у тех, кто получил дозы в интервалах < 1 мЗв, 1–2 мЗв и 2–5 мЗв, составляет около 20 процентов от суммарной. Как и в случае доз в щитовидной железе, оценки средней эффективной дозы выше в Беларуси, чем в Украине или в Российской Федерации, однако оценка коллективной эффективной дозы выше в Украине, чем в Российской Федерации (19 районов, признанных пострадавшими) и Беларуси, что объясняется главным образом большей численностью украинского населения.

B68. Коллективную эффективную дозу, равную 125 тыс. чел.-Зв для жителей Беларуси, Украины и Российской Федерации (19 районов, признанных пострадавшими) за период 1986–2005 годов, можно сравнить с оценками, опубликованными Комитетом ранее в докладе НКДАР ООН за 1988 год [U7]. Комитет принял оценку 0,82 мЗв для ожидаемой эффективной эквивалентной дозы, усредненной по населению бывшего Советского Союза, равному 279,1 млн. человек, что соответствовало ожидаемому значению коллективной эффективной эквивалентной дозы около 230 тыс. чел.-Зв. При условии, что 1) численность населения, считавшегося пострадавшим, одинакова и 2) эффективная доза за 1986–2005 годы составляет 80 процентов от ожидаемой эффективной дозы [I21], получается, что две оценки коллективной эффективной дозы различаются только на 50 процентов. Это следует считать весьма близким соответствием, учитывая, что при подготовке доклада НКДАР ООН за 1988 год большую часть

ожидаемой эффективной дозы приходилось оценивать с помощью моделей переноса в окружающей среде. Кроме того, хотя первоначальная оценка учитывала меры защиты, принятые сразу же после аварии, однако попытки рассмотреть последствия возможных долгосрочных мер такого рода не предпринимались.

3. Жители отдаленных стран

B69. В докладе НКДАР ООН за 1988 год [U7] Комитет привел оценки доз на щитовидную железу и эффективных доз для большинства стран Северного полушария, частично основанные на модельных прогнозах переноса в окружающей среде. Однако с тех пор проводились многочисленные измерения уровней содержания радионуклидов в окружающей среде, пищевых продуктах и в организме человека, включая осуществление комплексной программы мониторинга, разработанной с целью подготовки Атласа выпадения ^{137}Cs в Европе после чернобыльской аварии [E5]. Недавно Drozdovitch et al. [D13] провели повторную оценку показателей плотности выпадения наиболее важных радионуклидов, а также оценку доз для населения всех европейских стран (за исключением Турции, Андорры, Сан-Марино и республик Кавказа).

B70. Оценки средних показателей плотности выпадения ^{137}Cs в разных странах в результате чернобыльской аварии приводятся в таблице В16. Вслед за информацией, представленной в докладе НКДАР ООН за 1988 год [U7] или в Атласе, подготовленном для Европейской комиссии [E5], были получены обновленные данные о плотности выпадения ^{137}Cs по Беларуси [S29], Болгарии [A9], Эстонии [R14], Российской Федерации [R13], Сербии и Черногории [K27] и Украине [N12]. Данные по Беларуси, Российской Федерации и Украине приводятся только для сопоставления с соответствующими показателями по другим европейским странам. Оценки средних уровней плотности выпадения ^{137}Cs превышают 50 кБк/м² только в отдельных регионах Беларуси, Российской Федерации и Украины; для Австрии, Лихтенштейна, Молдовы, Словении и Финляндии получены показатели в диапазоне от 10 до 20 кБк/м². По большинству других стран средние уровни плотности выпадения ^{137}Cs составляют менее 5 кБк/м². Оценки плотности выпадения ^{137}Cs , представленные в таблице В16, не включают более ранние выпадения радиоактивных осадков в связи с испытаниями оружия, уровни которых в разных регионах Европы в настоящее время варьируются в интервале от 1 до 3 кБк/м² [E5].

B71. В таблице В16 информация о плотности выпадения других радионуклидов (^{95}Zr , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{131}I , ^{132}Te , ^{134}Cs и ^{140}Ba) представлена в виде отношений плотности выпадения того или иного радионуклида к плотности выпадения ^{137}Cs на момент выпадения. Большинство значений для ^{132}Te были получены по измеренным уровням концентрации ^{132}Te и ^{137}Cs в приземном слое воздуха исходя из общего допущения, что отношение активности выпадений равно отношению активности в воздухе. По сравнению с информацией, представленной в докладе НКДАР ООН за 1988 год [U7], были получены дополнительные или пересмотренные данные по Австрии [B34], Беларуси [M16], Болгарии [A9], Греции [K26], Литве [N19], Российской Федерации [B30], Украине [L2], Финляндии [A10], Хорватии [I35] и Чехословакии [B37]. Отношения активности, усредненные по крупным регионам или странам, как и предполагалось, являются постоянными для ^{134}Cs , варьи-

руются в небольшом интервале для ^{103}Ru и ^{106}Ru , но характеризуются высокой степенью изменчивости для ^{95}Zr , ^{131}I , ^{132}Te и ^{140}Ba (таблица В16).

a) Дозы в щитовидной железе

B72. Drozdovitch et al. [D13] оценили средние дозы в щитовидной железе в зависимости от возраста для рассматриваемых европейских стран², используя по возможности результаты прямых измерений щитовидной железы или данные о концентрациях ^{131}I в молоке [A9, A10, B37, N16, N19, U7]. Оценки доз в щитовидной железе, полученных детьми дошкольного возраста, детьми школьного возраста, подростками и взрослыми, представлены в таблице В17, а на рисунке В-III в форме карты показано распределение доз в щитовидной железе дошкольников в возрасте от 0 до 6 лет. Представленные на рисунке В-III оценки для Беларуси, Российской Федерации и Украины ранее приводились в настоящем дополнении, тогда как оценки по всем другим странам взяты из работы Drozdovitch et al. [D13]. Оценки доз на щитовидную железу в первом приближении отражают плотности выпадения ^{137}Cs , однако на них также влияет ряд факторов, в том числе отношение ^{131}I к ^{137}Cs в активности отложений, сроки начала пастбищного сезона, объем потребления людьми сырого коровьего молока и применение конгрмер. В целом основной причиной облучения щитовидной железы послужило попадание в организм человека ^{131}I с молоком и сырыми овощами. Однако ингаляционный путь сыграл важную роль в тех странах, где вскоре после аварии были приняты профилактические меры по сокращению попадания радионуклидов в пищевые продукты местного производства, а также в странах Северной Европы [D13].

B73. Методика реконструкции доз в щитовидной железе жителей отдаленных стран Европы основана на оценке поступления радиоактивных изотопов йода в организм через органы дыхания или с пищей. Следует отметить, что эта методика принципиально отличается от методики, применяемой для реконструкции доз в щитовидной железе в Беларуси, Российской Федерации и Украине, которая скорее базируется на результатах прямых измерений содержания ^{131}I в щитовидной железе человека, выполненных в мае-июне 1986 года, и радиоэкологических моделях. Сравнение оценок дозы внутреннего облучения, полученных с помощью методики оценки поступления в организм, и методики измерений на людях показывает, что в первом случае они обычно систематически выше и менее надежны, чем во втором [I46, U7]. Кроме того, оценки доз на основе поступления в организм с пищей [D13, U7] обычно не учитывают вклада продуктов, ввезенных из тех регионов мира, которые не пострадали от чернобыльской аварии, например с других континентов. При всех оценках риска необходимо учитывать возможное завышение доз на щитовидную железу для жителей отдаленных европейских стран, связанное с этими факторами.

B74. Единственной страной, сумевшей своевременно провести йодную профилактику почти для всех детей во время аварии, стала Польша [K7, N7]. Присутствие радионуклидов в воздухе и повышение мощности фонового гамма-излучения были зарегистрированы в ночь с 27 на 28 апреля, а 29 и 30 апреля концентрация ^{131}I в молоке достигла 500 Бк/л [K7]. Прави-

² Оценки, приведенные в публикации [D13], не обязательно подтверждаются отдельными рассматриваемыми странами.

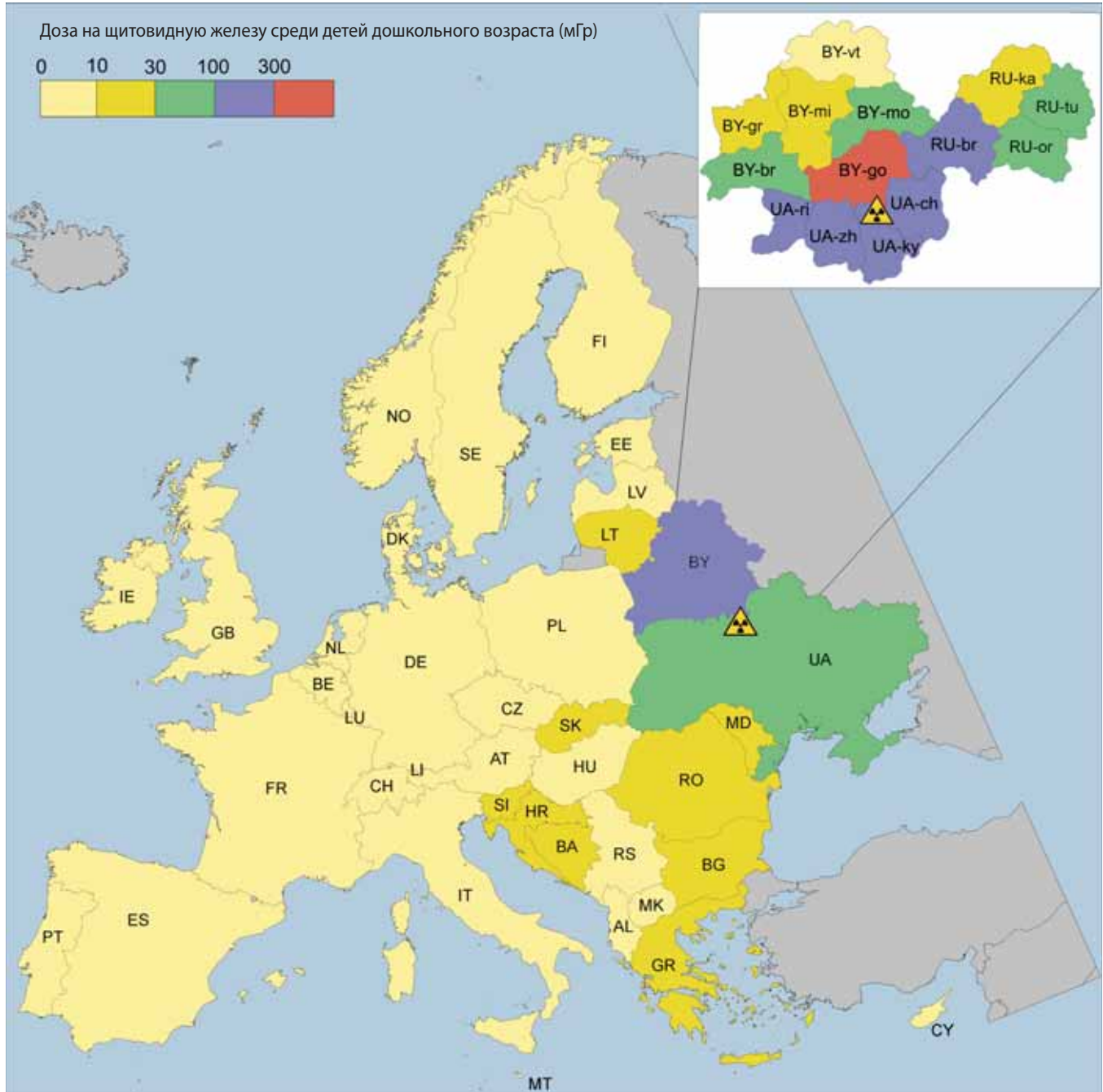
Рисунок В-III. Территориальное распределение средних доз в щитовидной железе у детей дошкольного возраста в Европе во время аварии [по данным D13]

Символ радиации в виде трилистника обозначает место расположения Чернобыльской атомной электростанции. Названия стран сокращены в соответствии с МОС. Для Беларуси, Российской Федерации и Украины территориальное распределение доз дается также по областям. Названия областей сокращены следующим образом:

Беларусь: Брестская область – BY-br; Гомельская область – BY-go; Гродненская область – BY-gr; Минская область – BY-mi; Могилевская область – BY-mo; Витебская область – BY-vt;

Российская Федерация: Брянская область – RU-br; Калужская область – RU-ka; Орловская область – RU-or; Тульская область – RU-tu;

Украина: Черниговская область – UA-ch; Киевская область – UA-ky; Ровненская область – UA-ri; Житомирская область – UA-zh



тельственная комиссия постановила провести обязательную профилактику, предусматривающую прием стабильного йода для группы населения, подвергающейся максимальному риску, – 11 млн. детей и подростков в возрасте до 16 лет – и разрешить добровольную профилактику всем остальным жителям страны. В общей сложности с 29 апреля дозы йода калия получили примерно 18 млн. жителей Польши. По оцен-

кам польских авторов, одна доза йодида калия, принятая 29 апреля, снижала дозу в щитовидной железе на 40 процентов, а такая же доза йодида калия, принятая 30 апреля, приводила к ее снижению примерно на 25 процентов [N7]. Однако в другом исследовании, основанном на прямом измерении ¹³¹I в щитовидной железе 578 жителей Варшавы [K7], не продемонстрировано статистически достоверного эффекта профилак-

тики с использованием стабильного йода. Автор объяснял полученные результаты тем, что, несмотря на запреты местных пищевых продуктов, жители продолжали употреблять в пищу загрязненные продукты. Общее снижение дозы на щитовидную железу благодаря приему йодида калия 28 и 30 апреля и 1 мая оценивается автором в 28, 25 и 10 процентов, соответственно [K7]. Из-за погрешностей эффект профилактики с использованием стабильного йода не учитывался в расчетах нынешних показателей доз в Европе.

V75. Как показано на рисунке В-III, оценки средних доз в щитовидной железе детей дошкольного возраста составляют более 100 мГр по крайней мере в одной из областей Беларуси, Российской Федерации и Украины. В других европейских странах оценки средних доз в щитовидной железе детей дошкольного возраста составляют менее 20 мГр. Оценки доз в щитовидной железе в интервале от 10 до 20 мГр преимущественно регистрировались в южной части Европы, где пастбищный сезон начинается раньше, чем в северной ее части.

b) Эффективные дозы

V76. Эффективные дозы, полученные в результате внешнего и внутреннего облучения в период 1986–2005 годов, оценивались для населения европейских стран с помощью стандартных процедур [D13]. Данные о дозах внешнего облучения были получены на основе многочисленных измерений плотности выпадения ^{137}Cs и других гамма-излучателей с использованием модели переноса излучения, в рамках которой учитывается происходящее со временем уменьшение мощности дозы на открытом воздухе вследствие радиоактивного распада и миграции активности выпадений в более глубокие слои почвы [G4]. Оценки эффективных доз, полученных в 1986 году, были вычислены из доз на открытом воздухе с использованием “поведенческих” факторов 0,36 и 0,18 для сельского и городского населения, соответственно. Для оценки доз, полученных в последующие годы, значения пове-

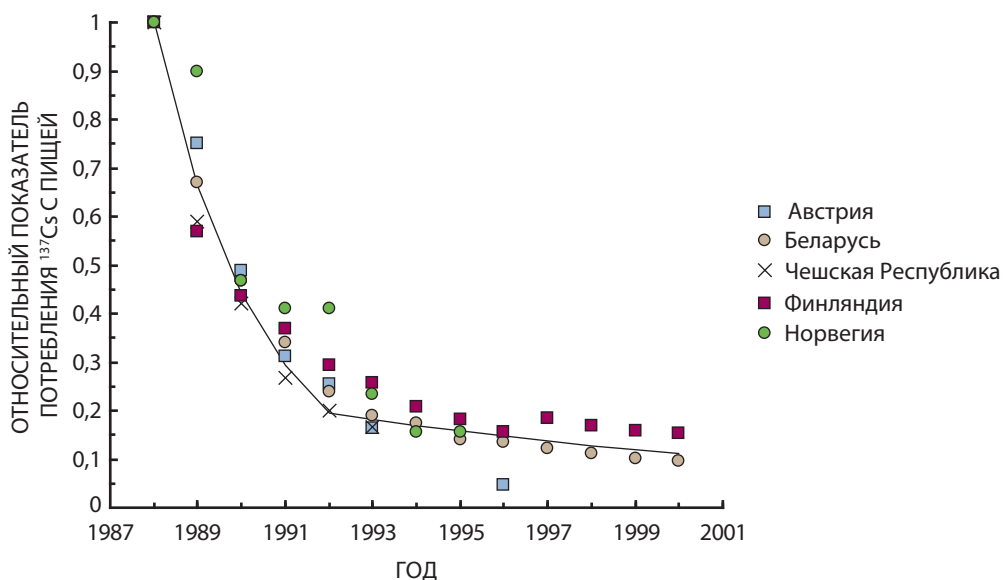
денческих факторов были приняты равными 0,31 и 0,16 для сельского и городского населения, соответственно [G3, U3, U7].

V77. Эффективные дозы от внутреннего облучения ингаляционным и пищевым путями оценивались отдельно. Потребление молока и молочных продуктов, листовых овощей, зерновых продуктов, других фруктов и овощей, а также мяса рассматривалось как пути поступления. Для большинства стран значения интегрированной по времени концентрации ^{137}Cs в пищевых продуктах за 1986 год и объемов потребления были взяты из доклада НКДАР ООН за 1988 год [U7]. Изменение со временем поступления с пищей ^{137}Cs , приведенное к значениям 1986 года, оказалось сходным в различных странах (рисунок В-IV). Оно оценивалось с использованием факторов снижения 0,65 и 0,25 для 1987 и 1988 годов, соответственно, а для последующих лет – на основе экспоненциального снижения с периодом полувыведения 1,7 года для 1989–1993 годов и 7,3 года для 1993–2005 годов [D13]. Кроме того, местные эксперты из Болгарии, Литвы, Финляндии, Чешской Республики и Швейцарии представили оценки доз для своих стран [D13].

V78. Как и в случае доз на щитовидную железу, эффективные дозы внутреннего облучения для большинства отдаленных стран Европы оценивались на основе моделирования поступления радионуклидов с пищевыми продуктами. Однако при этом подходе дозы внутреннего облучения могут быть значительно завышены, как показано с использованием счетчиков всего тела, которые дают непосредственную оценку доз внутреннего облучения инкорпорированным радиоактивным цезием [I46, U7]. Детальное сравнение этих двух методов оценки дозы было проведено на загрязненной территории Российской Федерации; в результате было установлено, что оценки доз внутреннего облучения с использованием моделей поступления превышают фактические значения в 2–3 раза [B2, I46]. Как указано в докладе НКДАР ООН за 1988 год [U7] (пункты 88 и 142 дополнения D), возможной причиной завы-

Рисунок В-IV. Динамика пищевого поступления ^{137}Cs

На основе измерений, сделанных в Австрии [M19, S25], Беларуси [M16], Норвегии [T10], Финляндии [M18] и Чешской Республике [M10]

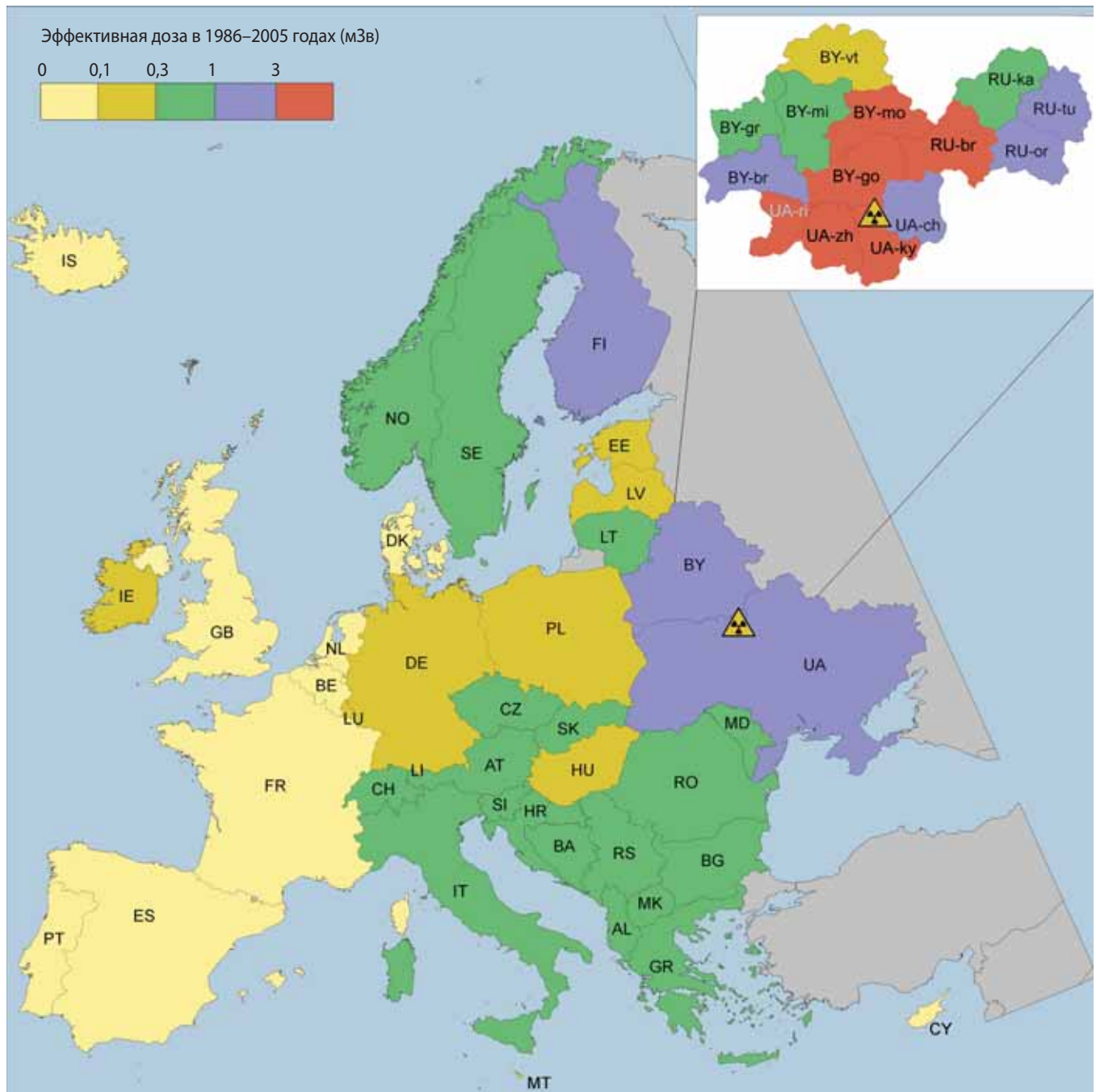


шения дозы может быть систематическая ошибка, связанная с преимущественным отбором проб пищевых продуктов из зон с высоким уровнем выпадения. Кроме того, в этих моделях [D13, U6] обычно не учитывается вклад продуктов, ввезенных из тех регионов мира, которые не пострадали от чернобыльской аварии, например с других континентов, или потеря радионуклидов при кулинарной обработке продуктов [D13, U7]. Тем не менее это завышение эффективных доз внутреннего облучения жителей отдаленных европейских стран необходимо учитывать при проведении любого анализа риска.

В79. Оценки суммарных эффективных доз за период 1986–2005 годов представлены на рисунке В-V и в таблице В17 для большинства европейских стран. Оценки для Беларуси, Российской Федерации и Украины уже приводились в настоящем документе, а оценки для всех остальных стран взяты из работы Drozdovitch et al. [D13]. Оценки эффективной дозы (выраженные в миллизивертах, мЗв) обычно намного ниже оценок дозы в щитовидной железе детей дошкольного возраста (выраженных в миллигреях, мГр). Отношение доз в щитовидной железе к эффективным дозам у дошкольников за 1986–2005 годы

Рисунок В-V. Территориальное распределение эффективных доз среди европейского населения в период 1986–2005 годов [по данным D13]

См. сокращения к рисунку В-III.



составляет около 50 в Беларуси, Российской Федерации и Украине, около 10 – в Центральной и Западной Европе и около 2 или менее – в Скандинавии. Такие колебания отчасти обусловлены контрмерами, принятыми в Беларуси, Российской Федерации и Украине для снижения эффективных доз, и низкими дозами на щитовидную железу, полученными в скандинавских странах, в связи с поздним началом пастбищного сезона.

с) Коллективные дозы

В80. На основе оценок доз в щитовидной железе и эффективных доз, предоставленных в работе Drozdovitch et al. [D13], а также данных о численности населения в 1986 году (примерно 500 млн. человек) коллективная доза в щитовидной железе и эффективная доза, полученные в период 1986–2005 годов, оцениваются в 660 тыс. чел.-Гр и 130 тыс. чел.-Зв, соответственно, для населения Европы (за исключением Беларуси, Российской Федерации, Украины, стран Кавказа, Турции, Андорры и Сан-Марино) (таблица В18). На душу населения доза в щитовидной железе составляет 1,3 мГр, а эффективная доза (исключая вклад дозы на щитовидную железу) – 0,3 мЗв за период 1986–2005 годов.

В81. Коллективную дозу на щитовидную железу и эффективную дозу в 660 тыс. чел.-Гр и 130 тыс. чел.-Зв, соответственно, у жителей отдаленных стран, представленные в таблице В19, можно сравнить с соответствующими оценками

в 760 тыс. чел.-Гр и 260 тыс. чел.-Зв, которые можно получить из данных, представленных в докладе НКДАР ООН за 1988 год [U7]. Две оценки коллективных доз на щитовидную железу весьма близки, поскольку данные, представленные в докладе 1988 года, были скорректированы лишь для нескольких стран, дозы на щитовидную железу были уже получены к 1988 году, и предполагалось, что для большинства стран нет необходимости их переоценивать. В противоположность этому, нынешняя оценка коллективной эффективной дозы примерно в 2 раза меньше показателя за 1988 год, что близко к коэффициенту уменьшения 1,5, полученному для жителей Беларуси, Украины и 19 пострадавших районов Российской Федерации. Как указывалось ранее, процесс оценки 1988 года фактически был завершен в 1987 году, когда количество доступных данных для разных стран значительно различалось, а большинство ожидаемых эффективных доз приходилось предсказывать с помощью моделей, прогнозирующих перенос в окружающей среде. Кроме того, большая часть данных, доступных на тот момент, была собрана в целях радиационной защиты, в связи с чем было установлено наличие в них погрешностей, способных привести к завышению оценки фактического облучения. Наряду с этим следует отметить, что, хотя первоначальные оценки в докладе НКДАР ООН за 1988 год были получены с учетом контрмер, принятых незамедлительно, какие-либо попытки проанализировать влияние возможных долгосрочных контрмер не предпринимались.

III. РЕЗЮМЕ

В82. В настоящем дополнении по сравнению с докладом НКДАР ООН за 2000 год [U3]: *a)* приводятся обновленные оценки доз у большего числа участников ликвидации последствий аварии в Беларуси, Российской Федерации и Украине (510 тыс. по сравнению с 380 тыс. в публикации [U3]) и представлена новая информация по оценке доз у ликвидаторов из Латвии, Литвы и Эстонии; *b)* приводятся уточненные оценки доз в щитовидной железе эвакуированных лиц из Беларуси и Украины, а также содержится новая информация об эвакуированных жителях России; *c)* оценка доз в щитовидной железе и эффективных доз у жителей Беларуси, Российской Федерации и Украины распространена с 5 млн. на 100 млн. человек; и *d)* пересмотрены оценки доз в щитовидной железе и эффективных доз для жителей большинства других европейских стран.

В83. В таблице В19 представлены уточненные сводные данные об оценке средних индивидуальных и коллективных доз, полученных группами населения Европы в результате чернобыльской аварии. По возможности, дозиметрическая информация об эвакуированном населении, жителях Беларуси, Российской Федерации и Украины и жителях всех остальных европейских стран (за исключением стран Кавказа, Турции, Андорры и Сан-Марино) представлена в единой форме. Кроме того, особое внимание уделяется методам, применяемым для оценки индивидуальных доз в интересах проведения эпидемиологических исследований.

В84. Средняя эффективная доза, полученная участниками ликвидации последствий аварии и обусловленная главным образом внешним облучением в период с 1986 по 1990 год, составляет около 120 мЗв. Это гораздо больше средних эффективных доз, полученных населением вследствие как внешнего, так и внутреннего облучения за период 1986–2005 годов

и составляющих около 30 мЗв для эвакуированных лиц, 1 мЗв для жителей бывшего Советского Союза и 0,3 мЗв – для населения остальной части Европы. Зарегистрированные дозы для ликвидаторов варьируются от менее 10 мГр до более 1000 мГр, однако примерно 85 процентов работников, дозы которых были зарегистрированы, получили дозы в интервале от 20 до 500 мГр.

В85. Средние дозы в щитовидной железе, полученные главным образом вследствие потребления молока, содержащего ¹³¹I, в течение первых нескольких недель после аварии, были самыми высокими для эвакуированных лиц и оценивались на уровне около 500 мГр. Эти показатели значительно превышали средние дозы на щитовидную железу, полученные жителями бывшего Советского Союза, которые не были эвакуированы (около 20 мГр), жителями проживающими в загрязненных районах (около 100 мГр), и жителями большинства других европейских стран (около 1 мГр). Для проведения достоверной оценки средней дозы в щитовидной железе, полученной участниками ликвидации последствий аварии, имеющейся информации недостаточно.

В86. Распределения числа лиц по интервалам дозы в щитовидной железе характеризуются очень большим разбросом индивидуальных доз во всех группах населения. Например, доза в щитовидной железе среди эвакуированных лиц колеблется в интервале от менее 50 мГр до более чем 5 тыс. мГр; наибольшее число детей дошкольного возраста приходится на дозовый интервал 1000–2000 мГр, однако во всех прочих возрастных категориях наибольшим числом лиц были получены дозы в интервале 200–500 мГр. Из неэвакуированного населения численностью 98 млн. человек, рассматриваемого в Беларуси, Российской Федерации и Украине, большинство людей

(93 процента) получили дозы в щитовидной железе менее 50 мГр, и лишь у 1 процента населения дозы в щитовидной железе превышали 200 мГр. Как и предполагалось, средняя доза в щитовидной железе, как правило, снижается с возрастом на момент облучения. Доза у детей дошкольного возраста в 2–4 раза превышает среднюю дозу для населения; при этом у более чем 4 процентов детей дошкольного возраста дозы в щитовидной железе составили более 200 мГр, а 0,3 процента детей этого возраста получили дозы свыше 1000 мГр.

В87. Оценки эффективных доз у населения, которые по определению не включают дозы в щитовидной железе, гораздо ниже доз в щитовидной железе. Для 98 млн. человек, рассматриваемых в трех странах, средняя эффективная доза, полученная в период 1986–2005 годов, составляет 1,25 мЗв, в то время как 6 млн. жителей “загрязненных территорий” получили среднюю эффективную дозу за этот же период около 9 мЗв. Оба значения примерно в 3 раза больше соответствующей эффективной дозы только за 1986 год; такой же коэффициент, равный примерно 3, был получен для доз от внешнего и внутреннего облучения. По оценкам, к 2005 году было получено около 80 процентов эффективной дозы за всю жизнь. Большинство этих людей проживают на территориях, где плотность выпадения ^{137}Cs составляет менее 37 кБк/м², и поэтому около 70 процентов населения получили дозы в интервале менее 1 мЗв, а 20 процентов – в интервале 1–2 мЗв. Вместе с тем примерно у 150 тыс. человек (0,1 процента) накопленная эффективная доза составила более 50 мЗв.

В88. Проблема оценки погрешностей, возникающих при расчетах индивидуальной дозы, вызывает все больший интерес, особенно в рамках проведения эпидемиологических исследований. При оценке на основе прямых измерений щитовидной железы было установлено, что погрешности в оценках индивидуальной дозы на щитовидную железу различны для разных лиц и варьируются в интервале от 1,6 до более 5,0 (выраженные в стандартных геометрических отклонениях). Погрешности в оценках дозы у ликвидаторов варьируются в зависимости от используемого метода оценки в интервале от менее 50 процентов до коэффициента 5. При этом есть основания полагать, что значения систематически завышаются у ликвидаторов-военнослужащих.

В89. По оценкам, величина коллективной эффективной дозы у участников ликвидации последствий аварии составляет около 60 тыс. чел.-Зв; однако возможно, что данный показатель завышен, поскольку имеющиеся данные свидетельствуют от том, что расчет некоторых зарегистрированных доз проводился на основе консервативных допущений. Около 85 процентов коллективной дозы, полученной работниками, дозы которых были зарегистрированы, приходится на интервал индивидуальной дозы 50–500 мГр.

В90. Наибольшая коллективная доза в щитовидной железе, составляющая 1600 тыс. чел.-Гр, была получена жителями бывшего Советского Союза. На уровне отдельных стран наибольшая коллективная доза в щитовидной железе получена в Украине, где 960 тыс. чел.-Гр распределяются на население численностью 51 млн. человек, хотя средняя доза в щитовидной железе в Украине примерно в 3 раза ниже, чем в Беларуси. На региональном уровне наибольшая коллективная доза в щитовидной железе была получена в Гомельской области, где около 320 тыс. чел.-Гр распределяются на население численностью 1,6 млн. человек, что соответствует средней дозе в щитовидной железе, равной примерно 200 мГр.

В91. Что касается коллективной эффективной дозы у населения Беларуси, Российской Федерации и Украины, то 20 процентов ее составляет вклад лиц, получивших дозу менее 5 мЗв. Вклад лиц из населения, получивших дозы свыше 50 мЗв, составляет около 10 процентов. Как и в случае доз в щитовидной железе, средняя эффективная доза выше в Беларуси, чем в Украине, но коллективная эффективная доза выше в Украине, чем в Российской Федерации (19 районов, которые считаются пострадавшими) и Беларуси, в основном из-за большей численности украинского населения.

В92. Наконец, для населения численностью примерно 500 млн. человек, проживающего в других странах Европы (за исключением стран Кавказа, Турции, Андорры и Сан-Марино), доза на душу населения в щитовидной железе оценена в 1,3 мГр, а эффективная доза за период 1986–2005 годов – 0,3 мЗв; коллективная эффективная доза примерно равна (130 тыс. чел.-Зв) этой величине у населения Беларуси, Украины и соответствующих районов Российской Федерации.

Таблица В1. Дозы внешнего облучения^а, полученные ликвидаторами, по официальным данным национальных регистров [К8, К23, К24, К31, N14, R7, R12, S10, S30, T9]

Период (годы)	Число ликвидаторов		Процентная доля работников с зарегистрированными дозами	Доза внешнего облучения ^б (мГр)				Коллективная доза ^б (чел.-Гр)
	Абсолютное число	%		Средняя	Медиана	75-я перцентиль	95-я перцентиль	
Беларусь (по состоянию на 1996 год) [К8, К23]								
1986	68 000	74,7	8	60	53	93	138	4 080
1987	17 000	18,7	12	28	19	29	54	476
1988	4 000	4,4	20	20	11	31	93	80
1989	2 000	2,2	16	20	15	30	42	40
1990	0	0	—	—	—	—	—	0
1986–1990	91 000	100,0	9	51	—	—	—	4 676
Российская Федерация (по состоянию на 2006 год) [R12]								
1986	87 772	46,6	62,0	149	175	220	250	13 078
1987	65 811	35,0	78,6	89	91	100	210	5 857
1988	24 160	12,8	83,4	35	27	46	96	845
1989	8 626	4,6	77,0	34	33	49	72	293
1990	1 805	1,0	72,2	39	43	49	66	70
1986–1990	188 174	100,0	71,3	107	94	188	244	20 143
Украина (по состоянию на 2005 год) [S30]								
1986	141 340	61,7	28,9	186	200	239	250	26 219
1987	49 365	21,5	60,1	127	93	100	230	6 259
1988	20 819	9,1	65,4	57	45	50	95	1 191
1989	12 979	5,7	70,8	49	48	49	50	635
1990	3 938	1,7	63,4	51	47	49	50	200
Неизвестен	778	0,3	—	—	—	—	—	—
1986–1990	229 219	100	42,5	151	140	218	250	34 504
Эстония [N14, T9]								
1986	2 936	60,8	87,8	109	101	154	212	321
1987	1 089	22,6	84,7	111	89	162	207	121
1988	561	11,6	80,0	32	35	44	65	18
1989	108	2,2	91,7	45	44	45	94	5
1990	1	0,0	0,0	—	—	—	—	0
1991	1	0,0	0,0	—	—	—	—	0
Неизвестен	136	2,8	2,9	44	45	45	45	6
1986–1991	4 832	100,0	83,9	99	88	146	208	471
Латвия (по состоянию на 1998 год) [R7, S10]								
1986	3 338	55,0	78	146				487
1987	1 757	29,0	80	106				186
1988	732	12,1	71	31				23
1989	169	2,8	78	45				7
1990	19	0,3	68	55				1
1991	4	0,07	—	—				0
Неизвестен	46	0,8	—	—				0
1986–1991	6 065	100,0	77	117				704

Период (годы)	Число ликвидаторов		Процентная доля работников с зарегистрированными дозами	Доза внешнего облучения ^b (мГр)				Коллективная доза ^b (чел.-Гр)
	Абсолютное число	%		Средняя	Медиана	75-я процентиль	95-я процентиль	
Литва [K24, K31]								
1986	2 440	35,1	69	144	140	201	250	351
1987	3 151	45,3	80	108	98	107	220	340
1988	1 006	14,5	64	43	42	50	100	43
1989	246	3,5	79	50	49	50	120	12
1990	3	0,04	67	28	28	40	40	0,08
Неизвестен	114	1,6	21	107	75	135	260	12
1986–1990	6 960	100,0	73	109	98	159	240	758
Все страны								
1986	305 826	58,1	35	146				44 535
1987	138 173	26,3	64	96				13 240
1988	51 278	9,7	71	43				2 200
1989	24 128	4,6	69	41				993
1990	5 766	1,1	66	47				271
1991	5	<0,001	—	—				0
Неизвестен	1 074	0,2	—	—				18
1986–1991	526 250	100	48	117				61 256

^a Для удобства дозы внешнего облучения выражены в миллигрехах (мГр). Фактически измеренной величиной во многих случаях была экспозиционная доза.

^b Статистические параметры распределения доз за конкретные годы относятся к работникам с зарегистрированными дозами (см. проценты в 4-й колонке). Что касается данных за 1986–1990 годы, то статистические параметры и значения коллективной эффективной дозы приводятся при том допущении, что сведения о распределении доз, полученных работниками с зарегистрированными дозами, относятся ко всей совокупности работников. Применительно к некоторым группам это допущение может быть спорным.

Таблица В2. Распределение числа российских ликвидаторов и соответствующих средних доз по продолжительности первой командировки в Чернобыль [I14, I25]

Продолжительность первой командировки (в месяцах)	<1	1–2	2–3	3–6	6–12	>12	Всего или среднее
Процентная доля ликвидаторов	11,3	26,8	28,4	30,5	1,9	1,1	100
Средняя доза (мГр)	122	129	117	85	90	97	110

Таблица В3. Распределение числа ликвидаторов с зарегистрированными дозами по дозам внешнего облучения [K8, K23, K24, K31, N14, R7, R12, S10, S30, T9]

Дозовый диапазон (мГр ^a)	Ликвидаторы с зарегистрированными дозами			Процентная доля коллективной дозы
	Число	Процентная доля	Средняя доза (мГр)	
Беларусь [K8, K23]				
<10	2 196	25	4,7	2,7
10–20	1 791	20	16	7,7
20–50	1 858	21	33	15,9
50–100	1 865	21	75	36,8
100–200	1 032	12	120	33,1
200–500	48	1	260	3,3
500–1 000	3	0,03	630	0,5
>1 000	0	0	—	0
Округленная сумма или средние значения	8 793	100	43	100

Дозовый диапазон (мГр ^a)	Ликвидаторы с зарегистрированными дозами			Процентная доля коллективной дозы
	Число	Процентная доля	Средняя доза (мГр)	
Российская Федерация [R12]				
<10	17 297	13	4,5	0,5
10–20	8 300	6	14	0,8
20–50	21 347	16	36	5,4
50–100	33 656	25	81	19,0
100–200	27 185	20	150	27,6
200–500	25 945	19	230	41,7
500–1 000	401	0,3	610	1,7
>1 000 ^b	51	0,04	9 400	3,3
Округленная сумма или средние значения	134 182	100	107	100
Украина [S30]				
<10	3 426	3,6	5,0	0,1
10–20	2 164	2,4	16	0,3
20–50	23 796	26	43	8,5
50–100	23 592	26	86	17,0
100–200	16 357	18	160	22,4
200–500	20 755	23	240	41,1
500–1 000	129	0,1	710	0,8
>1 000 ^b	168	0,2	6 900	9,7
Округленная сумма или средние значения	90 387	100	132	100
Эстония [N14, T9]				
<10	174	4,3	5,2	0,2
10–20	119	2,9	14	0,4
20–50	810	20	38	7,6
50–100	1 275	31	78	24,6
100–200	1 377	34	150	50,5
200–500	295	7,3	220	16,2
500–1 000	3	0,1	570	0,4
>1 000	0	0	—	0
Округленная сумма или средние значения	4 053	100	99	100
Латвия [R7, S10]				
<10	323	7,4	5	0,2
10–20	411	9,4	15	0,8
20–50	110	2,5	35	0,5
50–100	1 311	30	75	12,5
100–200	530	12	150	10,1
200–500	1 701	39	350	75,6
500–1 000	4	0,1	750	0,4
>1 000	0	0	—	0
Округленная сумма или средние значения	4 390	100	180	100

Дозовый диапазон (мГр ^a)	Ликвидаторы с зарегистрированными дозами			Процентная доля коллективной дозы
	Число	Процентная доля	Средняя доза (мГр)	
Литва [К24, К31]				
<10	144	2,8	4,9	0,1
10–20	178	3,5	12	0,4
20–50	634	13	35	4,0
50–100	1 699	34	76	23,4
100–200	1 525	30	130	35,6
200–500	886	17	230	36,2
500–1 000	3	0,06	600	0,3
>1 000	0	0	—	0
Округленная сумма или средние значения	5 069	100	109	100
Все страны				
<10	23 560	9,5	4,6	0,4
10–20	12 963	5,3	14	0,7
20–50	48 555	20	39	6,7
50–100	63 398	26	82	18,4
100–200	48 006	19	150	25,5
200–500	49 630	20	240	41,4
500–1 000	543	0,2	630	1,2
>1 000 ^b	219	0,1	7 500	5,7
Округленная сумма или средние значения	246 874	100	110	100

^a Для удобства дозы внешнего облучения выражены в миллигрях (мГр). Фактически измеренной величиной во многих случаях была экспозиционная доза.

^b Для полноты картины в данную таблицу включены дозы более 1000 мГр. Считается, что такие дозы получили аварийные работники или очевидцы аварии. Нельзя полностью исключать возможность возникновения ошибок при регистрации.

Таблица В4. Информация о группах населения, эвакуированных из зоны отчуждения в 1986 году: число лиц, средние дозы в щитовидной железе и коллективные дозы в щитовидной железе [В31, L4, S26]

Количественный показатель	Возрастная группа				
	Дети дошкольного возраста (0–6 лет)	Дети школьного возраста (7–14 лет)	Подростки (15–17 лет)	Взрослые (старше 17 лет)	Все возрастные группы
Беларусь (население, эвакуированное в мае 1986 года)					
Численность населения (человек)	1 126	1 049	478	8 705	11 358
Средняя доза в щитовидной железе (мГр)	4 616	1 967	1 518	918	1 407
Коллективная доза в щитовидной железе (чел.-Гр)	5 198	2 064	725	7 991	15 978
Беларусь (население, эвакуированное в июне–сентябре 1986 года)					
Численность населения (человек)	1 199	1 328	645	10 195	13 367
Средняя доза в щитовидной железе (мГр)	3 024	1 192	735	487	797
Коллективная доза в щитовидной железе (чел.-Гр)	3 626	1 583	474	4 965	10 648
Беларусь (все население, эвакуированное в 1986 году)					
Численность населения (человек)	2 325	2 377	1 123	18 900	24 725
Средняя доза в щитовидной железе (мГр)	3 796	1 534	1 068	686	1 077
Коллективная доза в щитовидной железе (чел.-Гр)	8 824	3 647	1 200	12 956	26 627

Количественный показатель	Возрастная группа				
	Дети дошкольного возраста (0–6 лет)	Дети школьного возраста (7–14 лет)	Подростки (15–17 лет)	Взрослые (старше 17 лет)	Все возрастные группы
Российская Федерация					
Численность населения (человек)	19	22	10	135	186
Средняя доза в щитовидной железе (мГр)	1 280	500	450	310	440
Коллективная доза в щитовидной железе (чел.-Гр)	24	11	4,5	42	82
Украина					
Численность населения (человек)	9 587	10 721	4 692	64 610	89 600
Средняя доза в щитовидной железе (мГр)	1 004	278	230	250	333
Коллективная доза в щитовидной железе (чел.-Гр)	9 622	2 985	1 077	16 175	29 859
Общая численность населения, эвакуированного в 1986 году					
Численность населения (человек)	11 931	13 120	5 815	83 645	114 511
Средняя доза в щитовидной железе (мГр)	1 548	506	392	349	494
Коллективная доза в щитовидной железе (чел.-Гр)	18 471	6 643	2 280	29 172	56 567

Таблица В5. Распределение доз в щитовидной железе у эвакуированных жителей Беларуси и Украины [L4, S26]

Дозовый интервал (Гр)	Дети дошкольного возраста		Дети школьного возраста		Подростки		Взрослые		Все возрастные группы	
	Число (человек)	%	Число (человек)	%	Число (человек)	%	Число (человек)	%	Число (человек)	%
Беларусь (население, эвакуированное в мае 1986 года)										
<0,05	8	0,7	5	0,5	11	2,3	333	3,8	357	3,1
0,05–0,1	31	2,8	36	3,4	15	3,1	637	7,3	719	6,3
0,1–0,2	34	3,0	61	5,8	40	8,4	998	11,5	1 133	10,0
0,2–0,5	126	11,2	142	13,5	102	21,3	2 159	24,8	2 529	22,3
0,5–1,0	146	13,0	200	19,1	93	19,5	2 135	24,5	2 574	22,7
1,0–2,0	213	18,9	242	23,1	95	19,9	1 537	17,7	2 087	18,4
2,0–5,0	275	24,4	277	26,4	98	20,5	782	9,0	1 432	12,6
>5,0	293	26,0	86	8,2	24	5,0	124	1,4	527	4,6
Всего	1 126	100	1 049	100	478	100	8 705	100	11 358	100
Беларусь (население, эвакуированное в июне–сентябре 1986 года)										
<0,05	19	1,6	19	1,4	35	5,4	1 254	12,3	1 327	9,9
0,05–0,1	17	1,4	37	2,8	44	6,8	1 026	10,1	1 124	8,4
0,1–0,2	44	3,7	98	7,4	82	12,7	1 942	19,1	2 166	16,2
0,2–0,5	158	13,2	344	25,9	210	32,6	2 985	29,3	3 697	27,7
0,5–1,0	191	15,9	335	25,2	132	20,5	1 691	16,6	2 349	17,6
1,0–2,0	277	23,1	278	20,9	92	14,3	962	9,4	1 609	12,0
2,0–5,0	300	25,0	185	13,9	46	7,1	288	2,8	819	6,1
>5,0	193	16,1	32	2,4	4	0,6	47	0,5	276	2,1
Всего	1 199	100	1 328	100	645	100	10 195	100	13 367	100

Дозовый интервал (Гр)	Дети дошкольного возраста		Дети школьного возраста		Подростки		Взрослые		Все возрастные группы	
	Число (человек)	%	Число (человек)	%	Число (человек)	%	Число (человек)	%	Число (человек)	%
Беларусь (все население, эвакуированное в 1986 году)										
<0,05	27	1,2	24	1,0	46	4,1	1 587	8,4	1 684	6,8
0,05–0,1	48	2,1	73	3,1	59	5,3	1 663	8,8	1 843	7,5
0,1–0,2	78	3,4	159	6,7	122	10,9	2 940	15,6	3 299	13,3
0,2–0,5	284	12,2	486	20,5	312	27,8	5 144	27,2	6 226	25,2
0,5–1,0	337	14,5	535	22,5	225	20,0	3 826	20,2	4 923	19,9
1,0–2,0	490	21,1	520	21,9	187	16,7	2 499	13,2	3 696	15,0
2,0–5,0	575	24,7	462	19,4	144	12,8	1 070	5,7	2 251	9,1
>5,0	486	20,9	118	5,0	28	2,5	171	0,90	803	3,3
Всего	2 325	100	2 377	100	1 123	100	18 900	100	24 725	100
Украина										
<0,05	—	—	143	1,3	97	2,1	2 617	4,1	2 857	3,2
0,05–0,1	4	0,04	1 504	14,0	985	21,0	10 306	16,0	12 799	14,3
0,1–0,2	458	4,8	1 234	11,5	1 384	29,6	7 090	11,0	10 166	11,4
0,2–0,5	1 813	18,9	7 011	65,4	2 071	44,2	42 469	65,7	53 364	59,6
0,5–1,0	3 400	35,5	631	5,9	74	1,6	674	1,0	4 779	5,3
1,0–2,0	3 525	36,8	133	1,2	51	1,1	1 067	1,7	4 776	5,3
2,0–5,0	306	3,2	65	0,6	20	0,4	387	0,6	778	0,9
>5,0	81	0,8	—	—	—	—	—	—	81	0,1
Всего	9 587	100	10 721	100	4 682	100	64 610	100	89 600	100
Беларусь и Украина в совокупности										
<0,05	27	0,2	167	1,3	143	2,5	4 204	5,0	4 541	4,0
0,05–0,1	52	0,4	1 577	12,0	1 044	18,0	11 969	14,3	14 642	12,8
0,1–0,2	536	4,5	1 393	10,6	1 506	25,9	10 030	12,0	13 465	11,8
0,2–0,5	2 097	17,6	7 497	57,2	2 383	41,1	47 613	57,0	59 590	52,1
0,5–1,0	3 737	31,4	1 166	8,9	299	5,2	4 500	5,4	9 702	8,5
1,0–2,0	4 015	33,7	653	5,0	238	4,1	3 566	4,3	8 472	7,4
2,0–5,0	881	7,4	527	4,0	164	2,8	1 457	1,7	3 029	2,7
>5,0	567	4,8	118	0,9	28	0,5	171	0,2	884	0,8
Всего	11 912	100	13 098	100	5 805	100	83 510	100	114 325	100

Таблица В6. Сводные оценки средних и коллективных эффективных доз для населения районов, жители которых были эвакуированы в 1986 году [B28, L4, S26, U3]

Страна	Численность населения (человек)	Оценки средней ^a эффективной дозы (мЗв)			Коллективная эффективная доза (чел.-Зв)
		Внешнее облучение	Внутреннее облучение (за исключением дозы на щитовидную железу)	Суммарная доза	
Беларусь	24 725	30	6	36	890
Российская Федерация	186	25	10	35	7
Украина	89 600	20	10	30	2 688
Всего	114 511	22	9	31	3 585

^a Средняя арифметическая величина.

Таблица В7. Распределение коллективной дозы в щитовидной железе для эвакуированных жителей Беларуси и Украины по интервалам дозы в щитовидной железе [L4, S26]

Дозовый интервал (Гр)	Дети дошкольного возраста		Дети школьного возраста		Подростки		Взрослые		Все возрастные группы	
	чел.-Гр	%	чел.-Гр	%	чел.-Гр	%	чел.-Гр	%	чел.-Гр	%
Беларусь (население, эвакуированное в мае 1986 года)										
<0,05	0,3	0,01	0,2	0,01	0,4	0,05	11	0,1	12	0,1
0,05–0,1	2,3	0,04	3,0	0,2	1,2	0,2	47	0,6	54	0,3
0,1–0,2	5,4	0,1	8,9	0,4	5,9	0,8	155	1,9	175	1,1
0,2–0,5	41	0,8	50	2,4	32	4,4	728	9,1	851	5,3
0,5–1,0	108	2,1	145	7,0	68	9,4	1 539	19,3	1 860	11,6
1,0–2,0	306	5,9	346	16,8	127	17,5	2 188	27,4	2 967	18,6
2,0–5,0	906	17,4	848	41,1	280	38,6	2 347	29,4	4 381	27,4
>5,0	3 829	73,7	663	32,1	211	29,1	976	12,2	5 679	35,5
Всего	5 198	100	2 064	100	726	100	7 991	100	15 979	100
Беларусь (население, эвакуированное в июне–сентябре 1986 года)										
<0,05	0,6	0,02	0,6	0,04	1,1	0,2	33	0,7	35	0,3
0,05–0,1	1,3	0,04	2,7	0,2	2,9	0,6	78	1,6	85	0,8
0,1–0,2	7,3	0,2	15	0,9	12	2,5	283	5,7	317	3,0
0,2–0,5	56	1,5	121	7,6	69	14,6	970	19,5	1 216	11,4
0,5–1,0	145	4,0	246	15,5	94	19,8	1 173	23,6	1 658	15,6
1,0–2,0	407	11,2	395	25,0	131	27,6	1 282	25,8	2 215	20,8
2,0–5,0	948	26,1	579	36,6	142	30,0	853	17,2	2 522	23,7
>5,0	2 061	56,8	224	14,2	22	4,6	293	5,9	2 600	24,4
Всего	3 626	100	1 583	100	474	100	4 965	100	10 648	100
Беларусь (все население, эвакуированное в 1986 году)										
<0,05	1,0	0,01	0,8	0,02	1,5	0,1	44	0,3	47	0,2
0,05–0,1	3,6	0,04	5,7	0,2	4,1	0,3	125	1,0	138	0,5
0,1–0,2	12,7	0,1	23,9	0,7	17,9	1,5	438	3,4	493	1,9
0,2–0,5	97	1,1	171	4,7	101	8,4	1 698	13,1	2 067	7,8
0,5–1,0	253	2,9	391	10,7	162	13,5	2 712	20,9	3 518	13,2
1,0–2,0	713	8,1	741	20,3	258	21,5	3 470	26,8	5 182	19,5
2,0–5,0	1 854	21,0	1 427	39,1	422	35,2	3 200	24,7	6 903	25,9
>5,0	5 890	66,8	887	24,3	233	19,4	1 269	9,8	8 279	31,1
Всего	8 824	100	3 647	100	1 199	100	12 956	100	26 627	100
Украина										
<0,05	—	—	6,7	0,2	3,4	0,3	119	0,7	129	0,4
0,05–0,1	0,4	0,0	106	3,6	70	6,5	834	5,2	1 010	3,4
0,1–0,2	76	0,8	173	5,8	253	23,5	1 065	6,6	1 567	5,2
0,2–0,5	629	6,5	1 976	66,2	573	53,3	11 623	71,9	14 801	49,6
0,5–1,0	2 540	26,4	358	12,0	47	4,4	349	2,2	3 294	11,0
1,0–2,0	4 720	49,1	180	6,0	71	6,6	1 347	8,3	6 318	21,2
2,0–5,0	887	9,2	185	6,2	59	5,5	837	5,2	1 968	6,6
>5,0	770	8,0	—	—	—	—	—	—	770	2,6
Всего	9 622	100	2 985	100	1 076	100	16 174	100	29 857	100

Дозовый интервал (Гр)	Дети дошкольного возраста		Дети школьного возраста		Подростки		Взрослые		Все возрастные группы	
	чел.-Гр	%	чел.-Гр	%	чел.-Гр	%	чел.-Гр	%	чел.-Гр	%
Беларусь и Украина в совокупности										
<0,05	1,0	0,01	7,5	0,1	4,9	0,2	163	0,6	176	0,3
0,05–0,1	4,0	0,02	112	1,7	74,1	3,3	959	3,3	1 149	2,0
0,1–0,2	88,7	0,5	197	3,0	271	11,9	1 503	5,2	2 060	3,6
0,2–0,5	726	3,9	2 147	32,4	674	29,6	13 321	45,7	16 868	29,9
0,5–1,0	2 793	15,1	749	11,3	209	9,2	3 061	10,5	6 812	12,1
1,0–2,0	5 433	29,5	921	13,9	329	14,5	4 817	16,5	11 500	20,4
2,0–5,0	2 741	14,9	1 612	24,3	481	21,1	4 037	13,9	8 871	15,7
>5,0	6 660	36,1	887	13,4	233	10,2	1 269	4,4	9 049	16,0
Всего	18 447	100	6 632	100	2 276	100	29 130	100	56 485	100

Таблица В8. Распределение жителей Украины и Беларуси, участвовавших в когортных исследованиях, по средней геометрической величине дозы в щитовидной железе [L3]

Дозовая группа (Гр)	Число лиц		
	Украина	Беларусь	Всего
<0,3	6 990	3 934	10 924
0,3–1,0	3 597	3 337	6 934
≥1,0	2 540	3 749	6 289
Всего	13 127	11 020	24 147

Таблица В9. Характеристики распределения дозы в щитовидной железе жителей Украины и Беларуси, участвовавших в когортных исследованиях [M14, T3]

Доза в щитовидной железе (Гр)	Украина	Беларусь
Средняя арифметическая	0,78	1,38
Стандартное отклонение	1,85	2,97
Медиана	0,26	0,54

Таблица В10. Средние и коллективные дозы в щитовидной железе у населения Беларуси, Российской Федерации и Украины [K8, L4, Z4]

Город или область	Средняя доза на щитовидную железу (мГр)					Численность населения (человек)	Коллективная доза (чел.-Гр)
	Дети дошкольного возраста	Дети школьного возраста	Подростки	Взрослые	Все население		
Беларусь							
г. Минск	52,0	26,2	17,3	17,8	22,6	1 518 790	34 310
Брестская	77,8	39,6	23,9	24,7	32,7	1 382 710	45 170
Витебская	5,5	2,6	1,6	1,7	2,1	1 269 530	2 720
Гомельская	475,8	250,3	145,0	148,1	197,3	1 631 040	321 750
Гродненская	16,7	8,7	5,2	5,4	6,9	1 126 230	7 780

Город или область	Средняя доза на щитовидную железу (мГр)					Численность населения (человек)	Коллективная доза (чел.-Гр)
	Дети дошкольного возраста	Дети школьного возраста	Подростки	Взрослые	Все население		
Минская	22,9	11,8	7,1	7,4	9,6	1 509 060	14 530
Могилевская	97,6	51,0	29,4	30,7	40,1	1 248 560	50 020
Округленная сумма или среднее значение для всей страны	122	63	37	37	49	9 686 000	476 000
Округленная сумма или среднее значение для загрязненных районов ^а	449	210	135	138	182	1 770 000	322 000
Российская Федерация (19 пострадавших областей^б)							
Брянская	155	52	31	26	42	1 429 000	60 500
Тульская	44	14	8	6	10	1 796 000	18 700
Орловская	58	19	12	9	15	860 000	13 000
Калужская	13	4	3	2	3	1 006 000	3 500
Другие 15 пострадавших областей ^а	10	3	2	2	3	32 134 000	94 000
Округленная сумма или среднее значение для всех 19 областей	18	6	4	3	5	37 225 000	190 000
Округленная сумма или среднее значение для загрязненных районов ^а	107	35	20	17	27	2 474 000	68 000
Украина							
Винницкая	37	13	9,8	9,2	12	1 953 000	23 900
Волинская	87	33	25	21	31	1 047 000	32 000
Луганская	12	4,0	3,1	3,1	4,1	2 832 000	11 600
Днепропетровская	13	4,4	3,4	3,4	4,5	3 810 000	17 200
Донецкая	24	8,0	6,0	6,1	8,1	5 328 000	42 900
Житомирская	231	87	67	60	81	1 549 000	126 200
Закарпатская	7,6	2,8	2,1	1,8	2,7	1 203 000	3 200
Запорожская	26	8,8	6,2	6,5	8,8	2 045 000	17 900
Ивано-Франковская	19	7,1	5,3	4,6	6,7	1 375 000	9 200
Киевская	202	75	58	53	71	1 882 000	133 600
Кировоградская	89	31	23	23	30	1 233 000	37 300
Крымская	34	12	8,8	8,4	12	2 005 000	23 200
Львовская	14	4,9	3,8	3,5	4,8	2 671 000	12 900
Николаевская	20	7,1	5,4	5,0	7,0	1 301 000	9 100
Одесская	15	5,2	3,8	3,7	5,1	2 656 000	13 600
Полтавская	54	19	15	13	18	1 732 000	30 500
Ровенская	177	64	49	42	62	1 162 000	71 700
Сумская	71	25	19	19	24	1 425 000	34 800
Тернопольская	18	6,4	4,8	4,5	6,2	1 150 000	7 100
Харьковская	26	8,7	6,5	6,6	8,6	3 163 000	27 300
Херсонская	30	11	7,8	7,3	10	1 222 000	12 500
Хмельницкая	39	15	11	10	14	1 528 000	20 900
Черкасская	142	52	39	37	49	1 522 000	74 300
Черновицкая	40	14	10	9,3	13	914 000	12 200
Черниговская	151	55	43	37	50	1 427 000	70 900

Город или область	Средняя доза на щитовидную железу (мГр)					Численность населения (человек)	Коллективная доза (чел.-Гр)
	Дети дошкольного возраста	Дети школьного возраста	Подростки	Взрослые	Все население		
г. Киев	94	30	23	24	32	2 469 000	80 000
г. Севастополь	56	18	14	14	19	381 000	7 300
Округленная сумма или среднее значение для всей страны	55	20	15	14	19	50 986 000	963 300
Округленная сумма или среднее значение для загрязненных районов ^a	367	115	115	91	123	2 151 000	265 000
Беларусь, Российская Федерация и Украина в совокупности							
Округленная сумма или среднее значение для всех трех стран	48	19	13	12	16	97 900 000	1 630 000
Округленная сумма или среднее значение для загрязненных районов ^a	289	110	84	75	102	6 395 000	655 000

^a Загрязненными территориями в бывшем Советском Союзе условно признавались территории, в которых уровни ¹³⁷Cs в почве превышали 37 кБк/м².

^b Белгородская, Воронежская, Курская, Ленинградская, Липецкая, Нижегородская, Пензенская, Рязанская, Саратовская, Смоленская, Тамбовская и Ульяновская области, а также Мордовская, Татарская и Чувашская автономные республики.

Таблица В11. Распределение пострадавших групп населения Беларуси, Российской Федерации и Украины по возрасту и интервалу дозы в щитовидной железе [K8, L4, Z4]

Дозовый интервал (Гр)	Дети дошкольного возраста		Дети школьного возраста		Подростки		Взрослые		Все население	
	Число (человек)	%	Число (человек)	%	Число (человек)	%	Число (человек)	%	Число (человек)	%
Беларусь^a										
<0,05	574 300	54,3	836 300	74,9	433 900	81,2	5 680 100	81,4	7 524 600	77,7
0,05–0,1	223 300	21,1	99 800	8,9	41 300	7,7	463 100	6,6	827 500	8,5
0,1–0,2	88 000	8,3	82 700	7,4	43 100	8,1	617 800	8,9	831 600	8,6
0,2–0,5	113 800	10,8	78 800	7,1	14 400	2,7	182 800	2,6	389 800	4,0
0,5–1,0	40 300	3,8	16 400	1,5	1 900	0,4	31 800	0,5	90 400	0,9
1,0–2,0	17 800	1,7	2 500	0,2	20	0,004	300	0,004	20 620	0,2
2,0–5,0	1 000	0,1	100	0,01	—	—	—	—	1 100	0,01
≥ 5,0	50	0,01	5	4 × 10 ⁻⁴	—	—	—	—	55	6 × 10 ⁻⁴
Округленная сумма	1 058 550	100	1 116 605	100	534 620	100	6 975 900	100	9 686 000	100
Российская Федерация (19 пострадавших областей)^b										
< 0,05	3 483 000	92,0	3 921 000	98,7	1 860 000	99,5	27 515 000	99,7	36 779 000	98,8
0,05–0,1	206 000	5,4	36 000	0,9	5 800	0,3	50 000	0,2	297 800	0,8
0,1–0,2	68 000	1,8	10 000	0,3	2 300	0,1	28 000	0,1	108 300	0,3
0,2–0,5	23 000	0,6	4 000	0,1	500	0,03	5 500	0,02	33 000	0,1
0,5–1,0	4 000	0,1	400	0,01	100	0,005	1 100	0,004	5 600	0,02
1,0–2,0	1 200	0,03	20	0,001	—	—	—	—	1 220	0,003
2,0–5,0	100	0,003	—	—	—	—	—	—	100	3 × 10 ⁻⁴
>5,0	20	5 × 10 ⁻⁴	—	—	—	—	—	—	20	5 × 10 ⁻⁵
Округленная сумма	3 785 320	100	3 971 420	100	1 868 700	100	27 599 600	100	37 225 040	100

Дозовый интервал (Гр)	Дети дошкольного возраста		Дети школьного возраста		Подростки		Взрослые		Все население	
	Число (человек)	%	Число (человек)	%	Число (человек)	%	Число (человек)	%	Число (человек)	%
Украина^а										
< 0,05	3 768 000	71,9	5 495 000	92,5	2 660 000	94,7	35 124 000	94,9	47 048 000	92,3
0,05–0,1	794 000	15,1	263 000	4,4	98 000	3,5	1 372 000	3,7	2 527 000	5,0
0,1–0,2	429 000	8,2	129 000	2,2	37 000	1,3	407 000	1,1	1 002 000	2,0
0,2–0,5	196 000	3,7	45 000	0,8	11 000	0,4	78 000	0,2	330 000	0,6
0,5–1,0	40 000	0,8	4 600	0,08	1 300	0,05	15 000	0,04	60 900	0,1
1,0–2,0	8 000	0,2	1 600	0,03	510	0,02	3 500	0,01	13 610	0,03
2,0–5,0	2 100	0,04	420	0,007	150	0,005	1 300	0,004	3 990	0,008
>5,0	470	0,01	30	5 × 10 ⁻⁴	—	—	—	—	500	0,001
Округленная сумма	5 237 570	100	5 938 650	100	2 807 960	100	37 000 800	100	50 986 000	100
Беларусь, Российская Федерация и Украина в совокупности										
< 0,05	7 825 300	77,6	10 252 300	93,0	4 953 900	95,1	68 319 100	95,4	91 350 600	93,3
0,05–0,1	1 223 300	12,1	398 800	3,6	145 100	2,8	1 885 100	2,6	3 652 300	3,7
0,1–0,2	585 000	5,8	221 700	2,0	82 400	1,6	1 052 800	1,5	1 941 900	2,0
0,2–0,5	332 800	3,3	127 800	1,2	25 900	0,5	266 300	0,4	752 800	0,8
0,5–1,0	84 300	0,8	21 400	0,2	3 300	0,06	47 900	0,07	156 900	0,2
1,0–2,0	27 000	0,3	4 120	0,04	530	0,01	3 800	0,005	35 450	0,04
2,0–5,0	3 200	0,03	520	0,005	150	0,003	1 300	0,002	5 170	0,005
>5,0	540	0,005	35	3 × 10 ⁻⁴	0	0	0	0	575	6 × 10 ⁻⁴
Округленная сумма	10 081 440	100	11 026 675	100	5 211 280	100	71 576 300	100	97 895 695	100

^а Без учета эвакуированных лиц.

^б Белгородская, Брянская, Воронежская, Калужская, Курская, Ленинградская, Липецкая, Нижегородская, Орловская, Пензенская, Рязанская, Саратовская, Смоленская, Тамбовская, Тульская и Ульяновская области, а также Мордовская, Татарская и Чувашская автономные республики.

Таблица В12. Распределение коллективной дозы в щитовидной железе у пострадавших групп населения Беларуси, Российской Федерации и Украины по возрасту и интервалу дозы в щитовидной железе [К8, L4, Z4]

Дозовый интервал (Гр)	Дети дошкольного возраста		Дети школьного возраста		Подростки		Взрослые		Все население	
	чел.-Гр	%	чел.-Гр	%	чел.-Гр	%	чел.-Гр	%	чел.-Гр	%
Беларусь^а										
<0,05	10 692	8,3	13 523	19,2	5 188	26,3	67 355	26,2	96 758	20,3
0,05–0,1	14 992	11,6	7 087	10,1	3 067	15,5	32 835	12,8	57 981	12,2
0,1–0,2	12 322	9,6	12 379	17,6	5 664	28,7	78 571	30,6	108 936	22,9
0,2–0,5	37 628	29,2	23 065	32,8	4 778	24,2	60 822	23,7	126 293	26,6
0,5–1,0	26 619	20,6	11 041	15,7	1 023	5,2	17 094	6,7	55 777	11,7
1,0–2,0	24 285	18,8	2 833	4,0	31	0,2	375	0,1	27 524	5,8

Дозовый интервал (Гр)	Дети дошкольного возраста		Дети школьного возраста		Подростки		Взрослые		Все население	
	чел.-Гр	%	чел.-Гр	%	чел.-Гр	%	чел.-Гр	%	чел.-Гр	%
2,0–5,0	2 254	1,7	420	0,6	—	—	—	—	2 674	0,6
>5,0	302	0,2	38	0,05	—	—	—	—	340	0,07
Округленная сумма	129 094	100	70 386	100	19 751	100	257 052	100	476 283	100
Российская Федерация (19 пострадавших областей^b)										
<0,05	34 300	50,1	18 500	76,7	6 600	87,5	80 100	89,1	139 500	73,4
0,05–0,1	13 500	19,7	2 500	10,4	400	5,3	3 400	3,8	19 800	10,4
0,1–0,2	9 200	13,4	1 500	6,2	300	4,0	4 000	4,4	15 000	7,9
0,2–0,5	6 400	9,3	1 300	5,4	150	2,0	1 700	1,9	9 550	5,0
0,5–1,0	2 900	4,2	300	1,2	90	1,2	700	0,8	3 990	2,1
1,0–2,0	1 700	2,5	35	0,1	—	—	—	—	1 735	0,9
2,0–5,0	400	0,6	—	—	—	—	—	—	400	0,2
>5,0	120	0,2	—	—	—	—	—	—	120	0,1
Округленная сумма	68 520	100	24 135	100	7 540	100	89 900	100	190 095	100
Украина^a										
<0,05	67 280	23,4	60 890	52,3	23 780	58,4	328 390	63,3	480 340	49,9
0,05–0,1	55 250	19,2	18 730	16,1	6 800	16,7	93 600	18,0	174 380	18,1
0,1–0,2	57 600	20,1	17 600	15,1	5 000	12,3	55 540	10,7	135 740	14,1
0,2–0,5	59 630	20,8	12 580	10,8	3 120	7,7	22 530	4,3	97 860	10,1
0,5–1,0	26 630	9,3	3 030	2,6	900	2,2	11 460	2,2	42 020	4,4
1,0–2,0	10 520	3,7	2 260	1,9	680	1,7	4 150	0,8	17 610	1,8
2,0–5,0	6 550	2,3	1 200	1,0	440	1,1	3 400	0,7	11 590	1,2
>5,0	3 570	1,2	170	0,1	5	0,01	—	—	3 745	0,4
Округленная сумма	287 030	100	116 460	100	40 725	100	519 070	100	963 285	100
Беларусь, Российская Федерация и Украина в совокупности										
<0,05	112 272	23,2	92 913	44,0	35 568	52,3	475 845	55,9	716 598	44,0
0,05–0,1	83 742	17,3	28 317	13,4	10 267	15,1	129 835	15,0	252 161	15,5
0,1–0,2	79 122	16,3	31 479	14,9	10 964	16,3	138 111	16,0	259 676	15,9
0,2–0,5	103 658	21,4	36 945	17,5	8 048	11,8	85 052	9,8	233 703	14,3
0,5–1,0	56 149	11,6	14 371	6,8	2 013	3,0	29 254	3,4	101 787	6,2
1,0–2,0	36 505	7,5	5 128	2,4	711	1,0	4 525	0,5	46 869	2,9
2,0–5,0	9 204	1,9	1 620	0,8	440	0,6	3 400	0,4	14 664	0,9
>5,0	3 992	0,8	208	0,1	5	0,007	0	0	4 205	0,3
Округленная сумма	484 644	100	210 981	100	68 016	100	866 022	100	1 629 663	100

^a Без учета эвакуированных лиц.^b Белгородская, Брянская, Воронежская, Калужская, Курская, Ленинградская, Липецкая, Нижегородская, Орловская, Пензенская, Рязанская, Саратовская, Смоленская, Тамбовская, Тульская и Ульяновская области, а также Мордовская, Татарская и Чувашская автономные республики.

Таблица В13. Оценки средних эффективных доз^а, полученных жителями областей и городов в результате внешнего и внутреннего облучения, и соответствующие оценки коллективных доз [В29, L4, M14]

Область, город	Выпадение ¹³⁷ Cs на почву (кБк/м ²)	Доза внешнего облучения (мЗв)		Доза внутреннего облучения (мЗв)		Суммарная доза (мЗв)		Численность населения (человек)	Коллективная доза в 1986–2005 годах (чел.-Зв)
		1986 год	1986–2005 годы	1986 год	1986–2005 годы	1986 год	1986–2005 годы		
Беларусь [M14]									
Гомельская	<37	0,72	1,56	0,15	0,51	0,87	2,07	251 000	520
	37–185	1,90	4,13	0,32	1,04	2,22	5,17	1 202 000	6 220
	185–555	8,68	21,62	2,48	8,50	11,16	30,12	139 000	4 200
	555–1 480	14,87	40,75	5,20	17,82	20,08	58,57	66 400	3 890
	>1 480	31,54	49,00	3,66	12,54	35,20	61,53	8 730	540
Витебская	<37	0,02	0,09	0,01	0,05	0,04	0,14	1 410 000	200
	37–185	0,56	2,10	0,33	1,12	0,88	3,22	93	0,3
Минская	<37	0,09	0,26	0,03	0,10	0,12	0,36	1 540 000	550
	37–185	1,45	4,23	0,57	1,96	2,02	6,18	35 900	220
	185–555	4,75	13,85	1,88	6,42	6,63	20,27	2 150	40
г. Минск	<37	0,03	0,12	0,01	0,04	0,04	0,15	1 610 000	250
Гродненская	<37	0,09	0,27	0,03	0,10	0,12	0,37	1 110 000	410
	37–185	1,17	3,41	0,46	1,58	1,63	4,99	52 200	260
	185–555	5,35	15,58	2,11	7,22	7,46	22,81	295	7
Брестская	<37	0,11	0,33	0,04	0,13	0,15	0,46	1 290 000	590
	37–185	1,47	4,24	0,55	1,86	2,02	6,10	154 000	940
	185–555	5,01	14,38	1,94	6,63	6,94	21,01	7 600	160
Могилевская	<37	0,15	0,54	0,06	0,21	0,21	0,75	1 070 000	800
	37–185	1,36	4,99	0,77	2,62	2,13	7,61	97 700	740
	185–555	3,53	12,93	1,90	6,43	5,42	19,36	84 700	1 640
	555–1 480	12,84	47,00	7,20	24,65	20,04	71,65	18 600	1 330
	>1 480	29,09	80,21	16,32	46,08	45,41	126,29	5 200	660
Округлен-ная сумма/ взвешенное среднее	<37	0,10	0,29	0,03	0,11	0,13	0,40	8 280 000	3 330
	37–185	1,79	4,18	0,38	1,26	2,17	5,44	1 540 000	8 380
	185–555	6,65	18,16	2,25	7,67	8,90	25,83	230 000	6 050
	555–1 480	14,43	42,12	5,64	19,31	20,07	61,43	85 000	5 220
	>1 480	30,62	60,65	8,39	25,06	39,01	85,71	13 900	1 190
<37–>1 480	0,67	1,73	0,20	0,65	0,87	2,38	10 150 000	24 180	
Российская Федерация (19 пострадавших областей)^б [B29]									
Брянская	<37	0,2	0,5	0,6	1,1	0,8	1,6	1 006 000	1 600
	37–185	1,0	3,0	2,5	5,0	3,5	8,0	183 000	1 500
	185–555	4,1	11,6	3,3	8,4	7,4	20,0	148 000	3 000
	555–1 480	10,0	28,2	3,0	11,4	13,0	39,6	85 000	3 400
	>1 480	40,1	120,0	6,7	24,6	46,8	144,6	7 000	1 000

Область, город	Выпадение ^{137}Cs на почву (кБк/м ²)	Доза внешнего облучения (мЗв)		Доза внутреннего облучения (мЗв)		Суммарная доза (мЗв)		Численность населения (человек)	Коллективная доза в 1986– 2005 годах (чел.-Зв)
		1986 год	1986–2005 годы	1986 год	1986–2005 годы	1986 год	1986–2005 годы		
Калужская	<37	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	893 000	400
	37–185	0,9	2,7	0,4	0,9	1,3	3,6	103 000	400
	185–555	3,5	10,2	1,5	3,8	5,0	14,0	11 000	200
Орловская	<37	0,3	0,9	0,2	0,3	0,5	1,2	678 000	800
	37–185	0,9	2,8	0,7	1,2	1,6	4,0	168 000	700
	185–555	2,2	6,1	1,1	2,6	3,3	8,7	14 000	100
Тульская	<37	0,2	0,6	0,2	0,3	0,4	0,9	1 017 000	900
	37–185	1,2	3,4	0,7	1,1	1,9	4,5	710 000	3 200
	185–555	3,4	9,7	1,1	2,1	4,5	11,8	69 000	800
Другие 15 постра- давших областей	<37	0,1	0,4	0,1	0,2	0,2	0,6	31 167 000	19 500
	37–185	0,7	2,1	0,2	0,6	0,9	2,7	967 000	2 600
Округленная сумма/ взвешенное среднее (19 областей)	<37	0,1	0,4	0,1	0,2	0,2	0,6	34 760 000	23 200
	37–185	0,9	2,7	0,7	1,3	1,6	4,0	2 131 000	8 400
	185–555	3,7	10,6	2,5	6,0	6,2	16,6	243 000	4 100
	555–1 480	10,0	28,2	3,0	11,4	13,0	39,6	85 000	3 400
	>1 480	40,1	120,0	6,7	24,6	46,8	144,6	7 000	1 000
	<37→>1 480	0,2	0,7	0,2	0,4	0,4	1,1	37 226 000	40 100
Украина [L4]									
Винницкая	<37	0,24	0,65	0,12	0,24	0,36	0,89	1 831 000	1 600
	37–185	1,7	4,6	1,1	1,4	2,8	6,0	123 000	730
Волынская	<37	0,19	0,52	0,12	2,0	0,31	2,5	1 019 000	2 500
	37–185	1,4	3,9	0,9	11	2,4	15	28 000	410
Луганская	<37	0,34	0,93	0,10	0,22	0,44	1,2	2 812 000	3 200
	37–185	1,0	2,9	0,6	0,8	1,6	3,7	20 000	70
Днепропет- ровская	<37	0,10	0,26	0,05	0,15	0,15	0,41	3 810 000	1 600
	37–185	1,3	3,5	0,9	1,2	2,2	4,7	580	3
Донецкая	<37	0,20	0,54	0,07	0,18	0,27	0,72	5 028 000	3 600
	37–185	1,1	3,0	0,2	0,4	1,3	3,4	301 000	1 000
Житомирская	<37	0,20	0,54	0,09	0,46	0,29	1,0	1 165 000	1 200
	37–185	2,6	6,9	0,5	5,1	3,0	12	262 000	3 100
	185–555	6,8	19	0,7	3,5	7,6	22	111 000	2 500
	555–1 480	20	54	3	12	22	66	11 000	700
	>1 480	52	140	7	32	58	172	870	150
Закарпатская	<37	0,12	0,33	0,08	0,21	0,20	0,55	1 203 000	660
Запорожская	<37	0,07	0,20	0,05	0,13	0,12	0,33	2 045 000	670
Ивано- Франковская	<37	0,26	0,71	0,15	0,38	0,41	1,1	1 311 000	1 400
	37–185	1,7	4,6	1,1	1,5	2,8	6,1	64 000	390

Область, город	Выпадение ^{137}Cs на почву (кБк/м ²)	Доза внешнего облучения (мЗв)		Доза внутреннего облучения (мЗв)		Суммарная доза (мЗв)		Численность населения (человек)	Коллективная доза в 1986– 2005 годах (чел.-Зв)
		1986 год	1986–2005 годы	1986 год	1986–2005 годы	1986 год	1986–2005 годы		
Киевская	<37	0,45	1,2	0,14	0,45	0,59	1,7	1 411 000	2 300
	37–185	1,9	5,1	0,5	1,4	2,4	6,5	405 000	2 600
	185–555	8,2	22	2,1	4,2	10	26	21 000	540
	555–1 480	26	71	3	4	29	75	12 000	910
	>1 480	92	252	13	58	106	309	1 500	450
Кировоград- ская	<37	0,20	0,55	0,10	0,19	0,30	0,74	1 224 000	910
	37–185	1,6	4,4	1,1	1,4	2,7	5,8	8 300	50
Крымская	<37	0,12	0,32	0,06	0,16	0,17	0,47	2 005 000	950
Львовская	<37	0,09	0,24	0,05	0,14	0,13	0,37	2 670 000	1 000
	37–185	1,2	3,3	0,8	2,1	2,0	5,4	220	1
Николаевская	<37	0,12	0,33	0,06	0,14	0,18	0,47	1 300 000	610
	37–185	2,4	6,6	1,7	2,1	4,1	8,7	740	10
Одесская	<37	0,19	0,52	0,06	0,15	0,25	0,66	2 651 000	1 800
	37–185	1,3	3,7	0,9	2,2	2,3	5,9	5 100	30
Полтавская	<37	0,17	0,45	0,09	0,24	0,26	0,70	1 732 000	1 200
Ровенская	<37	0,28	0,76	0,11	0,85	0,39	1,6	910 000	1 500
	37–185	2,2	5,9	0,6	11	2,8	17	247 000	4 300
	185–555	7,2	20	1,9	13	9,1	33	4 500	150
Сумская	<37	0,21	0,57	0,10	0,26	0,31	0,83	1 411 000	1 200
	37–185	1,9	5,2	1,3	2,3	3,2	7,4	14 000	100
Тернопольская	<37	0,15	0,42	0,10	0,32	0,25	0,74	1 116 000	820
	37–185	1,6	4,2	1,0	1,7	2,6	5,9	35 000	210
Харьковская	<37	0,18	0,49	0,08	0,19	0,26	0,67	3 162 000	2 100
	37–185	1,1	3,0	0,8	1,2	1,9	4,3	160	1
Херсонская	<37	0,07	0,19	0,05	0,12	0,12	0,32	1 222 000	390
Хмельницкая	<37	0,16	0,44	0,09	0,23	0,26	0,67	1 502 000	1 010
	37–185	1,6	4,5	1,1	1,4	2,8	5,8	26 000	150
	185–555	6,7	18	4,6	4,7	11	23	50	1
Черкасская	<37	0,30	0,81	0,14	0,27	0,44	1,1	1 281 000	1 400
	37–185	1,9	5,1	1,0	1,5	2,8	6,6	236 000	1 600
	185–555	7,3	20	5,0	5,1	12	25	5 700	140
Черновицкая	<37	0,36	0,98	0,15	0,32	0,51	1,3	842 000	1 100
	37–185	1,7	4,6	1,0	1,4	2,7	6,0	70 000	420
	185–555	5,9	16	4,1	4,3	10	20	2 800	60
Черниговская	<37	0,23	0,62	0,09	0,40	0,31	1,02	1 380 000	1 400
	37–185	1,8	4,9	0,8	2,5	2,5	7,4	46 000	340
	185–555	7,4	20	2,6	5,7	10,0	26	1 200	30
	555–1 480	18	48	11	21	29	68	140	10

Область, город	Выпадение ^{137}Cs на почву (кБк/м ²)	Доза внешнего облучения (мЗв)		Доза внутреннего облучения (мЗв)		Суммарная доза (мЗв)		Численность населения (человек)	Коллективная доза в 1986– 2005 годах (чел.-Зв)
		1986 год	1986–2005 годы	1986 год	1986–2005 годы	1986 год	1986–2005 годы		
г. Киев	<37	0,48	1,3	0,03	0,08	0,51	1,4	2 469 000	3 400
г. Севастополь	<37	0,20	0,54	0,03	0,09	0,23	0,63	381 000	240
Округлен- ная сумма/ взвешенное среднее	<37	0,21	0,56	0,08	0,26	0,29	0,82	48 893 000	39 800
	37–185	1,9	5,0	0,6	3,2	2,5	8,2	1 876 100	15 600
	185–555	7,0	19,3	0,9	3,6	8,0	22,9	132 000	3 100
	555–1 480	23,1	62,8	2,6	7,7	25,7	70,3	23 000	1 600
	>1 480	77,3	210,9	10,8	48,5	88,1	259,4	2 370	600
	<37–>1 480	0,30	0,81	0,11	0,39	0,41	1,2	51 000 000	61 000
Беларусь, Российская Федерация (19 областей) и Украина в совокупности									
Округлен- ная сумма/ взвешенное среднее	<37	0,16	0,48	0,08	0,22	0,24	0,70	91 930 000	66 600
	37–185	1,5	3,9	0,59	1,9	2,1	5,8	5 565 000	32 300
	185–555	5,6	15,4	2,1	6,2	7,7	21,6	624 000	13 500
	555–1 480	13,5	38,5	4,1	14,5	17,6	53,0	193 000	10 300
	>1 480	38,2	93,7	8,2	27,3	46,4	121,0	23 000	2 800
	<37–>1 480	0,30	0,86	0,13	0,39	0,43	1,25	98 000 000	125 000

^a Взвешенные по численности населения средние дозы оцениваются как дозы, полученные взрослыми (18 лет и старше).

^b Белгородская, Воронежская, Курская, Ленинградская, Липецкая, Нижегородская, Пензенская, Рязанская, Саратовская, Смоленская, Тамбовская и Ульяновская области, а также Мордовская, Татарская и Чувашская автономные республики.

Таблица В14. Распределение пострадавших групп населения Беларуси, Российской Федерации и Украины по периоду времени и интервалу эффективной дозы^а [В29, L4, М14]

Дозовый интервал (мЗв)	1986 год		1986–2005 годы	
	Число лиц	%	Число лиц	%
Беларусь [М14]				
<1	8 268 000	81,4	7 679 000	75,6
1–2	631 000	6,2	410 000	4,0
2–5	919 000	9,0	1 261 000	12,4
5–10	179 000	1,8	345 000	3,4
10–20	91 000	0,9	219 000	2,2
20–50	61 000	0,6	147 000	1,4
50–100	3 400	0,03	77 000	0,7
>100	500	0,005	16 000	0,2
Округленная сумма	10 150 000	100	10 150 000	100
Российская Федерация (19 пострадавших областей^б) [В29]				
<1	35 282 000	94,8	25 842 000	69,4
1–2	993 000	2,8	8 028 000	21,6
2–5	557 000	1,5	2 518 000	6,8
5–10	262 000	0,70	390 000	1,0
10–20	110 000	0,30	276 000	0,74
20–50	18 000	0,05	140 000	0,38
50–100	3 000	0,008	27 000	0,07
>100	0	0	5 000	0,01
Округленная сумма	37 000 000	100	37 000 000	100
Украина [L4]				
<1	48 072 000	94,3	36 096 000	70,8
1–2	1 694 000	3,3	10 322 000	20,3
2–5	912 000	1,8	2 948 000	5,8
5–10	213 000	0,42	850 000	1,7
10–20	43 000	0,08	532 000	1,0
20–50	17 000	0,03	182 000	0,36
50–100	1 400	0,003	18 000	0,04
>100	980	0,002	5 200	0,01
Округленная сумма	51 000 000	100	51 000 000	100
Беларусь, Российская Федерация (19 областей) и Украина в совокупности				
<1	91 622 000	93,2	69 617 000	70,8
1–2	3 318 000	3,4	18 760 000	19,1
2–5	2 388 000	2,4	6 727 000	6,8
5–10	654 000	0,7	1 585 000	1,6
10–20	243 000	0,2	1 027 000	1,0
20–50	96 000	0,1	469 000	0,5
50–100	7 800	0,008	121 000	0,1
>100	1 500	0,002	26 000	0,03
Округленная сумма	98 000 000	100	98 000 000	100

^а Эффективные дозы оцениваются как дозы, полученные взрослым населением (18 лет и старше).^б Белгородская, Брянская, Воронежская, Калужская, Курская, Ленинградская, Липецкая, Нижегородская, Орловская, Пензенская, Рязанская, Саратовская, Смоленская, Тамбовская, Тульская и Ульяновская области, а также Мордовская, Татарская и Чувашская автономные республики.

Таблица В15. Распределение коллективной эффективной дозы у пострадавших групп населения Беларуси, Российской Федерации и Украины по периоду времени и интервалу эффективной дозы^a [В29, L4, М14]

Дозовый интервал (мЗв)	1986 год		1986–2005 годы	
	Коллективная эффективная доза (чел.-Зв)	%	Коллективная эффективная доза (чел.-Зв)	%
Беларусь [М14]				
<1	1 040	11,9	2 180	9,0
1–2	860	9,8	630	2,6
2–5	2 360	26,9	4 570	18,9
5–10	1 240	14,1	2 490	10,3
10–20	1 280	14,6	3 110	12,9
20–50	1 720	19,6	4 320	17,9
50–100	210	2,4	5 000	20,7
>100	60	0,7	1 870	7,7
Округленная сумма	8 800	100	24 000	100
Российская Федерация (19 пострадавших областей^b) [В29]				
<1	9 000	57,7	9 800	24,4
1–2	1 200	7,7	10 400	25,9
2–5	1 500	9,6	7 100	17,7
5–10	1 700	10,9	2 300	5,7
10–20	1 500	9,6	3 800	9,5
20–50	500	3,2	4 100	10,2
50–100	200	1,3	1 800	4,5
>100	0	0	800	2,0
Округленная сумма	15 600	100	40 000	100
Украина [L4]				
<1	12 850	62,4	17 230	28,3
1–2	2 390	11,6	14 260	23,4
2–5	2 730	13,3	8 380	13,7
5–10	1 390	6,7	5 960	9,8
10–20	530	2,6	7 710	12,6
20–50	500	2,4	5 180	8,5
50–100	90	0,4	1 320	2,2
>100	120	0,6	930	1,5
Округленная сумма	20 600	100	61 000	100
Беларусь, Российская Федерация (19 областей) и Украина в совокупности				
<1	22 890	50,9	29 210	23,3
1–2	4 450	9,9	25 290	20,2
2–5	6 590	14,7	20 050	16,0
5–10	4 330	9,6	10 750	8,6
10–20	3 310	7,4	14 620	11,7
20–50	2 720	6,0	13 600	10,9
50–100	500	1,1	8 120	6,5
>100	180	0,4	3 600	2,9
Округленная сумма	45 000	100	125 000	100

^a Эффективные дозы оцениваются как дозы, полученные взрослым населением (18 лет и старше).

^b Белгородская, Брянская, Воронежская, Калужская, Курская, Ленинградская, Липецкая, Нижегородская, Орловская, Пензенская, Рязанская, Саратовская, Смоленская, Тамбовская, Тульская и Ульяновская области, а также Мордовская, Татарская и Чувашская автономные республики.

Таблица В16. Оценки средней плотности выпадения ^{137}Cs в результате чернобыльской аварии и отношения плотности выпадения отдельных радионуклидов к плотности выпадения ^{137}Cs в европейских странах [D13, E5, U7]

Страна или регион	Оценка средней плотности выпадения ^{137}Cs (кБк/м ²)	Оценка отношения плотности выпадения различных радионуклидов к плотности выпадения ^{137}Cs на момент выпадения						
		^{95}Zr	^{103}Ru	^{106}Ru	^{131}I	^{132}Te	^{134}Cs	^{140}Ba
Албания	7,2	0,1	2,5	0,6	3,8	7	0,5	1,5
Австрия	18,7	—	1,3	0,46	5	4,8	0,57	—
Беларусь, Брестская область	18,2	0,5–0,8	2,2–2,8	0,7–0,9	19–23	7,6–12	0,5	1,5–2,1
Беларусь, Витебская область	1,1	0,2	1,8	0,4	24	4,8	0,5	0,8
Беларусь, Гомельская область	154	0,17–4	1,6–3,7	0,42–1	8,3–21	4,2–11	0,5	0,76–7,6
Беларусь, Гродненская область	8	0,5	2,8	0,7	23	12	0,5	1,5
Беларусь, Минская область	5,8	0,5	2,8	0,7	23	12	0,5	1,5
Беларусь, г. Минск	6,2	0,3	1,5	0,45	14	2,8	0,5	1
Беларусь, Могилевская область	61	0,17–4	1,6–2,4	0,3–0,9	8,3–21	4,2–11	0,5	0,76–7,6
Бельгия	0,3	—	1,7	0,5	6,2	4	0,55	1,6
Босния и Герцеговина	6,4	—	1,4	0,3	5,9	7,2	0,4	0,7
Болгария	7	0,14	1,4	0,36	1,7	4	0,5	1,6
Хорватия	3,7	0,14	2,6	1	3,3	6,1	0,4	0,7
Кипр	0,6	—	—	—	3,3	—	0,55	—
Чешская Республика	4,7	—	1,9	0,3	13,8	5,1	0,5	1,0
Дания	0,36	—	1,5	0,5	4,7	4,3	0,55	—
Эстония	2	1,1	2,2	0,5	4,2	5,9	0,6	0,7
Финляндия	12,2	1,7	2,2	0,5	4,2	5,9	0,6	0,7
Франция	0,7	—	1,4	0,3	7,3	4,8	0,55	—
Германия	2,8	—	1,5	0,3	5,8	6,8	0,55	—
Греция	5,2	0,1	2,5	0,6	3,8	7	0,5	1,5
Венгрия	1,9	—	2,5	0,6	6,2	6,7	0,55	—
Исландия	0,3	—	—	—	—	—	0,55	—
Ирландия	3,1	—	1,5	0,4	3,1	3,4	0,55	0,8
Италия	2,1	—	2	0,55	4	7,8	0,55	—
Латвия	0,85	0,2	1,8	0,4	24	4,8	0,5	1,5
Лихтенштейн	11,8	—	1,3	0,46	5	4,8	0,57	—
Литва	3,7	0,4	1,5	—	23	12	0,55	0,72
Люксембург	1,2	—	1,7	0,5	7	4	0,55	—
Македония (бывшая югославская Республика)	8,5	—	1,5	0,3	6	7,6	0,4	—
Мальта	1,9	—	1,8	0,5	3,8	8,5	0,55	—
Нидерланды	0,3	—	1,9	0,5	6,3	3,3	0,55	—
Норвегия	4,7	—	2	0,5	16	2,6	0,55	—
Польша	1,3	—	2,5	0,3	7,3	8,4	0,55	—
Португалия	0,02	—	2	0,6	3,5	0,2	0,55	—

Страна или регион	Оценка средней плотности выпадения ^{137}Cs (кБк/м ²)	Оценка отношения плотности выпадения различных радионуклидов к плотности выпадения ^{137}Cs на момент выпадения						
		^{95}Zr	^{103}Ru	^{106}Ru	^{131}I	^{132}Te	^{134}Cs	^{140}Ba
Республика Молдова	10,1	—	2,9	0,7	5,2	6,4	0,55	—
Румыния	6,5	—	2,9	0,7	5,2	6,4	0,55	—
Россия, Брянская область	110	0,07–0,14	1,6	0,45	7,6–11	6,7–10	0,54	0,41–0,63
Россия, Калужская область	14,2	0,07	1,5	0,42	7,7	6,3	0,5	0,48
Россия, Орловская область	41	0,07	1,6	0,43	8,1	7,1	0,5	0,49
Россия, Тульская область	67	0,07	1,6	0,46	7,9	6,5	0,5	0,5
Сербия и Черногория	9	—	1,5	0,3	6	7,6	0,55	—
Словакия	3,6	—	1,8	0,3	11	7,3	0,50	—
Словения	16,3	—	1,4	0,3	5,9	7,2	0,4	—
Испания	0,06	—	1,5	0,3	3,9	-	0,55	—
Швеция	4,6	—	2	0,78	15,9	1,1	0,55	—
Швейцария	5,6	—	1,9	0,6	7	8,6	0,55	—
Украина, Черниговская область	~15	2	8	2	13	20	0,5	2
Украина, Киевская область	~30	2	8	2	13	20	0,5	2
Украина, г. Киев	~15	2	8	2	13	20	0,5	2
Украина, Ровенская область	~40	2	8	2	13	20	0,5	2
Украина, Житомирская область	~50	2	8	2	13	20	0,5	2
Украина, остальные области	~20	2	8	2	13	20	0,5	2
Соединенное Королевство	0,9	—	1,8	0,6	7,1	12,9	0,55	—

Таблица В17. Средние дозы в щитовидной железе и эффективные дозы у населения европейских стран^a [на основе D13]

Страна или регион	Доза в щитовидной железе (мГр)					Эффективная доза (мЗв), накопленная в период 1986–2005 годов
	Дети дошкольного возраста (0–6 лет)	Дети школьного возраста (7–14 лет)	Подростки (15–17 лет)	Взрослые (>17 лет)	Все возрастные группы	
Албания	7,9	4,7	3,3	2,8	3,5	0,52
Австрия	6,0	2,3	1,1	0,9	1,5	0,98
Бельгия	1,6	0,7	0,4	0,4	0,5	0,03
Босния и Герцеговина	15,6	9,5	6,7	5,7	7,0	0,41
Болгария	13,6	6,7	3,8	3,1	4,5	0,64
Хорватия	17,3	10,2	6,3	5,0	6,8	0,47
Кипр	3,7	2,0	1,3	1,1	1,4	0,08
Чешская Республика	8,5	3,8	2,2	1,7	2,6	0,37
Дания	0,09	0,05	0,03	0,02	0,03	0,03
Эстония	1,9	1,3	0,8	0,7	0,9	0,14
Финляндия	0,9	0,7	0,4	0,3	0,4	1,36
Франция	1,5	0,6	0,3	0,3	0,4	0,07
Германия	1,6	0,7	0,4	0,3	0,5	0,17
Греция	12,5	4,9	2,6	2,0	3,3	0,72
Венгрия	4,1	1,7	1,0	0,7	1,2	0,3
Исландия	—	—	—	—	—	0,01
Ирландия	1,8	0,8	0,5	0,4	0,6	0,21
Италия	6	2,6	1,5	1,2	1,8	0,33
Латвия	4,2	2,4	1,7	1,5	1,8	0,1
Лихтенштейн	6,2	2,3	1,2	0,9	1,6	0,91
Литва	18,4	8,8	5,3	4,3	6,2	0,33
Люксембург	1,8	0,9	0,5	0,4	0,6	0,11
Македония (бывшая югославская Республика)	7,9	4,8	3,4	2,8	3,5	0,47
Мальта	5,3	1,9	0,9	0,7	1,2	0,29
Нидерланды	0,8	0,5	0,4	0,3	0,4	0,05
Норвегия	0,7	0,4	0,3	0,2	0,3	0,38
Польша	5,5	2,1	1,1	0,8	1,4	0,25
Португалия	0,007	0,004	0,003	0,002	0,003	0,003
Республика Молдова	15,9	7,0	4,5	3,9	5,4	0,97
Румыния	12,3	4,9	2,6	2,0	3,3	0,61
Сербия и Черногория	7,8	4,7	3,3	2,8	3,5	0,55
Словакия	12,3	5,0	2,7	2,1	3,4	0,41
Словения	17,3	10,6	7,5	6,3	7,8	0,98
Испания	0,08	0,04	0,02	0,02	0,03	0,009
Швеция	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,31
Швейцария	3,9	4,0	2,6	2,0	2,4	0,46
Соединенное Королевство	0,5	0,2	0,1	0,08	0,1	0,05

^a Значения, приведенные в [D13], не обязательно подтверждены соответствующими странами.

Таблица В18. Коллективные дозы в щитовидной железе и эффективные дозы у населения европейских стран^a [на основе D13]

Страна	Численность населения в 1986 году (млн. человек)	Коллективная доза в щитовидной железе (чел.-Гр)	Коллективная эффективная доза, накопленная в 1986–2005 годах (чел.-Зв)
Албания	3,02	11 000	1 600
Австрия	7,56	11 000	7 400
Бельгия	9,86	5 100	300
Босния и Герцеговина	4,4	31 000	1 800
Болгария	8,89	40 000	5 700
Хорватия	4,72	32 000	2 200
Кипр	0,64	900	50
Чешская Республика	10,34	2 700	3 800
Дания	5,12	200	150
Эстония	1,53	1 300	200
Финляндия	4,92	1 900	6 700
Франция	53,6	23 000	3 800
Германия	77,66	37 000	13 000
Греция	9,83	33 000	7 100
Венгрия	10,62	12 000	3 200
Исландия	0,24	—	2
Ирландия	3,54	2 100	700
Италия	56,91	100 000	19 000
Латвия	2,6	4 800	300
Лихтенштейн	0,03	50	30
Литва	3,58	22 000	1 200
Люксембург	0,37	200	40
Македония (бывшая югославская Республика)	1,92	6 800	900
Мальта	0,34	200	100
Нидерланды	14,49	5 300	700
Норвегия	4,17	1 200	1 600
Польша	37,46	54 000	9 400
Португалия	10,01	30	30
Республика Молдова	4,25	23 000	4 100
Румыния	22,73	75 000	14 000
Сербия и Черногория	10,5	37 000	6 000
Словакия	5,19	18 000	2 000
Словения	1,99	16 000	2 000
Испания	37,3	1 000	300
Швеция	8,35	1 800	2 600
Швейцария	6,49	15 000	3 000
Соединенное Королевство	55,87	7 400	2 800
Всего (округленное значение)	~500	660 000	130 000

^a Значения, приведенные в [D13], не обязательно подтверждены соответствующими странами.

Таблица В19. Сводные данные по дозам (округленным) у основных групп населения, подвергшихся облучению в результате чернобыльской аварии

Страна	Численность населения (тыс. человек)	Средняя доза в щитовидной железе (мГр)	Средняя эффективная доза в 1986–2005 годах ^{a, b} (мЗв)	Коллективная доза в щитовидной железе (чел.-Гр)	Коллективная эффективная доза в 1986–2005 годах (чел.-Зв)
Ликвидаторы^{c, d} [K8, K23, K24, K31, N14, R7, R12, S10, S30, T9]					
Беларусь	91	—	51	—	4 700
Российская Федерация	190	—	107	—	20 100
Украина	230	—	151	—	34 500
Эстония	4,8	—	99	—	460
Латвия	6,1	—	117	—	700
Литва	7,0	—	109	—	750
Все страны	530	—	117	—	61 200
Эвакуированные лица [B28, B31, L4, S26, U3]					
Беларусь	25	1 100	36	27 000	900
Российская Федерация	0,19	440	35	82	7
Украина	90	330	30	30 000	2 700
Все страны	115	490	31	57 000	3 600
Жители загрязненных территорий Беларуси, Российской Федерации и Украины^e [B29, K8, L4, M14, Z4]					
Беларусь	1 800	182	12	320 000	20 800
Российская Федерация	2 500	27	7	70 000	16 900
Украина	2 100	123	10	260 000	21 200
Все страны	6 400	102	9	650 000	58 900
Жители Беларуси, Российской Федерации и Украины [B29, K8, L4, M14, Z4]					
Беларусь	10 000	49	2,4	480 000	24 000
Российская Федерация (19 пострадавших областей)	37 000	5	1,1	190 000	40 000
Украина	51 000	19	1,2	960 000	61 000
Все страны	98 000	16	1,3	1 600 000	125 000
Жители отдаленных стран^f [D13]					
Все страны	500 000	1,3	0,3	660 000	130 000

^a Эффективная доза у работников включает только дозу внешнего облучения, полученную главным образом в период с момента аварии в 1986 году до конца 1990 года. Предполагается, что эффективная доза численно равна дозе, зарегистрированной в национальном регистре.

^b Эффективная доза у населения в целом представляет собой сумму эффективных доз внешнего и внутреннего облучения, за исключением дозы в щитовидной железе. Доза внешнего облучения рассчитана за период 1986–2005 годов. Доза внутреннего облучения – это ожидаемая доза, обусловленная поступлением радионуклидов в период 1986–2005 годов.

^c При оценке средней и коллективной эффективной дозы предполагалось, что распределение дозы, полученной работниками с зарегистрированными дозами, применимо ко всем работникам.

^d Дозы в щитовидной железе в данной таблице не обобщены, поскольку они имеются лишь по очень небольшому числу работников.

^e Загрязненными территориями в бывшем Советском Союзе условно признавались территории, в которых уровни ¹³⁷Cs в почве превышали 37 кБк/м².

^f К числу отдаленных стран, которые были рассмотрены, относятся все европейские страны, за исключением Беларуси, Российской Федерации, Украины, Турции, стран Кавказа, Андорры и Сан-Марино.

ДОПОЛНЕНИЕ С РАННИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

I. РЕЗЮМЕ ПРЕДЫДУЩИХ ДОКЛАДОВ НКДАР ООН

C1. Первая информация о ранних проявлениях и исходах острой лучевой болезни (ОЛБ) у лиц, которые подверглись воздействию ионизирующего излучения на начальном этапе чернобыльской аварии, была представлена международному сообществу в Вене в августе 1986 года [I31]. Аналитические данные, полученные в результате клинических наблюдений за пострадавшими от аварии на Чернобыльской атомной электростанции, были представлены в докладе НКДАР ООН за 1988 год [U7] – в дополнении, озаглавленном “Острые радиационные последствия у пострадавших от аварии на Чернобыльской атомной электростанции”, и в приложении G “Ранние последствия высоких доз излучения для человека”. Обновленная информация о ранних последствиях для здоровья, некоторых более отдаленных последствиях и причинах смертельных исходов среди аварийных работников была представлена в разделе III приложения J “Дозы и последствия облучения в результате чернобыльской аварии” к докладу НКДАР ООН за 2000 год [U3].

C2. Одновременное лечение большой группы пациентов (134) от острой лучевой болезни различной степени тяжести позволило прояснить многочисленные аспекты ранних последствий острого облучения человека и, в частности, основного клинического синдрома – костномозгового синдрома. У многих пациентов костномозговой синдром сопровождался радиационным повреждением кожи; в некоторых случаях он осложнялся поражением роговицы (кератит) и

легких (пневмонит), а также поражениями кишечника и ротоглотки.

C3. Средние дозы на костный мозг и прогнозы в отношении дальнейшего течения ОЛБ определялись на основе биологических критериев. В ранний период большую часть информации давали хромосомный анализ, подсчет лимфоцитов и длительность первичной реакции; позднее более информативными были подсчеты гранулоцитов. Остальные показатели носили вспомогательный характер. В трех случаях оцененная доза близко соответствовала дозе, измеренной посмертно методом электронного парамагнитного резонанса зубной эмали.

C4. Для более точного понимания природы поражений легких и нервной системы и получения более подробных данных о значимости биологических индикаторов дозы и причинах расхождений между ними требовался дополнительный анализ развития ранних последствий.

C5. В докладах НКДАР ООН за 1988 и 2000 годы содержалась подробная информация об острых последствиях чернобыльской аварии для здоровья человека. В связи с отсутствием новых данных, касающихся существа вопроса об острых последствиях, материал, изложенный в следующем разделе, представляет собой резюме ранее представленных материалов.

II. НОВЫЕ ДАННЫЕ

A. Острая лучевая болезнь

C6. Во многих публикациях подробно описаны острые медицинские последствия чернобыльской аварии [A8, B1, G12, G13, G14, I34, M13, R11, V3]. В течение первых нескольких часов после аварии в местную больницу поступил ряд сотрудников Чернобыльской АЭС и пожарных с симптомами возможного радиационного поражения. Аварийной дозиметрии фактически не существовало. Исходя из предполагаемых последствий облучения, в течение 4,5 часа после взрыва было выявлено около 150 жертв, которые, по всей вероятности, нуждались в интенсивном лечении в отделении радиационной медицины

Института биофизики (в настоящее время Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна) в Москве.

C7. Первоначально возможный диагноз “острая лучевая болезнь” (ОЛБ) рассматривался в отношении 237 лиц. Из этой группы 115 человек были переведены в отделение радиационной медицины Института биофизики (Москва). Из них в течение нескольких дней диагноз ОЛБ был подтвержден у 104 человек. Впоследствии ОЛБ была подтверждена ретроспективно у 30 пациентов, в результате чего общее число больных составило 134 человека. Оцененные дозы и исход болезни для этих пациентов показаны в таблице C1 [A8].

Таблица С1. Данные для 134 пациентов с острой лучевой болезнью [УЗ]

Степень ОЛБ	Диапазон поглощенной дозы (Гр)	Число пациентов ^а	Число ранних летальных исходов ^б	Число выживших
Легкая (I)	0,8–2,1	41	0 (0%)	41
Средняя (II)	2,2–4,1	50	1 (2%)	49
Тяжелая (III)	4,2–6,4	22	7 (32%)	15
Крайне тяжелая (IV)	6,5–16	21	20 (95%)	1
Всего	0,8–16	134	28	106

^а Еще у 103 обследованных работников острая лучевая болезнь не была подтверждена.

^б В скобках указана процентная доля пациентов.

С8. В течение первых двух дней был проведен анализ для определения степени радиоактивного загрязнения кожи и активности радионуклидов (включая радиоактивный йод и радиоактивный цезий), попавших в организм пациентов. Такие анализы были выполнены у 75 процентов всех пациентов. У большинства пациентов содержание радионуклидов в теле не превышало 1,5–2,0 МБк (40–50 мкКи). Примерно у 6 процентов пациентов содержание в теле при-

близительно в 2–4 раза превышало указанный диапазон. Наряду с этим проводились исследования присутствия в организме пациентов ²⁴Na, с тем чтобы установить факт нейтронного облучения. Выяснилось, что нейтронное облучение сыграло весьма малую роль в общем облучении пациентов. Данные о внутреннем и внешнем облучении представлены в таблице С2.

Таблица С2. Дозы внешнего и внутреннего облучения легких и щитовидной железы у 23 пациентов, которые умерли вскоре после черновильской аварии^а [УЗ]

Личный код	Поглощенная доза внутреннего облучения ^а (мГр)		Поглощенная доза внешнего облучения (Гр)
	Щитовидная железа	Легкие	
25	21	0,26	8,2
18	24	2,8	6,4
22	54	0,47	4,3
5	62	0,57	6,2
9	71	0,77	5,6
21	77	0,68	6,4
8	130	1,5	3,8
2	130	2,2	2,9
19	210	3,5	4,5
23	310	2,3	7,5
1	340	8,7	11,1
15	320	27	6,4
16	470	4,1	4,2
3	540	6,8	7,2
17	600	120	5,5
4	640	34	6,5
7	780	4,7	10,2
10	890	9,4	8,6

Личный код	Поглощенная доза внутреннего облучения ^а (мГр)		Поглощенная доза внешнего облучения (Гр)
	Щитовидная железа	Легкие	
11	740	29	9,1
14	950	20	7,2
20	1 900	19	5,6
24	2 200	21	3,5
13	4 100	40	4,2

^а Дозы внутреннего облучения, накопленные на момент смерти, и дозы внешнего облучения оценивались с использованием хромосомного анализа лимфоцитов периферической крови. Относительные погрешности при определении доз на внутренние органы, по оценкам, составляют менее 30 процентов.

С9. В течение первых трех дней были взяты последовательные образцы крови для изучения ряда факторов, но особенно для выявления наличия и степени тяжести лимфопении. Их результаты в сочетании с информацией о времени появления таких симптомов, как тошнота, рвота и диарея, имели огромное значение для медицинского прогноза [В33, К18]. Цитогенетическая дозиметрия также проводилась с использованием образцов крови [Р17, S24]. В течение первых 7–10 дней становились более очевидными глубина и устойчивый характер подавления деятельности костного мозга, а также наличие или отсутствие желудочно-кишечных симптомов. Оценка лучевого дерматита в результате бета-облучения и радиационного поражения эпителия верхнего отдела пищеварительного тракта и легочных путей для целей прогностического исследования оказалась менее информативной и более сложной. На основе клинических и лабораторных данных изучалась возможность проведения аллогенной трансплантации костного мозга и разрабатывались критерии отбора пациентов. Позднее эти критерии были признаны слишком расплывчатыми. Впоследствии аллогенная пересадка костного мозга была проведена 13 пациентам, а имплантация клеток печени человеческого эмбриона была проведена

только 6 пациентам из-за отсутствия подходящих доноров [G13, I31].

С10. Все ожидаемые клинические симптомы ОЛБ по отдельности или их сочетания наблюдались у пациентов, получивших дозы гамма-излучения на все тело более 1 Гр. Как говорилось выше, подавление деятельности костного мозга наблюдалось у всех 134 пациентов с ОЛБ. Желудочно-кишечный синдром наблюдался у 15 пациентов, а радиационный пневмонит – у 8 пациентов. Сочетание этих синдромов с выраженным радиационным дерматитом в тяжелой форме было отмечено у 19 пациентов (таблица С3) [В38]. У некоторых пациентов дозы в коже превышали дозы в костном мозге в 10–30 раз, и часть этих пациентов получили дозы в коже, по оценкам, в диапазоне от 400 до 500 Гр. Такое местное радиационное поражение кожи привело к серьезному обострению имевшихся нарушений функций легких, печени или почек. Ожоги, вызванные бета-излучением, стали основной причиной смерти ряда пациентов, и они в значительной мере повысили степень тяжести ОЛБ. В частности, когда площадь ожогов составляла более 50 процентов поверхности тела, это было основной причиной заболеваемости и смертности.

Таблица С3. Взаимосвязь между степенью тяжести ОЛБ и процентом поверхности кожи, пострадавшей от ожогов, и дозой в коже у чернобыльских пациентов [А8, В38]

Число пациентов	Степень тяжести ОЛБ	Процент поверхности кожи, пострадавшей от радиационного ожога			Приблизительная поглощенная доза в коже (Гр)
		1–10%	10–50%	50–100%	
31	I	2	1	0	8–12
43	II	2	9	1	12–20
21	III	3	15	3	20–25
20	IV	1	10	9	>20

С11. В начальный период (от 14 до 23 дней после облучения) 15 пациентов скончались от осложнения кожных или кишечных заболеваний, а 2 пациента – от пневмонита. В период от 24 до 48 дней после облучения отмечено 6 смертельных исходов от поражений кожи или легких и 2 человека умерли от вторичной инфекции после пересадки костного мозга. У одного пациента с тяжелой формой ОЛБ развилась острая диффузная интерстициальная пневмония со скоротеч-

ной гипоксемией, что привело к летальному исходу. Аутопсия не подтвердила бактериальную и грибковую пневмонию, и это, по-видимому, говорит о том, что в данном случае был острый радиационный пневмонит с возможным присутствием вируса цитомегалии. В более отдаленный период (через 86–96 дней после аварии) отмечено 2 случая смерти, связанные с инфекционными осложнениями вследствие местного радиационного поражения кожи и почечной недостаточности. Одна

пациентка умерла через 112 дней от кровоизлияния в мозг. Основной причиной всех летальных исходов в течение первых двух месяцев после аварии стало нарушение деятельности костного мозга.

C12. В дополнение к использованию анализов крови для оценки дозы также выращивали культуру лимфоцитов для подсчета. Трудно было оценить точную дозу, полученную пациентами, поскольку оценки основывались на совокупности клинических симптомов; оценки, основанные на степени подавления деятельности костного мозга и на цитогенетических исследованиях, зачастую давали несколько разные результаты. Состояние пациентов, у которых была ОЛБ I–II степени, 2 раза в сутки контролировалось с помощью биохимических и гематологических индексов, а соответствующие оценки пациентов с более тяжелым течением болезни проводились ежедневно. Эти последовательные подсчеты имели большое значение для выбора поддерживающей терапии, а также оценки ее эффективности. Бактериологические пробы также были важны для эффективной организации антибиотикотерапии или противогрибковой терапии. При отсутствии признаков активного заживления кожи через 50 или 60 дней некоторым пациентам делали операцию по пересадке кожи. Одному пациенту ампутировали ногу спустя более чем 200 дней после аварии [B40].

V. Лечение пациентов с ОЛБ и его результаты

C13. Основные компоненты применяемой терапии ОЛБ включали:

- профилактику и лечение инфекционных осложнений;
- детоксикацию;
- парентеральное питание;
- трансфузионную терапию (аллогенную трансплантацию костного мозга и введение клеток печени человеческого эмбриона);
- местное лечение пораженных участков кожи; и
- лечение вторичного токсического нарушения обмена веществ.

C14. Все пациенты с ОЛБ II или более тяжелой степени были помещены в отдельные палаты, в которых были созданы стерильные условия. Для стерилизации помещений использовались ультрафиолетовые лампы, а медицинский персонал должен был тщательно мыть руки, обязательно использовать лабораторные халаты, маски и асептический раствор для мытья обуви. Пациентам ежедневно меняли одежду. Периодически осуществлялся контроль показателей микробного заражения. Концентрации микроорганизмов в воздухе удерживались на уровне менее 500 колоний на кубический метр.

C15. Эти же пациенты, в порядке профилактики у них эндогенных инфекций, получали бисептол и нистатин в случае повышения температуры. Пациентам вводили внутривенно антибиотики широкого спектра действия, включая аминогликозиды, цефалоспорины и полусинтетические пенициллины. Более чем в половине случаев эта мера, как правило, снижала температуру. Однако если в течение периода от 24 до 48 часов жар не снижался, то пациентам внутривенно вводили гамма-глобулин по схеме четыре-пять инъекций по 6 г каждому боль-

ному каждые 12 часов. Впервые при лечении пациентов с тяжелой ОЛБ для борьбы с герпетическими инфекциями широко и успешно применялся ацикловир. Примерно у трети пациентов были герпетические высыпания на лице, губах и слизистой оболочке полости рта.

C16. Многим пациентам многократно проводилось переливание свежих донорских тромбоцитов. Эффективность этих переливаний была подтверждена не только отсутствием опасного для жизни кровотечения у пациентов с длительной (более двух-четырех недель) тромбоцитопенией (ниже 5 тыс.–10 тыс. на микролитр), но также отсутствием любых видимых признаков усиления кровотечения у большинства пациентов. Для успешного лечения ОЛБ III степени каждому пациенту необходимо было провести в среднем от трех до пяти переливаний тромбоцитов.

C17. Для лечения осложнений, вызванных агранулоцитарными инфекциями, переливания эритроцитов не требовалось. В переливании эритроцитов нуждался ряд пациентов с ОЛБ II–III степени, у которых также имелись значительные поражения. Всех пациентов, которые имели множественные серьезные поражения органов, лечили с помощью современных методов детоксикации, противинфекционной и симптоматической терапии. Применялись методы гемосорбции, плазменной абсорбции и плазмофереза. Использовалась также прямая антикоагуляция как средство улучшения микроциркуляции. Основной особенностью лечения кишечного синдрома было использование полностью парентерального питания наряду с коррекцией недостаточности объема с помощью питательных жидкостей и электролитов. Такой метод лечения был весьма эффективным.

C18. Миелодепрессия и потенциальная необходимость дополнительных мер оценивались по системе, ранее разработанной Konchalovsky et al. [K18] и другими [G14]. Наряду с этим использовались дополнительные данные подсчета лимфоцитов крови, позволяющие определить дозу более 6 Гр. Производился отбор проб костного мозга у родственников пациентов, которые были идентичными (шесть случаев), гаплоидентичными (четыре случая) или гаплоидентичными при наличии одного общего антигена во втором гаплотипе (три случая). В данной ситуации, требующей принятия срочных мер, определение типа проводилось только для локусов A, B и C. В случаях гаплоидентичного костного мозга трансплантация проводилась с удалением T-лимфоцитов. Считается, что трех случаев смерти, происшедших в результате неподходящей пересадки костного мозга, можно было избежать. Пересадка костного мозга пациентам, получившим дозы менее 9 Гр, только ухудшила результаты лечения ОЛБ из-за развития побочных эффектов [B40].

C19. Применение аллогенной трансплантации костного мозга у этих пациентов продемонстрировало следующее:

- при радиационных авариях процент жертв, которым абсолютно показана аллогенная трансплантация костного мозга и которым такая трансплантация может принести определенную пользу, крайне мал;
- в случае поражения костного мозга в результате гамма-облучения всего тела в дозе от 6 до 8 Гр трансплантат может быть жизнеспособным; однако трансплантация может быть опасной для жизни вследствие развития вторичных болезней и реакции “трансплантат против хозяина”; и

- восстановление миелопоэза и выживание возможны после облучения всего тела в дозе от 6 до 8 Гр, что было установлено после отторжения гаплоидентичного трансплантата (три случая), а также на примере пациентов, которым не была проведена трансплантация из-за отсутствия подходящего донора (четыре случая).

C20. Каждый пациент с костномозговым синдромом III–IV степени также обычно имел радиационное поражение кожи и нуждался в постоянном уходе со стороны высококвали-

фицированного персонала. Эффективность лечения была признана удовлетворительной ввиду отсутствия летальных исходов среди пациентов с ОЛБ II степени (дозы 2–4 Гр), за исключением одной пациентки, которая впоследствии скончалась от кровоизлияния в мозг. В клинике было 27 пациентов с ОЛБ III–IV степени. Летальные исходы в этой группе были обусловлены главным образом крайне тяжелыми поражениями кожи, поражением легких и комплексным поражением кожи и кишечника в сочетании с подавлением деятельности костного мозга.

III. РЕЗЮМЕ

C21. Чернобыльская авария привела к многим случаям острой лучевой болезни, о которых докладывали во всем мире. Случаи ОЛБ встречались у работников атомной электростанции и первых аварийных работников, но не наблюдались среди эвакуированного населения или населения в целом. Первоначально диагноз “острая лучевая болезнь” рассматривался в отношении 237 лиц, учитывая наблюдавшиеся у них симптомы в виде тошноты, рвоты и диареи. В конечном счете диагноз ОЛБ подтвердился у 134 человек. Было зарегистрировано 28 случаев ранних летальных исходов, 95 процентов которых наблюдались среди лиц, получивших дозу во всем теле более 6,5 Гр. Исходное нарушение деятельности костного мозга было главной причиной всех случаев смерти в течение первых двух месяцев после аварии.

C22. Аллогенная трансплантация костного мозга была проведена 13 пациентам, и еще 6 пациентам были пересажены клетки печени человеческого эмбриона. Все они умерли, за исключением одного пациента, у которого, как впоследствии выяснилось, восстановилась деятельность собственного костного мозга, что привело к отторжению трансплантата. Два или три пациента, как полагают, умерли от осложнений, связанных с пересадкой. Дозы в коже превышали дозы в костном мозге в 10–30 раз, и по меньшей мере 19 случаев летального исхода, как считается, были вызваны главным образом инфекцией, развившейся из-за большой площади ожогов, полученных в результате воздействия бета-излучения. Внутреннее радиоактивное загрязнение играло довольно незначительную роль.

ДОПОЛНЕНИЕ D ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

I. ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ, ПЕРЕНЕСШИХ ОСТРУЮ ЛУЧЕВУЮ БОЛЕЗНЬ

A. Резюме доклада НКДАР ООН за 2000 год

D1. Неблагоприятные ранние последствия для здоровья аварийных работников, подвергшихся высоким уровням облучения главным образом в течение первой ночи после аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС), были подробно описаны в докладе НКДАР ООН за 1988 год [U7], в дополнении, озаглавленном “Острые радиационные последствия у пострадавших от аварии на Чернобыльской атомной электростанции”. Новая информация о ранних последствиях для здоровья аварийных работников, некоторых отдаленных последствиях и причинах смерти была представлена в докладе НКДАР ООН за 2000 год [U3], в приложении J, озаглавленном “Дозы и последствия облучения в результате чернобыльской аварии”. Резюме этих наблюдений и опыта, приобретенного при лечении работников, у которых обнаружилась острая лучевая болезнь (ОЛБ), представлено в дополнении С к настоящему документу, озаглавленном “Ранние последствия для здоровья”. В материале, представленном в следующем разделе, основное внимание уделяется отдаленным последствиям для здоровья аварийных работников, перенесших ОЛБ.

D2. Катаракты, образование рубцов и язв – наиболее важные причины сохраняющейся нетрудоспособности лиц, перенесших ОЛБ. Следствием сильного изъязвления кожи был кожный фиброз, который был успешно вылечен с помощью небольших доз интерферона. В период между 1990 и 1996 годами хирургическое лечение прошли 15 лиц, перенесших ОЛБ, которые имели обширные лучевые поражения кожи, включая язвы и фиброз. Последующее врачебное наблюдение за этими пациентами не выявило ни одного случая рака кожи. Восстановление физического состояния зависело от степени тяжести первичных симптомов ОЛБ. В целях ограничения дальнейшего профессионального облучения в Российской Федерации и других странах бывшего Советского Союза были приняты законодательные меры, направленные на ограничение деятельности таких лиц или побуждающие их сменить род занятий.

D3. Вплоть до 1996 года велись исследования, касающиеся половой функции и фертильности среди лиц, перенесших ОЛБ. В большинстве случаев преобладали функциональные нарушения в половой сфере, хотя в течение первых пяти лет после аварии у лиц, перенесших ОЛБ, родились 14 нормальных детей.

D4. У пациентов с ОЛБ III и IV степени наблюдалась тяжелая иммунодепрессия. Несмотря на то что кроветворение

восстанавливалось в течение нескольких недель или, самое большее, месяцев, для полного восстановления функционального иммунитета могло потребоваться по меньшей мере полгода, а нормализация могла не наступить и через несколько лет после аварии. Это не обязательно означает, что после острой стадии болезни (т. е. первых трех месяцев) у выздоравливающих пациентов наблюдался серьезный иммунодефицит, и неудивительно поэтому, что исследования иммунного статуса выявили картину изменений в концентрациях клеток крови без клинических проявлений иммунодефицита. При более высоких дозах излучения могли наблюдаться продолжительные нарушения Т-клеточного иммунитета; однако эти нарушения не обязательно были связаны с клиническими проявлениями иммунодефицита.

B. Новые данные

D5. Согласно данным ретроспективного анализа историй болезни, общее число подтвержденных случаев ОЛБ составило 134 из первоначально зарегистрированных 237 случаев [B41, U3]. В течение острого периода болезни было зарегистрировано 28 летальных исходов; информация об этом периоде содержится в докладе НКДАР ООН за 1988 год [U7].

D6. С 1986 по 1990 год 83 аварийных работника, у которых была диагностирована ОЛБ различной степени тяжести, находились под медицинским наблюдением в клинике Федерального медицинского биофизического центра им. А. И. Бурназяна (ФМБЦ), бывшем отделении радиационной медицины Института биофизики (Москва). К 1996 году число пациентов, наблюдаемых в клинике ФМБЦ, уменьшилось до 10 человек. Распределение пациентов, наблюдаемых в ФМБЦ, по степеням перенесенной ОЛБ и полученным местным радиационным поражениям показано в таблице D1.

D7. С 1990 года большая группа пациентов, перенесших ОЛБ, а также группа лиц с первоначально поставленным, но впоследствии не подтвержденным диагнозом ОЛБ (здесь и далее называемых “лица с неподтвержденной ОЛБ” или “ОЛБ 0 степени”) находились под наблюдением Украинского научного центра радиационной медицины (УНЦРМ) в Киеве [B9, B39, B42]. Распределение пациентов, наблюдаемых в УНЦРМ, по степеням перенесенной ОЛБ показано в таблице D2. Данные о численности наблюдаемых пациентов, приводимые в разных публикациях, расходятся между собой, что объясняется разными периодами наблюдения и тем, что около 20 процентов пациентов не были охвачены системой последующего наблюдения. По состоянию на начало

2008 года в Украине под наблюдением находилось 59 пациентов с диагнозом ОЛБ. Пациентов с ОЛБ-0 иногда используют в качестве контрольной группы; однако очевидно, что они не являются настоящей не подвергшейся облучению контрольной группой, так как, по-видимому, подверглись облучению в дозах в диапазоне примерно от 0,1 до 1,0 Гр.

D8. В обеих клиниках пациенты проходят ежегодные обследования основных систем организма. Как станет ясно из нижеследующих разделов, данные наблюдений трудно анализировать, сопоставлять и использовать, поскольку данные двух клиник представлены в разных форматах, получены на основе использования разных диагностических критериев и лишь частично совпадают по времени (частично в 1986–1990 годах и в меньшей степени в 1991–1995 годах). По этим причинам, а также из-за небольшого числа случаев и отсутствия анализа с использованием формальных эпидемиологических методов в целом на основании этих данных невозможно выявить тенденции в изменении уровней заболеваемости и смертности.

D9. Данные касаются прежде всего следующих конкретных последствий для здоровья: транзиторная цитопения периферической крови, катаракты, нарушения функции щитовидной железы, местные поражения кожи, нейропсихологические расстройства, онкологические заболевания и смертность от них, неонкологические заболевания и смертность. Большинство этих тем также более широко обсуждаются далее в настоящем дополнении применительно к лицам, перенесшим ОЛБ, другим аварийным работникам, ликвидаторам и населению в целом.

1. Транзиторная цитопения периферической крови

D10. Исследования показателей периферической крови пациентов через 1,5–2 года, 2–5 лет, 5–10 лет и 10–20 лет после аварии в ФМБЦ и 10–15 лет после аварии в УНЦРМ в целом дали схожие результаты. В течение первых пяти лет после аварии показатели периферической крови пациентов практически вернулись к норме, хотя у многих пациентов наблюдалась транзиторная умеренная цитопения. Гранулоцитопения, тромбоцитопения, эритроцитопения и лимфоцитопения чаще всего наблюдались в первые пять лет после аварии, но спустя 5–15 лет после аварии распространенность случаев цитопении постепенно снизилась.

D11. Частота гематологических нарушений в периферической крови лиц, перенесших ОЛБ, наблюдаемых в ФМБЦ в течение 20-летнего периода, показана в таблице D3. В основном отмечалось уменьшение количества тромбоцитов и в меньшей степени – нейтрофилов и лимфоцитов. Снижение гемоглобина или числа эритроцитов было незначительным или вообще не отмечалось.

D12. Кровотворение в целом восстановилось и у группы лиц, перенесших ОЛБ, и у группы лиц с “неподтвержденной ОЛБ”, наблюдаемых в УНЦРМ [B9, B39, B42]. Кроме того, восстановление значений показателей крови до минимальных нормальных уровней в основном произошло в течение первых двух месяцев после облучения. Средние уровни гранулоцитов, тромбоцитов и лимфоцитов в периферической крови находились в пределах нормального диапазона, хотя у некоторых пациентов наблюдались транзиторные цитопенические состояния. Любая зависимость гематологических

показателей от степени тяжести ОЛБ или дозы по прошествии двухлетнего периода после аварии является весьма неопределенной. Частота цитопении у лиц, перенесших ОЛБ, выше, чем среди лиц с неподтвержденной ОЛБ (см. рисунок D-I). Частота цитопении в обеих группах снижалась со временем, прошедшим после облучения [B9, B39, B42], и к 2006 году была, по существу, одинаковой.

D13. УНЦРМ представил данные о частоте отклонений различных показателей периферической крови, но, не зная точного периода времени, критериев и величин, используемых для определения термина “отклонение”, трудно интерпретировать эти данные. Например, сообщалось об отклонениях в количестве эритроцитов у 67–91 процента пациентов с ОЛБ [B39], хотя московская группа сообщает об аномальных значениях числа эритроцитов у менее чем 17 процентов пациентов с ОЛБ за весь 20-летний период наблюдений после аварии.

2. Лучевые катаракты

D14. В данных и выводах врачей и научных сотрудников из ФМБЦ и УНЦРМ, касающихся лучевых катаракт, существуют серьезные различия. Согласно выводам ФМБЦ, пороговый уровень для развития лучевой катаракты вследствие бета- и гамма-облучения составляет 3,2 Гр, тогда как исследователи УНЦРМ отмечают, что случаи лучевой катаракты наблюдались при поглощенных дозах менее 1 Гр. Возможно, это объясняется разницей в критериях, используемых в УНЦРМ, и критериях, использовавшихся в предыдущих исследованиях [B39, K1, N2, N5].

D15. У лиц, перенесших ОЛБ и наблюдаемых в ФМБЦ, распространенность глазных заболеваний составляла 15 процентов по сравнению с 6 процентами в группе с неподтвержденной ОЛБ вследствие увеличения частоты случаев лучевых катаракт. У большинства пациентов, которые перенесли ОЛБ средней или тяжелой степени, появления лучевой катаракты были отмечены в первые несколько лет после аварии. Латентный период развития катаракты более короткий у лиц, получивших более высокие дозы облучения [G9, N5, N6]. Взаимосвязь оцененной дозы с продолжительностью латентного периода показана на рисунке D-II. Связь между продолжительностью латентного периода и возрастом пациента на момент облучения отсутствует. Катарактогенный эффект, по-видимому, исчерпал себя по прошествии 200 месяцев после облучения, и после 1999 года новые случаи не диагностировались. Оцененные дозы бета- и гамма-излучения в разных участках глаза и большое различие в распределении доз по глубине показаны в таблице D4 [G9] и работе [G10].

D16. Сообщалось о многочисленных случаях радиационной (задней подкапсулярной) катаракты у группы лиц, наблюдавшихся в УНЦРМ, а именно о 23 случаях среди лиц, перенесших ОЛБ, и 3 случаях среди лиц с неподтвержденной ОЛБ [B44, G9]. Значительная зависимость распространенности катаракты в отдаленные сроки от степени тяжести ОЛБ и, соответственно, от дозы показана на рисунке D-III [B9, B44]. Большинство случаев развития лучевой катаракты было отмечено в течение первых пяти лет после облучения, и зависимость продолжительности латентного периода от дозы или степени тяжести ОЛБ была статистически незначимой. Наряду с этим, в отличие от полученных в ФМБЦ результа-

тов, в монографии Bebeshko et al. [B39] из УНЦРМ не учитывается доля бета-излучения в дозе на хрусталик глаза, что может привести к занижению общей (бета- + гамма-излучение) дозы и, следовательно, порога дозы.

3. Нарушение функции щитовидной железы

D17. Гипотиреоз у лиц, перенесших ОЛБ, представляет интерес из-за высоких уровней радиоактивных изотопов йода в окружающей среде во время аварии. Согласно результатам радиометрии щитовидной железы, проведенной у 81 пациента в течение острого периода ОЛБ, только у одного пациента поглощенная доза на щитовидную железу достигла 11 Гр.

D18. Среди пациентов, наблюдаемых в ФМБЦ, в ходе лабораторных исследований признаки нарушения функции щитовидной железы отмечались у пациентов главным образом в течение первых пяти лет, когда у четырех из 83 пациентов (4,8 процента) был выявлен гипотиреоз и у одного пациента (1,2 процента) – гипертиреоз. В период 2001–2007 годов только один из десяти пациентов страдал гипотиреозом. Число случаев узлового зоба увеличилось по сравнению с одним случаем в течение первых пяти лет после аварии, и сегодня это заболевание встречается у четырех из десяти пациентов [G9].

D19. Научные сотрудники из УНЦРМ сообщили, что в 1986 году гипотиреозом страдали 15 пациентов с ОЛБ, у 12 из которых функция щитовидной железы нормализовалась в 1987 году. В последующие годы наблюдалось три случая гипотиреоза средней степени тяжести [B39].

4. Локальные лучевые поражения кожи

D20. Основные последствия для здоровья, наблюдавшиеся среди лиц, перенесших ОЛБ, связаны с локальными лучевыми поражениями (ожоги кожи и лучевые катаракты), для лечения которых зачастую требовалось хирургическое вмешательство, иногда неоднократное [N5]. В отличие от ОЛБ локальные лучевые травмы зависят от дозы, полученной в результате бета- и в меньшей степени гамма-облучения. Характер и степень тяжести поражений кожи на более поздней стадии зависят от тяжести поражений, полученных в острый период. На стадии поздних осложнений у пациентов, которые получили локальные лучевые поражения I степени, наблюдалась атрофия кожи разной степени, которая варьировалась от незначительной сглаженности кожной поверхности до более выраженных изменений. Спустя более продолжительные периоды времени незначительные атрофические изменения кожи исчезли почти полностью. В случаях локальных лучевых поражений II степени наблюдались выраженная атрофия кожи – гипо- и гиперпигментация участков кожи, гиперкератоз и телеангиэктазия, образование рубцов, лучевой фиброз и поздние лучевые язвы [G9].

D21. В случаях локальных лучевых поражений III и IV степени наблюдались фиброзное рубцевание участков кожи, контрактуры, незаживающие первичные лучевые язвы и постоянно рецидивирующие поздние лучевые язвы. С введением в 1990-х годах аутопластики кожи с использованием методов микрохирургии появилась возможность значительно сократить число проблем, связанных с лечением рецидиви-

рующих лучевых язв, – по крайней мере это относится к пяти пациентам, страдающим от последствий локальных лучевых поражений, полученных на Чернобыльской АЭС, которые находились под наблюдением в ФМБЦ. Не сообщалось о проведении повторных операций в связи с рецидивом поздних лучевых язв кожи на том же месте [G9].

D22. Вплоть до 2005 года под наблюдением находились 38 пациентов (5 человек в ФМБЦ и 33 в УНЦРМ), страдающих от последствий локальных лучевых поражений. В их число входили 18 человек с поражениями кожи II и III степени тяжести. У трех пациентов произведена ампутация, соответственно, голени, пальца и сегмента пальца [G9]. В отдаленные сроки телеангиэктазия наблюдалась у 20 пациентов, а повторные изъязвления кожи и фиброз кожи – у шести пациентов. У остальных пациентов были умеренно выражены локальные атрофические изменения кожи и гиперкератоз. Отмечалась значительная зависимость частоты и тяжести отдаленных последствий от степени локального поражения кожи в остром периоде.

D23. Семь пациентов из десяти, наблюдавшиеся в последние годы в клинике ФМБЦ, имели локальные лучевые поражения кожи, т. е. лучевой фиброз, рецидивирующие язвы и контрактуру. У лиц, перенесших ОЛБ и наблюдавшихся в ФМБЦ, распространенность дерматологических заболеваний вследствие локального лучевого поражения в 1986 году составляла 7 процентов. Данные представлены на рисунке D-IV.

D24. Отдаленные последствия локальных лучевых поражений кожи исследовались в УНЦРМ у 39 пациентов из обеих групп (лица, пережившие ОЛБ, и лица с неподтвержденной ОЛБ). У 15 пациентов (39 процентов) из 39 не было выявлено никаких изменений на участках кожи, где раньше был лучевой ожог. У остальных пациентов наблюдались локальная атрофия кожи, гипер- и гипопигментация кожи, шелушение и телеангиэктазия. Отмечена значительная зависимость частоты и тяжести отдаленных последствий от степени тяжести ОЛБ и степени локального поражения кожи в остром периоде [B39]. Данные представлены на рисунке D-V.

5. Нейропсихологические расстройства

D25. В исследованиях УНЦРМ большое внимание уделялось группе лиц, у которых в течение первых десяти лет отмечалась высокая частота (до 100 процентов) заболеваний нервной системы (включая функциональные нарушения, такие как вегето-сосудистая дистония). Критерии, использованные для постановки этих диагнозов, не всегда были четкими и ясными, и нередко диагнозы основывались на субъективном суждении. УНЦРМ также сообщил, что в течение второго десятилетия после аварии отмечался значительный вклад органических заболеваний (церебральный атеросклероз и т. п.). Зависимость частоты заболеваний от степени тяжести ОЛБ и, соответственно, от дозы отсутствует. Это указывает на иную этиологию заболеваний, чем радиационная [B9, B39, B42].

D26. Большинство находившихся под наблюдением пациентов с ОЛБ были официально признаны инвалидами с ограниченной трудоспособностью. Немногие случаи возвращения к работе не коррелировали с тяжестью перенесенной ОЛБ или локального лучевого поражения; эти случаи возвраще-

ния в основном объяснялись их личной мотивацией и компетентностью врачей [G9].

6. Онкологическая заболеваемость и смертность

D27. По данным Galstyan et al. [G9], распространенность раковых заболеваний составляла 4,6 процента, включая 4 случая солидного рака среди лиц с подтвержденной ОЛБ (рак почки, рак толстой кишки и 2 случая рака щитовидной железы), средний возраст которых на момент постановки диагноза составлял 45 лет, а латентный период – около 11,5 года. Наряду с этим были также выявлены 3 случая миелодиспластического синдрома, 1 случай острой миело-монобластической лейкемии и 1 случай хронического миелолейкоза. Средний возраст пациентов при постановке диагноза составлял 53 года при латентном периоде 11,8 года. У 10 пациентов, наблюдавшихся в последние годы в ФМБЦ, не было выявлено злокачественных новообразований щитовидной железы, хотя у 2 пациентов, перенесших ОЛБ III–IV степени, были выявлены множественные базалиомы.

D28. Из 13 случаев солидного рака, диагностированного у пациентов, наблюдавшихся в УНЦРМ, 4 случая были диагностированы у лиц, перенесших ОЛБ, и 9 случаев – у лиц с неподтвержденной ОЛБ (используемых в качестве контрольной группы) (таблица D5) [B44]. В обеих группах средний латентный период после облучения составлял 14 лет. Статистически значимой зависимости частоты заболеваний или степени ее тяжести от степени тяжести ОЛБ или, соответственно, от дозы не наблюдалось. Действительно, общая заболеваемость солидным раком выше в группе пациентов с неподтвержденной ОЛБ (9 из 96), которые получили более низкие дозы по сравнению с заболеваемостью пациентов с ОЛБ (4 из 72).

D29. За 20 лет (1987–2006 годы) умерли от различных причин 19 человек, перенесших ОЛБ, и 14 человек с неподтвержденной ОЛБ [B10, B39, B41, B42, B44, G9, U3]. Среди лиц, перенесших ОЛБ, основной причиной смерти (4 случая из 19) были злокачественные заболевания кроветворной системы со средним латентным периодом 9 лет [G9].

7. Неонкологическая заболеваемость и смертность

D30. Анализ данных о неонкологических заболеваниях среди лиц, перенесших ОЛБ, осложняется из-за того, что сообщается либо число пациентов, страдающих данной категорией заболеваний, либо число новых диагнозов, поставленных для данной категории заболеваний. Не имея данных о конкретных диагнозах, трудно делать обоснованные выводы, касающиеся потенциальных последствий облучения. Например, категория респираторных заболеваний включает заболевания, имеющие инфекционную и неопластическую этиологию, а также заболевания, вызванные курением.

D31. Увеличение возраста популяции с течением времени также является важным фактором, влияющим на рост заболеваемости и смертности. Случаи заболеваемости и смертности в долгосрочной перспективе среди лиц, перенесших ОЛБ, анализировались ФМБЦ и УНЦРМ. В период наблюдения за 1986–2006 годы средний возраст пациентов увеличился с 35,5 до 54 лет, что само по себе подразумевает

увеличение частоты возникновения ряда соматических болезней, не связанных с радиационным облучением.

D32. Что касается других областей медицинского наблюдения лиц, перенесших ОЛБ, то, по-видимому, имеются существенные различия между данными о распространенности заболеваний, представленными ФМБЦ и УНЦРМ. Обе группы, однако, в большинстве случаев не могут увязать распространенность неонкологических заболеваний со степенью тяжести ОЛБ.

D33. Число пациентов с заболеваниями четырех выбранных систем организма, которые наблюдались в клинике ФМБЦ, представлено в таблице D-6. Сообщается, что общее состояние здоровья лиц, перенесших ОЛБ, аналогично состоянию здоровья представителей мужского пола соответствующего возраста, проживающих в Российской Федерации. Важным исключением является увеличение числа пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями с 53 процентов в 1986–1990 годах до 100 процентов в 2001–2007 годах; этот рост коррелирует с увеличением возраста. Увеличение частоты выявленных заболеваний во многом связано с их целенаправленной диагностикой в клинике ФМБЦ. Было проведено сравнение заболеваемости лиц, перенесших ОЛБ, и другой группы лиц с неподтвержденной ОЛБ, которые наблюдались в клинике ФМБЦ в течение 15 лет после чернобыльской аварии; был сделан вывод о сходной общей распространенности болезней в двух групп и распространенности составляющих болезней, за исключением дерматологических и глазных заболеваний [G9].

D34. Согласно сообщениям, прогрессирует со временем и приблизилась к 90 процентам в 2006 году процентная доля наблюдаемых в УНЦРМ перенесших ОЛБ пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями, в частности гипертонической болезнью и ишемической болезнью сердца. Сообщается также о высокой распространенности желудочно-кишечных заболеваний; она возросла с 80 процентов в 1991 году до почти 100 процентов в 2006 году. Распространенность заболеваний гепатобилиарной системы аналогична распространенности заболеваний желудочно-кишечного тракта [B9, B39, B42]. Зависимость частоты заболеваний от степени тяжести ОЛБ или, соответственно, от дозы отсутствует, что указывает на значимость иных факторов риска помимо радиации.

D35. У наблюдаемых в УНЦРМ в конце 2006 года лиц, перенесших ОЛБ, по прошествии более 20 лет после облучения [B42] выявлена высокая распространенность различных групп заболеваний. Тем не менее не было обнаружено сколько-нибудь существенной разницы между лицами, перенесшими ОЛБ, и лицами с неподтвержденной ОЛБ (контрольная группа) в отношении как распространенности болезней, так и структуры заболеваемости (например, см. рисунок D-VI). Значительно выросла со временем распространенность респираторных и эндокринных заболеваний, наблюдаемых у пациентов в УНЦРМ, а именно с 10–30 процентов в 1991 году до 70–80 процентов в 2006 году и с 5–15 процентов в 1991 году до 60–70 процентов в 2006 году, соответственно.

D36. Позднее было отмечено увеличение числа случаев сердечно-сосудистых заболеваний, которое коррелировало с увеличением возраста пациентов. В течение второго и третьего пятилетних периодов частота этих заболеваний была

ниже среди лиц, перенесших ОЛБ, но возросла в четвертом пятилетнем периоде. Характерным для большинства фактических клинических проявлений болезни было нетяжелое компенсированное течение, несмотря на значительные изменения в значениях биологических параметров, исследуемых на лабораторном уровне. Зависимость частоты заболеваний от степени тяжести ОЛБ и, соответственно, от дозы не подтверждается статистически [B39]. Использование группы лиц с неподтвержденной ОЛБ в качестве внутренней контрольной группы является методологическим недостатком исследований УНЦРМ.

D37. К началу 2007 года (более чем 20 лет после аварии) от различных причин умерли 19 человек, перенесших ОЛБ (ОЛБ-I: 6 человек; ОЛБ-II: 8; ОЛБ-III: 5) и 14 человек с неподтвержденной ОЛБ [B10, B39, B41, B42, B44, G8, U3]. Средний возраст на момент смерти, его среднеквадратическая ошибка и возрастной диапазон составляют $45,5 \pm 4,3$ (26–53) года для лиц с ОЛБ-I; $61,9 \pm 4,9$ (45–81) года для лиц с ОЛБ-II; $62,2 \pm 7,7$ (41–87) года для лиц с ОЛБ-III и $57,0 \pm 3,3$ (32–73) года для лиц с неподтвержденной ОЛБ (ОЛБ-0). Причины смерти лиц, перенесших ОЛБ, приведены в таблице D7. Среди причин смерти были неонкологические заболевания внутренних органов (7 случаев, включая 2 случая смерти от туберкулеза легких и 2 – от цирроза печени), внезапная сердечная смерть (6 случаев), онкологические и гемато-онкологические заболевания (5 случаев) и травма (1 случай).

D38. Число случаев смерти от различных соматических заболеваний в течение 20 лет после аварии наряду со степенью тяжести перенесенной ОЛБ показано в таблице D8. Случаи смерти от травм и в результате несчастных случаев исключены из рассмотрения. В частности, смертность от соматических заболеваний в группе лиц перенесших ОЛБ-III, существенно выше, чем у лиц с ОЛБ-0 и ОЛБ-I; вместе с тем коэффициент смертности не стандартизирован по возрасту, число пациентов мало, и основную роль играли 4 случая смерти от болезней крови.

II. ПРОГРАММЫ РЕГИСТРАЦИИ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ

A. Резюме доклада НКДАР ООН за 2000 год

D41. После чернобыльской аварии повсюду в Советском Союзе были введены обязательная регистрация и непрерывное наблюдение за состоянием здоровья участников ликвидации последствий аварии и жителей наиболее загрязненных территорий, включая их детей. До конца 1991 года во Всесоюзный медико-дозиметрический регистр была внесена информация о 659 292 лицах. После распада Советского Союза и образования независимых государств эта работа продолжалась в рамках национальных чернобыльских регистров, но велись они независимо друг от друга. Изменения в национальных критериях регистрации, законах о компенсациях, методах реконструкции дозы и механизмах последующего наблюдения значительно ограничивают сопоставимость данных из этих различных национальных источников. Более подробные регистры групп населения, подвергшихся облучению, существуют в Российской Федерации (регистр профессиональных работников, регистр ликвидаторов-военно-

C. Резюме

D39. Наблюдение за больными, перенесшими ОЛБ, свидетельствует о том, что: первоначальное угнетение кроветворения у многих пациентов существенно уменьшилось; сохраняются серьезные осложнения после локальных поражений кожи; был отмечен рост числа гематологических злокачественных заболеваний; а рост числа негематологических заболеваний, вероятно, в значительной степени объясняется старением населения и действием других факторов, не связанных с радиацией. Однако малое число случаев заболевания и смерти, отсутствие формального эпидемиологического анализа и последствия потери пациентов из-под наблюдения делают проблематичным заключение об уровнях заболеваемости и смертности. Хотя рост числа случаев развития катаракты подтвержден документально, не прекращаются споры о пороговой дозе их возникновения и критериев, используемых для постановки диагноза, а также для определения их клинической значимости и прогрессирования со временем.

D40. Необходимо продолжать наблюдение за больными с диагнозом ОЛБ, в особенности потому, что с момента аварии прошло более двадцати лет, и теперь могут проявляться отдаленные канцерогенные последствия. Было бы весьма полезно, если бы группы, наблюдающие за этими пациентами, использовали одинаковые методику и критерии для диагностики и точно разъясняли их в своих публикациях. Особое внимание должно уделяться гематологическим пролиферативным заболеваниям, новообразованиям эндокринной системы и разным видам рака кожи. Контрольная группа может включать ликвидаторов, получивших в 1986 году дозы ниже порогов для детерминированных эффектов [N6]. Для анализа этих данных следует использовать формальные эпидемиологические методы. Кроме того, данные о лицах, перенесших ОЛБ в результате чернобыльской аварии, следует анализировать с учетом последствий ОЛБ в других аварийных ситуациях [N5, O2].

служащих и группы пилотов и экипажей вертолетов). Качество и полнота этих регистров остаются, однако, в значительной степени неизвестными.

D42. Число людей, внесенных в национальные чернобыльские регистры, продолжало увеличиваться даже в последние годы, в связи с чем встает вопрос о полноте и точности регистрации. Информация о смертности и заболеваемости раком собиралась из многих различных источников и кодировалась без учета международных рекомендаций. Результаты недавних когортных исследований свидетельствуют о невозможности успешного сопоставления данных о влиянии чернобыльской аварии на состояние здоровья с данными о состоянии здоровья, полученными из официальных статистических источников.

D43. Систематическое связывание данных чернобыльского регистра с существующими регистрами смертности и/или заболеваемости раком и последующее сравнение данных о

состоянии здоровья в группах людей, подвергшихся облучению, с соответствующими справочными данными государственной статистики могут быть потенциально ценным инструментом эпидемиологических исследований. Возможно, что в последующие годы внутренние сравнения, например с использованием для сопоставления группы с низкими дозами, дадут информацию о рисках, связанных с ионизирующим излучением. Однако полная информация (например, о предшествующем облучении ионизирующей радиацией на рабочем месте) будет, вероятно всего, доступна лишь для небольших подгрупп.

D44. Регистры состояния здоровья являются важным источником информации при оценке последствий чернобыльской аварии. Их основное преимущество состоит в том, что информация собиралась систематически до и после аварии, а критерии отбора данных были одинаковы во всех странах бывшего Советского Союза. Однако большинство этих регистров, касающихся как смертности и заболеваемости раком, так и особых заболеваний, по-прежнему ведутся вручную, что серьезно ограничивает их применение для целей эпидемиологического исследования. Чернобыльская авария заставила международное сообщество предпринять значительные усилия для компьютеризации регистров заболеваемости раком и особых заболеваний и усовершенствования методов регистрации для приведения их в соответствие с международными стандартами. Однако системам регистрации смертности до настоящего времени уделялось мало внимания. Информация о качестве и полноте этих систем остается скудной.

D45. Обязательная регистрация случаев рака была введена в бывшем Советском Союзе в 1953 году. Эта система основана на пассивной передаче информации обо всех вновь диагностированных случаях рака в областной раковый регистр по месту жительства больного. С начала 1990-х годов предпринимались усилия по компьютеризации существующих систем и постепенному улучшению их качества, с тем чтобы они удовлетворяли международным стандартам. Беларусь охвачена сетью компьютеризированных раковых регистров с 1991 года. В Украине компьютеризация проходила успешно, и полный охват населения ожидается в ближайшем будущем. В Российской Федерации усилия по развитию компьютеризированной системы регистрации случаев рака начали предпринимать лишь в конце 1990-х годов и сосредоточили их на загрязненных и контрольных территориях.

D46. Специальные популяционные регистры гематологических злокачественных заболеваний и рака щитовидной железы были созданы после чернобыльской аварии вследствие того, что подробные данные по этим видам онкологических заболеваний в общих регистрах либо имеют неустановленное качество, либо отсутствуют. Этими же причинами объясняется создание регистра раковых заболеваний детей. В настоящее время производится оценка качества этих регистров. Существуют иные регистры наследственных заболеваний и пороков развития, однако их качество и полнота до настоящего времени не получили независимой оценки.

D47. Вскоре после чернобыльской аварии усилия были направлены главным образом на создание адекватных систем регистрации для наблюдения в будущем за группами населения, наиболее пострадавшими от выпадения радионуклидов. Позднее благодаря международной помощи была модернизи-

рована существующая инфраструктура регистрации заболеваний. Однако информация о качестве и полноте всех этих регистров остается крайне скудной. Польза большого объема собранных данных станет более ясной в последующие десятилетия по мере изучения отдаленных последствий аварии. В частности, большую важность будет иметь сочетание данных о состоянии здоровья с дозиметрическими данными.

В. Новые данные

1. Регистрация и мониторинг подвергшихся облучению групп населения

а) Чернобыльские регистры

D48. После распада бывшего Советского Союза в Беларуси, Российской Федерации и Украине стали применяться разные методы регистрации. В результате во многих случаях стали несопоставимыми данные по четырем основным группам зарегистрированных лиц, а именно по аварийным работникам и ликвидаторам, эвакуированным из зоны отчуждения, жителям загрязненных территорий и детям, родившимся у родителей из вышеперечисленных трех групп. Например, в Российском государственном медико-дозиметрическом регистре (РГМДР) регистрируются только дети, родившиеся у аварийных работников и ликвидаторов. В таблице D9 представлены последние данные почти о пяти миллионах лиц, внесенных в регистры в этих трех странах.

D49. Поскольку регистрация связана с получением социальных и экономических льгот, высказываются опасения, что во всех трех странах в регистры могло быть внесено большое число несоответствующих лиц. Эти опасения подтверждаются сведениями о непрерывном росте числа зарегистрированных лиц даже в последние годы.

D50. Систематическое медицинское наблюдение за состоящими на учете лицами ведется в разных странах по-разному. Эти различия обусловлены недавними изменениями в системах здравоохранения трех стран. В Российской Федерации, в частности, произошли большие изменения, связанные с переходом на частное медицинское страхование. Хотя в Украине сохраняется система всеобщего охвата медицинским обслуживанием, на предоставление медицинской помощи, в частности для оказания специализированной помощи лицам, подвергшимся облучению в результате чернобыльской аварии, выделяются весьма ограниченные средства. Из трех стран Беларусь – единственная, где сохраняется программа систематического обследования четырех основных категорий состоящих на учете лиц. В таблице D10 кратко изложена информация о медицинском наблюдении лиц, зарегистрированных в чернобыльских регистрах, за 2001–2005 годы.

D51. Отсутствует достоверная и точная информация о состоянии регистров в трех странах. Только одна страна (Российская Федерация) имеет общедоступный веб-сайт своего регистра [N1], где содержатся нормативные документы и общая информация о принципах работы регистра и его структуре, числе состоящих на учете лиц, их классификации и регионах проживания, а также основные результаты радиационных эпидемиологических исследований. В последние годы появилось много статей с анализом подгрупп лиц, включенных в регистр. В них содержится более подробная

информация о растущем числе лиц, зарегистрированных в РГМДР [I41, M11].

D52. С 1998 года ведется работа по созданию Единого регистра лиц, подвергшихся облучению в результате чернобыльской аварии, в Беларуси и Российской Федерации, чтобы способствовать проведению совместных эпидемиологических исследований и тем самым повысить их статистическую значимость. В 1998–2006 годах в Единый регистр была занесена информация о 256 тыс. аварийных работников и ликвидаторов и о 43 тыс. их детей. Регистр также содержит информацию о 23 тыс. случаев рака щитовидной железы, более 5 тыс. случаев лейкоза и 18 тыс. случаев рака молочной железы, диагностированных у жителей районов обеих стран, наиболее пострадавших от радиоактивного загрязнения [J8].

b) Специализированные регистры

D53. В последние годы началось осуществление ряда инициатив по регистрации и наблюдению за специальными группами лиц, подвергшихся облучению в результате аварии. В Беларуси недавно был создан регистр лиц, пострадавших от радиации в результате ядерных аварий помимо чернобыльской. В него в первую очередь были включены бывшие работники атомной промышленности, которые получили высокие дозы радиации на различных гражданских и военных ядерных объектах бывшего Советского Союза. Число включенных в регистр лиц, однако, относительно невелико (772 человека), и неясно, какие информация и дозиметрические данные имеются по этим лицам [S14].

D54. В РГМДР по-прежнему регистрируют ряд специальных групп, в том числе нынешних и бывших профессиональных работников атомной промышленности, ликвидаторов-военнослужащих и пилотов вертолетов, которые участвовали в ликвидации последствий чернобыльской аварии, и за ними осуществляется последующее наблюдение. Кроме того, регистр поддерживает связи с недавно созданными пятью регистрами в министерствах обороны, внутренних дел, атомной энергетики и промышленности, федеральной службы безопасности и транспорта, где большинство ликвидаторов работали или до сих пор работают и получают медицинскую помощь [N1]. В настоящее время отсутствует какая-либо информация о том, насколько эти регистры являются полными и полезными для проведения эпидемиологических исследований. Тем не менее некоторые из них (например, Российский специализированный регистр работников атомной промышленности, который поддерживается в Федеральном медицинском биофизическом центре (бывшем Институте биофизики), Москва) используются для эпидемиологических исследований [I47].

2. Регистрация смертности и заболеваемости населения в целом

a) Смертность

D55. За последние годы в регистрации данных демографической статистики трех стран произошел ряд существенных изменений. В частности, Российская Федерация, а вслед за ней Украина после 2000 года приступили к внедрению всеобщей системы идентификационных номеров налогоплательщиков для всех граждан и легальных резидентов. Эта мера

может сыграть важную роль в отслеживании информации по лицам, внесенным в чернобыльские регистры, через местные отделы записи актов гражданского состояния. Однако до создания автоматизированных национальных индексов смертности проведение эпидемиологических исследований с использованием пассивных методов наблюдений будет весьма обременительным и непрактичным занятием.

b) Заболеваемость раком

D56. Белорусский онкологический регистр существует в компьютеризированном виде с 1973 года. Однако документация на отдельных пациентов имеется только с 1985 года. Этот регистр регулярно предоставляет данные для Регистра по заболеваемости раком на пяти континентах (тома VI, VII и VIII) и считается регистром очень высокого качества [P13, P14, P15]. Очень высокий процент случаев рака получил патологическое и морфологическое подтверждение. Например, хотя в 1980–1986 годах только 71 процент всех случаев рака щитовидной железы получил патоморфологическое подтверждение, в 1997–2001 годах 95 процентов случаев были подтверждены патоморфологическими исследованиями. Очень низкие показатели (менее 0,4 процента) регистрации лишь на основании свидетельств о смерти также служат доказательством высокого качества регистра [M15]. Высокое качество данных подразумевает, что они часто используются для сопоставления заболеваемости раком с аналогичными данными до и после аварии не только в Беларуси, но также по территориально близким группам населения Украины и Российской Федерации. Однако рекомендуется проявлять осторожность при интерпретации временных тенденций, поскольку с 1990 года наблюдаются улучшения полноты и достоверности регистрации данных о заболеваемости раком, что отчасти связано с ранним выявлением и лечением различных раковых заболеваний в наиболее загрязненных районах [C11].

D57. Украинский онкологический регистр (УОР) был создан в 1996 году, и сегодня он фактически охватывает 93 процента населения (до 97 процентов в шести областях, прилегающих к месту чернобыльской аварии). УОР – это популяционный регистр, содержащий информацию обо всех злокачественных заболеваниях, диагностированных в Украине. Данные собираются из баз данных больниц, обобщаются на областном уровне, после чего переводятся в электронный формат и передаются в центральное управление. Истории болезни отдельных пациентов включают информацию о демографических характеристиках пациента, первичной локализации опухоли, морфологии опухоли и стадии ее развития на момент постановки диагноза, о методах лечения и наблюдении за жизненным статусом, а также о месте и дате постановки диагноза и констатации смерти. Большинство диагнозов были поставлены в специализированных онкологических клиниках, поэтому они, как правило, высококачественные. В 2004 году, например, 98,5 и 50,6 процента всех случаев лейкоза были подтверждены морфологическими и гистологическими исследованиями, соответственно. Только 2,0 процента всех случаев были внесены в регистр только на основании свидетельств о смерти, что опять же говорит о высоком качестве данных. Большинство случаев рака вносится в регистр в том же году, когда они были диагностированы, при этом полный охват достигается через два года после постановки диагноза. Ежегодно издаются подробные отчеты, и данные УОР доступны для науч-

ных работников.

D58. Национальный онкологический регистр в Российской Федерации находится лишь на стадии формирования после его создания в 1999 году. Хотя некоторые регионы, например Санкт-Петербург, могут считаться полностью охваченными популяционными регистрами, в других областях охват является случайным, и данные зачастую представлены не в компьютеризированном виде [S27]. Достоверность информации из других региональных онкологических регистров колеблется в широких пределах. Таким образом, в настоящее время эти данные не могут использоваться для эпидемиологических исследований.

с) Специализированные онкологические регистры

D59. В 1990-х годах было создано несколько специализированных онкологических регистров, которые используются и в настоящее время. Во всех трех странах есть регистры лейкозов, но, в то время как в Беларуси этот регистр является популяционным, в Российской Федерации и Украине такие регистры являются приложениями к чернобыльским регистрам и служат для сбора информации только о лицах, подвергшихся облучению в результате аварии. Оценка качества этих регистров не проводилась несмотря на тот факт, что содержащиеся в них данные используются в ряде публикаций. В частности, регистр лейкозов, который существует при РГМДР, послужил основой для проведения ряда количественных исследований лейкозов среди ликвидаторов [I11, I12, I13, K11]. Эти многочисленные исследования, проводимые на основе данных одного и того же регистра, до некоторой степени свидетельствуют о повышенном риске развития лейкозов вследствие облучения в результате участия в ликвидации последствий аварии. Полезность регистра для эпидемиологических исследований значительно возросла благодаря введению процедур идентификации и верификации случаев заболевания. Таким образом, в одном из исследований 92 процента случаев лейкозов, как сообщалось, были подтверждены морфологическими исследованиями [I12].

D60. Другие специализированные регистры включают Белорусский регистр по хирургии щитовидной железы и Детский онкологический субрегистр Беларуси, Регистр неонкологических заболеваний в рамках РГМДР, Клинический и морфологический регистр рака щитовидной железы Украины. В настоящее время их компьютеризация, стандартизация и в конечном счете их пригодность для проведения эпидемиологических исследований требуют дополнительного внимания.

III. ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ И НАСЕЛЕНИЯ В ЦЕЛОМ

D63. Помимо экономических, социальных и психологических последствий чернобыльской аварии большую обеспокоенность вызывают потенциальные отдаленные последствия воздействия радиации на здоровье человека. Комитет принял решение в настоящем документе уделить внимание заболеваемости раком щитовидной железы, лейкозом, всеми видами солидного рака в целом, смертности в результате сер-

C. Резюме

D61. Чернобыльские регистры имеют хорошую возможность стать надежными источниками информации о долгосрочных последствиях для здоровья облучения после чернобыльской аварии. Стандартизация процедур в трех регистрах могла бы значительно увеличить их полезность для эпидемиологических исследований.

D62. Следующие специальные вопросы, которые важны для успешного использования чернобыльских регистров для эпидемиологических исследований, требуют дополнительного внимания:

В отношении чернобыльских регистров:

- уточнение критериев, которым должны удовлетворять лица для внесения в регистр;
- сбор и проверка ретроспективных данных;
- оценка доз, полученных после аварии;
- стандартизация проводимой в странах государственной политики, касающейся медицинского наблюдения за лицами, пострадавшими в результате чернобыльской аварии;
- передача информации от местных медицинских учреждений, которые ведут медицинское наблюдение за лицами, подвергшимися облучению, в адрес центральных управлений чернобыльских регистров; и
- компьютеризация данных и их доступность для научных работников.

В отношении специализированных регистров:

- обмен информацией с чернобыльскими регистрами; и
- использование собранных данных.

В отношении онкологических регистров:

- полномасштабный охват на национальном уровне;
- подтверждение диагнозов; и
- включение данных наблюдений в истории болезни отдельных пациентов.

В отношении индексов смертности:

- полномасштабный охват на национальном уровне;
- компьютеризация данных и их доступность для научных работников; и
- использование международной классификации болезней применительно ко всем свидетельствам о смерти.

дечно-сосудистых заболеваний, а также развитию катаракты и аутоиммунного тиреоидита. Данное решение было основано на потенциальной зависимости этих болезней от облучения и недостаточном, по мнению Комитета, объеме новых данных в других областях, необходимых для возможного изменения выводов, содержащихся в докладе НКДАР ООН за 2000 год.

А. Резюме из доклада НКДАР ООН за 2000 год

D64. Большинство завершенных до подготовки доклада НКДАР ООН за 2000 год исследований, касающихся последствий чернобыльской аварии для здоровья человека, относятся к разряду географических корреляций (часто называемых “экологическими исследованиями”). В рамках такого рода исследований средняя доза на группу населения сравнивается со средней тяжестью последствий для здоровья или заболеваемости раком в периоды времени до и после аварии или в течение различных периодов после аварии. Поскольку индивидуальная дозиметрия не проводилась, не могут быть сделаны надежные количественные оценки. Реконструкция действительных индивидуальных доз должна стать ключевым элементом будущих исследований, касающихся последствий чернобыльской аварии для здоровья человека.

D65. Число случаев рака щитовидной железы в группах лиц, подвергшихся облучению в детском возрасте, особенно на загрязненных территориях в Беларуси, Российской Федерации и Украине, значительно возросло в течение последних 15 лет. Высокая заболеваемость и короткий латентный период не встречались в других подвергшихся облучению группах населения, и поэтому, как представляется, почти наверняка существуют факторы помимо ионизирующей радиации, которые влияют на риск возникновения этого заболевания. К числу этих факторов были, в частности, отнесены возраст в момент облучения, поглощение йода и метаболический статус, эндемический зоб, эффект скрининга, короткоживущие изотопы, отличные от ^{131}I , полученные более высокие дозы, нежели рассчитанные, и, возможно, генетическая предрасположенность. В период с 1990 по 1998 год было сообщено о примерно 1800 случаях рака щитовидной железы у детей и подростков в Беларуси, Российской Федерации и Украине. Представляется, что возраст в момент облучения является важным модификатором риска. Влияние скрининга оценить было сложно. Примерно от 40 до 70 процентов случаев были выявлены с помощью программ скрининга, и неясно, какое количество этих случаев возникновения рака иначе осталось бы необнаруженным. Учитывая, что в момент постановки диагноза опухоли находились в поздней стадии, большинство этих опухолей было бы, вероятно, со временем обнаружено.

D66. Результаты ряда исследований показали, что в большинстве зафиксированных после аварии случаев детской карциномы щитовидной железы наблюдаются внутрихромосомные перестройки, определяемые как RET/PTC1 и RET/PTC3. Вместе с тем существует ряд вопросов, которые пока остаются без ответа, например вопрос о влиянии возраста в момент облучения и прошедшего после облучения времени на интенсивность хромосомных перестроек.

D67. Эпидемиологическими исследованиями других групп населения, подвергшихся облучению, было выявлено, что излучение, несомненно, увеличивает риск развития лейкоза. Однако на момент подготовки доклада НКДАР ООН за 2000 год не было получено подтверждения связанного с ионизирующей радиацией увеличения риска лейкоза у детей, ликвидаторов или населения бывшего Советского Союза или других территорий с измеримыми уровнями радиоактивности в результате чернобыльской аварии.

D68. Сообщалось об увеличении числа неспецифических вредных последствий для здоровья, отличных от онкологиче-

ских заболеваний, у ликвидаторов и жителей загрязненных территорий. Интерпретировать эти данные без ссылки на известную величину базовой или фоновой заболеваемости трудно. Поскольку сведения о здоровье, получаемые из официальных статистических источников, таких как статистика смертности или заболеваемости раком, часто регистрировались пассивно и не всегда были полными, представляется некорректным их сравнение с данными, полученными для групп населения, подвергшихся облучению, состояние здоровья которых находится под более интенсивным и активным наблюдением, чем в отношении населения в целом.

D69. Авторы некоторых исследований интерпретировали временную потерю трудоспособности у людей, проживающих на загрязненных территориях, как увеличение общей заболеваемости. Сообщалось о высоких уровнях хронических заболеваний пищеварительной, нервной, скелетной, мышечной и кровеносной систем. Однако большинство авторов исследований связывают эти наблюдения с изменениями возрастного состава, ухудшением качества жизни и принятыми после аварии защитными мерами, такими как переселение населения.

D70. Об иммунологических последствиях облучения в результате чернобыльской аварии опубликовано множество статей. Тем не менее, поскольку неясно, были ли приняты во внимание возможные мешающие факторы (включая, в частности, инфекции и режим питания), толкование этих данных затруднительно.

В. Методологические вопросы

1. Типы исследований

D71. Обычно для оценки отдаленных последствий аварии для здоровья используются два основных подхода. Первый подход состоит в использовании моделей риска, разработанных на основе исследований других подвергшихся облучению групп населения, например переживших атомные бомбардировки в Хиросиме и Нагасаки, и дальнейшем применении этих моделей к оценкам доз, полученных соответствующими группами населения после аварии, для того чтобы оценить, таким образом, последующие риски для этих групп населения. Второй подход заключается в проведении эмпирических исследований среди групп населения, подвергшихся облучению вследствие аварии, с тем чтобы непосредственно оценить последствия для здоровья этих групп.

D72. Эти подходы имеют различные достоинства и недостатки. Первый подход, часто называемый прогнозированием риска, обычно опирается на изучение групп населения, получивших более высокие дозы излучения, чем в группах населения после чернобыльской аварии. Но основным недостатком данного подхода является то, что он предполагает экстраполяцию риска, наблюдаемого у одной подвергшейся облучению группы населения с ее собственными конкретными характеристиками, на другую, в которой уровень дозы, мощность дозы и комбинация видов радиации были иными. У групп населения, подвергшихся облучению после аварии, в индуцировании случаев рака щитовидной железы основную роль сыграло внутреннее облучение радиоактивным йодом; этот конкретный вид облучения невозможно изучить путем последующего наблюдения лиц, переживших атомную бомбардировку.

D73. С другой стороны, эмпирический подход зачастую имеет более низкую статистическую мощность из-за относительно низких доз и требует проведения долгосрочных последующих наблюдений; однако его преимущество заключается в том, что обследуются непосредственно затронутые группы населения. В настоящем документе основное внимание уделено эмпирическим исследованиям, т. е. проводимым непосредственно в отношении соответствующих групп населения и предполагающим анализ преимущественно тех групп населения, для которых имеются точные оценки индивидуальной дозы. Эти исследования, называемые “аналитическими”, дают самые непосредственные и убедительные данные об отдаленных последствиях для здоровья человека [11]. Составной частью этих аналитических исследований является использование таких дисциплин, как дозиметрия, клиническая медицина, патологическая анатомия, которые способствуют корректному толкованию полученных результатов.

D74. Когда эмпирические эпидемиологические исследования показывают повышение уровня заболеваемости или смертности по причине потенциально радиогенного заболевания, еще остается необходимость рассмотрения вопроса о возможности отнесения этих последствий на счет действия радиации. Эпидемиологические исследования по своему характеру являются экспериментальными, и поэтому выявленные связи могут не отражать причинную обусловленность. Следует подробно рассмотреть факторы, которые способны внести путаницу в результаты и исказить их, такие как промышленное загрязнение, экологические характеристики (например, уровни стабильного йода в почве), образ жизни (например, курение, употребление алкоголя или репродуктивная история), совершенствование средств диагностики, повышенное внимание органов здравоохранения к затронутым группам населения (например, проведение специальных скринингов). В определенных сочетаниях мешающие факторы могут “симулировать” наличие радиационного эффекта или маскировать реальные последствия, и, если должным образом не учитывать эту возможность, толкование результатов исследований может быть неверным.

D75. В настоящее время опубликованные исследования можно разделить на так называемые исследования на основе географической корреляции (“экологические”) и аналитические исследования. В большинстве экологических исследований уровень воздействия реконструируется на уровне группы, тогда как в аналитических исследованиях такой показатель измеряется на индивидуальном уровне. Тем не менее следует отметить, что были опубликованы экологические исследования, основанные на большом количестве индивидуальных измерений дозы, и исследования методом “случай–контроль”, основанные на радиоэкологических моделях. Примеры исследований на основе географической корреляции включают исследования, в рамках которых заболеваемость раком рассматривается как функция времени и/или географии, например показатели заболеваемости до и после чернобыльской аварии или показатели заболеваемости в областях с различными уровнями загрязнения радионуклидами. Недостатком исследований на основе географической корреляции является то, что потенциально мешающие или искажающие реальную картину факторы, такие как скрининг (см. ниже), могут изучаться только на уровне группы и, таким образом, могут быть подвержены остающемуся смешиванию на индивидуальном уровне. Эта проблема, связанная с возможностью отнесения результатов исследований на

основе географической корреляции на действие радиации, уже рассматривалась в резюме из доклада НКДАР ООН за 2000 год [U3] и приложении А “Эпидемиологические исследования радиации и рака” к докладу НКДАР ООН за 2006 год [U1].

D76. Аналитические эпидемиологические исследования подразделяются на исследования методом “случай–контроль” и когортные исследования. В этом случае мешающие факторы (при наличии таковых) могут быть скорректированы на индивидуальном уровне. Искажающие картину факторы, такие как ошибки при выборе объектов исследования или источников получения информации, впрочем, являются внутренними недостатками при разработке программы исследований и не могут быть должным образом учтены в анализе. В целом считается, что аналитические исследования дают более достоверные данные об отнесении эффектов на счет радиации, чем исследования на основе географической корреляции.

D77. В дополнение к фундаментальной проблеме разработки программы научного исследования к числу критериев, которые следует использовать для определения его потенциального качества, относятся:

- наличие точных и надежных оценок дозы как на индивидуальном, так и на групповом уровне (дополнение В);
- четко определенная исследуемая популяция;
- подтверждение, желательно независимое, диагнозов заболеваний;
- установление полной достоверности случаев заболевания с помощью механизма определения достоверности, независимого от дозы. Важную роль играет наличие высококачественных и независимых регистров онкологических заболеваний на региональном или национальном уровне;
- информирование о проведении соответствующих анализов “доза–эффект” с учетом соответствующих временных факторов, таких как минимальный латентный период, возраст при облучении и достигнутый возраст;
- четкое информирование об источниках данных и применяемых методах.

D78. Исследования различаются по степени соответствия этим критериям и могут давать полезную информацию даже при несоблюдении одного или более из указанных критериев. Тем не менее каждое исследование нужно рассматривать с точки зрения его соответствия этим критериям для получения надлежащей оценки.

D79. Имеются сообщения о ряде эпидемиологических исследований, проведенных в трех республиках. В основном в этих исследованиях рассматривались одна или более из следующих групп: эвакуированные лица; жители загрязненных территорий; и ликвидаторы. Последняя группа представляет особый интерес, поскольку в среднем дозы, полученные лицами из этой группы, значительно превышали дозы, полученные лицами из двух других групп. Однако следует с осторожностью подходить к рассмотрению исследований групп ликвидаторов, основанных лишь на “официально” установленных дозах и/или диагнозах, включенных в государственные регистры. Как известно, “официальные” данные о дозах являются неполными, а в отдельных случаях, воз-

можно, искажают реальную картину (дополнение В). Диагнозы, не имеющие независимого подтверждения, также могут быть ненадлежащего качества. Кроме того, ликвидаторы последствий аварии проходили более интенсивные и частые медицинские обследования, что могло позволить обнаруживать заболевания на более ранних этапах и ставить более точный диагноз, чем у населения в целом в рамках обычной системы здравоохранения. При сравнении данных по группам ликвидаторов последствий аварии с различными уровнями облучения, но получающими одинаковый объем медицинских услуг, можно избежать этих проблем.

D80. Таким образом, в целом при оценке заболеваемости онкологическими и неонкологическими заболеваниями групп населения, подвергшихся облучению в результате аварии, рассматриваются два основных вида исследований:

i. *Исследования на основе географической корреляции* (часто называемые “экологическими исследованиями”) описывают заболеваемость в зависимости от достигнутого возраста или места жительства при постановке диагноза. Особое внимание следует обратить на описание места облучения, поскольку предполагается, что либо эта информация (место жительства в апреле 1986 года) систематически учитывалась в регистре онкологических заболеваний, либо место постановки диагноза совпадает с местом проживания. Последнее положение надлежит проверить, так как оно предполагает отсутствие миграции в данной группе населения. Это может быть верно, если последующее наблюдение ограничено по времени, но по прошествии более 15 лет такая интерпретация может быть неверна, если люди, подвергшиеся облучению в одной области, в настоящее время проживают в городе в составе другой области. В некоторых исследованиях на основе географической корреляции средние дозы были реконструированы на уровне группы (деревни, поселка или области). Количественные оценки мер риска, полученные на основе этих данных, следует рассматривать с осторожностью, поскольку при таком типе реконструкции дозы нельзя было учесть неопределенность, связанную с индивидуальным поведением. В рамках анализа риска рака щитовидной железы после чернобыльской аварии были проведены исследования на основе географической корреляции по специальной методике, позволяющей получить более надежные оценки уровня риска. Случаи заболевания соотносились с местом жительства на момент облучения (а не на момент постановки диагноза), и их анализ был основан на оценках дозы в населенных пунктах, где было проведено более 10 индивидуальных измерений дозы.

ii. *В аналитических исследованиях* (проводимых двумя методами: “случай–контроль” или когортных) используется индивидуальная информация, и они считаются более надежными и достоверными для изучения соотношения “доза–эффект”. Любое соотношение “доза–эффект” толкуется по меньшей мере двумя способами:

- если риск конкретного заболевания, например рака щитовидной железы, возрастает при повышении облучения и при этом учитываются другие мешающие факторы, то облучение следует рассматривать в качестве фактора развития этого вида рака;

- возможность обоснованным образом сопоставить риск для данной популяции с риском, наблюдаемым в других ситуациях, связанных с облучением человека, даже при более высоких уровнях облучения (больные, подвергавшиеся лучевой терапии) или другом его характере (лица, пережившие атомные бомбардировки).

2. Вопросы диагностики и скрининга

D81. При проведении эпидемиологических исследований необходимо обеспечить, чтобы частота обнаружения заболевания и качество диагноза не зависели от степени облучения. В отношении исследований, связанных с чернобыльской аварией, особый интерес представляют три аспекта.

D82. Первый аспект заключается в совершенствовании методов диагностики. Применительно к чернобыльской аварии, в частности, это означает использование ультрасонографии для выявления рака щитовидной железы. Со времени аварии количество ультразвуковых обследований с целью выявления рака щитовидной железы существенно возросло. Например, на рисунке D-VII показано число ультразвуковых исследований на 10^5 жителей, которые проводились в трех наиболее загрязненных областях Украины в 1990, 1995 и 2002 годах [L5]. В течение того же периода в этих областях сообщалось об увеличении заболеваемости раком щитовидной железы [L5]. Таким образом, отмеченный рост заболеваемости раком щитовидной железы можно частично объяснить улучшением методики выявления онкологических заболеваний благодаря более интенсивному применению ультрасонографии.

D83. Второй аспект заключается в том, что эти программы скрининга позволили обнаруживать опухоли меньшего размера, которые могли бы находиться в латентном состоянии на протяжении многих лет. Скрининг представляет собой обследование лиц, у которых нет клинических проявлений заболевания, с целью постановки диагноза на более ранней стадии естественного развития болезни в надежде улучшить прогноз и лечение этого заболевания. В трех республиках в период после чернобыльской аварии был внедрен ряд официальных программ скрининга, при этом целью опять-таки была диагностика рака щитовидной железы, в особенности у лиц, подвергшихся облучению в детском возрасте, например проект Sasakawa [S8, S9]. Этот вид наблюдения за здоровьем населения неизбежно повышает видимую заболеваемость раком щитовидной железы, что происходит либо в результате обнаружения опухолей на более ранних стадиях их возникновения, чем это могло быть при других обстоятельствах, либо, возможно, за счет выявления опухолей щитовидной железы, которые иначе никогда не стали бы предметом клинического наблюдения (так называемый “скрытый рак”). Тем не менее благодаря такого рода официальным программам скрининга было выявлено лишь 174 случая заболевания раком щитовидной железы из общего их числа около 4 тыс. случаев [J7].

D84. Наряду с этими официальными программами ультразвукового скрининга ответной реакцией на чернобыльскую аварию стало и проведение неофициального скрининга, т. е. обследование лиц, обратившихся за медицинской помощью по другим причинам, с тем чтобы узнать, есть ли у них признаки заболевания щитовидной железы. Таким образом, если

врач знал, что то или иное лицо подверглось облучению в результате чернобыльской аварии и считал заболевание щитовидной железы возможным следствием этого, он или она с большей вероятностью был склонен более тщательно обследовать больного, чем сделал бы в ином случае. Это называется “пристрастность ввиду диагностического подозрения” и является третьим аспектом, вызывающим особую обеспокоенность. Исходное количество случаев заболевания раком щитовидной железы увеличилось благодаря более интенсивному обследованию щитовидной железы в рамках проведения регулярных медицинских осмотров и усовершенствованной системе отчетности в период с 1988 по 1999 год в 3 раза в Беларуси и в наиболее загрязненных регионах Украины и в 2 раза в менее загрязненных регионах Украины [J7].

D85. Вышеизложенные аспекты тесно связаны между собой. Таким образом, если сопоставляется заболеваемость у жителей районов с высоким уровнем радиоактивного загрязнения с заболеваемостью у жителей районов с низким уровнем загрязнения, то частично наблюдаемое превышение, вероятно, относится на счет лучших методов выявления заболевания. Аналогичным образом, нерационально использовать результаты сравнительного анализа заболеваемости раком щитовидной железы до и после чернобыльской аварии, в рамках которого не учитывается использование ультразвукографических исследований, для оценки риска рака щитовидной железы вследствие облучения.

D86. И скрининг, и пристрастность ввиду диагностического подозрения могут присутствовать в ежегодных обследованиях ликвидаторов на предмет выявления различных заболеваний и у кого вследствие этого более высока вероятность обнаружения опухолей небольшого размера. Сравнение уровней заболеваемости между группами ликвидаторов только тогда информативно, если использовались одни и те же методы выявления заболевания на протяжении всего периода наблюдения и вне зависимости от индивидуального уровня облучения.

D87. Из всего этого следует, что при интерпретации результатов исследований групп населения, подвергшихся облучению после чернобыльской аварии, необходимо учитывать изменение со временем методов обнаружения и вероятность различий в частоте скрининга среди групп населения, подвергшихся высоким и низким дозам радиоактивного облучения.

С. Эмпирические исследования конкретных заболеваний

1. Рак щитовидной железы у групп населения, подвергшихся облучению в детском и подростковом возрасте

а) Введение

D88. Щитовидная железа у детей является одним из органов, наиболее чувствительных к канцерогенному действию ионизирующего излучения [U1]. Проводился ряд исследований детей, щитовидная железа которых подвергались воздействию внешнего излучения с низкой ЛПЭ (т. е. гамма- и рентгеновских лучей). К ним относятся исследования детей, облученных в результате атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки или при облучении в терапевтических целях, например при лечении стригущего лишая (*tinea capitis*) или

увеличенных миндалин и аденоидов. Комбинированный анализ данных, полученных при проведении этих исследований, был представлен Ron et al. [R1]; он показал, что для детей в возрасте менее 15 лет на момент облучения избыточный относительный риск (ERR) равен 7,7 (95%-ный д. и.: 2,1; 28,7) Гр⁻¹, а избыточный абсолютный риск (EAR) составляет 4,4 на 10⁴ чел.-лет Гр⁻¹ (95%-ный д. и.: 1,9; 10,1). Этот анализ также показал, что последствия облучения в значительной мере зависят от возраста, в котором оно произошло, причем наибольшие риски наблюдаются в наименьшем возрасте. Анализом также было выявлено влияние времени, прошедшего с момента облучения, – спустя 30 лет после первого облучения риск существенно уменьшается. Оценки ERR также зависели от пола ($p = 0,07$), однако выводы отдельных исследований не согласовались.

D89. Значительно меньшее количество исследований было проведено непосредственно у детей, облученных ¹³¹I и другими изотопами йода с меньшим периодом полураспада. Проводились исследования детей, получавших ¹³¹I в диагностических целях [D12, H1, H2]; детей, облученных в результате выпадения осадков после испытания оружия на Маршалловых островах [C4, H3, R2]; детей, облученных выпадениями после испытаний атомных бомб в штате Невада, США [K2]; и детей, облученных ¹³¹I вследствие выбросов ядерного центра в Хэнфорде, штат Вашингтон, США [C2, D9].

D90. Эти исследования воздействия изотопов йода, за исключением исследований, проведенных на Маршалловых островах, не дали убедительных доказательств сколько-нибудь заметного увеличения риска заболевания раком щитовидной железы. Однако у всех этих исследований имеются существенные ограничения в плане статистической мощности, и их результаты в целом согласуются как с нулевым эффектом, так и с повышенным риском. Анализ, проведенный Shore [S1], показал, что любой эффект облучения ¹³¹I будет меньше, чем прогнозируемый на основании рисков, наблюдаемых при действии внешнего излучения с низкой ЛПЭ, главным образом вследствие различий в мощности дозы. Тем не менее некоторые данные экспериментов на животных соответствуют эффекту, одинаковому при облучении ¹³¹I и при действии внешнего излучения с низкой ЛПЭ. Было также показано, что коэффициенты радиационного риска, наблюдаемые после чернобыльской аварии, согласуются с наблюдениями, сделанными в исследованиях, где использовали внешнее облучение [J2]. Таким образом, эта важная проблема остается неразрешенной.

D91. Выбросы ¹³¹I и других изотопов йода с меньшими периодами полураспада вследствие чернобыльской аварии привели к тому, что щитовидная железа жителей многих районов Беларуси, Российской Федерации и Украины подверглась воздействию значительных доз радиации в основном в результате потребления загрязненного молока. В связи с этим потенциальный риск рака щитовидной железы, особенно среди детей, облученных в очень раннем возрасте, является одним из основных поводов для беспокойства, и его необходимо подробно обсудить в рамках всех имеющихся подходов (регистров, исследований методом географической корреляции и аналитических исследований). Наблюдаемый значительный избыток случаев рака щитовидной железы у детей, несомненно, является основной проблемой здравоохранения, связанной с облучением, имевшим место в трех республиках.

D92. Ввиду более высокой чувствительности к облучению детей и подростков по сравнению с лицами, облученными во взрослом возрасте, первая группа рассмотрена в настоящем разделе, а вторая – в следующем разделе.

b) Оценка имеющихся данных

D93. По имеющимся сообщениям, со времени чернобыльской аварии наблюдался заметный рост заболеваемости раком щитовидной железы у детей и подростков, проживающих в Беларуси, Брянской и Орловской областях Российской Федерации и в Украине. Рост заболеваемости начался примерно через четыре-пять лет после аварии и продолжается до настоящего времени. В связи с тем что фоновые показатели заболеваемости раком щитовидной железы у детей младшего возраста очень низки (несколько случаев на миллион детей в год) [D10, I38], многие случаи, диагностированные у детей в возрасте до 15 лет, были отнесены на счет выбросов в результате чернобыльской аварии. Что касается рака щитовидной железы, диагностированного у лиц в возрасте 20–30 лет, то фоновый показатель заболеваемости составляет примерно несколько десятков случаев на 1 млн. человек в год, и поэтому любое видимое превышение должно интерпретироваться с большей осторожностью; в значительной степени наблюдаемое превышение может объясняться использованием методов скрининга (позволяя также предположить, что скрининг отчасти сыграл роль в сообщениях о повышенной заболеваемости среди детей в возрасте до 15 лет). Для этих возрастных групп необходимо проводить аналитические исследования, в которых используются оценки индивидуальных доз.

D94. В таблице D11 приведены показатели заболеваемости раком щитовидной железы у детей и подростков обоих полов и разных возрастов по всей Беларуси, по четырем наиболее пострадавшим областям Российской Федерации и по всей Украине. Эти данные за период между 1982 и 2005 годами поступили из соответствующих национальных онкологических регистров и специальных Чернобыльских регистров по соответствующим районам, см. раздел II настоящего дополнения. По имеющимся сообщениям, в возрастной группе до 14 лет (на 1986 год) было выявлено 5127 случаев заболевания раком щитовидной железы (6848 случаев в возрастной группе до 18 лет на 1986 год) в период между 1991 и 2005 годами [I8]. Нет данных о снижении избыточной заболеваемости вплоть до 2005 года. Рост заболеваемости отчасти связан с нормальной возрастной моделью частоты заболевания, но в основном рост заболеваемости объясняется облучением.

D95. По имеющимся оценкам, 60 процентов случаев заболевания раком щитовидной железы в Беларуси и 30 процентов случаев в Украине, диагностированных у лиц, облученных вследствие аварии в детском или подростковом возрасте, могут быть связаны с воздействием радиации [J7]. В остальном рост заболеваемости раком щитовидной железы связан с совершенствованием системы наблюдения за пациентами, улучшением методов диагностики и другими факторами, не связанными с радиацией. Оценку рисков, которая относительно независима от таких факторов, следует осуществлять на основании исследований, включающих проведение одинакового скрининга всех членов групп.

D96. Показатели заболеваемости раком щитовидной железы для обоих полов и разных возрастов на момент постановки диагноза у жителей трех стран приведены в таблицах

D12–D14. Эти данные были также получены из национальных онкологических регистров и специальных Чернобыльских регистров по соответствующим районам. Для более полного понимания информации были построены рисунки D-VIII–D-XIII с использованием показателей заболеваемости по разным возрастам на момент постановки диагноза отдельно для мужчин и женщин. Во всех возрастных группах показатели заболеваемости выше для женщин, чем для мужчин.

D97. Годовые показатели заболеваемости раком щитовидной железы за период с 1990 по 2005 год представлены на рисунках D-VIII–D-XIII. Данные, относящиеся к периоду до 1990 года, исключены из таблиц, поскольку данные по ряду возрастных групп в некоторых регистрах представляются неполными. Действительно, в Беларуси и Украине за период до 1990 года средний показатель заболеваемости в возрастной группе 20–29 лет на момент постановки диагноза был очень низким по сравнению с предполагаемыми средними показателями (взятыми из европейских и/или российских источников). Основная причина этого заключается в том, что, поскольку рак щитовидной железы – заболевание редкое (в особенности для групп молодых возрастов), в период до 1986 года и сразу после него рак щитовидной железы был включен в общую группу “другие солидные опухоли”; он не выделялся в данных национальных регистров. После чернобыльской аварии были приложены значительные усилия для сбора этой информации, и с 1990–1992 годов ее можно считать в основном полной. Кроме того, если для проявления избыточного риска, связанного с чернобыльской аварией, необходимо как минимум 4–5 лет, то период до 1990 года в любом случае является менее информативным.

D98. В каждой стране показатели заболеваемости в трех диагностируемых возрастных группах характеризуется схожими тенденциями, но с некоторыми расхождениями. Эти расхождения отражают колебания в годовой заболеваемости между странами, так как рак щитовидной железы – заболевание редкое, и число его случаев невелико. Вместе с тем они также могут отражать использование разных методов выявления заболевания (см. выше рассмотрение вопроса об эффекте скрининга в разделе III.B.2), способные повлиять на результаты для различных возрастных групп в разные периоды времени; и они также отражают тот факт, что средние дозы на щитовидную железу у населения трех стран были неодинаковы. На национальном уровне белорусское население подверглось более высоким уровням облучения, чем население Украины. Что касается российских данных, то, поскольку они ограничены областями, где зарегистрированы высокие уровни выпадения радиоактивного йода, они также показывают довольно высокую заболеваемость, но при больших годовых колебаниях.

D99. Наблюдаемые результаты могут рассматриваться как отражающие разные временные тенденции для различных возрастных групп и могут указывать на то, что рост заболеваемости в ближайшем будущем продолжится в группах, подвергшихся облучению в молодом возрасте. В тех группах, которые подверглись облучению в раннем детском возрасте, риск проявился в начале 1990-х годов в возрастной группе 0–9 лет. Затем они перешли в возрастную группу 10–19 лет. В последние годы их риск рака щитовидной железы проявится в возрастной группе 20–29 лет. Разные “волны” роста показателей заболеваемости в каждой возрастной группе с последующим его снижением отражают перемещение людей

из группы, подвергшейся облучению в раннем возрасте, в две другие возрастные группы в течение последних 20 лет. Эти волны наглядно иллюстрируются данными о белорусских женщинах, но их также можно проследить по данным из других стран.

D100. Повышение заболеваемости раком щитовидной железы отмечается в первой половине 1990-х годов у категории лиц обоих полов и в каждой стране, которым на момент постановки диагноза было от 0 до 9 лет, по сравнению с заболеваемостью во второй половине того же десятилетия. Детям из этой группы на момент чернобыльской аварии было меньше 5 лет; с 1996 года все лица, которые подверглись облучению в возрасте до 10 лет, стали представителями возрастной группы 10–19 лет. Эти данные свидетельствуют о том, что риск для детей, родившихся после 1986 года, близок к риску, который наблюдался до аварии, даже с учетом того, что они могли стать объектами более пристального медицинского наблюдения (т. е. возможного эффекта скрининга, проводимого после аварии).

D101. Для категории лиц, которым на момент диагностирования рака щитовидной железы было от 10 до 19 лет, рост показателей заболеваемости наблюдался в каждой стране примерно с 1991–1992 годов и приблизительно до 2000 года. В некоторых странах с 2002 года происходит снижение заболеваемости. Начало роста заболеваемости касается детей, которым на момент аварии было от 5 до 10 лет.

D102. Для категории лиц, которым на момент диагностирования рака щитовидной железы было от 20 до 29 лет, рост показателей заболеваемости наблюдался в каждой стране с 1991 года и сохранялся до 2000–2005 годов. Можно предположить, что показатели фоновой заболеваемости в 1990 году (т. е. при отсутствии воздействия радиации) находился в диапазоне от 10 до 50 случаев на 1 млн. человек (см., например, [J7]); однако для некоторых стран он, по-видимому, был ниже. Для возрастной группы 20–29 лет рост заболеваемости свидетельствует о более эффективном скрининге, а также о том факте, что спустя 15 лет после аварии продолжает возрастать риск для лиц, которые подверглись облучению в возрасте до 10 лет.

D103. После публикации оценки, содержащейся в докладе НКДАР ООН за 2000 год [U3], в научной литературе появились результаты нескольких “экологических” исследований.

D104. В исследовании Shibata et al. [S4], основанном на скрининге школьников Гомельской области Беларуси, сообщается о значимой взаимосвязи между облучением вследствие радиоактивных выпадений и частотой рака щитовидной железы, при этом проводится сравнение лиц, рожденных до и после аварии, с учетом поправки на пол и возраст ($p = 0,006$).

D105. В исследовании Tronko et al. [T2] сообщается в общей сложности о 1876 случаях заболевания раком щитовидной железы, диагностированных в период между 1986 и 2000 годами у жителей Украины, которым было 0–18 лет в момент чернобыльской аварии. Отмечался статистически значимый рост заболеваемости раком щитовидной железы со временем после аварии.

D106. В исследовании, проведенном в Брянской области Российской Федерации, авторы Shakhtarin et al. [S6] особое внимание уделяют взаимосвязи йодной недостаточности и

риска развития радиационно-индуцированного рака щитовидной железы. Была отобрана выборка из 3070 лиц, проживавших в 1996 году в 75 наиболее загрязненных населенных пунктах области, с целью определения среднего выделения йода с мочой и степени йодной недостаточности в этих населенных пунктах. Выборка была в значительной степени смещена в сторону детей и подростков. На основании этих данных, а также 34 гистологически подтвержденных диагнозов рака щитовидной железы в области среди лиц в возрасте 0–18 лет в 1986 году были произведены расчеты избыточного риска с использованием оценок средних доз на разных территориях. Наблюдалась статистически значимая взаимосвязь между избыточным относительным риском и дозой излучения. Значения рисков были в 2 раза выше в районах, где наблюдалась йодная недостаточность, по сравнению с районами с достаточным уровнем потребления йода в пище; по-видимому, это позволяет предположить, что йодная недостаточность может повышать риск рака щитовидной железы вследствие облучения. Вместе с тем необходимо отметить некоторые недостатки данного исследования. Индивидуальные исследования (например, доз излучения и йодной недостаточности) не проводились, а использовались приближения на основе сводных данных (например, среднее выделение йода с мочой на основании усредненных изменений по ограниченной группе лиц). Невозможно было учесть миграцию населения после 1986 года, а ожидаемое число случаев рака щитовидной железы, рассчитанное на основе показателей заболеваемости по России в целом, может быть занижено, если учесть эффект скрининга рака щитовидной железы в этих загрязненных районах.

D107. В рамках другого исследования, осуществленного Ivanov et al., проводилось изучение заболеваемости раком щитовидной железы в период между 1991 и 2001 годами среди жителей Брянской области, которые подверглись облучению в возрасте от 0 до 17 лет [I22]. Дозиметрическая информация оценивалась с использованием данных о месте их жительства и возрасте на момент облучения. В результате анализа был выявлен статистически значимый радиационный риск у тех лиц, которые подверглись облучению в детском возрасте 0–9 лет. Стандартизированное отношение заболеваемости у этой группы в рассмотренный период наблюдений (национальный показатель заболеваемости был принят за референтный) оценено равным 6,7 (95%-ный д. и.: 5,1; 8,6) и 14,6 (95%-ный д. и.: 10,3; 20,2) для девочек и мальчиков, соответственно. Те же ограничения, о которых говорилось выше, применимы и к настоящему исследованию.

D108. Было проведено экологическое исследование заболеваемости раком щитовидной железы после чернобыльской аварии среди всего населения Беларуси. Результаты этого исследования были представлены по отдельности для тех, кто подвергся облучению в детском или в подростковом возрасте (0–18 лет в 1986 году [K10, K22]), и тех, кто подвергся облучению во взрослом возрасте (старше 18 лет в 1986 году [K22]). Источниками информации о заболеваемости раком щитовидной железы были медицинские карты пациентов, проходивших лечение в Национальном научно-практическом центре, и данные Белорусского онкологического регистра. Показатель заболеваемости, отнесенный на счет воздействия радиации, был определен путем вычитания из показателя общей заболеваемости относительно небольшой исходной заболеваемости за период 1986–1990 годов (взятый в качестве минимального латентного периода для индукции рака щитовидной железы) с учетом временного тренда заболеваемости

в течение этого периода. Средние дозы на щитовидную железу у жителей административных районов и погрешности при оценке доз были рассчитаны с использованием радиоэкологической модели [K10, K22, K28] и верифицированы путем сопоставления с имеющимися данными измерений щитовидной железы у жителей ряда населенных пунктов Беларуси. Было установлено, что зависимость между показателем заболеваемости раком щитовидной железы в пяти отобранных по величине дозы группах населения и средней дозой на щитовидную железу в диапазоне 0,1–2,7 Гр имела почти линейный характер. Расчетная величина избыточного абсолютного риска (EAR) в 1990–1998 годах для детей и подростков (таблица D16) была почти в 2 раза меньше соответствующего показателя после внешнего облучения [R1], однако величина избыточного относительного риска (ERR) была в 5 раз больше показателя, полученного в [R1]. EAR для девочек был вдвое больше, чем для мальчиков. Показатели EAR для детей 0–6 лет и детей в возрасте 7–14 лет были близки друг к другу, однако для подростков не было выявлено сколько-нибудь существенной зависимости между дозой и эффектом.

D109. Heidenreich et al. [H4] на основании данных за период 1986–1998 годов из Украинского регистра рака щитовидной железы у пациентов, родившихся после 1968 года, сообщили, что коэффициент избыточного абсолютного риска увеличился со временем после облучения и что он не показал статистически значимой зависимости от возраста на момент облучения до 15 лет. Это было относительно небольшое по своему масштабу исследование, в рамках которого дозы на щитовидную железу усреднялись по крупным районам; впоследствии оно было заменено исследованием, описанным в [J4].

D110. В рамках недавно опубликованного исследования, содержащего результаты проведенного Jacob et al. [J4] формального анализа соотношения “доза–эффект”, была охвачена более значительная по численности группа населения (Беларусь и Украина), однако по составу она частично совпала с группой населения Украины, изучавшейся в [H4]. В этом исследовании основное внимание было уделено более детальным оценкам доз по 1034 населенным пунктам Украины и Беларуси, в которых было проведено более 10 измерений активности ^{131}I в щитовидной железе человека. Дозы на щитовидную железу оценивались у лиц 1968–1985 годов рождения и соотносились с заболеваемостью раком щитовидной железы, удаленным хирургическим путем в период 1990–2001 годов (данные были получены из регистров). Центральная оценка линейного коэффициента зависимости “доза–эффект” составила ERR, равный 18,9 на Гр (95%-ный д. и.: 11,1; 26,7). Было установлено, что ERR меньше для женщин, чем для мужчин, и значительно снижается в зависимости от возраста в момент облучения. В отличие от ERR, EAR увеличивается с течением времени после облучения; это объясняется более быстрым увеличением с возрастом и в течение периода наблюдения фоновой заболеваемости раком щитовидной железы, чем радиационно-индуцированной избыточной заболеваемости. Наилучшая оценка ERR на единицу дозы выше, чем та, что ожидалось по исследованиям воздействия внешнего облучения. Однако разница является незначительной, и эти авторы отмечают, что неопределенность фоновой заболеваемости могла снизить стабильность оценки ERR по сравнению с оценкой EAR на единицу дозы, которая составила 2,66 (96%-ный д. и.: 2,19; 3,13) на 10^4 чел.-лет на Гр. Следует отметить, что данный период наблюдения короче,

чем при проведении совместного исследования групп, подвергнутого воздействию внешней радиации.

D111. Likhtarov et al. [L5] провели сравнение заболеваемости раком щитовидной железы среди детей (в возрасте до 18 лет в 1986 году), проживающих в населенных пунктах трех самых северных областей Украины, где были отмечены наиболее высокие концентрации радиоактивных выпадений, с соответствующими оценками средних доз в этих населенных пунктах. Индивидуальные дозы были оценены на основе непосредственных измерений щитовидной железы примерно у 25 процентов включенного в исследование населения. В отношении лиц, у которых не были проведены непосредственные измерения, проводилась “реконструкция” средних групповых доз. Соответствующие показатели заболеваемости раком щитовидной железы моделировались как функция возраста на момент облучения, пола и области проживания. Учитывалась интенсивность скрининга в конкретной области в течение определенного календарного года, которая имела значимую взаимосвязь с повышением заболеваемости раком щитовидной железы ($p < 0,0001$). Наблюдалась сильная зависимость “доза–эффект”, при этом общий оцененный избыточный относительный риск составил 8 на Гр (95%-ный д. и.: 4,6; 15), а оцененный избыточный абсолютный риск – 1,5 на 10^4 чел.-лет на Гр (95%-ный д. и.: 1,2; 1,9). Оценки риска были скорректированы с учетом пола (у мужчин оцененный риск выше, чем у женщин), возраста в момент облучения (для лиц, облученных в более старшем возрасте, соответствующий радиационный риск ниже) и календарного года (риск растет за последние годы). Оценки ERR и EAR существенно различались у лиц, дозы которых были рассчитаны из прямых измерений, и у лиц с “реконструированными” дозами, причем риск был меньше в первой группе.

D112. На сегодняшний день имеются сообщения лишь о немногих аналитических исследованиях рака щитовидной железы, диагностированного у лиц, которые были облучены в детском или подростковом возрасте. Большинство исследований проводились методом “случай–контроль”, а одно исследование было когортным.

D113. В Беларуси было проведено исследование методом “случай–контроль” 107 случаев рака щитовидной железы, выявленных у детей в период 1987–1992 годов [A1]. Основная задача состояла в оценке взаимосвязи между дозой на щитовидную железу и заболеваемостью раком щитовидной железы. Индивидуальные дозы были оценены на основе данных о выпадении на почву ^{137}Cs и ^{131}I , на базе содержащейся в банке данных 1986 года информации об облучении щитовидной железы, а также на основе данных вопросников и опросов. Хотя результаты формального анализа “доза–эффект” не были представлены (поскольку считалось, что оценки доз недостаточно точны для такого анализа), тем не менее отмечалось монотонное повышение риска в зависимости от оценки групповой дозы, при этом отношение шансов (OR) в группе, получившей наивысшую дозу ($> 1,0$ Гр), против группы, получившей наименьшую дозу ($< 0,3$ Гр), было в целом выше примерно в 5 раз (OR = 5,04; 95%-ный д. и.: 1,5; 16,7).

D114. Имеется сообщение о втором аналитическом исследовании, проведенном Davis et al. [D1] в загрязненных районах Брянской области (Российская Федерация), где были отмечены высокие уровни радиоактивных выпадений. Рассматривались случаи заболевания раком, выявленные до октября

1997 года ($n = 26$) у лиц, которым на момент аварии было 0–19 лет; для каждого случая были отобраны по два контроля, соответствующих по полу, году рождения, району проживания и типу населенного пункта (сельского или городского). Для оценки индивидуальных доз на щитовидную железу по всем случаям и контрольным лицам была использована полумпирическая дозовая модель, причем данные были получены путем опроса матерей участников. На основании подгонки логарифмически-линейной модели к данным отмечалось статистически значимое повышение риска по мере увеличения дозы ($p = 0,009$), причем оцененный ERR составил 1,65 на Гр (95%-ный д. и.: 0,10; 3,20). Однако данное исследование базировалось на анализе небольшого числа случаев.

D115. Более позднее исследование, которое расширило брянское исследование, охватив всю Брянскую область и дополнительный год, когда диагностировался рак щитовидной железы [K17], включало 66 подтвержденных случаев первичного рака щитовидной железы, диагностированного в период между 1986 и 1998 годами у лиц, которым на момент аварии было 0–19 лет. Для каждого случая были отобраны по два контроля. Индивидуальные дозы оценивались так же, как указано выше. Согласно логарифмически-линейной модели, оценка ERR составила 1,54 на Гр (95%-ный д. и.: 0,50; 4,50), возрастая до 3,84 на Гр (95%-ный д. и.: 1,19; 13,9) после корректировки с учетом погрешности при оценке дозы. Различные линейные модели давали крайне широкий диапазон риска, который, по сути, не поддается интерпретации. Представленные здесь оценки ERR должны рассматриваться с осторожностью из-за крайне широкого доверительного интервала, который отчасти объясняется относительно небольшим числом рассматриваемых случаев и особенностями используемой модели.

D116. О результатах популяционного исследования методом “случай–контроль”, проведенного на наиболее загрязненных территориях Беларуси и Российской Федерации, было недавно сообщено Cardis et al. [C8]. Число случаев было значительным: $n = 276$; они представляют все случаи заболевания раком щитовидной железы, диагностированные в период между 1992 и 1998 годами среди лиц, подвергшихся облучению вследствие чернобыльской аварии в возрасте 0–14 лет в Беларуси и в возрасте 0–18 лет в Российской Федерации. Исследуемый период не совпадал с периодом предыдущего исследования методом “случай–контроль” в Беларуси [A1]. В общей сложности было использовано 1300 контрольных лиц. Целью исследования была оценка радиационно-зависимого риска возникновения рака щитовидной железы и возможного взаимодействия с другими факторами, такими как йодный статус, на время, близкое к моменту облучения. Индивидуальные дозы для всех наблюдаемых рассчитывались на основании их местонахождения и особенностей питания во время аварии. Также оценивалось поглощение ими стабильного йода, а йодная недостаточность рассчитывалась на основании данных о среднем содержании йода в почве на определенных территориях начиная с 1986 года. Наблюдалась сильная взаимосвязь между дозой радиации, полученной на щитовидную железу в детском возрасте, и риском рака щитовидной железы ($p < 0,01$). Для дозы в 1 Гр отношение шансов (OR) варьировалось от 5,5 (95%-ный д. и.: 3,1; 9,5) до 8,4 (95%-ный д. и.: 4,1; 17,3) в зависимости от используемой модели риска (таблица D15).

D117. Согласно результатам этого исследования, в йод-дефицитных районах избыточный риск был втрое выше, чем

в других районах. Если вводился йодистый калий, то риск радиационно-зависимого рака был втрое ниже, даже если препарат вводился с задержкой во времени после аварии. Это является важным наблюдением, которое может быть объяснено не только тем, что стабильный йод, принимаемый вскоре после облучения, снижает поглощение радиоактивного йода щитовидной железой, но также и тем, что в долгосрочной перспективе добавление в пищу йода сокращает размер и рост щитовидной железы в йод-дефицитных районах, и можно ожидать, что это будет связано с уменьшением заболеваемости раком.

D118. Когортное исследование, касающееся взаимосвязи между облучением вследствие чернобыльской аварии и повышением риска рака щитовидной железы у лиц, облученных в детском или подростковом возрасте, было запланировано и осуществляется параллельно в Беларуси и Украине [S7]. Результаты последующего наблюдения украинской части группы сообщаются в исследовании Tronko et al. [T3]. В целом группа из приблизительно 32 тыс. лиц в возрасте моложе 18 лет, которые на момент аварии проживали в наиболее сильно загрязненных районах Украины, наблюдалась посредством скринингового обследования, проводившегося раз в два года с использованием ультрасонографии, методов пальпации и анализа крови. Важной особенностью этого исследования является наличие результатов измерений активности ^{131}I в щитовидной железе, произведенных в 1986 году вскоре после аварии, для всех наблюдаемых. Эти измерения активности ^{131}I в щитовидной железе в сочетании с личными данными, полученными на основании вопросников и радиоэкологических моделей, использовались для оценки индивидуальных доз на щитовидную железу для каждого из наблюдаемых в рамках исследования (см. дополнение В). Риск рака щитовидной железы, основанный на результатах первого раунда скрининга в период с 1998 по 2000 год, демонстрирует сильную приблизительно линейную зависимость от оценки индивидуальной дозы на щитовидную железу ($p < 0,01$); избыточный относительный риск был оценен равным 5,25 на Гр (95%-ный д. и.: 1,70; 27,5). Это исследование дает количественные оценки риска, на которые любой эффект скрининга оказывает лишь минимальное мешающее влияние. Однако фактически скринингу в рамках этой программы было подвергнуто всего 44 процента численности группы.

D119. Результаты исследований методом географической корреляции и аналитических исследований, которые позволили получить количественные оценки риска, в обобщенном виде приведены в таблице D16. Примечательно, что исследования методом географической корреляции дают очень схожие между собой значения избыточных абсолютных рисков, т. е. $\text{EAR} \sim 2$ на 10^4 чел.-лет Зв. Эти значения EAR составляют примерно половину соответствующего значения, известного из результатов исследований популяций после внешнего облучения рентгеновскими или гамма-лучами [R1]. Необходимо отметить, что EAR увеличивается с течением времени после облучения [J4], и, следовательно, приводимые в таблице D16 показатели EAR могут продолжать возрастать в будущем, поскольку период времени после облучения, охватываемый недавно опубликованными исследованиями последствий чернобыльской аварии, меньше, чем при исследовании популяций, подвергшихся только внешнему облучению [R1]. Соответственно, эти показатели EAR могут отличаться в случае, если они не основаны на тех же возрастных группах и продолжительности последующих наблюдений.

D120. ERR демонстрирует большой разброс значений как в исследованиях методом “случай–контроль”, так и исследованиях методом географической корреляции. В первом случае этот разброс значений, вероятно, отражает высокую неопределенность дозы, а во втором – влияние фоновой заболеваемости, которая может изменяться в зависимости от качества наблюдения, полноты регистрации, а также от того, в какой степени учитываются любые программы скрининга и миграция населения. Значительное влияние на ERR оказывает возраст, достигнутый соответствующей группой населения, который в разных исследованиях может быть различным. С учетом соответствующих погрешностей значения оцениваемого здесь ERR можно рассматривать как близкие к значениям оценок, полученных из исследований других популяций, подвергшихся внешнему облучению. Исследования, о которых сообщается в работах [С8, Т3], являются наиболее информативными; они имеют большую статистическую мощность и индивидуальный подход к дозиметрии; они дают вполне сопоставимые результаты по ERR.

D121. Вместе с тем роль йодной недостаточности в повышении риска развития рака щитовидной железы, вызванного воздействием радиоактивного йода, а также защитный эффект содержащих стабильный йод пищевых добавок через многие месяцы и годы после облучения должны предостереечь от распространения результатов исследований последствий чернобыльской аварии на другие группы подвергшихся облучению детей, питание которых не характеризуется дефицитом йода.

с) Выводы

D122. В существенном росте заболеваемости раком щитовидной железы среди лиц, подвергшихся облучению в детском и подростковом возрасте в Беларуси, Российской Федерации и Украине, с момента чернобыльской аварии не наблюдается признаков снижения через 20 лет после облучения. Напротив, наблюдается увеличение EAR с течением времени после облучения [J4], что указывает на то, что также может продолжать расти и ежегодное число избыточных случаев заболевания раком. Данные национальных и региональных регистров ясно показывают, что в последующие годы повышение заболеваемости будет наблюдаться среди тех, кто находился в детском и подростковом возрасте в 1986 году. Необходимо продолжить систематическое наблюдение за этими группами населения, с тем чтобы как можно раньше обнаруживать доброкачественные или злокачественные опухоли и затем проводить соответствующее лечение.

D123. Несомненно, важной составляющей этой избыточной заболеваемости является облучение радиоактивным йодом вследствие чернобыльской аварии. Величина соотношения “доза–эффект” остается неопределенной, но результаты недавно опубликованных аналитических исследований показывают достаточную согласованность оценок ERR на 1 Гр. Из результатов исследований методом географической корреляции, обобщенных в таблице D16, следует, что EAR, связанный с облучением щитовидной железы радиоактивным йодом, несколько меньше, чем соответствующие риски, связанные с внешним облучением, – наполовину или на две трети, но тем не менее представляет существенную угрозу для здоровья облученных лиц [R1]. Эта разница отчасти может объясняться более коротким периодом последующих наблюдений при проведении чернобыльских исследований.

D124. С момента публикации доклада НКДАР ООН за 2000 год [U3] появились также данные о том, что йодная недостаточность может значительно повысить риск заболевания раком щитовидной железы вследствие выброса радиоактивного йода во время аварии. На сегодняшний день это наблюдение подтверждено в двух исследованиях [С8, S6]; в обоих исследованиях высказывается предположение о том, что йодная недостаточность, испытываемая в какой-либо период времени между облучением и постановкой диагноза, может удвоить радиационный риск. Тем не менее индивидуальные измерения йодного статуса на время аварии отсутствуют, а расчеты, сделанные на основе концентрации йода в почве или моче через 10 лет после аварии и используемые в этих исследованиях, следует рассматривать с осторожностью. В еще одном аналитическом исследовании [Т3] было отмечено, что ни выведение из организма стабильного йода в период 1998–2000 годов, ни наличие диффузного зоба не были связаны с риском радиационно-индуцированного рака щитовидной железы. Будущее изучение этого воздействия сыграет важную роль с точки зрения экстраполяции результатов опыта, полученного в связи с чернобыльской аварией, на другие сценарии, при которых йодная недостаточность может иметь иной характер, чем в области данного исследования.

D125. При интерпретации результатов, касающихся риска рака щитовидной железы, необходимо принимать во внимание достоинства и недостатки эпидемиологических исследований. Основной проблемой при проведении исследований методом географической корреляции является погрешность оценки средней дозы. Некоторые исследования позволили получить более надежные оценки средней дозы за счет изучения тех населенных пунктов, в которых в 1986 году было проведено большое число индивидуальных измерений активности ¹³¹I в щитовидной железе человека. Аналитические исследования дают более информативные количественные оценки риска рака щитовидной железы, связанного с облучением, но и они не свободны от систематических ошибок. Например, достоверность информации, полученной на основании ретроспективных опросов об особенностях питания на момент аварии, а также некоторые оценки условий, при которых в прошлом произошло облучение, зависят от того, насколько хороша память у опрашиваемых пациентов и контрольных лиц. Исследования, не основанные на измерении дозы в щитовидной железе, особенно страдают от очень больших погрешностей при оценке индивидуальных доз в щитовидной железе. Тем не менее эти исследования в значительной мере способствовали улучшению понимания того, какую роль могут играть йодный статус и радиоактивный йод в развитии рака щитовидной железы.

D126. Оценки роста заболеваемости раком щитовидной железы не могут считаться достоверными, если во внимание не принимаются все более широкое применение ультрасонографии и внедрение программ массового скрининга после аварии. Тем не менее сходство оценок риска, полученных в результате когортного исследования, где эффект скрининга был фактически сведен на нет, и других исследований, говорит о том, что потенциально мешающие последствия скрининга не могли серьезно повлиять на эти оценки относительного риска.

D127. Еще одной проблемой при экстраполяции является смесь радиоактивных изотопов йода, выброшенных при аварии. Из изотопов, облучающих щитовидную железу, наибо-

лее важным был ^{131}I (дающий более 90 процентов дозы облучения щитовидной железы). Предполагалось, что более короткоживущие радиоизотопы йода более эффективно индуцируют рак щитовидной железы, чем ^{131}I . Однако на сегодняшний день не появилось эмпирических данных, позволяющих выяснить, существуют ли различия в канцерогенном действии разных изотопов. Вклад других радиоактивных изотопов йода помимо ^{131}I в дозу в щитовидной железе относительно невелик, и поэтому их воздействие не может быть оценено при проведении эпидемиологических исследований групп населения, подвергшихся облучению в результате аварии.

2. Рак щитовидной железы у лиц, подвергшихся облучению во взрослом возрасте

a) Введение

D128. В связи с проблемой заболеваемости раком щитовидной железы тех, кто подвергся облучению во взрослом возрасте, интерес представляют две группы лиц. К первой группе относится население (эвакуированные и жители загрязненных территорий), для которого основным источником полученной дозы на щитовидную железу был радиоактивный йод вскоре после аварии. Однако следует отметить, что эта группа также подверглась долговременному облучению (как внешнему, так и внутреннему) долгоживущими радионуклидами, такими как ^{137}Cs (см. дополнение В).

D129. Вторая представляющая интерес группа – это участники ликвидации последствий аварии. В отличие от тех, кто работал в первые дни после аварии и для кого, возможно, имели большое значение дозы внутреннего облучения радиоактивным йодом, участники ликвидации последствий аварии в основном получили дозы на щитовидную железу от внешнего облучения, которые в среднем были значительно выше, чем дозы внешнего облучения, полученные населением в целом.

D130. Далее эти две группы лиц рассматриваются отдельно.

b) Оценка имеющихся данных о риске для населения

D131. В Российской Федерации были представлены данные по стандартизированным отношениям заболеваемости (SIR) для жителей Брянской области, наиболее сильно загрязненной радионуклидами [I3]. Эти данные представлены в таблице D17. В Брянской области наблюдается статистически значимая избыточная заболеваемость раком щитовидной железы по сравнению с заболеваемостью среди всего населения в период 1991–1998 годов.

D132. Эти данные были подвергнуты анализу “доза–эффект”. Полученные оценки избыточного относительного риска (ERR) составляют $-1,3$ на Гр^{-1} (95%-ный д. и.: $-2,8; 0,1$) для женщин и $-0,4$ на Гр^{-1} (95%-ный д. и.: $-3,5; 2,7$) для мужчин. Эти негативные соотношения между дозой и эффектом, т. е. чем выше доза, тем меньше риск заболевания раком щитовидной железы, позволяют предположить, что повышение SIR для рака щитовидной железы у взрослых может являться отражением эффекта скорее скрининга, чем облучения [I3]. В опубликованной позднее статье авторы расши-

рили охват обследованного населения, включив в него жителей Брянской, Тульской, Калужской и Орловской областей [I23].

D133. В результате экологического исследования заболеваемости раком щитовидной железы после аварии среди всего населения Беларуси были получены данные, свидетельствующие о значительном росте заболеваемости в 1992–2000 годах среди взрослого населения (тех, кому в 1986 году было больше 18 лет), однако показатели SIR представлены не были [K22]. Показатели заболеваемости, вызванной воздействием радиации, были выделены из общей заболеваемости путем вычитания предполагаемой исходной заболеваемости за период 1986–1990 годов (минимальный латентный период) с учетом временного тренда заболеваемости в течение этого периода. Подробные данные о том, каким образом это было сделано, не приводятся. Такой методологический подход может привести к получению недостоверных результатов, поскольку внимание органов здравоохранения к выявлению рака щитовидной железы в загрязненных районах могло дать существенную погрешность из-за скрининга, особенно в 1990-х годах после обнаружения избыточной заболеваемости детей раком щитовидной железы в связи с облучением [K32]. Средние дозы на щитовидную железу для жителей административных районов и погрешности при оценке доз были рассчитаны с использованием радиоэкологической модели [K10, K22, K28] и верифицированы путем сопоставления с имеющимися данными измерений щитовидной железы жителей. Зависимость между избыточной заболеваемостью раком щитовидной железы в трех выбранных дозовых группах и средней дозой на щитовидную железу в диапазоне $0,01$ – $0,3$ Гр, очевидно, имеет нелинейный характер, хотя значения погрешностей не приводятся. Рассчитанная для этого периода величина EAR составила $1,7$ ($0,3$ – $3,2$) на 10^4 чел.-лет на Гр, а величина ERR – $3,8$ ($0,1$ – $9,8$) на Гр^{-1} . О влиянии скрининга и корректировке с учетом возрастных групп не упоминается; эти факторы могут оказать влияние на полученные результаты.

D134. В Украине общая заболеваемость раком щитовидной железы в постчернобыльский период возросла примерно вдвое [S18]. В последнее время – до 2004 года – анализ проводился в отношении трех основных групп лиц. Наиболее высокая заболеваемость наблюдалась среди участников ликвидации последствий аварии. Среди населения наиболее значительный рост заболеваемости произошел среди эвакуированных лиц (таблица D17). Среди жителей загрязненных территорий также наблюдался статистически значимый рост заболеваемости.

D135. Вместе с тем по Украине не поступали количественные оценки риска, получаемые путем анализа “доза–эффект”. Поэтому не представляется возможным провести разграничение между эффектом скрининга и последствиями облучения на основании данных для Украины, приведенных в таблице D17, и нельзя исключить влияние миграции населения с загрязненных территорий.

c) Оценка имеющихся данных о риске для участников работ по ликвидации аварии и ее последствий

D136. С 1986 по 1998 год велись наблюдения за двумя группами участников ликвидации последствий чернобыльской аварии из Эстонии (4786 мужчин) и Латвии (5546 мужчин) [R7].

Случаи рака подтверждали по связи с данными национальных онкологических регистров. В целом были выявлены два случая заболевания раком щитовидной железы в группе из Эстонии и пять – в группе из Латвии. Наблюдалась статистически значимая избыточная заболеваемость раком щитовидной железы: SIR = 7,08 (95%-ный д. и.: 2,84; 14,55). Однако доказательств наличия взаимосвязи “доза–эффект” получено не было. Нельзя исключать систематической ошибки скрининга, поскольку все случаи рака щитовидной железы в Эстонии, о которых было сообщено, были выявлены в ходе специального скринингового обследования, и поэтому сопоставление с данными по населению, которое не проходило такого скрининга, может ввести в заблуждение. Кроме того, число наблюдавшихся случаев заболевания было мало.

D137. Еще одно когортное исследование, проведенное среди 99 тыс. российских ликвидаторов, показало избыточную заболеваемость раком щитовидной железы – SIR = 4,33 (95%-ный д. и.: 3,29; 5,6), но не выявило взаимосвязи с дозой излучения [I9]. Таблица D18 содержит данные о заболеваемости раком щитовидной железы, представляющие собой SIR для различных групп ликвидаторов, проанализированные по периодам их работы в 30-километровой зоне, а также с учетом того, когда был диагностирован рак – в “латентный” (1986–1991 годы) или “постлатентный” (1992–1998 годы) период. Значения SIR даны в отношении к соответствующим показателям по возрасту, полу и периоду времени для Российской Федерации в целом.

D138. Существенно повышенные SIR для рака щитовидной железы наблюдались как в латентный, так и в постлатентный период, причем показатели были выше в постлатентный период. В постлатентный период SIR для рака щитовидной железы были самыми высокими у ликвидаторов, работавших либо в апреле–июле, либо в августе–декабре 1986 года. Эти показатели оставались существенно повышенными (SIR ~ 4) и для лиц, привлеченных к работам в 1987 году или в 1988–1990 годах, когда радиоактивного йода в окружающей среде не было [I9].

D139. Чтобы определить, могут ли повышенные значения SIR, приведенные в таблице D18, отражать наличие взаимосвязи между избыточной заболеваемостью раком щитовидной железы и внешним облучением, полученным во время работы, были рассчитаны значения избыточного относительного риска (ERR) на единицу дозы. Ни за какой период работы авторы не выявили статистически значимой связи между ERR и дозой внешнего облучения. Большая часть точечных оценок свидетельствовала именно о негативной корреляции с дозой за весь период работы 1986–1990 годов. Эти результаты в сочетании с данными таблицы D18 дают веские основания утверждать, что доза внешнего облучения, полученная участниками ликвидации последствий аварии, на сегодняшний день не является статистически значимым фактором повышенного риска заболевания раком щитовидной железы для этой когорты и что, по крайней мере частично, избыточный показатель заболеваемости может быть обусловлен систематической ошибкой вследствие скрининга.

D140. В более ранних исследованиях в отношении российских участников ликвидации последствий аварии (Ivanov et al. [I10, I11]) были представлены данные, позволяющие предположить наличие повышенного риска рака щитовидной железы у работников раннего периода, т. е. тех, кто в первые несколько недель после аварии подвергся облучению радио-

активным йодом в дополнение к внешнему облучению, которому подверглись ликвидаторы более позднего периода. Однако оценки доз внутреннего облучения в результате вдыхания радиоактивного йода для работавших на месте аварии в апреле–июне 1986 года отсутствуют.

D141. В Украине общая заболеваемость раком щитовидной железы в период до 2004 года в группе участников ликвидации последствий аварии была приблизительно в 8 раз выше контрольного показателя [S18]. Однако из Украины не поступало количественных оценок риска, полученных на основании результатов анализа “доза–эффект”, поэтому относительно высокий SIR для участников ликвидации последствий аварии может отчасти отражать лучший скрининг в отношении этой популяции.

d) Выводы

D142. Данные, полученные в результате исследований лиц из состава взрослого населения Беларуси, Российской Федерации и Украины, являются довольно разнородными: для одних групп значения SIR повышены, а для других эти показатели существенно ниже. Проведенное в России исследование [I3] свидетельствует о том, что использование внутренних сравнений, в отличие от внешних (т. е. сравнений с показателями заболеваемости для всего населения), не дает доказательств наличия какой-либо взаимосвязи между заболеваемостью раком щитовидной железы среди взрослых и оцененными дозами на щитовидную железу. Проведенное в Беларуси исследование не дает ответа на вопрос о том, не являются ли более высокие показатели заболеваемости раком щитовидной железы по сравнению с исходным уровнем лишь результатом изменения методов диагностики и выявления заболевания. Это позволяет с уверенностью предположить, что возросшие масштабы скрининга облученных групп, а также повышение степени информированности населения в целом серьезно затрудняют выявление у взрослых радиогенного рака щитовидной железы. Таким образом, имеется недостаточно оснований полагать, что заболеваемость раком щитовидной железы возросла среди тех различных групп населения, которые подверглись облучению во взрослом возрасте.

D143. Среди участников ликвидации последствий аварии наблюдаются более высокие показатели заболеваемости, чем среди населения в целом, однако явная взаимосвязь с полученной дозой внешнего облучения (у российских ликвидаторов) не была установлена. Оценки доз внутреннего облучения для тех, кто работал на месте аварии в апреле–июне 1986 года, отсутствуют. Комплексное последующее наблюдение за участниками ликвидации последствий чернобыльской аварии более подробно рассматривается ниже, в разделе, посвященном солидному раку.

3. Биологические аспекты рака щитовидной железы как следствия чернобыльской аварии

a) Чернобыльский банк тканей

D144. Многие научные исследования зависят от наличия высококачественного, верифицированного патоморфологическими методами биологического материала. Чернобыльский банк тканей был создан с целью предоставления

материала для молекулярно-биологических исследований новообразований щитовидной железы, диагностированных после аварии. Чернобыльский банк тканей состоит из двух отдельных банков (один для российских граждан, а другой для украинских граждан) биологического материала и информации, включающей: *a)* образцы опухолевой и здоровой ткани, а также по возможности образцы метастатической послеоперационной ткани; *b)* нуклеиновую кислоту, экстрагированную из этих образцов; *c)* флаконы с сывороткой крови пациентов, чьи образцы ткани щитовидной железы хранятся в банке; *d)* образцы крови; *e)* ДНК, экстрагированную из крови; и *f)* компьютеризированную базу данных, в которой хранится соответствующая информация о пациенте (дата рождения, дата операции, пол, область проживания в момент аварии и в момент операции), а также координаты местоположения каждого образца ткани, ДНК или РНК, экстрагированных из ткани, сыворотки крови и ДНК, экстрагированной из крови.

D145. Существовала политическая необходимость того, чтобы биологические образцы, которые отбирались для Чернобыльского банка тканей, хранились в учреждениях, где пациенты были прооперированы и где они продолжали лечиться. Один из банков биологического материала, таким образом, находится в Институте эндокринологии и обмена веществ в Киеве, Украина, а второй – в Медицинском радиологическом научном центре РАМН в Обнинске, Россия. В каждом банке хранятся только материалы и информация, полученные у граждан своей страны. Резервные копии всех данных находятся в Координационном центре Имперского колледжа в Лондоне, и в настоящее время разрабатывается база данных, которая будет доступна через Интернет. Два банка биологических образцов плюс базы данных в Украине и Российской Федерации совместно с объединенной базой данных составляют в общей сложности то, что называется Чернобыльским банком тканей. Проект основывается на сотрудничестве, существующем между учеными Украины и Российской Федерации, а также учеными, работающими в Европе, Соединенных Штатах и Японии, в течение почти 10 лет.

D146. Чернобыльский банк тканей интегрирует ряд научно-исследовательских проектов в различных странах и обеспечивает объединенный набор данных о результатах различных исследований. Хранящийся в банке материал был подвергнут экспертизе международной группой патологов, специализирующихся по щитовидной железе, а все образцы экстрагированной нуклеиновой кислоты подлежат тщательному контролю качества. В распоряжение исследователей предоставляется необходимый минимальный набор данных (дата рождения, дата операции, место жительства в момент аварии, пол, а также совместный диагноз экспертной группы патологоанатомов) и образцы ДНК, экстрагированной из крови, ДНК/РНК, экстрагированные из ткани, и/или сыворотка или срезы материала, обработанного формалином и залитого в парафин. В настоящее время в Чернобыльском банке тканей хранятся прошедшие экспертизу данные о более чем 2137 случаях рака щитовидной железы и аденомы, большей частью обеспеченные ДНК и РНК из замороженных образцов. Для большинства случаев имеются парные образцы опухолевой и здоровой ткани. Эти 2137 наборов данных включают небольшое число случаев рака и аденомы у детей младше 3 месяцев, находившихся в утробе в момент аварии, которых, следовательно, можно рассматривать как необлученных радиоактивным йодом вследствие аварии. Также

имеются парафиновые срезы микроматриц тканей. Более подробная патоморфологическая и клиническая информация хранится в украинском и российском институтах, участвующих в данном проекте. К настоящему времени оказана поддержка в проведении исследований, выполняемых группами ученых из Соединенных Штатов, Японии и шести европейских стран, в том числе исследования в области одно- и многогенной кДНК-матрицы, а также сравнительной геномной гибридизации (CGH). Результаты по каждому исследовательскому проекту, в котором был использован данный ресурс, поступают обратно своим образом в каждом случае и заносятся в базу данных для последующей корреляции. При проведении многих исследований, о которых будет упомянуто ниже, был использован материал из данного ресурса.

b) Патология

D147. Рак щитовидной железы, образующийся из фолликулярной клетки, можно разделить на два основных вида: папиллярный и фолликулярный раки. Папиллярный рак развивается вновь из фолликулярной эпителиальной клетки. Фолликулярные виды рака морфологически схожи с фолликулярными аденомами, представляющими собой доброкачественные изменения. Наличие признаков инвазии через капсулу в вены или ткани, расположенные вне щитовидной железы, отличает карциному от аденомы. Папиллярный и фолликулярный раки имеют разные клинические и молекулярно-биологические свойства, и их характеризуют разные морфологические признаки. Диагноз ставят на основании ряда признаков, характерных для папиллярного рака (например, в число характерных нуклеарных признаков входят волнистые бледные ядра, в которых часто встречаются внутриядерные цитоплазматические включения, а опухоли содержат обызвествленные структуры, именуемые псаммомными телами) и отсутствующих в фолликулярных новообразованиях. Диагностика папиллярного рака зависит от наличия ряда этих признаков, однако для постановки диагноза папиллярного рака не обязательно наличие всех признаков.

D148. В дополнение к двум основным видам рака, образующимся из фолликулярной клетки, существует ряд подвидов папиллярного рака. Они именуются по названию доминирующего структурного компонента. Классический папиллярный рак, наиболее часто встречающийся у взрослых, состоит из папиллярных структур. Фолликулярная разновидность папиллярного рака состоит из фолликулярных структур, но имеет ядерные признаки и псаммомные тела, свойственные папиллярному раку. Сбóлидная или сбóлидно-фолликулярная разновидность рака состоит из твердых слоев клеток при наличии или отсутствии фолликулярного компонента. В последней разновидности наблюдаются переменные нуклеарные признаки, однако присутствуют псаммомные тела.

D149. Большинство раков щитовидной железы, диагностированных у жителей Беларуси и Украины, облученных вследствие аварии в детском или подростковом возрасте, относятся к папиллярному раку щитовидной железы (90 процентов). Эта разновидность рака из двух основных видов наиболее часто встречается у лиц, не подвергавшихся облучению. Ранние сообщения о патологии рака щитовидной железы в поставарийный период давали основание предположить, что имела особенно высокая частота сбóлидной и сбóлидно-фолликулярной разновидностей папиллярного рака. Этот подвид папиллярного рака наблюдается также у детей младшего возраста,

не подвергшихся воздействию радиации. Международная экспертная группа патологов, специализирующихся по щитовидной железе, рассмотрела все случаи рака щитовидной железы среди лиц (моложе 19 лет в момент аварии), проживающих на загрязненных территориях Украины и Российской Федерации с октября 1998 года по сегодняшний день, данные о которых содержатся в Чернобыльском банке тканей, а также случаи, диагностированные в Беларуси с октября 1998 года по февраль 2001 года. Хотя в большинстве случаев не составляло труда отличить папиллярный рак от фолликулярного, в нескольких случаях было невозможно поставить точный диагноз. Этот вид промежуточного поражения наблюдается также среди необлученных групп населения, что является основанием для возможного пересмотра классификации опухолей щитовидной железы [W2]. Лишь 2 процента диагностированных среди этой группы населения случаев рака относятся к медулярному раку, а 0,3 процента – к низко дифференцированной карциноме. Остальные случаи равномерно распределены между фолликулярным раком и формой заболевания, называемой хорошо дифференцированной карциномой, не определенной иначе экспертной группой патологов Чернобыльского банка тканей.

D150. В приложении J к докладу НКДАР ООН за 2000 год [U3] упоминается об имевшихся на тот момент данных о возможной связи между морфологическими подвидами (т. е. солидной/фолликулярной разновидностью) папиллярного рака, наблюдаемого у детей, и облучением. Более поздние данные ставят под сомнение причинную взаимосвязь между облучением и солидной/фолликулярной морфологией папиллярного рака. Было показано, что морфология и агрессивность развития папиллярного рака являются функцией латентности в группах детей, подвергшихся облучению в разном возрасте, и не зависят, как предполагалось, от возраста в момент облучения [W4]. В поставарийный период доля случаев папиллярного рака, состоящего преимущественно из папилл, возрастает с течением времени, тогда как заболеваемость солидной/фолликулярной разновидностью рака, по-видимому, сокращается [B23]. Это проиллюстрировано на рисунке D-XIV по данным из Украины. Кроме того, доля случаев папиллярного рака малых размеров (≤ 1 см), видимо, возрастает с течением времени [B23]. Это может быть результатом более тщательного скрининга либо снижения скорости роста или агрессивности.

с) Молекулярная биология

D151. В ранних исследованиях сообщалось о более высокой, чем ожидалось, частоте перестройки *RET* при раке щитовидной железы в поставарийный период, позволяющей предположить, что некоторые перестройки *RET* могут рассматриваться в качестве индикатора радиационного воздействия [F2, K4]. Результаты более поздних исследований дают основание полагать, что между облучением и перестройками *RET* отсутствует какая-либо взаимосвязь. Возможно, высокая распространенность *PTC3*, в отличие от *PTC1*, в заболеваемости папиллярным раком щитовидной железы (*PTC*) в поставарийный период скорее отражает связь между солидным морфологическим подвидами рака с перестройкой *RET* и возрастом пациента в момент постановки диагноза, а не с этиологией опухоли [N3, T1]. Было проведено недостаточное количество статистически достоверных исследований перестройки *RET* при раке щитовидной железы у детей, не связанных с аварией [F1, W3], и это затрудняет обоснование факта взаимосвязи между перестройками *RET* и возра-

стом в момент постановки диагноза. Важно помнить о том, что корреляция между молекулярной биологией и патологией не является абсолютной: согласно результатам всех опубликованных на сегодняшний день серий исследований, в значительном числе случаев (30–50 процентов) папиллярного рака отсутствует перестройка *RET*. Для оценки частоты возникновения перестроек *RET* использовался целый ряд различных методов, и, хотя этим можно объяснить расхождение в данных о частоте возникновения перестроек *RET* в разных исследованиях [Z3], по-прежнему остается большое количество папиллярных карцином, для которых необходимо определить альтернативные молекулярные пути. Кроме того, некоторые исследования показали наличие связи между перестройками *RET* при доброкачественных опухолях и радиацией [B8, E1, S19]; другие исследования, однако, не подтвердили эти данные [T1], что только добавило неопределенности в вопрос о наличии специфической связи между перестройками *RET* и папиллярным раком щитовидной железы. В недавно опубликованной статье Port et al. [P18] содержится предположение о том, что маркер излучения существует, однако при интерпретации этой статьи следует проявлять осторожность, поскольку группа подвергшихся воздействию радиации состояла из лиц, которые были существенно моложе членов контрольной группы и были иного этнического происхождения, и подробная информация о патологии отсутствует.

D152. Несмотря на имеющиеся данные о том, что ген *RET* способен трансформировать фолликулярную клетку в лабораторных условиях, данные, полученные на трансгенных мышах, позволяют предположить, что для развития опухоли требуются иные онкогенные мутации. Клиническое значение перестроек *RET* при папиллярной карциноме в постчернобыльский период по-прежнему остается неясным. В некоторых исследованиях взрослых пациентов выдвигается предположение о том, что наличие перестроек *RET* может обещать лучший прогноз, однако в других исследованиях утверждается обратное [B5, B7, M2, S3]. Кроме того, предполагается, что перестройки *RET* наблюдаются не во всех клетках папиллярных карцином, развившихся в поставарийный период, а клетки, где имеются подобные перестройки, могут агрегироваться в кластеры [U17]. Степень агрегации клеток, видимо, связана с латентностью опухолей, при этом более короткий латентный период дает более однородный профиль по сравнению с более длительным латентным периодом [U18]. Это свидетельствует либо о поликлональном происхождении этих опухолей, либо о том, что перестройка *RET* в тиреоидном папиллярном карциногенезе происходит на более позднем этапе, чем считалось ранее [U17].

D153. Кроме того, недавно было установлено, что онкоген *B-raf* представляет собой наиболее мутирующий онкоген при папиллярной карциноме у взрослых. Частота варьируется в пределах 36–69 процентов, по данным ряда исследований папиллярного рака щитовидной железы у взрослых [C5, K3], в том числе одного исследования новообразований в Украине [P2]. Частота мутации гена *B-raf* в случаях заболевания раком в поставарийный период (в возрасте до 18 лет в момент операции) значительно ниже: менее 10 процентов [N3]; и, как представляется, существенно не отличается от наблюдаемой при развитии спорадической папиллярной карциномы щитовидной железы в детском возрасте [L6]. Эти данные, скорее всего, не являются неожиданными, поскольку онкогенные изменения *B-raf* и *RET* представля-

ются практически взаимоисключающими, как явствует из серии опубликованных на сегодняшний день научных исследований. Однако очевидно, что не во всех случаях, где отсутствует ген *B-raf* при возникновении папиллярного рака у детей младшего возраста, обязательно присутствует перестройка *RET*, и что в этих новообразованиях имеются пока еще не выявленные онкогенные изменения. Новая перестройка с участием инверсии хромосомы 7, приводящая к слиянию части гена *BRAF* с геном *AKAP9*, также была описана при исследовании трех случаев папиллярной карциномы у детей младшего возраста, проживающих в Беларуси [С6]. Однако для установления того, действительно ли это является последствием облучения, необходимы дальнейшие исследования других случаев папиллярной карциномы у детей того же возраста. Установлено также наличие редупликации гена *BRAF* в фолликулярных опухолях [С9], что позволяет предположить, что активизация этого пути крайне важна в онкогенезе фолликулярных клеток щитовидной железы. До настоящего времени не было проведено ни одного исследования, непосредственно связанного с молекулярной биологией фолликулярных, а не папиллярных опухолей щитовидной железы, развивающихся после облучения.

D154. Еще более осложняет ситуацию появление новых данных о том, что морфология папиллярного рака, развившегося в поставарийный период, меняется с течением времени [Т7, W4]. Это дает основания полагать, что молекулярный профиль, наблюдавшийся в ранее выявленных случаях, возможно, в большей степени зависит от возраста больного в момент постановки диагноза, чем от этиологического агента. Хотя темпы роста папиллярной карциномы, по-видимому, снижаются для лиц моложе 19 лет на момент проведения операции, возможно, что, как и в случае иных видов радиационно-индуцированного рака, таких как лейкоз, существует ряд других подвидов заболевания, имеющих разные латентные периоды. Положение может быть в еще большей степени осложнено дифференциальными последствиями облучения в зависимости от возраста пациента в момент облучения.

D155. В одной недавно появившейся публикации основное внимание уделяется изменению пролиферативной активности щитовидной железы в период созревания. Однако авторы не смогли связать повышенную чувствительность щитовидной железы молодого организма только со скоростью пролиферации, предположив, что на эту чувствительность может также влиять ряд других факторов [S20].

D156. Имеющиеся на сегодняшний день свидетельства дают основание считать, что молекулярная биология рака щитовидной железы, развившегося у детей в поставарийный период, аналогична той, которая наблюдается в результатах серии исследований необлученных групп пациентов того же возраста. Папиллярные карциномы щитовидной железы, развившиеся в поставарийный период, так же как и папиллярные карциномы у необлученных детей, не содержат генов *RAS* [S2] или мутаций *p53* [S2, S5] и не показывают признаков микросателлитной нестабильности [S2]. Однако в двух публикациях указывается на то, что при глобальном анализе ДНК в случае рака щитовидной железы, возникшего в поставарийный период, может наблюдаться прирост или потеря хромосомного материала [K19, R8].

D157. В ряде недавно опубликованных исследований содержатся результаты транскриптного анализа, показыва-

ющего различия в профилях экспрессии между фолликулярным эпителием нормальной щитовидной железы или фолликулярными опухолями и папиллярными карциномами [B45, C21, H13, J6, M3]. Однако возможность дифференциации различных видов папиллярных карцином с помощью подобных методов не установлена; и в одной недавно появившейся анализированной статье показано, что суммарный профиль папиллярного рака, развившегося в постчернобыльский период, аналогичен профилю папиллярных карцином, наблюдаемых в Бельгии и Франции [D2]. Вместе взятые, эти результаты позволяют предположить, что абберрации ДНК не обязательно приводят к различиям в экспрессии генов. Однако, прежде чем можно будет сделать соответствующие выводы, необходимо провести аналогичные исследования в отношении ДНК и РНК опухолей той же серии. Согласно общему мнению, на настоящий момент перестройки *RET* чаще наблюдаются при папиллярных карциномах у детей независимо от этиологии этих карцином.

D158. Пока еще проведена небольшая работа по изучению влияния однонуклеотидных полиморфизмов в ДНК и поставарийной карциномы щитовидной железы. В настоящее время ведется ряд исследований, но их результаты являются лишь предварительными и не включены в данный документ. В опубликованных данных одного исследования содержится предположение, что полиморфизмы в гене *p53* могут способствовать риску развития папиллярного рака щитовидной железы после облучения [R9]. Очевидно, что необходимы дальнейшие исследования в этой важной области.

D159. В настоящее время проводится целый ряд крупных исследований в области молекулярной биологии рака щитовидной железы в поставарийный период с использованием верифицированного патоморфологически материала, предоставленного Чернобыльским банком тканей. Несомненно, эти исследования позволят отделить элементы, обусловленные возрастными эффектами, от тех, которые действительно вызваны радиацией.

4. Лейкоз

a) Введение

D160. Различные исследования, например исследования лиц, переживших атомные бомбардировки, показали, что ионизирующее излучение при высокой дозе и мощности дозы может индуцировать лейкоз [U1]. Кроме того, лейкоз является одним из наиболее чувствительных к радиации видов рака и имеет кратчайший минимальный период индукции среди подобных видов рака – порядка двух лет. Детальный анализ новейших данных по лицам, пережившим атомные бомбардировки, показывает, что относительные риски являются максимальными для облученных в раннем возрасте и имеют волнообразную тенденцию изменения с течением времени с момента облучения. Снижение уровня риска с течением времени после облучения происходит быстрее у лиц, облученных в раннем возрасте, по сравнению с облученными в более старшем возрасте. Поэтому данные исследований, связанных с чернобыльской аварией, необходимо проанализировать с учетом возраста в момент облучения.

D161. При анализе объединенных данных нескольких исследований, касающихся работников атомной промыш-

ленности [С3, С10], были получены оценки риска возникновения лейкоза, согласующиеся с оценками, полученными для переживших атомную бомбардировку. В рамках этого общего анализа у отобранных работников атомной промышленности проводился мониторинг внешнего излучения на ежемесячной или ежегодной основе; как следствие, это могло способствовать лучшей оценке влияния мощности дозы. Однако, несмотря на то что в общем анализе участвовало очень большое число работников атомной промышленности, доверительный интервал в отношении оценки риска лейкоза остался весьма высоким; ERR составил 1,93 на Зв; (95%-ный д. и.: < 0; 8,47) и не был статистически значим. Поэтому вопрос о влиянии длительного облучения на риск лейкоза и, в частности, о величине фактора дозы и мощности дозы (DDREF) [U1, U3] еще предстоит решить. Нелинейная зависимость “доза–эффект” для лейкоза, в частности наблюдаемая в отношении переживших атомную бомбардировку, должна учитываться при анализе показателей DDREF.

D162. Популяция, облученная в результате чернобыльской аварии, включает ликвидаторов последствий аварии, часть которых получила облучение при высокой или средней мощности дозы (в зависимости от того, в какой период времени они работали на промышленной площадке), и лиц из населения, которые подвергались облучению при низкой мощности дозы (в основном от ^{137}Cs) в течение ряда лет и будут продолжать подвергаться такому облучению в будущем. Таким образом, риск возникновения лейкоза среди облученных является проблемой, с одной стороны, вызывающей беспокойство органов здравоохранения, а с другой – представляющей научный интерес. Сообщалось о нескольких исследованиях заболеваемости лейкозом у представителей различных подгрупп данной популяции.

D163. Сообщалось о специальных исследованиях случаев заболевания лейкозом среди облученных в результате аварии *in utero* или в раннем возрасте ввиду их более высокой подверженности радиационно-индуцируемому лейкозу. Эти исследования рассматриваются в первую очередь, далее представлена информация о более общих исследованиях лиц, облученных взрослыми. В некоторые из более общих исследований, по-видимому, включены лица, облученные в детском или подростковом возрасте, поскольку результаты исследований не всегда представлены в зависимости от возраста на момент облучения.

b) Оценка имеющихся данных о лицах, облученных in utero

D164. В докладе НКДАР ООН за 2000 год [U3] имеются результаты ряда исследований методом географической корреляции, где сравниваются показатели заболеваемости лейкозом у лиц, облученных *in utero*, и у лиц, не подвергавшихся такому облучению. Эти исследования, кроме, возможно, одного исследования, проводившегося в Греции [P9], не дали каких-либо убедительных доказательств наличия поддающейся измерению взаимосвязи. Уровни заболеваемости лейкозом у лиц, облученных *in utero*, и у лиц, родившихся до или через год после аварии, различались в 3 раза. Однако число случаев в каждой категории облучения было незначительным. Кроме того, аналогичная программа исследований была применена в отношении жителей других стран, облученных радиоактивными выпадениями, но результаты оказались отрицательными [S8].

D165. Впоследствии были опубликованы результаты еще одного исследования, проведенного Noshchenko et al. [N9], где сравнивалась совокупная заболеваемость у лиц, подвергшихся облучению *in utero*, в одном из сильно загрязненных районов Украины и в районе с более низкими уровнями радиоактивных выпадений. Относительный риск для всех видов лейкоза составил 2,7 (95%-ный д. и.: 1,9; 3,8). Число имевшихся для анализа случаев было небольшим (21 в загрязненном районе и 8 в контрольном районе), а описательный характер исследования ограничивает возможности интерпретации, которая может быть дана этой оценке.

D166. Информация о показателях заболеваемости лейкозом среди детей после аварии была изучена Комитетом по оценке радиационных рисков от внутренних источников излучения Соединенного Королевства (CERRIE) [C24]. Хотя данные из Великобритании слишком ограничены, чтобы исходя из них делать обоснованные выводы, CERRIE пришел к заключению, что исследования детского лейкоза в разных странах после чернобыльской аварии не дают достаточных убедительных доказательств серьезной недооценки риска внутреннего облучения радионуклидами при использовании оценок риска, полученных в результате исследований облучения *in utero* источниками внешнего облучения [C24].

c) Оценка имеющихся данных о лицах, облученных в детском возрасте

D167. В докладе НКДАР ООН за 2000 год [U3] рассмотрен ряд исследований методом географической корреляции в отношении лейкоза, развившегося у лиц, облученных в детском возрасте вследствие чернобыльской аварии. Эти исследования содержат мало данных или вообще не содержат данных о каком-либо увеличении риска заболевания лейкозом в результате радиационного воздействия.

D168. Аналогичные исследования методом географической корреляции, проведенные после публикации доклада НКДАР ООН за 2000 год, в которых проводится сравнение показателей заболеваемости лейкозом до и после аварии среди лиц, подвергшихся облучению в детском возрасте, вновь не подтвердили гипотезу о поддающемся измерению увеличении риска заболевания лейкозом для жителей Беларуси [G5], Российской Федерации [I24] или Венгрии [T4].

D169. В дополнение к исследованиям методом географической корреляции появились результаты двух аналитических исследований лейкоза, развившегося у лиц, облученных в детском возрасте [D5, N10]. В первом исследовании методом “случай–контроль”, проведенном в Украине [N10], все случаи лейкоза у лиц в возрасте 0–20 лет на момент аварии были диагностированы в Ровенской и Житомирской областях в период между 1987 и 1997 годами. Контрольные группы выбирались из жителей этих двух областей, но не из тех районов, в которых проживали обследуемые, и подбор осуществлялся по возрасту на момент облучения, полу и типу населенного пункта. Средняя накопленная доза на костный мозг, полученная всеми обследуемыми, была очень низкой (4,5 мЗв). Из потенциально пригодных для исследования 272 случаев было отобрано 98, по каждому из которых получено независимое подтверждение и был проведен опрос; какие-либо пояснения по методу их отбора отсутствуют. Были выявлены статистически значимые зависимости по заболеваемости острым лейкозом в период между 1993 и

1997 годами среди мужчин, получивших дозы 10 мЗв или более, а также по заболеваемости острым миелоидным лейкозом, диагностированным между 1987 и 1992 годами. Возможные погрешности при отборе случаев и контрольных групп вызывают сомнения относительно результатов данного исследования [D5, U1, W5].

D170. Более масштабное исследование методом “случай–контроль”, о котором сообщается в [D5], было проведено в трех республиках и охватывало случаи из предыдущего исследования [N10] в качестве подсовкупности. Это исследование дало неоднородные результаты: данные по Украине показали значительную взаимосвязь между риском заболевания лейкозом и облучением, данные по Беларуси – незначительную взаимосвязь, а данные по Российской Федерации – отсутствие взаимосвязи. Избыточный относительный риск в трех странах составил соответственно 78,8, 4,09 и –4,94 на Гр. Из-за очень низких доз радиации (средняя доза была менее 10 мГр) статистическая мощность анализа снижена [U1]. Авторы пришли к выводу, что “данное исследование не содержит убедительных доказательств увеличения риска заболевания лейкозом в детском возрасте в результате облучения, связанного с чернобыльской аварией” [D5].

D171. Таким образом, в целом на данный момент проведено лишь несколько исследований, и имеется мало убедительных данных, позволяющих предположить наличие измеримого увеличения риска заболевания лейкозом для лиц, облученных в детском возрасте в результате чернобыльской аварии. Этот вывод согласуется с результатами ранее проведенных исследований онкологических регистров в отношении риска заболевания раком у детей в Европе в результате чернобыльской аварии [P12].

d) Оценка имеющихся данных о лицах, облученных во взрослом возрасте

D172. *Группы лиц из населения.* В ходе подготовки доклада НКДАР ООН за 2000 год [U3] имелись данные немногих исследований заболеваемости лейкозом среди групп лиц, облученных во взрослом возрасте в результате чернобыльской аварии. Как и в других случаях, ни одно из этих исследований не дало убедительных доказательств наличия измеримых последствий. Большинство исследований методом географической корреляции, проведенных в разных странах, базировались на данных, имеющихся в национальных регистрах, и не дали убедительных доказательств наличия каких-либо тенденций к повышению заболеваемости лейкозом.

D173. *Участники ликвидации последствий аварии.* В 1996 году Ivanov et al. [I11] сообщили о крупном когортном исследовании российских участников (>142 тыс.) ликвидации последствий аварии. В этой когорте в период 1986–1993 годов было диагностировано 48 случаев лейкоза, включая хронический лимфолейкоз (ХЛЛ). Было рассчитано статистически значимое стандартизированное отношение заболеваемости (SIR), равное 1,77 (95%-ный д. и.: 1,22; 2,47), на основе сопоставления показателей заболеваемости лейкозом в этой группе с показателем для всего населения Российской Федерации в период 1990–1993 годов. Значение SIR, вычисленное с использованием показателя для населения до 1990 года, было намного ниже и не было статистически значимым. На основе этих данных был рассчитан статистически значимый

избыточный относительный риск (ERR), равный 4,3 на Гр⁻¹ (95%-ный д. и.: 0,83; 7,75). Оценка риска была основана на сопоставлении наблюдаемой частоты заболеваемости с общенациональным уровнем заболеваемости лейкозом среди мужчин в одних и тех же возрастных группах. Эта оценка представляется сопоставимой по величине с оценкой риска заболеваемости лейкозом для лиц, переживших атомные бомбардировки, которые в момент бомбардировки были старше 20 лет (ERR = 3,70 Зв⁻¹, усредненный по признаку пола) ([U3]). Однако следует отметить, что оценка, представленная в исследовании Ivanov et al. [I11], включала случаи ХЛЛ ($n = 10$).

D174. Еще в одном исследовании российских ликвидаторов Ivanov et al. [I13] изучали заболеваемость лейкозом в группе, состоявшей из 71 870 работников, которые были привлечены к работам по ликвидации последствий аварии в пределах 30-километровой зоны в период между 1986 и 1990 годами и по которым имелись индивидуальные оценки доз внешнего облучения, полученные из Российского национального дозиметрического регистра. В период между 1986 и 1998 годами наблюдались 58 подтвержденных патоморфологическими методами случаев лейкоза. После исключения ХЛЛ ($n = 16$), который, как полагают, не вызывается радиацией, авторы получили SIR, равный 2,5 (90%-ный д. и.: 1,3; 3,7), проведя сравнение лиц, получивших дозы 150–300 мГр, с лицами, чьи дозы были ниже 150 мГр; по их оценкам, ERR составил 6,7 на Гр⁻¹ (90%-ный д. и.: 0,8; 23,5).

D175. Проведенный ранее анализ методом “случай–контроль” с использованием данных из того же регистра первоначально не выявил существенной зависимости между дозой и заболеваемостью всеми видами лейкоза или лейкоза, за исключением ХЛЛ, среди ликвидаторов последствий аварии, работавших в пределах 30-километровой зоны в 1986–1987 годах [I10]; однако в более позднем исследовании были оценены значимые показатели ERR в диапазоне от 0,28 до 15,59 на Гр⁻¹ практически для тех же групп [K11]. В рамках последнего исследования в общей сложности 36 случаев лейкоза, отличного от ХЛЛ и диагностированного в период 1986–1993 годов, были сравнены с контрольными случаями (отношение “случай : контроль” = 1:3). Средние дозы в случаях диагностированного заболевания были ниже доз, полученных соответствующими контрольными группами, тем не менее в группе, получившей наибольшую дозу, был отмечен повышенный (но не статистически значимый) относительный риск.

D176. Результаты этих исследований уже были взяты под сомнение, см. ссылку [U3]. При рассмотрении расхождений в результатах, полученных в ходе исследований методом “случай–контроль” и когортных исследований, Voise and Holm [B46] утверждали, что наблюдавшееся при проведении когортных исследований повышение заболеваемости отражает различия в методиках подтверждения заболевания, используемых при обследовании ликвидаторов аварии и населения в целом, а не последствия облучения. Величина риска также вызывает сомнения из-за значительных неопределенностей “официальных” доз из Российского государственного чернобыльского регистра и отсутствия информации о методике верификации случаев заболевания.

D177. Vuzunov et al. [B13] изучили заболеваемость лейкозом в период 1987–1993 годов в группе из примерно 175 тыс. участников ликвидации последствий аварии в Украине. Они

сравнили показатели заболеваемости лейкозом среди тех, кто был впервые привлечен к ликвидации последствий аварии в 1986 году, с показателем заболеваемости ликвидаторов, привлеченных в 1987 году, когда дозы были уже меньше. Было установлено, что уровень заболеваемости лейкозом в первой группе был почти вдвое выше, однако дозовая зависимость в отдельных группах не была изучена.

D178. После этого было проведено еще два, хотя и меньших по масштабу, групповых исследования ликвидаторов. В первом исследовании Rahu et al. сообщили об отсутствии случаев заболевания лейкозом в группе ликвидаторов последствий аварии из Эстонии, которые работали в период 1986–1993 годов [R3]. Второе исследование с наблюдением эстонских и латвийских ликвидаторов до 1998 года [R7] показало отсутствие изменений заболеваемости лейкозом среди работников из Эстонии, однако среди работников из Латвии уровень риска был значительно выше по сравнению с населением в целом, принадлежавшим к тем же возрастным группам ($SIR = 2,59$; 95%-ный д. и.: 1,04, 5,34; $n = 7$ случаям). Однако в целом избыточная заболеваемость лейкозом существенно не увеличилась ($SIR = 1,53$; 95%-ный д. и.: 0,62, 3,17); и авторы высказали мнение о том, что “ошибка в подтверждении случаев заболевания, связанная с повышенной настороженностью и вниманием медиков, может увеличить ложно-положительную диагностику лейкоза и, следовательно, служить объяснением избыточного числа заболеваний в группе работников из Латвии”.

D179. Было проведено два исследования методом “случай–контроль” в отношении участников ликвидации последствий аварии: одно – с использованием данных по Беларуси, Российской Федерации и странам Балтии, а другое – с использованием данных по Украине [H11]. В обоих исследованиях использовался один и тот же вопросник, и оба проводились по одинаковой схеме группового исследования методом “случай–контроль”, при которой как случаи, так и контроли отбирались из когорт ликвидаторов в каждой стране. Когорты формировались на основе национальных чернобыльских регистров. В обоих исследованиях использовался один и тот же метод реконструкции дозы (RADRUE) на основе опросов и различных измерений полей доз в 30-километровой зоне вокруг Чернобыля [B11]. Комитет был информирован о том, что неопубликованные результаты обоих исследований свидетельствуют об одинаковом незначимом увеличении заболеваемости лейкозом с ХЛЛ и без ХЛЛ. Это вызывает определенное удивление, принимая во внимание отсутствие данных о каком-либо значительном повышении радиационного риска для случаев ХЛЛ, которые наблюдались в большинстве других исследований. Недавно Комитет пришел к выводу, что не было установлено, чтобы случаи ХЛЛ были вызваны ионизирующим излучением [U1].

e) Выводы

D180. Интерес к лейкозу обусловлен его известной чувствительностью к индуцированию ионизирующим излучением, а также его коротким латентным периодом. До настоящего времени не было получено убедительных доказательств, свидетельствующих о том, что существует измеримое увеличение риска заболевания лейкозом лиц, подвергшихся облучению *in utero* и в детском возрасте. Это не лишено смысла, если учесть, что дозы, полученные обследуемыми, как правило, были очень малы, и поэтому эпиде-

миологические исследования не обладают достаточной статистической мощностью для выявления эффекта.

D181. Наиболее значимые результаты, касающиеся взрослых, получены на основании исследований участников ликвидации последствий аварии. В настоящее время существуют некоторые данные о поддающихся выявлению последствиях среди группы ликвидаторов из Российской Федерации, но они не позволяют сделать окончательные выводы. Таким образом, было бы преждевременным проводить прямое сопоставление данных, полученных непосредственно в результате этих исследований, с оценками риска, полученными в результате исследований при высоких дозах и мощностях доз (полученных, например, лицами, пережившими атомные бомбардировки). При этом не следует забывать об упомянутых выше ограничениях исследований участников ликвидации последствий аварии. Тем не менее можно надеяться, что будущие результаты исследований ликвидаторов позволят получить значимые данные, которые можно сопоставить с данными других исследований.

5. Другие виды солидного рака

a) Введение

D182. Сообщалось о нескольких исследованиях определенных видов солидного рака после аварии на Чернобыльской атомной электростанции, однако до сих пор данные крайне ограничены. В рамках других исследований изучался риск появления всех видов солидного рака в совокупности (т. е. всех видов рака, за исключением лейкоза и иногда рака щитовидной железы). Хотя очевидно, что применение такого агрегированного подхода может маскировать влияние облучения на отдельные виды раковых заболеваний, статистическая мощность повышается, поскольку анализу подвергаются большие числа, несмотря на то что полученные оценки риска могут быть ниже, чем оценки риска для любого отдельного вида рака, вызванного радиацией.

b) Оценка имеющихся данных по группам населения

D183. В таблице D19 представлены стандартизованные отношения заболеваемости (SIR) всеми видами солидного рака в совокупности, встречающимися у различных групп населения, подвергшихся воздействию облучения, в Российской Федерации и Украине. Данные, при их наличии, приводятся по отдельным периодам времени.

D184. Для Российской Федерации SIR представлены в таблице D19 по семи загрязненным районам Брянской области с населением 316 тыс. человек в 1991 году и 291 тыс. в 2005 году. Уровень заболеваемости солидным раком для всей Российской Федерации использовался в качестве референтного значения. Данные о каком-либо значимом увеличении заболеваемости всеми формами солидного рака в семи загрязненных районах за любой период наблюдения в 1991–2005 годах отсутствуют [I25, I26]. Наблюдаемый уровень заболеваемости солидным раком среди жителей наиболее загрязненных районов Брянской области существенно не отличался от ожидаемого значения. Хотя сравнение с национальными данными о регистрации заболеваний раком создает возможность ошибки, SIR для всего периода, по существу, равно единице.

D185. Данные по Украине, представленные в таблице D19, свидетельствуют о том, что в целом показатели заболеваемости всеми видами солидного рака как среди эвакуированных лиц, так и среди постоянных жителей загрязненных областей страны ниже, чем на остальной территории страны, несмотря на возможность ошибки в результате использования в качестве основы для сравнения национальных данных о регистрации заболеваний раком [P16, S18].

D186. В рамках исследования методом географической корреляции, проведенного Pukkala et al. [P10], изучалась потенциальная связь между радиационным воздействием и заболеваемостью раком молочной железы в Беларуси и Украине. Оценки накопленных доз проводились на основе средних по районам доз на все тело, накопленных после аварии вследствие внешнего облучения и поступления с пищей долгоживущих радионуклидов. Показатели заболеваемости раком молочной железы были получены на основе информации из национальных регистров. Анализ совокупных данных по Беларуси и Украине показал значительное увеличение относительного риска (RR) в период между 1999 и 2001 годами в районах, где средняя накопленная доза составляла 40 мЗв или более. Этот рост был особенно заметным среди женщин, которым на момент чернобыльской аварии было меньше 45 лет. Для Беларуси значение RR в группе со средней дозой, равной 40 мЗв или более, составляло 2,24 (95%-ный д. и.: 1,51; 3,32). В предыдущие периоды статистически значимый избыточный риск не отмечался. Относительный риск метастатического рака молочной железы (RR = 3; 95%-ный д. и.: 1,70; 5,29) был выше, чем локального рака (RR = 2,01; 95%-ный д. и.: 1,16; 3,51). Для Украины RR в группе со средней дозой 40 мЗв или более в период 1997–2001 годов составлял 1,78 (95%-ный д. и.: 1,08; 2,93). Значительное увеличение RR также наблюдалось в период 1992–1996 годов на территориях со средней накопленной дозой, равной 20–39,9 мЗв. Показатели риска, полученные в данном исследовании, существенно превышают показатели, полученные в ходе других эпидемиологических исследований, рассмотренных в приложении А к докладу НКДАР ООН за 2006 год [U1], и в связи с этим должны быть интерпретированы с осторожностью.

D187. Публикация Dardynskaia et al. [D6], напротив, не показывает явного роста заболеваемости раком молочной железы в Беларуси, но в ней заболеваемость этим видом рака рассматривается вне связи с полученной дозой, за исключением сопоставления данных по Витебской области (с минимальным уровнем радиоактивных выпадений в результате аварии) с данными по Гомельской области (с гораздо более высоким уровнем выпадений). Она представляет собой описательное исследование, сопоставляющее тенденции для всех женщин с 1978 по 2003 год и для женщин в возрастной группе 30–49 лет. В отдельном анализе сравниваются показатели заболеваемости в Гомельской и Витебской областях: с 1976 года в обеих областях отмечается тенденция к росту заболеваемости раком молочной железы, и авторы делают вывод о том, что “эти данные не являются убедительным доказательством заболеваемости раком молочной железы, вызванной в Беларуси чернобыльской аварией”.

D188. Другие эпидемиологические исследования свидетельствуют о явной зависимости между внешним облучением и риском рака молочной железы, причем избыточный относительный риск на единицу дозы наибольший у тех,

кто подвергся облучению в молодом возрасте [U1]. Лишь в очень немногих исследованиях женщин, подвергшихся облучению в результате чернобыльской аварии, рассматривается рак молочной железы. Эти исследования изобилуют недостатками, например они неспособны учесть некоторые важные сопутствующие факторы, которые должны приниматься во внимание, такие как возраст на момент первой беременности, другие гормональные факторы и питание. Эти факторы можно изучить в ходе будущего исследования методом “случай–контроль”, но для индивидуальной реконструкции доз на органы необходима объективная информация о прошлом облучении.

D189. Были проанализированы тенденции изменения данных о регистрации рака и смертности от рака в Европе [C11]. После 1981 года в Европе возросла заболеваемость в большинстве представляющих интерес групп раковых заболеваний. Однако временная кривая по всем видам солидного рака в совокупности, раку молочной железы и лейкозу снизилась после 1991 года. После 1991 года отмечался статистически значимый рост кривой данных только по раку щитовидной железы. Авторы исследования пришли к выводу, что “результаты анализа тенденций заболеваемости раком и смертности от рака, судя по всему, на сегодняшний день не свидетельствуют (за исключением рака щитовидной железы) об измеримом росте заболеваемости раком в Европе, связанной с радиацией в результате чернобыльской аварии”. Кроме того, после рассмотрения вопросов, касающихся наблюдения и улучшения возможностей для диагностики в районах с повышенным уровнем выпадений в результате чернобыльской аварии, они заявили: “Необходимо проявлять осторожность при интерпретации тенденций заболеваемости раком, поскольку данные регистрации рака подвержены ряду потенциальных ошибок”.

с) Оценка имеющихся данных по участникам ликвидации аварии и ее последствий

D190. Опубликованы результаты различных исследований всех видов солидного рака в совокупности, проведенных у российских и украинских участников ликвидации аварии и ее последствий. В таблице D20 представлены стандартизованные отношения заболеваемости (SIR) всеми видами солидного рака в совокупности для различных групп ликвидаторов в разные периоды времени после аварии.

D191. В двух исследованиях Ivanov et al. [I47, I48] изучили данные российских участников ликвидации аварии и ее последствий в отношении заболеваемости солидным раком. В более масштабном из этих исследований [I48] была изучена группа из 55 718 ликвидаторов, которые в течение 1986–1987 годов работали в 30-километровой зоне и у которых имеются документированные оценки дозы внешнего облучения, варьирующиеся в диапазоне 0,001–0,3 Гр (среднее значение 0,13 Гр). В 1991–2001 годах было диагностировано в общей сложности 1370 случаев заболевания солидным раком. В меньшем исследовании [I47] были изучены 8654 работника атомной промышленности, принявших участие в восстановительных работах на Чернобыльской станции и для которых имелись документированные данные о полученных дозах внешнего облучения. В этой меньшей по размерам группе, члены которой получили среднюю дозу внешнего облучения 0,05 Гр, в период 1996–2001 годов было зафиксировано 179 случаев солидного рака. В обеих группах показатели

заболеваемости солидным раком были ниже, чем для соответствующих по возрасту и полу групп населения России в целом, и, хотя значение ERR на единицу дозы было положительным, оно не отличалось достоверно от нуля.

D192. Ivanov недавно представил Комитету обновленную информацию из системы РГМДР; в этой работе рассматривается группа мужчин из числа участников ликвидации последствий аварии, проживающих в 6 регионах европейской части Российской Федерации (39 субъектов Федерации). Информация относится к 104 466 лицам по состоянию на 2005 год (55,5 процента всех ликвидаторов, зарегистрированных в РГМДР). На рисунке D-XV показано число ликвидаторов с разбивкой по году привлечения к работе в 30-километровой зоне. Эта группа была сформирована в 1991 году, когда число ее членов составляло 76 229 человек. Имеется полная индивидуальная медицинская информация по каждому члену группы: с 1991 по 2005 год было зарегистрировано 4220 случаев солидного рака [I26]. Официальные данные о дозах внешнего облучения имеются для 74 процентов членов группы; средняя доза составляет 107 мГр.

D193. Значения SIR для ликвидаторов были рассчитаны с использованием повозрастного показателя заболеваемости всеми видами солидного рака в совокупности среди мужского населения Российской Федерации в качестве контрольной группы (таблица D20). Эти обновленные данные свидетельствуют о явной избыточной заболеваемости солидным раком среди участников ликвидации аварии (16 процентов) и о тенденции к ее понижению со временем после облучения. Однако видимая избыточная заболеваемость может быть объяснена более тщательным медицинским наблюдением за этой группой по сравнению с населением Российской Федерации в целом [I25, I26]. Поэтому при интерпретации этих данных необходимо проявлять осторожность.

D194. Ivanov et al. также исследовали смертность от солидного рака в когорте из 61 тыс. российских ликвидаторов, у которых имеются документированные оценки дозы внешнего облучения (средняя доза – 107 мГр) [I25, I40, I49]. В первом исследовании, охватывавшем период 1991–1998 годов, из 4995 зарегистрированных случаев смерти 515 были вызваны солидным раком [I25, I40]. Несмотря на то что ни показатель смертности от всех причин, ни от солидного рака среди ликвидаторов не превышали показателей смертности среди соответствующих по возрасту и полу групп населения России в целом, зависимость стандартного отношения смертности (SMR) от дозы была статистически значимой: $ERR = 2,11$ на Gp^{-1} (95%-ный д. и.: 1,31; 2,92). Во втором исследовании [I49] авторы сконцентрировали свое внимание на той части когорты, которая получила наибольшее облучение, т. е. на 29 тыс. ликвидаторов, которые прибыли в 30-километровую зону в период с апреля 1986 года по апрель 1987 года. Средняя доза для этой субкогорты составила 156 мГр. С момента аварии и до конца 2002 года в этой субкогорте было зарегистрировано около 4719 случаев смерти, из которых 651 случай был вызван солидным раком. Кроме того, показатель смертности от всех причин в этой субкогорте не превышал показателей смертности соответствующих по возрасту и полу групп населения России в целом. Единственной группой заболеваний, для которой зависимость SMR от дозы была статистически значимой, были солидные раки ($ERR = 1,52$ на Gp^{-1} (95%-ный д. и.: 0,20; 2,85)). Недостатком этих исследований является то, что большая часть случаев смерти

от солидного рака была зарегистрирована в течение латентного периода большинства разновидностей солидного рака, если причиной этих заболеваний стало облучение вследствие чернобыльской аварии, т. е. за много лет до того, как наблюдались случаи заболевания раком со смертельным исходом, связанным с радиацией.

D195. У украинских участников ликвидации последствий аварии наблюдалось аналогичное статистически значимое увеличение SIR для всех видов рака в совокупности в период 1991–2004 годов (таблица D20) [P16, S18]. В результатах этих исследований имеются такие же недостатки, как и в исследованиях в России.

d) Выводы

D196. По-видимому, в настоящее время отсутствуют убедительные данные о каком-либо измеримом увеличении заболеваемости всеми видами рака в совокупности или раком молочной железы в отдельности среди населения Украины и Российской Федерации. Также, по-видимому, отсутствует какая-либо тенденция к повышению заболеваемости солидным раком среди жителей районов, которые считаются загрязненными, по сравнению с жителями районов, которые считаются незагрязненными, и отсутствует разница во временных тенденциях в зонах с различными уровнями радиоактивных выпадений.

D197. Данные относительно повышения заболеваемости солидным раком участников ликвидации последствий аварии неоднозначны. Хотя в некоторых группах было отмечено повышение SIR, о статистически значимых количественных значениях риска повышения заболеваемости раком на единицу дополнительной дозы не сообщалось. Напротив, в двух российских исследованиях сообщалось о зависимости между дозой и показателем смертности в результате солидного рака с соответствующей статистически значимой величиной ERR на единицу дозы.

D198. При интерпретации этих результатов необходимо учитывать ряд ограничений. Во-первых, для многих видов рака, как предполагается, латентный период между временем облучения и проявлением последствий составляет 10 лет и более. Если это относится к заболеваемости всеми видами солидного рака в совокупности, проявления последствий облучения можно ожидать не ранее середины – конца 1990-х годов. Во-вторых, при интерпретации результатов сравнения данных по ликвидаторам с данными по населению в целом следует принимать во внимание тот факт, что все работники проходят регулярные ежегодные медицинские обследования. Как говорилось выше, это может дать эффект систематической ошибки скрининга. Кроме того, значения риска, полученные в различных исследованиях, существенно превышают значения, определенные в других эпидемиологических исследованиях, рассмотренных в приложении А к докладу НКАДР ООН за 2006 год [U1], и, следовательно, требуют осторожного подхода к их интерпретации.

D199. Оценки статистической мощности, основанные на наблюдениях до настоящего времени и использовании результатов исследования лиц, переживших атомные бомбардировки, и других исследований, кратко изложенных в приложении А к [U1], позволяют предположить, что дозы, полученные населением в целом, слишком малы, чтобы дать достаточную статистическую мощность для выявления

какого-либо измеримого повышения риска всех видов солидного рака в совокупности среди лиц, которые подверглись облучению от радиоактивных выпадений после чернобыльской аварии. Безусловно, эмпирические исследования, выполненные к настоящему времени, не позволяют утверждать, что величина рисков заметно превышает значения, прогнозируемые с помощью моделей прогноза рисков.

6. Аутоиммунный тиреоидит

D200. Аутоиммунный тиреоидит – это сложное явление, которое почти наверняка включает взаимодействие генетической предрасположенности и факторов окружающей среды, таких как уровень потребления йода с пищей [D7]. Однако его связь с облучением радиацией является спорной [E3]. Кроме того, фоновая заболеваемость аутоиммунным тиреоидитом увеличивается с возрастом [D8]. В связи с этим вопрос об отделении эффекта облучения от других элементов, которые могут или не могут повлиять на заболеваемость населения аутоиммунным тиреоидитом, требует особенно тщательного изучения.

D201. Проведено мало крупномасштабных исследований, посвященных изучению связи между аутоиммунным тиреоидитом и облучением в результате чернобыльской аварии. Самое крупное на сегодняшний день исследование охватило 12 240 лиц, проживавших на территории Украины, где йодная недостаточность колебалась от слабой до умеренной [T7]. Для всех обследуемых были получены оценки дозы вследствие поступления ^{131}I , основанные на индивидуальных радиационных измерениях щитовидной железы, проведенных в период с мая по июнь 1986 года. Для определения того, оказывают ли вырабатываемые аутоиммунные антитела существенное негативное воздействие на функцию щитовидной железы, были проведены измерения циркулирующих антител и уровней тиреотропина наряду с ультразвуковыми исследованиями щитовидной железы. Присутствие антитиреоидных аутоантител само по себе не считается показателем клинически значимого разрушения щитовидной железы в результате иммунной реакции (т. е. истинного аутоиммунного тиреоидита), но свидетельствует об аутоиммунитете щитовидной железы.

D202. Это исследование, несмотря на его масштаб, не смогло дать неопровержимых доказательств наличия связи между дозой в щитовидной железе и аутоиммунным заболеванием щитовидной железы, которое определяется присутствием циркулирующих аутоиммунных антител и наличием дисфункции щитовидной железы, подтвержденной с помощью эхографии и/или повышенных уровней тиреотропного гормона. Таким образом, выводы этого исследования согласуются с результатами, полученными при исследовании лиц, подвергшихся облучению от ядерного центра в Хэнфорде [D9], а также в результате атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки [I27, N11].

D203. Клиническая значимость повышенных уровней тиреоидных аутоантител при отсутствии признаков деструкции клеток щитовидной железы в результате аутоиммунных эффектов остается неясной. Кроме того, при экстраполяции результатов одного исследования, которое охватывает лиц, обследуемых в отдельно взятый период времени (12–14 лет) после аварии, необходимо проявлять осторожность. Между тем эти результаты в целом не противоречат результатам предыдущих, менее надежных исследований [P11, V4].

7. Сердечно-сосудистые и цереброваскулярные заболевания

a) Введение

D204. Высокие дозы излучения на сердце и кровеносные сосуды могут вызвать целый ряд серьезных заболеваний сердечно-сосудистой системы, в том числе ишемическую болезнь сердца. Последние сообщения четко показали прямую связь между высокой дозой излучения (например, при лучевой терапии болезни Ходжкина [A2] или рака молочной железы [D4]) и сердечно-сосудистыми заболеваниями в течение долгосрочного последующего наблюдения. Риск радиогенных болезней сердца в значительной мере зависит от возраста во время облучения и особенно высок у лиц, подвергшихся облучению в детском или подростковом возрасте. Имеется мало информации относительно возможного влияния курения и других факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний на риск возникновения радиогенной ишемической болезни сердца. В настоящее время биологические механизмы, с помощью которых низкие дозы радиации вызывают риск сердечно-сосудистых заболеваний, остаются неясными. Было предложено несколько приемлемых биологических моделей, но для изучения возможных моделей необходимо провести дальнейшие исследования [U1].

D205. Исследования лиц, переживших атомные бомбардировки в Японии и получивших разовые дозы во всем теле от 0 до 4 Гр, показали, что риск смерти, вызванной нераковыми заболеваниями, в том числе заболеваниями сердечно-сосудистой системы или цереброваскулярными заболеваниями, зависит от дозы, причем избыточный относительный риск равен 0,14 на Гр [P3]. Эти данные недавно были подтверждены при более длительных периодах наблюдения в исследовании здоровья взрослых лиц в период с 1958 по 1998 год [Y1]. Согласно результатам этого исследования, подтверждена значимая позитивная зависимость “доза–эффект” в отношении инфаркта миокарда среди лиц, облученных в возрасте до 40 лет ($p = 0,049$). На основе анализа причин смертности в период 1968–1997 годов среди лиц, переживших атомные бомбардировки, была сделана оценка ERR для болезней сердца, равная 0,17 на 3в (90%-ный д. и.: 0,08; 0,26), а для инсульта – 0,12 на 3в (95%-ный д. и.: 0,02; 0,22) [P3, U1].

D206. В приложении В к докладу НКДАР ООН за 2006 год [U1] Комитет сделал вывод о том, что “к настоящему времени о связи между развитием смертельного сердечно-сосудистого заболевания и облучением в дозах менее 1–2 Гр свидетельствуют лишь результаты анализа данных о переживших атомные бомбардировки Японии. В других исследованиях не приводится ясных и состоятельных доказательств наличия риска смертельных сердечно-сосудистых заболеваний в связи с дозами излучения менее чем 1–2 Гр. В настоящее время нет достаточных научных данных, позволяющих сделать вывод о существовании причинно-следственной связи между воздействием ионизирующего излучения и сердечно-сосудистыми заболеваниями для доз менее чем примерно 1–2 Гр”.

b) Оценка текущих данных

D207. В двух исследованиях, проведенных Ivanov et al. [I12, I39], упор был сделан на данных по сердечно-сосудистым и цереброваскулярным заболеваниям в группе россий-

ских участников ликвидации последствий аварии. С 1986 по 2000 год под наблюдением находилось приблизительно 60 тыс. человек, получивших среднюю дозу 109 мГр. Авторами был отмечен статистически значимый избыточный относительный риск ишемической болезни сердца: ERR = 0,41 на Гр (95%-ный д. и.: 0,05; 0,78); гипертонии: ERR = 0,36 на Гр (95%-ный д. и.: 0,005; 0,71); и цереброваскулярных заболеваний: ERR = 0,45 на Гр (95%-ный д. и.: 0,11; 0,80). Авторы сосредоточили внимание на 29 003 лицах, получивших среднюю дозу 162 мГр, которые работали на Чернобыльской станции и вокруг нее в течение первого года после аварии. По мнению авторов, группу риска в отношении возникновения цереброваскулярных заболеваний составляют лица, получившие дозы внешнего облучения, превышающие 150 мГр, за короткий период времени (менее 6 недель), при относительном риске, равном 1,18 (95%-ный д. и.: 1; 1,4). Вместе с тем необходимо учесть некоторые недостатки исследования: отсутствие информации о процентной доле людей, выбывших из процесса исследования, использование свидетельств о смерти для оценки части случаев заболеваемости и отсутствие корректировки на известные факторы риска для цереброваскулярных заболеваний (т. е. курение, ожирение, гиперхолестеринемия и т. д.).

D208. Из когорты в 60 910 ликвидаторов в Российской Федерации (примерно та же группа, что в публикациях [112, 139]), в которой отслеживалась общая смертность, в период 1991–1998 годов было сообщено о смерти 4995 человек. Из них 1728 умерли от заболеваний сердечно-сосудистой системы, что является гораздо более высоким показателем, чем у обычного населения [140]. Оценка коэффициента ERR для смертей, вызванных сердечно-сосудистыми заболеваниями, составляла 0,54 на Зв (95%-ный д. и.: 0,18; 0,91). Показатель ERR для заболеваемости сердечно-сосудистой системы был ниже, на уровне на 0,23 на Зв (95%-ный д. и.: –0,03; 0,50) [125]. Эта последняя величина приходится в основном на диагнозы гипертонии, и кажется парадоксальным, что число случаев ишемической болезни сердца и острого инфаркта миокарда (можно было ожидать, что эти показатели коррелируют с уровнем смертности) не растет с дозой.

D209. Еще одно исследование, проведенное Rahu et al. [R3] в когорте аварийных работников из Эстонии численностью 4742 человека, за которыми велось наблюдение с 1986 по 1993 год, не выявило какой-либо взаимосвязи между дозой и заболеваемостью сердечно-сосудистыми болезнями на основе оценки SMR по категориям дозы.

D210. Недавно Vuzunov et al. [B43] опубликовали статью, содержащую анализ показателей заболеваемости нераковыми заболеваниями и связанной с ними смертности в различных группах, зарегистрированных в Украинском государственном чернобыльском регистре (УГЧР), включая ликвидаторов, эвакуированных лиц и лиц, постоянно проживающих на загрязненных территориях. Авторы предприняли попытку оценить показатели общей заболеваемости и смертности и то же – по конкретным заболеваниям в период 1988–2004 годов. Самым удивительным из полученных результатов было сокращение с 2000 года заболеваемости нераковыми заболеваниями среди участников ликвидации последствий аварии. Однако, поскольку в данной статье не указана методика, использовавшаяся при расчете этих показателей, нельзя понять, были ли они скорректированы с учетом возраста или

их знаменатели были скорректированы с учетом числа случаев смерти, которое, по данным некоторых источников, составило 15 процентов от численности этой когорты. Еще одним недостатком является отсутствие основных чисел случаев в таблицах. Поскольку только для приблизительно 40 процентов лиц, зарегистрированных в УГЧР, имеются официальные дозы, а в большинстве случаев у этих лиц были более высокие дозы, любые расчеты на основе только данных о ликвидаторах с дозами будут необъективны. Подводя итоги, можно сказать, что в данной статье не приводится какая-либо новая достоверная информация о заболеваемости и смертности от нераковых заболеваний, развившихся вследствие облучения в результате чернобыльской аварии.

D211. В Беларуси проведены исследования заболеваемости коронарной болезнью сердца и связанной с ней смертностью в загрязненных и незагрязненных районах [G6, G7]. Стандартизированная по возрасту заболеваемость коронарной болезнью сердца среди 617 работающих в сельском хозяйстве мужчин, проживающих в Наровлянском районе Гомельской области (одном из наиболее загрязненных районов Беларуси), составил 5,0 процента, в то время как аналогичный показатель для 213 работников, проживающих в незагрязненном районе Минской области, был равен 9,1 процента [G7]. В исследовании [G6] рассмотрена смертность от коронарных сердечных болезней среди работников сельского хозяйства, проживающих в тех же двух районах. Корреляции были выявлены между показателями смертности от сердечно-сосудистых заболеваний и различными не связанными с радиацией факторами риска (артериальная гипертония, курение и т. п.), которые, как известно, вызывают болезнь сердца. Однако описанные здесь когорты весьма невелики по численности, и полученные по ним данные едва ли информативны. До сих пор еще не проведены исследования, посвященные анализу возможной связи распространенности болезней и смертности от них с полученной дозой излучения.

с) Выводы

D212. Существует мало убедительных доказательств сколько-нибудь заметного влияния облучения, связанного с чернобыльской аварией, на заболеваемость сердечно-сосудистыми и цереброваскулярными заболеваниями и на смертность от них. В одном исследовании участников ликвидации последствий аварии в Российской Федерации получено подтверждение статистически значимой взаимосвязи между дозой излучения и показателями смертности от сердечно-сосудистых заболеваний и заболеваемости цереброваскулярными болезнями. Наблюдаемое повышение цереброваскулярных заболеваний связано с лицами, проработавшими менее шести недель и получившими общую дозу свыше 150 мЗв. Однако выявленное повышение заболеваемости на единицу дозы облучения не было скорректировано на другие факторы, такие как излишний вес и курение, и в связи с этим авторы охарактеризовали данные результаты как предварительные. Кроме того, латентный период для смертности от сердечно-сосудистых заболеваний слишком короток для согласованности с тем, что уже известно о радиогенных сердечных заболеваниях из исследований более высоких доз радиации. Необходимо провести дальнейшие исследования, чтобы сделать вывод о том, способствует ли облучение вследствие чернобыльской аварии повышению риска сердечно-сосудистых и цереброваскулярных заболеваний и смертности от них.

8. Глаз и катарактогенез

а) Введение

D213. Хотя все ткани глаза и прилегающих органов могут страдать при облучении, обычно наибольшие повреждения получают хрусталик, веко и сетчатка, а не склера. Глаз считается органом, относительно чувствительным к радиации по сравнению с другими органами и тканями, главным образом, из-за частого появления задней подкапсулярной катаракты. Обычно считается, что для развития катаракты вследствие облучения требуются однократные дозы кратковременного облучения с низкой ЛПЭ в 2 Гр или более либо более высокие накопленные дозы при длительном или дробном облучении. При фракционированном облучении повреждение сетчатки или оптического нерва наступает при действии накопленной дозы порядка 50–60 Гр. В последних исследованиях утверждалось, что хрусталик глаза может быть более чувствительным к радиации, чем считалось ранее [C17, M4, N18, W1, W7].

D214. Обычно принято классифицировать радиогенные катаракты. Катаракта I степени или помутнение хрусталика является субклиническим эффектом, который оказывает незначительное влияние на повседневную жизнь или вообще не сказывается, а катаракта более высоких степеней может приводить к ухудшению зрения. Катаракта считается детерминированным эффектом излучения, т. е. таким, при котором степень поражения зависит от дозы, и поэтому может существовать порог. Подавляющее большинство случаев помутнения, вызванного радиацией и выявленного у лиц, подвергшихся облучению, не сказывается на зрении. Вместе с тем особо высокие дозы, например 7 Гр, вызывают серьезное ухудшение зрения, требующее замены хрусталика.

D215. Не являясь патогномоничной, вызванная радиацией катаракта вначале проявляется в виде снижения прозрачности задней поверхностной коры ткани и называется задней подкапсулярной катарактой (PSC).

D216. Катаракта появляется после латентного периода, продолжительность которого обратно пропорциональна дозе. Латентный период зависит от скорости, с которой поврежденные эпителиальные клетки подвергаются aberrантной дифференциации и накапливаются в районе PSC [I37, K1, M1, U9].

б) Исследования лиц, переживших острую лучевую болезнь

D217. У больных острой лучевой болезнью (ОЛБ), переживших чернобыльскую аварию, время появления PSC и ее зависимость от дозы не отличались новыми характеристиками. За более чем 15 лет клинических наблюдений у 77 работников, получивших дозы от 2,6 до 8,7 Гр, было выявлено 11 случаев катаракты, вызванной радиацией. Латентный период варьировал от 1,5 лет (у лица, получившего наиболее высокую дозу) до 12 лет (у лица, получившего наименьшую дозу) [K1, N2, N5]. Эти данные представлены в таблице D21 и на рисунке D-II.

D218. Комитету известно, что в настоящее время в Украине проводится несколько других исследований катаракты у людей, перенесших острую лучевую болезнь, и участников ликвидации последствий чернобыльской аварии. К сожалению, пока Комитет не получил этот материал для изучения и оценки.

с) Исследования, проведенные среди ликвидаторов

D219. Украинско-американское чернобыльское офтальмологическое исследование (UACOS) [C17, W1, W7]. Было проведено два офтальмологических обследования украинских участников ликвидации последствий аварии через 12 и 14 лет после аварии. Были также реконструированы индивидуальные дозы, полученные этими работниками. Офтальмологические обследования 8607 ликвидаторов проводились в шести городах, расположенных в пяти областях Украины. В ходе обследования всех работников использовался один из вариантов метода Мерриам/Фохта количественной оценки вызванной радиацией катаракты [W7]. Офтальмологов не информировали о дозах на хрусталик глаза, а специалисты, которые занимались реконструкцией доз, не знали о состоянии глаз. Средний возраст обследуемых ликвидаторов на момент облучения составлял 32,7 года (стандартное отклонение – 7,3 года), при первом обследовании – 44,9 года и при втором обследовании – 47,0 года. При реконструкции доз использовалось сравнение доз гамма-излучения, полученных из официально зарегистрированных данных об уровне профессионального облучения, с оценками доз и погрешностей, полученными методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) зубов работников из выбранной группы [C17]. Дозы бета-излучения на хрусталик глаза были смоделированы с использованием информации об уровнях бета-облучения на различных рабочих местах чернобыльского комплекса в течение определенных периодов времени. Дозы, полученные участниками ликвидации последствий аварии, были умеренно фракционированными или являлись результатом длительного облучения, а накопленные дозы на хрусталик глаза были низкими или умеренными. Средняя оцененная доза на хрусталик глаза составляла 0,12 Гр, а 95 процентов доз были менее 0,5 Гр.

D220. Хотя обследованные в рамках UACOS работники были еще относительно молодыми (76 процентов были моложе 50 лет на момент первого обследования), во время первого или второго обследования была отмечена высокая частота помутнения хрусталика: 26 процентов (2251) работников имели помутнение I степени, включая 20 процентов (1716) работников с задним подкапсулярным помутнением [W7]. Катаракта II–V степени наблюдалась только у 1,5 процента (131) работников, но этот показатель является важным, так как помутнения хрусталика более высокой степени с большей вероятностью приводят к ухудшению зрения, нежели помутнение I степени. Поскольку обследуемые подверглись облучению в молодом возрасте, выявленные случаи помутнения в значительной степени отражают кумулятивную частоту помутнений хрусталика, возникших после облучения в результате аварии.

D221. При анализе данных UACOS учитывался ряд факторов потенциального риска развития катаракты, в том числе возраст на момент облучения, возраст и клинические показатели при первичном осмотре, пол (96 процентов мужчин), курение в настоящем и в прошлом, наличие сахарного диабета, история приема кортикостероидов или феноксиазина, профессиональное воздействие вредных химических веществ, воздействие ионизирующей радиации (за исключением полученной в ходе работ по ликвидации последствий аварии) и воздействие инфракрасного или ультрафиолетового излучения.

D222. Для того, чтобы факторы отбора оказали влияние на результаты исследования заболеваемости катарактой у чер-

нобыльских работников, они должны быть связаны как с дозой радиации, так и с риском развития катаракты. Рассмотрение процесса отбора позволяет предположить, что большинство факторов не дают такой погрешности. Когорта чернобыльского исследования катаракты практически полностью была сформирована на основании данных дозового регистра Украинского научного центра радиационной медицины (УНЦРМ), который включает 32 826 человек. Для многих из них не указаны адреса, указаны адреса за пределами регионов обслуживания офтальмологических клиник или имеются данные о том, что они умерли. Представляется маловероятным, что эти факторы существенно связаны с дозой и риском развития катаракты. Всего для исследования было отобрано 12 051 человек, с которыми был установлен контакт. Из них 507 человек либо прошли только одно обследование, либо имели другие глазные заболевания, в результате которых они были дисквалифицированы; также представляется маловероятным, что какой-то из этих факторов был связан с дозой радиации. В отношении еще 1346 человек в регистре УНЦРМ не было достаточно информации, чтобы провести оценку полученных ими доз; основания для того, чтобы связать это с риском развития катаракты, отсутствовали. И наконец, 1337 человек не заполнили анкету об эпидемиологическом состоянии/состоянии здоровья, в первую очередь из-за того, что с этими работниками не удалось связаться, чтобы они сделали это; вероятно, это также не связано с дозой, поскольку клинический персонал не располагал информацией о дозах. В результате исследованием было охвачено всего 8607 человек. По-видимому, наибольшая неуверенность в отношении предвзятости при отборе связана с участием в исследовании по собственному усмотрению. Несмотря на достаточно хорошую долю участия в клиническом исследовании в основном здоровых людей, составившую 71 процент, существует вероятность более высокой доли участия среди лиц, которые знали о том, что получили значительные дозы излучения, и считали, что они могут в какой-то степени потерять остроту зрения; возможности для непосредственной проверки этого отсутствовали. Однако, учитывая то, что основные выводы имеют отношение к субклиническим катарактам, которые на этом этапе развития приводят к незначительной потере остроты зрения, эта возможность также представляется маловероятной.

D223. Для помутнений I степени отношение шансов (OR) составляло 1,49 (95%-ный д. и.: 1,08; 2,06) при дозе 1 Гр при корректировке на другие факторы риска катаракты, упомянутые выше. Аналогичным образом, для катаракт II–V степени OR составляло 1,57 (95%-ный д. и.: 0,79; 3,11) при дозе 1 Гр, но не было статистически значимо, возможно, из-за меньшего числа случаев ($n = 131$ случай катаракты). При рассмотрении помутнений I степени по месту их расположения задние подкапсулярные помутнения (OR = 1,42 (95%-ный д. и.: 1,01; 2,00) при дозе 1 Гр) и несколько более общая категория кортикальных катаракт (OR = 1,51 (95%-ный д. и.: 1,09; 2,10) при дозе 1 Гр) – причем обе категории могут быть радиационно-зависимыми – показали статистически значимое увеличение по мере роста дозы, в то время как ядерные помутнения/катаракты (на любой стадии), которые не считаются связанными с облучением, не показали роста (OR = 1,07 (95%-ный д. и.: 0,56; 2,04) при дозе 1 Гр). При рассмотрении данных по дозовым группам как задние подкапсулярные, так и кортикальные катаракты показали существенное или значимое повышение риска при дозе примерно 0,5 Гр или более (таблица D22) [W7].

D224. Поскольку, как предполагается, образование катаракты является детерминированным эффектом, был выполнен статистический анализ порога зависимости “доза–эффект”. Оценки максимальной вероятности порогового значения “доза–эффект” для разных классов катаракт представлены в таблице D23. Результаты исследования UACOS [W7] дают основания предполагать, что эти данные несовместимы (при доверительном уровне 95 процентов) со значением порога зависимости “доза–эффект”, превышающим 0,7 Гр для катаракт I–V степеней в целом, с явным превалированием помутнения I степени, хотя это предположение нуждается в подтверждении, учитывая погрешности оценок индивидуальных доз [C17].

D225. В целом обследование UACOS показало, что появление катаракт в группе ликвидаторов, с корректировкой на наиболее значимые мешающие факторы, зависит от полученной дозы. В большинстве случаев дозы не превышали 0,5 Гр излучения с низкой ЛПЭ, полученного в несколько длительном/фракционированном режиме. Основным результатом стал вывод о том, что эти данные несовместимы с пороговым значением зависимости “доза–эффект”, превышающим 0,7 Гр, хотя данное положение нуждается в пересмотре с учетом погрешностей дозиметрии.

d) Исследования, проведенные среди населения

D226. Было проведено обширное исследование [D3], целью которого являлось определение распространенности и параметров изменений в хрусталике глаза у детей (в возрасте 5–17 лет), проживавших на территориях, прилегающих к зоне Чернобыля. Офтальмологические обследования были проведены в репрезентативных группах из 996 детей, подвергшихся облучению, и 791 ребенка, не подвергшегося облучению, и степень помутнения хрусталика у них определялась в соответствии со стандартной системой балльной оценки (LOCS III; [C18]). Многие случаи (38 процентов) заднего подкапсулярного (PSC) помутнения хрусталика исследовались во второй раз с целью подтверждения первоначальных результатов. У небольшой (3,6 процента), но значимой ($p = 0,0005$) группы детей, подвергшихся облучению, были выявлены PSC изменения хрусталика глаза [D3]. Эта группа включала 2,8 процента детей, которые были оценены по балльным показателям как имеющие I или большую степень PSC помутнения хрусталика по сравнению с 1,0 процента в группе детей, не подвергшихся облучению ($p = 0,007$). Некоторые недостатки этого исследования состоят в том, что было невозможно реконструировать индивидуальные дозы, а исследователям был известен уровень облучения обследуемого (определяемый географическим расположением места, где проводилось обследование). Тем не менее исследование проводилось тщательно, с использованием стандартных процедур осмотра и балльной оценки степени развития катаракты, с предварительной подготовкой проводивших обследование врачей и принятием на местах других мер по контролю качества.

e) Другие недавние исследования влияния малых доз радиации на катаракту

D227. Был опубликован ряд исследований, которые имеют отношение к облучению при малых дозах и могут быть использованы для сравнения. В ходе двух перекрестных исследований изучалась распространенность катаракты на

основании самоотчетов об истории компьютерного томографического (КТ) сканирования головы. Данные одного исследования указали на положительную взаимосвязь [K9], а другого – нет [H10]. Согласно данным обследования американских астронавтов, у тех из них, кто во время космических полетов получил более высокие дозы на хрусталик глаза (в среднем 45 мЗв), значительно возрос риск катаракты по сравнению с теми, кто получил более низкие дозы (в среднем 4 мЗв) [C7]. Облучение астронавтов в основном было вызвано тяжелыми ионами при высокой ЛПЭ и вторичными нейтронами в космосе.

D228. В рамках шведского исследования было обследовано 484 человека, средний возраст которых составлял 46 лет (от 36 до 54 лет) и которым в младенчестве (в возрасте 0–18 месяцев) лечили гемангиому с помощью радиевых пластин, и 89 не подвергавшихся облучению лиц, которых лечили другими методами [H12]. Медианная мощность дозы на хрусталик составила 0,05 Гр/ч (в среднем 0,13 Гр/ч). Были оценены индивидуальные дозы на хрусталик и проведены исследования с использованием стандартного протокола и системы балльной оценки катаракты (LOCSII; [C19]). Градация дозы рассматривалась относительно распространенности кортикальной и PSC катаракты I или более высокой степени. Распространенность и, в скобках, число случаев катаракты по сравнению с числом обследованных хрусталиков составили: не подвергшиеся облучению лица, 5 процентов (9/178); < 0,5 Гр, 12 процентов (89/748); 0,5–1,0 Гр, 18 процентов (20/115); и > 1 Гр, 22 процента (20/89). Из-за опасения в отношении возможного несходства между не подвергшимися и подвергшимися облучению группами исследователи ограничили анализ взаимосвязи “доза–эффект” данными по облученной группе. После корректировки с учетом возраста на момент обследования, мощности дозы и лечения стероидными препаратами отношение шансов при дозе 1 Гр для катаракты I и более высокой степени составило 1,49 (95%-ный д. и.: 1,07; 2,08) в случае PSC и 1,50 (95%-ный д. и.: 1,15; 1,95) в случае кортикальной катаракты.

D229. Было проведено офтальмологическое обследование японцев, переживших атомные бомбардировки, в основном тех, кому на момент бомбардировки было меньше 13 лет [M4]. Исследователи не знали, какую дозу получили обследуемые в результате атомной бомбардировки, и исследования были стандартизованы посредством подготовки исследователей и использования системы балльной оценки LOCSII [C19]. Данные анализировались по шкале LOCSII, так чтобы при анализе оценивался дополнительный риск катаракты более тяжелых степеней с использованием пропорционального отношения шансов OR. Модели учитывали поправку на город, пол, возраст на момент обследования и курение. Не выявлено какой-либо связи для ядерной катаракты (OR = 1,1 (95%-ный д. и.: 0,9; 1,3) при 1 Гр), но обнаружена статистически значимая взаимосвязь “доза–эффект” для кортикальной катаракты (OR = 1,3 (90%-ный д. и.: 1,1; 1,5) при 1 Гр) и задней подкапсулярной катаракты (OR = 1,4 (90%-ный д. и.: 1,2; 1,6) при 1 Гр).

D230. Дополнительный анализ данных офтальмологических обследований лиц, переживших атомные бомбардировки, дал оценки порога зависимости “доза–эффект”. Для кортикальной катаракты оценка методом максимального правдоподобия порога дозы составила 0,6 Гр (90%-ный д. и.: < 0; 1,2), а для задней подкапсулярной катаракты – 0,7 Гр (90%-ный д. и.: < 0; 2,8) [N18] (таблица D23). В самом послед-

нем аналитическом исследовании рассматривается распространенность катаракты, удаленной хирургическим путем на позднем этапе жизни, к 2000–2002 годам, в группе лиц, переживших атомные бомбардировки. Эти данные важны, поскольку они относятся главным образом к катаракте, степень тяжести которой является достаточной, для того чтобы ухудшить зрение. И здесь была обнаружена статистически значимая взаимосвязь “доза–эффект” (OR = 1,4 (95%-ный д. и.: 1,2; 1,6) при 1 Гр). Анализ порога зависимости “доза–эффект” дал оценку максимального правдоподобия, равную 0,1 Гр (95%-ный д. и.: < 0,08) [N17].

D231. В докладе НКДАР ООН за 1993 год [U6], который касался отдаленных детерминированных эффектов у детей, отсутствуют убедительные данные о катарактогенной чувствительности у молодых людей. В единственном содержательном исследовании, основанном на изучении лиц, переживших атомные бомбардировки в Японии, было выдвинуто предположение, что риск появления катаракты был выше для лиц, возраст которых в момент бомбардировки не превышал 15 лет, по сравнению с лицами в возрасте 15 лет или старше [C20]. Более новые данные офтальмологического обследования лиц, переживших атомную бомбардировку, подтверждают, что воздействие облучения уменьшается среди лиц, которые подверглись облучению в более старшем возрасте [N18].

D232. Исследования как детей, подвергшихся облучению радиоактивными выпадениями в результате чернобыльской аварии [D3], так и детей, которых лечили от гемангиомы радием [H12], подтверждают, что дети чувствительны к индукции катаракты ионизирующим излучением, хотя по результатам этих исследований невозможно определить конкретное влияние возраста.

f) Выводы

D233. Хотя задняя подкапсулярная катаракта характерна для воздействия радиации, несколько серий данных позволяют предположить, что более широкая категория задней кортикальной катаракты также может рассматриваться как связанная с радиацией. PSC не патогномична для радиации, а может также вызываться лекарственными средствами (стероиды, аллопуринол, дилантин, хлорпромазин и др.); системными нарушениями (диабет, гипокальциемия, дефицит рибофлавина); некоторыми воспалительными или дегенеративными глазными заболеваниями; и глазной травмой. Исследование облучения чернобыльских детей [D3], исследование гемангиом у детей [H6], чернобыльское исследование работников UACOS [W7] и исследование лиц, переживших атомные бомбардировки [M4], в значительной степени были посвящены данному вопросу с помощью статистической оценки и корректировки на различные другие факторы риска. Продолжение вышеперечисленных исследований будет полезным для получения более четкой картины риска, вызванного радиацией в малых дозах.

D234. Таким образом, несколько новых серий данных позволяют предположить, что развитие катаракты происходит после воздействия относительно низких доз ионизирующего излучения, и что порог зависимости “доза–эффект”, скорее всего, не превышает 1 Гр. Хотя большая часть этих данных относится к случаям катаракты более низкой степени, последние результаты исследования лиц, переживших

атомные бомбардировки в Японии, свидетельствуют о том, что при относительно низких дозах после достаточно продолжительного латентного периода также появляется избыточное число случаев катаракты более высокой степени [N17]. Все еще нерешенным остается вопрос о том, прогрессирует ли со временем некоторая доля вызванных радиацией помутнений хрусталика I степени до состояния, когда развивается более тяжелая форма катаракты с потерей зрения.

D235. Для лучшего понимания различия в новых и традиционных данных необходим критический анализ всей имеющейся информации по этой теме. Необходимо провести дальнейшие исследования основных групп, чтобы более точно оценить латентность катаракты и ее последующего прогрессирования и более эффективно определить риск при облучении хрусталика низкими или средними дозами. В отношении всех исследований необходимо рассмотреть вопросы плана и методики исследования, такие как разработка точных реконструкций дозы, наличие соответствующей контрольной группы, беспристрастная и стандартизованная оценка обследуемых, чтобы не допустить ошибок, использование достаточно чувствительного метода наблюдения (например, обследование с помощью щелевой лампы с должным расширением зрачков), документирование наличия других факторов риска развития катаракты и анализ взаимосвязи “доза–эффект”, степени тяжести катаракты и ее латентности.

D. Прогнозирование риска

D236. Возможный риск для здоровья больших групп населения, подвергшихся облучению, можно прогнозировать с помощью моделей радиационного риска, которые частично основаны на эпидемиологических данных и частично – на биофизическом моделировании [U3, U7, U17]. Практической целью подобного прогнозирования риска может быть либо предоставление информации для принятия решений о специализированном медицинском обслуживании соответствующих групп населения, либо предоставление общедоступной информации, либо и то и другое. Подобный прогноз может также использоваться для оценки статистической мощности и, следовательно, осуществимости предлагаемого эпидемиологического проекта. Необходимо подчеркнуть, что прогнозирование радиационного риска не применяется непосредственно для целей радиационной защиты, так как решения, связанные с радиационной защитой, обычно принимаются на основе более практических дозовых критериев [B49, F11, I37].

D237. Основным источником данных для моделирования вероятностных рисков вследствие облучения остается “исследование продолжительности жизни” (LSS) лиц, переживших атомные бомбардировки, опирающееся на более чем полувековой опыт детального изучения отдаленных последствий для здоровья в большой группе населения, подвергшейся облучению дозами радиации, варьирующими в широком диапазоне [P3]. Вместе с тем использование данных LSS применительно к облученным в результате чернобыльской аварии требует ряда допущений в отношении уровней и мощности дозы и характеристик населения. Эти допущения увеличивают погрешность при прогнозировании с использованием результатов LSS [J7]. По этой причине необходимы дополнительные данные по результатам других исследований человека и экспериментальных радиобиологи-

ческих исследований, например касающихся значений фактора эффективности дозы и мощности дозы (DDREF).

D238. Многие исследовательские группы делали прогнозы радиационных рисков как в диапазоне высоких доз, относящихся к гипотетическим сценариям ядерной войны [I42], в диапазоне промежуточных доз, актуальном для ядерных и радиационных аварий, так и в диапазоне низких доз, типичных для текущей эксплуатации ядерных установок. Различные модели риска использовались применительно к разным типам излучения и диапазонам доз, принимая во внимание возраст на момент облучения, пол и другие факторы. Большое число прогнозов радиационного риска было сделано в связи с оценкой последствий чернобыльской аварии для здоровья людей [A11, C1, C11, I43, T4, W5].

D239. Все прогнозы риска для здоровья основывались на известной на тот момент информации о дозах, полученных населением; они обычно исходили из линейной беспороговой модели (LNT) зависимости вероятности заболевания радиогенными видами рака от уровня дозы и использовали параметры из докладов НКДАР ООН и МКРЗ [I44, I45, U9] и ряда национальных публикаций, например [N4]. С появлением новых эпидемиологических данных модели и прогнозы рисков обновлялись.

D240. Первые прогнозы потенциальных медицинских последствий аварии были подготовлены группой советских специалистов по поручению органов власти в августе 1986 года и опубликованы в сборнике материалов состоявшегося в Москве в июне 1987 года симпозиума [I43], имевшем гриф секретности до 1989 года. В этих статьях не рассматривался прогноз заболеваемости для ликвидаторов.

D241. Одна из статей была посвящена возможным медицинским последствиям чернобыльской аварии для жителей территорий Беларуси, Российской Федерации и Украины, на которых были отмечены высшие уровни радиоактивных выпадений [B47]. Согласно прогнозу, показатель смертности от рака для 1,1 млн. жителей этих территорий в течение последующих 70 лет после аварии должен увеличиться в среднем на 3,3 процента и ожидаются примерно 7500 случаев рака щитовидной железы, в том числе около тысячи таких случаев среди детей, которым на момент аварии было менее семи лет.

D242. Во второй статье отдельно рассматривались ожидаемые последствия для российского населения [R4]. Для 600 тыс. жителей наиболее загрязненных территорий в четырех областях (Брянской, Тульской, Калужской и Орловской) прогнозируемое увеличение смертности от рака составляло 3,5 процента, тогда как для 60 млн. жителей европейской части Российской Федерации – 0,2 процента. Кроме того, в четырех областях прогнозировалось 1400 случаев рака щитовидной железы, включая более чем 300 случаев среди детей в возрасте до 7 лет, а также до 9 тыс. случаев (из них 3 тыс. случаев среди детей) – в европейской части России. В целом в результате этих исследований было сделано четыре важных вывода:

- детерминированных последствий радиации для населения в целом отмечено не будет;
- с точки зрения организации здравоохранения потенциальный рост заболеваемости радиогенными видами рака будет несущественным, хотя в определенных периоды времени эпидемиологическими

методами можно будет выявить обусловленные радиацией последствия для некоторых групп населения;

- следует ожидать значительного роста заболеваемости радиогенным раком щитовидной железы, особенно среди детей;
- жертвами психологической травмы, вызванной аварией, станут миллионы людей.

D243. В 1988 году американские ученые опубликовали первую оценку глобальных последствий чернобыльской аварии [A11]. На основе данных мониторинга и имеющихся экологических моделей они оценили ожидаемую пожизненную коллективную дозу во всем теле для жителей Северного полушария на уровне около 900 тыс. чел.-Гр и рассчитали ее распределение среди стран Европы (97 процентов), Азии и Северной Америки. Они прогнозировали от 2 тыс. до 17 тыс. случаев смерти от рака вследствие облучения в результате аварии в бывшем Советском Союзе (40 процентов) и в остальных странах Европы (60 процентов). Тем не менее соответствующий средний прирост смертности от рака среди населения будет пренебрежимо малым, т. е. 0,02 процента в бывшем Советском Союзе и 0,01 процент в Европе. Авторы также отметили огромные экономические и социальные последствия аварии.

D244. Через десять лет после аварии международная группа специалистов, которая принимала активное участие в поставарийных эпидемиологических исследованиях, подготовила более детальный прогноз возможных последствий заболеваемости раком на основе уточненных оценок эффективных доз и использования соответствующих факторов радиационного риска и линейной беспороговой модели (таблица D24) [C1]. Население подразделялось на 600 тыс. лиц, подвергшихся наиболее сильному облучению (ликвидаторы, которые работали в 1986–1987 годах, эвакуированные лица и жители зоны строгого контроля¹), и примерно 7 млн. жителей других территорий с радиоактивными выпадениями.

D245. Согласно прогнозу 1996 года, приблизительно 4 тыс. дополнительных случаев преждевременной смерти от рака (сôлидного рака и лейкозов) вследствие повышенных доз радиации, по оценке, произойдет в течение жизни подвергшихся более сильному облучению групп населения (600 тыс. человек) и еще дополнительно 5 тыс. случаев смерти – среди 7 млн. других жителей. Прогнозируемый средний прирост частоты индуцированного радиацией сôлидного рака в течение жизни составляет 3,3 процента среди населения, подвергшегося более сильному облучению, и 0,6 процента – среди других жителей. Прогнозируемое среднее увеличение частоты индуцированного радиацией лейкоза составило 12 процентов и 1,5 процента соответственно.

D246. Между прогнозами 1986, 1988 и 1996 годов имеется разумная согласованность. Из таблицы D24 также следует, что для больших групп населения рост заболеваемости раком вследствие облучения будет практически незаметным. Вместе с тем что касается отдельных групп населения в конкретные периоды времени после чернобыльской аварии, то увеличение заболеваемости раком может быть установлено научными методами. В частности, увеличение случаев заболевания лейкозами среди ликвидаторов должно быть выяв-

лено в течение первых десяти лет. Однако в 1996 году не проявился рост заболеваемости раком среди групп населения, подвергшихся наиболее сильному облучению [C1].

D247. Рак щитовидной железы вследствие внутреннего облучения радиоактивным йодом не рассматривался ни в этой статье [C1], ни в работе [A11]. Это объясняется тем, что рост заболеваемости раком щитовидной железы среди детей и подростков, которые жили на наиболее загрязненных территориях весной 1986 года, уже был широко признан [K32, L9], и усилия были сконцентрированы на анализе данных наблюдения.

D248. На Чернобыльском форуме в 2003–2005 годах [C22, W5] были рассмотрены вопросы, касающиеся сравнения прогнозов возможного роста заболеваемости раком в результате аварии с данными наблюдения различных групп населения за 20 лет. На основе имеющихся эпидемиологических данных эксперты Форума сочли нецелесообразным пересматривать прогноз Cardis et al. [C1], несмотря на некоторые расхождения при анализе демографических и дозиметрических данных.

D249. В 2006 году Британский комитет опубликовал независимую оценку экологических и потенциальных медицинских последствий чернобыльской аварии для населения Европы [F10]. В основном эксперты рассмотрели многочисленные опубликованные оценки коллективной дозы и прогнозируемые последствия для здоровья и, по-видимому, отобрали максимальные их значения. Что касается количества дополнительных прогнозируемых случаев смерти от радиации, то эксперты выбрали диапазон значений от 30 тыс. до 60 тыс. случаев в качестве наиболее достоверной величины и предположили, что большинство из них могут иметь место в Европе за пределами Беларуси, Российской Федерации и Украины. При этом анализе Комитет исходил из ошибочного предположения, что “более половины радиоактивных осадков после чернобыльской аварии выпало за пределами этих стран” (т. е. Беларуси, Российской Федерации и Украины). В действительности же в остальной Европе выпало лишь 23 процента “чернобыльского” радиоактивного цезия [E5].

D250. В 2006 году Cardis et al. предприняли еще одну попытку сделать прогноз возможного дополнительного роста онкологических заболеваний среди населения Европы вследствие облучения “чернобыльской” радиацией. Они использовали уточненные оценки коллективных доз и современные модели риска, разработанные недавно Комитетом BEIR VII (биологические последствия ионизирующей радиации) [C11, C23]. Прогнозы рисков позволяют предположить, что к тому времени чернобыльская авария могла стать причиной примерно тысячи дополнительных случаев рака щитовидной железы и 4 тыс. дополнительных случаев других видов рака в Европе, что составляет около 0,01 процента всех случаев заболевания раком со времени аварии. Согласно модельным прогнозам, к 2065 году примерно 16 тыс. (95%-ный д. и.: 3400, 72 тыс.) случаев рака щитовидной железы и 25 тыс. (95%-ный д. и.: 11 тыс., 59 тыс.) случаев заболевания другими видами рака могут быть обусловлены облучением в результате аварии, тогда как несколько сотен миллионов случаев рака будут вызваны другими причинами. Весьма маловероятно, что этот дополнительный груз заболеваемости раком в результате крупнейшей на сегодняшний день ядерной аварии может быть выявлен с помощью мониторинга национальной статистики по раку.

¹К зонам строгого контроля были отнесены территории, на которых в 1986 году плотность выпадения ¹³⁷Cs превышала 555 кБк/км².

D251. Для надлежащей интерпретации и распространения прогнозов радиационного риска необходимо понять их ограничения в научном плане. При современном уровне знаний существуют надежные эпидемиологические данные о рисках заболеваемости раком и связанной с этим смертности вследствие облучения радиацией в группах лиц, получивших однократно среднюю дозу радиации порядка 100 мЗв и более. На сегодняшний день ни наиболее информативное исследование продолжительности жизни (LSS), ни какие-либо другие исследования не дали неопровержимых доказательств канцерогенных последствий облучения при меньших дозах. Вот позиция, сформулированная НКДАР ООН в приложении G “Биологические последствия низких доз радиации” к докладу НКАДР ООН за 2000 год [U3]: “Имеются обширные и убедительные научные доказательства риска для здоровья при высоких дозах. Текущие обобщенные данные, по которым существует международное согласие, свидетельствуют о том, что случаи радиационно-индуцированного рака (превышение над фоновыми случаями) могут наблюдаться у людей при эффективных дозах более 0,1 Зв, полученных при высокой мощности дозы”.

D252. В связи с тем что прогнозы возможных последствий для здоровья непосредственно не предназначены для их использования в целях обоснования необходимых мер радиационной защиты, их не обязательно основывать на осторожном подходе (таком, как линейная беспороговая модель), а скорее, их необходимо базировать на прочно установленных научных фактах. В дозовом диапазоне менее 0,1 Зв ввиду отсутствия надлежащих экспериментальных данных, отчасти связанном с существенными статистическими погрешностями, зависимость частоты обусловленных радиацией вредных последствий от дозы можно оценить только с помощью биофизических моделей, среди которых самыми популярными являются линейные беспороговые модели [B48, U3]. Наряду с ними также существует большое количество других моделей, включая сверхлинейные и пороговые модели и даже модели, учитывающие возможный благоприятный эффект радиации, который называют эффектом гормезиса. По этим причинам Комитет не будет использовать эти модели для прогнозирования абсолютных значений последствий для населения, подвергнувшегося облучению в малых дозах, из-за неприемлемых уровней погрешности при прогнозировании.

D253. Необходимо отметить две важные особенности прогнозирования радиогенных раковых заболеваний. Во-первых, до сих пор неизвестны конкретные маркеры для радиогенного рака. Это означает, что невозможно установить, чем

вызвано заболевание раком у конкретных людей – последствиями радиации, или другими причинами, или, тем более, облучением в результате аварии или фоновым излучением. С учетом индивидуальной дозы можно только оценить риск заболевания данного лица. Это в принципе отличается от ситуации с жертвами ОЛБ в 1986 году, когда все они были известны поименно и ОЛБ у них была диагностирована на основе неопровержимых медицинских данных. Во-вторых, важно понять значительную статистическую погрешность любого прогноза на основе линейной беспороговой модели. Эта модель способна давать оценки риска только в пределах порядка величины.

D254. На сегодняшний день для когорты жителей территорий Беларуси, Российской Федерации, Украины и других стран Европы [A11, C1, C11, R4, T4], получивших средние эффективные дозы менее 30 мЗв в течение 20 лет, отсутствуют убедительные данные для прогнозирования их радиогенной заболеваемости и смертности с разумной определенностью. В то же время нельзя исключать того, что с дальнейшим развитием радиобиологии человека и других млекопитающих будут получены необходимые данные о последствиях облучения в малых дозах для здоровья человека. Это может обеспечить в будущем научную основу для оценки последствий чернобыльской аварии для здоровья жителей территорий, где зарегистрированы низкие уровни радиации.

D255. По вышеизложенным причинам любой прогноз возможных последствий облучения в малых дозах радиации для здоровья больших групп населения должен сопровождаться подробным разъяснением соответствующих концептуальных предостережений и уровней неопределенностей при прогнозировании. Чтобы представить такого рода прогнозы в соответствующем контексте, желательно, чтобы они были приведены в формате относительного увеличения по сравнению с фоновыми показателями заболеваемости или смертности с указанием уровней неопределенности. Это позволит сопоставить риск для здоровья от ионизирующей радиации с другими рисками для здоровья и с базовыми показателями заболеваемости или смертности.

D256. В течение последнего десятилетия Комитет по традиции избегал прогнозирования последствий для здоровья, которые могли быть вызваны облучением больших групп населения в малых дозах, главным образом из-за значительной неопределенности таких прогнозов и возможного неправильного их толкования при информировании населения.

IV. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

D257. Характер и тяжесть долгосрочных радиационно-индуцированных поражений кожи у лиц, переживших острую лучевую болезнь в 1986 году, естественным образом связаны с тяжестью радиационного поражения в острый период. В долгосрочной перспективе у пациентов, получивших более высокие дозы, наблюдались телеангиэктазия, рецидивирующие язвы и фиброз, а у других пациентов отмечались умеренные атрофические изменения и гиперкератоз. Распространенность в долгосрочной перспективе радиационной катаракты возрастала со степенью острой лучевой болезни и полученной дозой. В большинстве случаев радиационная катаракта развивалась в течение первых пяти лет

после облучения. Латентный период для развития катаракты был короче у лиц, получивших высокие дозы.

D258. В группе лиц, переживших острую лучевую болезнь, в результате проведения тщательных медицинских обследований в течение первых пяти лет после аварии выявлена значительная частота нейросоматических заболеваний, включая отоларингологические, заболевания нервной системы и желудочно-кишечного тракта. Рост частоты сердечно-сосудистых заболеваний был выявлен позднее, и он коррелирует со старением пациентов. Из 13 случаев солидного рака четыре случая были выявлены у лиц, перенесших острую

лучевую болезнь, и девять случаев – у лиц с неподтвержденной острой лучевой болезнью. Средний латентный период солидного рака, выявленного до 2006 года, составляет 14 лет.

D259. За более чем 20 лет, прошедших после аварии (1987–2006 годы), по различным причинам умерли 19 из 106 лиц, перенесших острую лучевую болезнь, и 14 из 99 лиц с неподтвержденным диагнозом “острая лучевая болезнь”. Наблюдалась тенденция к повышению уровня смертности от соматических заболеваний в зависимости от степени острой лучевой болезни, хотя формальный эпидемиологический анализ смертности среди лиц, перенесших острую лучевую болезнь, не проводился. Среди причин смерти лиц, перенесших острую лучевую болезнь, было четыре случая онкогематологических заболеваний.

D260. Чернобыльские регистры имеют потенциал, чтобы стать важными источниками информации о долговременных последствиях радиационного воздействия на здоровье. Стандартизация процедур по трем регистрам в значительной мере повысила бы их полезность для эпидемиологических исследований.

D261. Возможные долговременные последствия облучения в результате чернобыльской аварии для здоровья остаются важным вопросом. Настоящее приложение посвящено главным образом исследованию заболеваемости раком щитовидной железы, лейкозом и всеми видами солидного рака в совокупности, заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистых заболеваний, развития катаракты и аутоиммунного тиреоидита. Эти заболевания были отобраны на основе их потенциальной чувствительности к радиации, а также потому, что Комитет счел новые данные в других областях недостаточными, чтобы обосновать изменения в выводах доклада НКДАР ООН 2000 года.

D262. При оценке риска рака среди населения, подвергшегося облучению в результате чернобыльской аварии, рассматриваются два вида исследований: исследования на основе географической корреляции, связывающие обобщенные показатели заболеваемости со средними дозами, и аналитические исследования (методом “случай–контроль” или когортные), где используется индивидуальная информация. Последние считаются более надежными и достоверными для изучения взаимосвязи “доза–эффект”.

D263. При исследованиях аварийных работников и ликвидаторов, которые ежегодно проходят обследование на предмет выявления различных заболеваний и для которых по этой причине возрастает вероятность обнаружения небольших опухолей, может иметь место систематическая погрешность, связанная со скринингом и подозрительностью в постановке диагноза. Тренды показателей заболеваемости в группах аварийных работников и ликвидаторов являются информативными с научной точки зрения только в том случае, если при диагностировании применяются одни и те же методы выявления заболеваний в течение всего представляющего интерес периода, не зависящие от индивидуального уровня облучения. В целом при интерпретации результатов исследований групп населения, подвергшихся облучению в результате чернобыльской аварии, должны учитываться меняющиеся со временем методы выявления заболеваний и вероятность того, что разные группы населения будут с разной частотой подвергаться скринингу.

D264. Спустя более чем 20 лет после облучения отсутствуют какие-либо признаки снижения значительного роста заболеваемости раком щитовидной железы среди лиц, которые подверглись облучению в детском или подростковом возрасте в Беларуси, Российской Федерации и Украине в результате чернобыльской аварии. Среди лиц, которые были младше 14 лет в 1986 году, за период с 1991 по 2005 год было выявлено 5127 случаев рака щитовидной железы (для лиц, которым было меньше 18 лет в 1986 году, – 6848 случаев) во всей Беларуси и Украине и в четырех пострадавших областях Российской Федерации [18]. Продолжение систематического наблюдения этих групп населения повысит вероятность раннего выявления и лечения любой доброкачественной или злокачественной опухоли.

D265. Не вызывает сомнения тот факт, что избыточная заболеваемость раком щитовидной железы в значительной мере является следствием облучения радиоактивным йодом, выброшенным во время чернобыльской аварии. Из результатов исследований на основе географической корреляции оказывается, что избыточный абсолютный риск (EAR) вследствие облучения радиоактивным йодом несколько меньше, чем соответствующий риск в результате внешнего облучения. Однако это различие можно объяснить более коротким периодом времени после облучения в чернобыльских исследованиях по сравнению с исследованиями рака щитовидной железы после воздействия внешнего облучения.

D266. Кроме того, появились данные, что йодная недостаточность вполне может увеличить риск развития рака щитовидной железы в результате облучения радиоактивным йодом, выброшенным во время аварии. Результаты двух исследований позволяют предположить, что йодная недостаточность в период между облучением и постановкой диагноза может вдвое увеличить радиационный риск. В случае подтверждения будущими исследованиями это положение будет иметь значение в плане экстраполяции результатов исследований чернобыльской аварии на другие сценарии, где йодная недостаточность может играть определенную роль.

D267. Самым важным радионуклидом в смеси радиоактивных изотопов йода, облучающих щитовидную железу, являлся ^{131}I . Было высказано предположение о том, что короткоживущие изотопы йода более эффективны в качестве причины рака щитовидной железы, чем ^{131}I . Вклад в дозу в щитовидной железе других радиоактивных изотопов йода помимо ^{131}I относительно невелик, и, таким образом, их воздействие нельзя оценить в ходе эпидемиологических исследований групп, подвергшихся облучению в результате аварии.

D268. Данные исследований рака щитовидной железы среди взрослого населения, проживающего в Беларуси, Российской Федерации и Украине, и среди ликвидаторов носят несколько неоднозначный характер: в одних группах отмечается рост стандартизированных отношений заболеваемости (SIR), а в других последствия облучения менее значительны. Отсутствие убедительных данных о наличии какой-либо связи с оцененными дозами на щитовидную железу убедительно указывает на то, что наблюдаемая избыточная заболеваемость в значительной мере объясняется увеличением скрининга подвергшихся облучению групп по сравнению с населением в целом.

D269. В докладе НКДАР ООН 2000 года [U3] на основе имевшихся на тот момент данных было высказано предположение о возможном наличии связи между морфологическими подтипами (т. е. солидная/фолликулярная разновидность) папиллярного рака, наблюдавшегося у детей, и радиационным воздействием. Более новые данные поднимают вопросы, касающиеся предполагаемой причинной взаимосвязи между солидной/фолликулярной морфологией папиллярного рака и радиационным воздействием.

D270. Имеющиеся на сегодняшний день данные позволяют предположить, что молекулярная биология поставарийного рака щитовидной железы у детей аналогична молекулярной биологии рака, наблюдаемого у не подвергшихся облучению групп населения соответствующего возраста. В настоящее время проводится ряд крупных исследований молекулярной биологии поставарийного рака щитовидной железы с использованием верифицированного патоморфологическими методами материала, предоставленного Чернобыльским банком тканей.

D271. В отношении лиц, подвергшихся облучению *in utero* и в детском возрасте, не получено каких-либо убедительных данных, позволяющих предположить, что существует поддающийся измерению рост риска лейкоза вследствие радиационного воздействия. И это вполне резонно, поскольку полученные дозы были, как правило, весьма невелики, и в связи с этим ожидается, что эпидемиологические исследования не будут иметь достаточной статистической мощности, необходимой для наблюдения какого-либо эффекта, если даже такой эффект присутствует.

D272. В отношении ликвидаторов имеются данные о поддающемся выявлению повышенном риске лейкоза, основанные главным образом на результатах из Российской Федерации. Пока еще было бы преждевременным сопоставлять их непосредственно с оценками популяционных рисков от высоких доз и мощностей доз, например исследований лиц, переживших атомные бомбардировки в Японии; при этом необходимо помнить о недостатках исследований среди ликвидаторов. Остается надеяться, что полученные в будущем данные подобных исследований принесут содержательные результаты.

D273. В настоящее время нет убедительных данных, свидетельствующих о каком-либо поддающемся измерению увеличении риска всех видов солидного рака в совокупности или рака молочной железы у населения трех наиболее пострадавших республик. По всей видимости, нет закономерного увеличения риска для территорий, имеющих самые высокие уровни радиоактивного загрязнения, по сравнению с территориями с низкими уровнями, и не было отмечено каких-либо различий в показателях с течением времени для территорий с разными уровнями выпадений. Что касается заболеваемости солидным раком среди ликвидаторов, то в некоторых группах отмечается увеличение SIR; вместе с тем до сих пор не опубликованы количественные оценки риска на единицу дозы.

D274. Оценки данных, основанные на проведенных до настоящего времени наблюдениях и на использовании выводов исследований лиц, переживших атомные бомбардировки, и других исследований, позволяют предположить, что дозы, полученные населением, в целом после аварии, слишком малы, для того чтобы обеспечить достаточную статисти-

ческую мощность для исследований измеримого увеличения риска заболеваемости всеми видами солидного рака в совокупности, если такое повышение происходило. Хотя число случаев рака, предположительно вызванного облучением в результате аварии, весьма мало по сравнению с базовым риском рака, в абсолютных цифрах оно может быть весьма значительным. Безусловно, проведенные до настоящего времени эмпирические исследования не дают основания утверждать, что эти риски значительно выше рисков, предсказуемых с помощью имеющихся моделей прогноза риска.

D275. Проведено мало крупномасштабных исследований, посвященных изучению связи между аутоиммунным тиреоидитом и облучением в результате чернобыльской аварии. Остается неясной клиническая значимость повышенных уровней тиреоидных аутоантител при отсутствии каких-либо признаков разрушения тиреоидных клеток в результате аутоиммунной реакции. Имеющиеся на сегодняшний день данные не позволяют сделать предположение о наличии связи между радиацией и клинически значимым аутоиммунным тиреоидитом.

D276. Имеется мало веских доказательств сколько-нибудь заметного влияния радиационного воздействия в результате чернобыльской аварии на показатели заболеваемости сердечно-сосудистыми и цереброваскулярными болезнями и смертности от них. В ходе одного исследования ликвидаторов в Российской Федерации получено доказательство наличия статистически значимой связи между дозами излучения и показателями смертности от сердечно-сосудистых заболеваний и заболеваемости цереброваскулярными заболеваниями. Хотя результаты этого исследования статистически совместимы с результатами исследований среди лиц, переживших атомные бомбардировки, рост болезней органов кровообращения не подтверждается большинством других исследований при дозе ниже примерно 4 Гр. Кроме того, рост заболеваемости среди ликвидаторов не соответствует ожидаемой продолжительности латентного периода, который наблюдается в других исследованиях. Необходимо получить более убедительные доказательства, для того чтобы можно было сделать вывод о том, привело или нет облучение в результате чернобыльской аварии к увеличению риска заболеваемости сердечно-сосудистыми и цереброваскулярными болезнями и связанной с ними смертностью.

D277. У лиц, которые перенесли острую лучевую болезнь вследствие облучения высокими дозами, развились катаракты. Однако несколько новых серий данных позволяют предположить, что катаракта также развивается после воздействия относительно низких доз ионизирующего излучения и что порог зависимости “доза-эффект”, вероятно, не превышает 1 Гр. Хотя большая часть этих данных относится к случаям катаракты/помутнения хрусталика низкой степени, последние результаты исследования среди лиц, переживших атомные бомбардировки, свидетельствуют о том, что избыточная заболеваемость катарактой более высокой степени также возникает при относительно низких дозах после достаточно продолжительного латентного периода. Все еще нерешенным остается вопрос о том, прогрессирует ли со временем некоторая доля вызванных радиацией помутнений хрусталика I степени до состояния, когда развивается более тяжелая форма катаракты с потерей зрения.

D278. Даже если эмпирическое эпидемиологическое исследование дает доказательства роста заболеваемости потенци-

ально радиогенными болезнями, все же необходимо рассмотреть вопрос о возможности отнесения этого эффекта (т. е. возможном причинно-следственном характере выявленной связи) на счет радиации. Необходим тщательный учет возможных мешающих факторов и факторов, приводящих к смещению результатов, таких как промышленное загрязнение, свойства окружающей среды (например, уровни стабильного йода в почве), образ жизни (например, курение или употребление алкоголя), репродуктивная история, совершенствование диагностического оборудования и повышенное внимание медиков к пострадавшим группам населения (например, скрининг).

D279. Прогнозы риска для здоровья больших групп населения, подвергшихся облучению, часто делаются с использованием моделей радиационного риска, которые основываются на данных эпидемиологических исследований, полученных для других ситуаций облучения, и на биофизическом моделировании. Практическими целями такого прогнозирования риска может быть предоставление данных для принятия решений, касающихся медицинского обслуживания населения, или информирование населения. Различными группами были подготовлены несколько прогнозов последствий чернобыльской аварии для здоровья людей на основе линейной беспороговой модели. Однако имеется предел для использования данных эпидемиологических исследований. Если дозы меньше 0,1 Зв, то экспериментальные доказательства радиогенных последствий для здоровья неопределенны, и погрешность коэффициентов риска значительна. По этой причине

любые прогнозы радиационного риска в области малых доз должны рассматриваться как весьма неопределенные, особенно когда расчеты смертности от рака базируются на коллективных эффективных дозах, связанных с крайне малым дополнительным облучением больших групп населения в течение многих лет. Использование коллективных эффективных доз для прогнозирования риска неприемлемо, поскольку биологические и статистические неопределенности слишком велики.

D280. Основываясь на данных 20-летних исследований, теперь можно подтвердить выводы доклада НКДАР за 2000 год. По существу, лица, получившие облучение радиоактивным йодом в детском возрасте в результате чернобыльской аварии, и аварийные работники и ликвидаторы, получившие большие дозы излучения, подвергаются повышенному риску вызываемых радиацией последствий для здоровья. Подавляющее большинство населения подверглось облучению низкими дозами радиации, сопоставимыми с естественными фоновыми уровнями или в несколько раз превышающими их, и не должно жить в страхе перед серьезными последствиями для здоровья. Это верно по отношению к населению трех стран, наиболее пострадавших в результате чернобыльской аварии, – Беларуси, Российской Федерации и Украины – и тем более в отношении населения других европейских стран. Чернобыльская авария нарушила ход жизни многих людей, но с радиологической точки зрения прогноз будущего состояния здоровья для большинства населения вполне положительный.

Таблица D1. Число пациентов, наблюдавшихся в клинике Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна (ФМБЦ), Российская Федерация, по степени ОЛБ и радиационным поражениям [G9]

Степень ОЛБ	Острый период	1986–1990 годы	1991–1995 годы	1996–2000 годы	2001–2006 годы
I	23	26	8	1	2
II	43	42	16	5	4
III	14	14	5	3	3
IV	1	1	1	1	1
I–IV	81	83	30	10	10
Средний возраст (лет)	35,0±2,5 (диапазон 17–72)	35,2	39,6±3,6	44,0±5,0	48,7±4,9
Локальные поражения	54	40	18	5	5
Случаи смерти	27			1	

Таблица D2. Число пациентов, наблюдавшихся в клинике УНЦРМ, по степени ОЛБ [G9]

Степень ОЛБ	1986–1990 годы	1991–1995 годы	1996–2000 годы	2001–2006 годы
I	30	30	26	26
II	31	30	28	25
III	11	11	8	8
Случаи смерти (ОЛБ)	2	8	3	5
Неподтвержденная ОЛБ ^a	96	93	90	90
Случаи смерти (неподтвержденная ОЛБ)	3	3	—	1

^a Это люди, у которых первоначально предполагалась ОЛБ, но затем этот синдром не был подтвержден. Их называют пациентами "с неподтвержденной ОЛБ" или "нулевой степенью ОЛБ".

Таблица D3. Число лиц, перенесших ОЛБ, показатели крови которых отклонялись от нормы в течение 20 лет после аварии (ФМБЦ, Российская Федерация) [G9]

Показатели крови	Число пациентов ^a
Эритроциты ($\times 10^{12}/L$)	
<4,0	10 (8,7%)
>5,0	11 (8,9%)
Гемоглобин (г/L)	
<130	10 (8,7%)
>160	19 (16,6%)
Лейкоциты ($\times 10^9/L$)	
<4,0	14 (12,2%)
>9,0	10 (8,7%)
Нейтрофилы ($\times 10^9/L$)	
<2,0	15 (13,1%)
>5,5	8 (7,0%)

<i>Показатели крови</i>	<i>Число пациентов^a</i>
Лимфоциты ($\times 10^9/L$) <1,2 >3,0	12 (10,5%) 6 (5,2%)
Тромбоциты ($\times 10^9/L$) <180 >320	26 (22,7%) 4 (3,5%)

^a Процентные показатели рассчитаны для общего числа лиц, находящихся под наблюдением.

Таблица D4. Оценки дозы бета- и гамма-излучения в различных частях глаза у лиц, перенесших ОЛБ [G9]

<i>Доза гамма-излучения (Гр)</i>	<i>Доза бета-излучения на передней поверхности глаза (Гр)</i>	<i>Доза бета-излучения в сетчатке и на задней поверхности глаза (Гр)</i>
1	3,0	0,8
2	6,0	1,5
3	9,0	2,3
4	12,0	3,0
5	15,0	3,8
6	18,0	4,5
7	21,0	5,3
8	24,0	6,0
9	27,0	7,0
10	30,0	7,5

Таблица D5. Заболеваемость солидным раком среди 72 лиц, перенесших ОЛБ, и 96 лиц с неподтвержденной ОЛБ [B44]

<i>Номер</i>	<i>Степень ОЛБ</i>	<i>Диагноз</i>	<i>Год постановки первого диагноза</i>	<i>Исход</i>
1	0	Саркома мягких тканей бедра	1992	Умер в 1993 году
2	0	Лейомиосаркома голени	1998	Прооперирован в 1998 году
		Рак толстой кишки	1999	Прооперирован в 1999 году
3	0	Рак толстой кишки	2001	Умер в 2005 году
4	0	Рак почки	2000	Прооперирован в 2001 году
5	0	Рак желудка	2004	Умер в 2004 году
6	0	Рак желудка	2004	Умер в 2005 году
7	0	Рак легкого	2001	Прооперирован в 2003 году
8	0	Рак предстательной железы	2001	Умер в 2003 году
9	0	Рак гортани	2000	Умер в 2001 году
10	1	Рак толстой кишки	1997	Прооперирован в 1997 году
11	2	Рак щитовидной железы	2000	Прооперирован в 2000 году
12	2	Рак щитовидной железы	2000	Прооперирован в 2001 году
13	2	Невринома нижней челюсти	2003	Умер в 2004 году

Таблица D6. Число пациентов с заболеваниями четырех систем организма, которые наблюдались в клинике ФМБЦ [G9]

Заболевания	Периоды времени							
	1986–1990 годы		1991–1995 годы		1996–2000 годы		2001–2006 годы	
	Число лиц	%	Число лиц	%	Число лиц	%	Число лиц	%
Желудочно-кишечная система	60	72,3	23	76,7	8	80,0	9	90,0
Сердечно-сосудистая система	44	53,0	22	73,3	9	90,0	10	100,0
Эндокринная система	16	19,2	3	10,0	4	40,0	7	70,0
Дыхательная система	11	13,3	7	23,3	2	20,0	3	30,0

Таблица D7. Причины смерти лиц, перенесших ОЛБ в результате чернобыльской аварии, в более поздний период [B10, B39, B41, B42, B44, G9, U3]

№	Ф.И.О.	Степень ОЛБ	Год смерти	Возраст (лет)	Причина смерти
1	П.В.А.	I	1993	41	Внезапная сердечная смерть
2	В.О.Е.	I	1995	51	Туберкулез легких
3	К.А.П.	I	1995	53	Посттравматическая жировая эмболия
4	С.М.А.	I	1995	26	Внезапная сердечная смерть
5	С.В.Г.	I	2002	51	Миелодиспластический синдром
6	Р.Г.И.	I	2002	51	Травма
7	В.М.П.	II	1987	81	Гангрена легких
8	К.Я.Ф.	II	1990	68	Внезапная сердечная смерть
9	Б.В.И.	II	1995	46	Цирроз печени
10	Г.М.Ю.	II	1998	45	Цирроз печени
11	Ш.В.К.	II	1998	61	Острая миеломонобластическая лейкемия
12	Б.В.М.	II	1998	80	Внезапная сердечная смерть
13	М.А.С. ^a	II	1999	61	Инсульт
14	Т.Л.П.	II	2004	53	Невринома нижней челюсти
15	В.М.П.	III	1992	67	Внезапная сердечная смерть
16	Б.Г.В.	III	1993	52	Миелодиспластический синдром
17	Д.А.С.	III	1995	64	Миелодиспластический синдром
18	Б.И.З.	III	2001	87	Внезапная сердечная смерть
19	П.А.Н.	III	2004	41	Туберкулез легких

^a Данный пациент жил в России, а остальные 18 – в Украине.

Таблица D8. Показатели смертности от соматических заболеваний за 20 лет среди пациентов, перенесших в 1986 году ОЛБ различной степени тяжести [B39, G9]

Степень ОЛБ	Число лиц, переживших ОЛБ и находящихся под наблюдением	Число случаев смерти от соматических заболеваний ^a в 1987–2006 годах	Смертность от соматических заболеваний ^a в 1987–2006 годах (относительные единицы)
0	99	12	0,12
I	41	5	0,12
II	49	8	0,16
III	15	5	0,33

^a За исключением смерти от травм и несчастных случаев.

Таблица D9. Число лиц, зарегистрированных в Чернобыльских регистрах

Категория регистрации	Беларусь (2005 год)	Российская Федерация (2006 год)	Украина (2006 год)
Группа 1. Аварийные работники и ликвидаторы	72 362 ^d	186 395	229 884
Группа 2. Лица, эвакуированные из зоны отчуждения	5 951	9 944 ^b	49 887
Группа 3. Лица, проживающие в загрязненных районах	1 513 826	367 850	1 554 269
Группа 4. Дети родителей из вышеуказанных трех групп	17 914 ^c	35 552 ^d	428 045
Всего	1 610 053	599 741	2 262 085

^a По состоянию на 2005 год по сравнению с таблицей В1, в которой данные по Беларуси представлены за 1996 год.

^b По России представлено число лиц, эвакуированных с 1986 года, включая некоторых мигрантов, сменивших место жительства в течение последующих лет.

^c Дети родителей, включенных в группы 1–3.

^d Только дети, родившиеся у ликвидаторов.

Таблица D10. Сводные данные о проведении скрининга в трех странах

Категория регистрации	Беларусь		Российская Федерация		Украина	
	Периодичность	Полнота охвата (%)	Периодичность	Полнота охвата (%)	Периодичность	Полнота охвата (%)
Группа 1 – аварийные работники и ликвидаторы, 1986–1987 годы – ликвидаторы после 1987 года	Ежегодно	97–99	Ежегодно	75	Ежегодно	83–85
	Ежегодно		Раз в два года	^a	Ежегодно	
Группа 2	Ежегодно		Ежегодно	47	Ежегодно	
Группа 3	Ежегодно		Ежегодно/ раз в два года ^b	47	Ежегодно	
Группа 4	Ежегодно		Ежегодно	81	Ежегодно	

^a Нет данных.

^b В зависимости от возраста и содержания радионуклидов в окружающей среде.

Таблица D11. Показатели заболеваемости раком щитовидной железы у лиц, облученных в возрасте до 18 лет

Возраст при облучении (лет)	Пол	Параметр	Периоды (календарные годы)				
			1982–1985	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005
Беларусь [18, К22]							
0–4	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет		11 0,57	155 8,02	258 13,35	209 10,82
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет		9 0,45	103 5,21	146 7,38	79 3,99
5–9	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет		9 0,50	108 6,02	91 5,07	169 9,42
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет		10 0,54	66 3,59	42 2,29	59 3,21
10–14	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет		8 0,46	67 3,85	131 7,52	202 11,60
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет		7 0,39	12 0,67	43 2,39	60 3,34
15–18	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет		15 1,11	57 4,21	109 8,05	223 16,46
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет		5 0,37	9 0,66	33 2,41	40 2,93
Всего (0–18)	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	2 0,04	43 0,64	387 5,72	589 8,71	803 11,88
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	1 0,02	31 0,45	190 2,75	264 3,82	238 3,44
Российская Федерация (Брянская, Калужская, Орловская и Тульская области) [18]							
0–4	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	0 0,0	1 0,12	13 1,47	36 3,91	46 5,18
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	0 0,0	0 0,0	12 1,32	26 2,75	24 2,7
5–9	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	1 0,15	2 0,24	20 2,35	37 4,28	52 6,44
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	0 0,0	1 0,12	6 0,69	10 1,13	14 1,67
10–14	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	0 0,0	3 0,36	24 3,02	48 5,95	108 13,9
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	0 0,0	1 0,12	9 1,07	9 1,05	10 1,23
15–18	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	1 0,18	8 1,24	43 7,21	61 9,97	87 13,87
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	0 0,0	1 0,15	8 1,26	14 2,14	17 2,64
Всего (0–18)	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	2 0,09	14 0,44	100 3,2	182 5,68	293 9,46
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	0 0,0	3 0,09	35 1,07	59 1,77	65 2,04

Возраст при облучении (лет)	Пол	Параметр	Периоды (календарные годы)				
			1982–1985	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005
Украина [L4, T2]							
0–4	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет		6 0,1	85 0,9	202 2,2	254 2,9
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет		9 0,1	55 0,6	91 0,9	103 1,1
5–9	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	1 0,01	20 0,2	106 1,2	181 2,0	326 3,9
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет		7 0,1	40 0,4	57 0,6	74 0,8
10–14	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	9 0,1	35 0,4	113 1,2	252 2,8	496 5,7
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	7 0,1	18 0,2	34 0,4	55 0,6	99 1,1
15–18	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	15 0,3	54 0,8	176 2,6	277 4,0	403 5,4
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	7 0,1	15 0,2	37 0,5	53 0,7	74 1,0
Всего (0–18)	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	25 0,1	115 0,3	480 1,4	912 2,7	1 479 4,4
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁵ чел.-лет	14 0,05	49 0,1	166 0,5	256 0,7	350 1,0

Таблица D12. Показатели заболеваемости раком щитовидной железы в различных возрастных группах (по возрасту на момент постановки диагноза) белорусского населения в период между 1982 и 2005 годами [I8, K22]

Возраст на момент постановки диагноза (лет)	Пол	Показатель	Периоды (календарные годы)				
			1982–1985	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005
0–9	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	0 0,00	17 4,36	126 33,27	10 3,43	6 2,59
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	0 0,00	16 3,94	74 18,70	8 2,61	5 2,12
10–19	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	1 0,70	25 6,99	191 51,11	333 83,86	205 54,33
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	0 0,00	14 3,84	106 27,76	177 43,27	90 23,25
20–29	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	1 0,58	3 0,75	81 22,50	231 65,39	357 97,00
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	0 0,00	2 0,50	12 3,37	79 22,31	111 29,79
Всего (0–29)	Ж	Число случаев Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	2 0,43	45 3,92	398 35,78	574 55,08	568 58,14
	М	Число случаев Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	0 0,00	32 2,73	192 16,93	264 24,68	206 20,70

Таблица D13. Показатели заболеваемости раком щитовидной железы в различных возрастных группах (по возрасту на момент постановки диагноза) российского населения (Брянская, Калужская, Орловская и Тульская области) в период между 1982 и 2005 годами [18]

Возраст на момент постановки диагноза (лет)	Пол	Показатель	Периоды (календарные годы)				
			1982–1985	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005
0–9	Ж	Число случаев	1	1	7	0	0
		Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	0,7	0,6	4,4	0,0	0,0
	М	Число случаев	0	0	1	2	1
		Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	0,0	0,0	0,6	1,5	0,9
10–19	Ж	Число случаев	1	11	39	61	51
		Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	0,7	6,6	23,0	33,3	28,3
	М	Число случаев	1	3	21	32	20
		Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	0,7	1,7	12,0	17,1	11,0
20–29	Ж	Число случаев	28	48	97	101	135
		Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	18,4	27,6	62,4	63,4	83,7
	М	Число случаев	2	11	20	23	28
		Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	1,3	6,1	12,2	13,6	16,7
Всего (0–29)	Ж	Число случаев	30	60	143	162	186
		Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	7,0	11,8	29,4	34,6	42,2
	М	Число случаев	3	14	42	57	49
		Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	0,7	2,6	8,3	11,6	10,7

Таблица D14. Показатели заболеваемости раком щитовидной железы в различных возрастных группах (по возрасту на момент постановки диагноза) украинского населения в период между 1982 и 2005 годами [L4, T2]

Возраст на момент постановки диагноза (лет)	Пол	Показатель	Периоды (календарные годы)				
			1982–1985	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005
0–9	Ж	Число случаев	3	14	38	7	7
		Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	0,2	0,8	2,2	0,5	0,8
	М	Число случаев	—	12	32	4	—
		Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	—	0,6	1,8	0,3	—
10–18	Ж	Число случаев	32	69	191	251	200
		Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	2,6	4,3	11,7	15,0	13,3
	М	Число случаев	19	30	76	118	83
		Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	1,5	1,8	4,5	6,8	5,4
19–30	Ж	Число случаев	—	33	252	627	863
		Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	—	1,7	12,6	30,0	41,0
	М	Число случаев	—	7	58	136	193
		Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	—	0,4	2,8	6,3	9,0
Всего (0–30)	Ж	Число случаев	35	116	481	885	1 070
		Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	0,8	2,2	9,0	17,4	22,1
	М	Число случаев	19	49	166	258	276
		Общий показатель на 10 ⁶ чел.-лет	0,4	0,9	3,0	4,9	5,5

Таблица D15. Оценки риска рака щитовидной железы в результате облучения в дозе 1 Гр с использованием различных моделей [С8]
Лица, подвергшиеся облучению в детском/подростковом возрасте в Беларуси и Российской Федерации

Модель	OR при дозе 1 Гр (95%-ный д.и.)
Логистическая регрессия – избыточный относительный риск	
Линейно-квадратическая модель по всему диапазону дозы	4,9 (2,2; 7,5)
Линейная модель до 2 Гр	5,5 (2,2; 8,8)
Линейная модель до 1,5 Гр	5,8 (2,1; 9,4)
Линейная модель до 1 Гр	6,6 (2,0; 11,1)
Логистическая регрессия – линейно-логарифмическая модель риска	
Линейно-квадратическая модель до 2 Гр	5,5 (3,1; 9,5)
Линейно-квадратическая модель до 1,5 Гр	5,9 (3,3; 10,5)
Линейно-квадратическая модель до 1 Гр	8,4 (4,1; 17,3)

OR = отношение шансов при дозе 1 Гр по сравнению с отсутствием облучения.
д. и. = доверительный интервал.

Таблица D16. Сводка оценок ERR и EAR для рака щитовидной железы среди лиц, подвергшихся облучению в детском и подростковом возрасте

Источник	ERR (95%-ный д. и.) (Гр ⁻¹)	EAR (95%-ный д. и.) (104 чел.-лет Гр) ⁻¹
Исследования на основе географической корреляции		
Jacob et al. [J1, J2, J4]	18,9 (11,1; 26,7)	2,66 (2,19; 3,13)
Kenigsberg et al. [K10, K22]	37,7 (35,1; 40,2)	1,93 (1,79; 2,06)
Ivanov et al. [I22]		
Девочки	10,0 (4,2; 21,6) внешний контроль	1,8 (1,0; 2,9)
Мальчики	67,8 (17,1; 5 448) внешний контроль	2,0 (1,1; 3,0)
Shakhtarin et al. [S6]	4,4 (2,8; 6,6)	
Likhtarov et al. [L5]	8 (4,6; 15)	1,55 (1,2; 1,9)
Аналитические исследования		
Astakhova et al. [A1]	6,04 (2,5; 17,7)	
Cardis et al. [C8]	4,5 (2,1; 8,5) до 7,4 (3,1; 16,3)	
Tronko et al. [T3]	5,25 (1,70; 27,5)	
Kopecky et al. [K17]	48,7 (4,8; 1 151)	
Davis et al. [D1]	1,65 (0,10; 3,20)	

Таблица D17. Частота случаев заболевания раком щитовидной железы среди лиц, подвергшихся облучению во взрослом возрасте
Стандартизованные отношения заболеваемости (SIR) для населения, подвергшегося облучению, в разбивке по странам и календарным годам

Страна/группа населения, подвергшегося облучению	Периоды (календарные годы)	
Российская Федерация , жители Брянской области [I3]	1986–1990	1991–1998
	Мужчины (95%-ный д.и.)	1,27 (0,92; 1,73)
	Женщины (95%-ный д.и.)	1,94 (1,70; 2,20)
Украина [S18]	1990–2004	
	Лица, эвакуированные из 30-км зоны	5,12 (n = 174) (4,36; 5,88)
	Взрослое население загрязненных зон	1,63 (n = 247) (1,43; 1,83)

Таблица D18. Заболеваемость раком щитовидной железы среди аварийных работников и ликвидаторов

Стандартизованные отношения заболеваемости (SIR) в разбивке по странам и календарным годам

<i>Аварийные работники и ликвидаторы</i>	<i>Периоды (календарные годы)</i>						
Российская Федерация [I9]	Продолжительность работы в 30-км зоне						
	апр.–июль 1986 г.	авг.–дек. 1986 г.	апр.–дек. 1986 г.	1987 г.	1988–1990 гг.	1986–1990 гг.	
	1986–1991 гг. (латентный период)						
	SIR (95%-ный д.и.)	4,20 (n = 4) (1,13; 10,74)	0 (n = 0) (н. д. 3,22)	1,91 (n = 4) (0,51; 4,89)	2,15 (n = 3) (0,43; 6,28)	3,61 (n = 2) (0,41; 13,04)	2,23 (n = 9) (1,02; 4,22)
	1992–1998 гг. (постлатентный период)						
SIR (95%-ный д.и.)	9,16 (n = 17) (5,33; 14,7)	5,14 (n = 12) (2,65; 8,97)	6,92 (n = 29) (4,63; 9,93)	3,78 (n = 13) (2,01; 6,47)	4,08 (n = 7) (1,63; 8,40)	5,24 (n = 49) (3,88; 6,93)	
Украина [S18]	1990–2004 гг.						
	SIR (95%-ный д.и.) 8 (n = 164) (6,78; 9,23)						

Таблица D19. Заболеваемость всеми видами солидного рака в совокупности (за исключением рака щитовидной железы) среди облученных групп населения России и Украины

Стандартизованные отношения заболеваемости (SIR) в разбивке по странам и календарным годам

<i>Страна/группа населения, подвергшегося облучению</i>	<i>Периоды (календарные годы)</i>			
Российская Федерация [I25, I26]	1991–1995	1996–2000	2001–2005	1991–2005
Население семи загрязненных районов Брянской области (95%-ный д.и.)	1,03 (n = 4 701) (1,00; 1,06)	0,99 (n = 4 751) (0,96; 1,02)	0,97 (n = 5 018) (0,95; 1,00)	1,00 (n = 14 470) (0,98; 1,02)
Украина [P16, S18]	1990–2004			
	Лица, эвакуированные из 30-км зоны (мужчины и женщины) (95%-ный д.и.)			
	0,84 (n = 2 182) (0,80; 0,88)			
Взрослое население загрязненных районов (мужчины и женщины) (95%-ный д.и.)				
0,85 (n = 11 221) (0,83; 0,86)				

Таблица D20. Заболеваемость всеми видами солидного рака в совокупности (за исключением рака щитовидной железы) среди аварийных работников и ликвидаторов

Стандартизованные отношения заболеваемости (SIR) в разбивке по странам и календарным годам

<i>Страна/группа населения, подвергшегося облучению</i>	<i>Периоды (календарные годы)</i>			
Российская Федерация [I25, I26]	1991–1995	1996–2000	2001–2005	1991–2005
Аварийные работники и ликвидаторы (мужчины) (95%-ный д.и.)	1,25 (n = 1 018) (1,17; 1,33)	1,18 (n = 1 461) (1,12; 1,24)	1,10 (n = 1 741) (1,05; 1,15)	1,16 (n = 4 220) (1,12; 1,19)
Украина [P16, S18]	1990–2004			
	Аварийные работники и ликвидаторы (мужчины) (95%-ный д.и.)			
1,17 (n = 5 396) (1,14; 1,20)				

Таблица D21. Латентный период и степени задней подкапсулярной катаракты (PSC) среди лиц, перенесших ОЛБ в результате чернобыльской аварии (получивших бета- плюс гамма-облучение)

Параметр	Диапазон дозы (Гр) (степень тяжести ОЛБ)		
	2,7–4,0 (ОЛБ средней тяжести)	4,7–5,7 (тяжелая форма ОЛБ)	7,1–8,7 (крайне тяжелая форма ОЛБ)
Латентный период (годы)	4–12	2,8–4,0	1,5–2,5
Максимальная степень PSC	I–II	II	III
Время развития максимальной степени болезни (годы)	6,0–12	3,8–5,0	2,8–3,0

Таблица D22. Скорректированные отношения шансов (OR) и 95%-ные доверительные интервалы в разбивке по дозовым группам среди аварийных работников и ликвидаторов чернобыльской аварии с разными степенями катаракты

Украинское чернобыльское исследование ликвидаторов (UACOS) [W7]

Диапазон дозы (мГр)	Отношения шансов по дозовым группам ^a (95%-ные доверительные интервалы)				
	100–249	250–399	400–599	600–799	800+
Помутнение PSC I степени	0,9 (0,8; 1,0)	0,9 (0,7; 1,2)	1,2 (0,9; 1,7)	1,2 (0,8; 1,8)	1,7 (1,1; 2,7)
Кортикальное помутнение I степени	0,9 (0,8; 1,0)	1,0 (0,8; 1,2)	1,1 (0,8; 1,5)	1,4 (1,0; 2,1)	1,6 (1,0; 2,5)
Катаракта II–V степеней	1,0 (0,7; 1,7)	1,6 (0,9; 2,8)	2,4 (1,2; 4,6)	1,3 (0,5; 3,1)	1,3 (0,5; 3,4)

^a Отношения шансов даны по сравнению с контрольной группой лиц, получивших дозы в диапазоне 0–99 мГр. Отношения шансов были скорректированы с использованием метода логистической регрессии с учетом таких факторов, как возраст на момент облучения, возраст и клинические показатели при первичном осмотре, пол (96% – мужчины), курение в настоящем и в прошлом, наличие сахарного диабета, история приема кортикостероидов или фенотиазина, профессиональное воздействие вредных химических веществ, облучение ионизирующей радиацией (за исключением полученной в ходе работ по ликвидации последствий аварии) и воздействие инфракрасного или ультрафиолетового излучения.

Таблица D23. Пороги зависимости “доза–эффект”: оценки методом максимального правдоподобия и профиль правдоподобия на основе 95%-ных доверительных интервалов для различных классов катаракты

Украинское чернобыльское исследование ликвидаторов (UACOS) [W7] и исследование лиц, переживших атомные бомбардировки в Японии [N17, N18]

Исследование и показатель катаракты	Оцененное значение дозового порога (95%-ный д. и.) (Гр)
UACOS, катаракта I–V степеней [W7]	0,50 (0,17; 0,65)
UACOS, помутнение I степени [W7]	0,34 (0,19; 0,68)
UACOS, кортикальное помутнение I степени [W7]	0,34 (0,18; 0,51)
UACOS, заднее подкапсулярное помутнение I степени [W7]	0,35 (0,19; 0,66)
Атомные бомбардировки, кортикальные катаракты [N18]	0,6 (<0; 1,2) ^a
Атомные бомбардировки, задние подкапсулярные катаракты [N18]	0,7 (<0; 2,8)
Атомные бомбардировки, хирургически удаленные катаракты [N17]	0,1 (<0; 0,8)

^a 90%-ные доверительные интервалы были сообщены для исследований, связанных с атомными бомбардировками.

Таблица D24. Прогнозы фоновой и избыточной смертности от солидного рака и лейкоза у групп населения, подвергшихся облучению в результате чернобыльской аварии (на основании [С1])

Группа населения	Численность группы населения/ средняя доза	Вид рака	Период	Фоновая смертность от рака	Прогнозы избыточной смертности от рака	AF ^a (%)
Аварийные работники и ликвидаторы, 1986–1987 годы	200 000 100 мЗв	Сóлидный рак	Продолжительность жизни (95 лет)	41 500	2 000	5
		Лейкоз	Продолжительность жизни (95 лет)	800	200	20
Лица, эвакуированные из 30-км зоны	135 000 10 мЗв		Лейкоз	Первые 10 лет	40	150
		Сóлидный рак		Продолжительность жизни (95 лет)	21 500	150
Лица, проживающие в зонах строгого контроля ^c	270 000 50 мЗв	Лейкоз	Продолжительность жизни (95 лет)	500	10	2
			Первые 10 лет	65	5	7
Лица, проживающие в зонах строгого контроля ^c	270 000 50 мЗв	Сóлидный рак	Продолжительность жизни (95 лет)	43 500	1 500	3
			Лейкоз	Продолжительность жизни (95 лет)	1 000	100
Население прочих "загрязненных" районов	6 800 000 7 мЗв	Лейкоз	Первые 10 лет	130	60	32
			Сóлидный рак	Продолжительность жизни (95 лет)	800 000	4 600
Население прочих "загрязненных" районов	6 800 000 7 мЗв	Лейкоз	Продолжительность жизни (95 лет)	24 000	370	1,5
			Первые 10 лет	3 300	190	5,5

^a AF: атрибутивная (на счет действия радиации. – Прим. ред.) доля риска = (избыточная смертность/общая смертность по той же причине) x 100.

^b Исправленная опечатка, которая имела место в [С1, W5].

^c Зоны строгого контроля, т. е. зоны с плотностью выпадения ¹³⁷Cs на почву свыше 0,6 МБк/м² (15 Ки/км²) в 1986 году.

Рисунок D-I. Частота случаев гранулоцитопении (А) и тромбоцитопении (В) среди лиц с неподтвержденной ОЛБ и лиц, перенесших ОЛБ [В9, В39, В42]

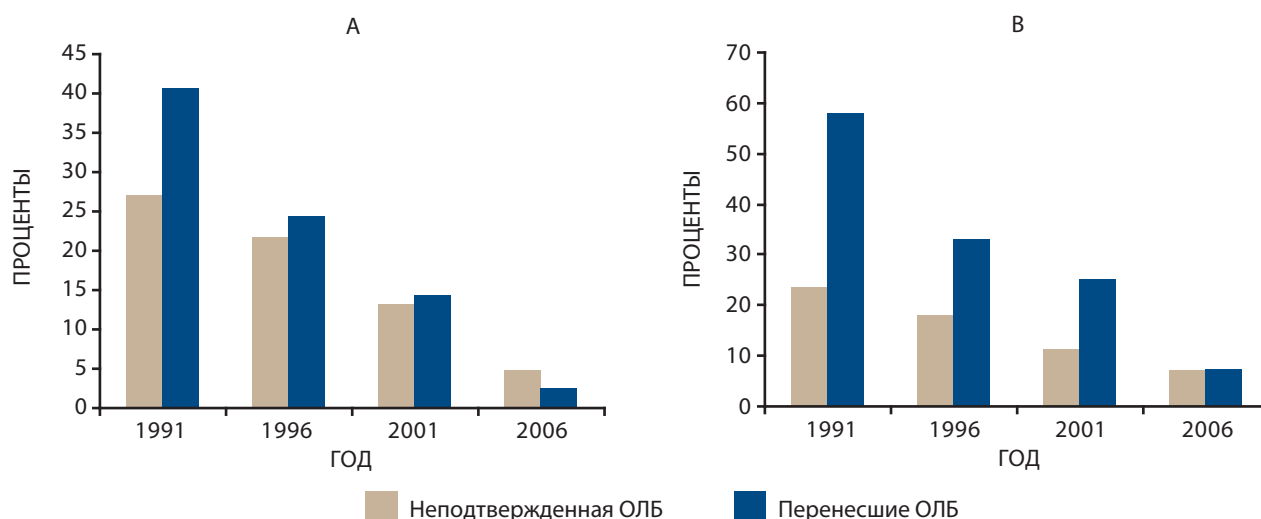


Рисунок D-II. Взаимосвязь между дозой бета- и гамма-излучения и продолжительностью латентного периода в развитии радиационных катаракт

Данные ФМБЦ, Российская Федерация [G9]

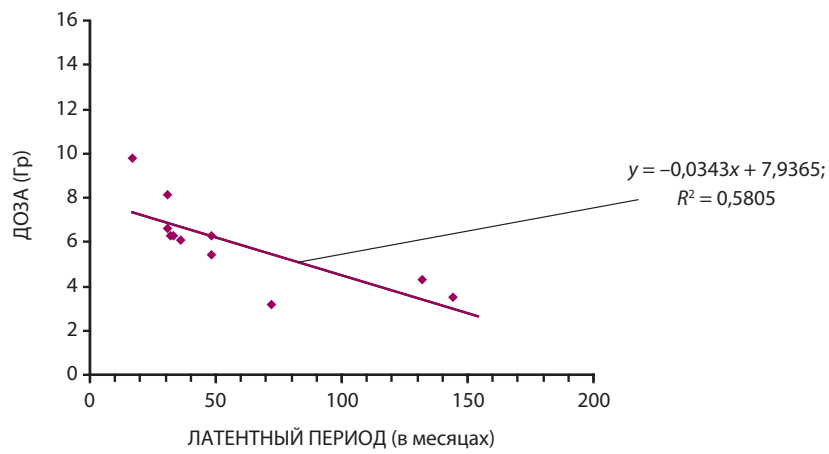


Рисунок D-III. Частота случаев катаракты, развившейся к 2006 году у лиц с неподтвержденной ОЛБ и лиц, перенесших различные степени ОЛБ: ОЛБ-I, ОЛБ-II и ОЛБ-III

Данные УНЦРМ [B9, B39, B42]

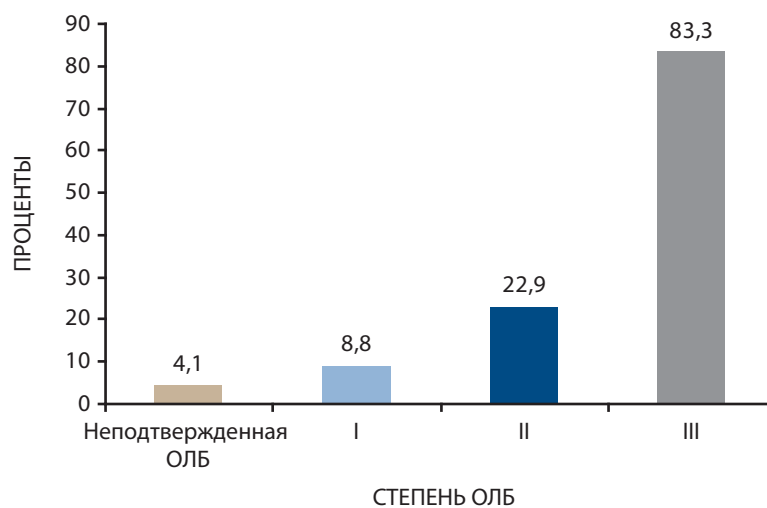


Рисунок D-IV. Число лиц, перенесших ОЛБ, с местными радиационными поражениями в результате чернобыльской аварии
Данные ФМБЦ, Российская Федерация [G9]

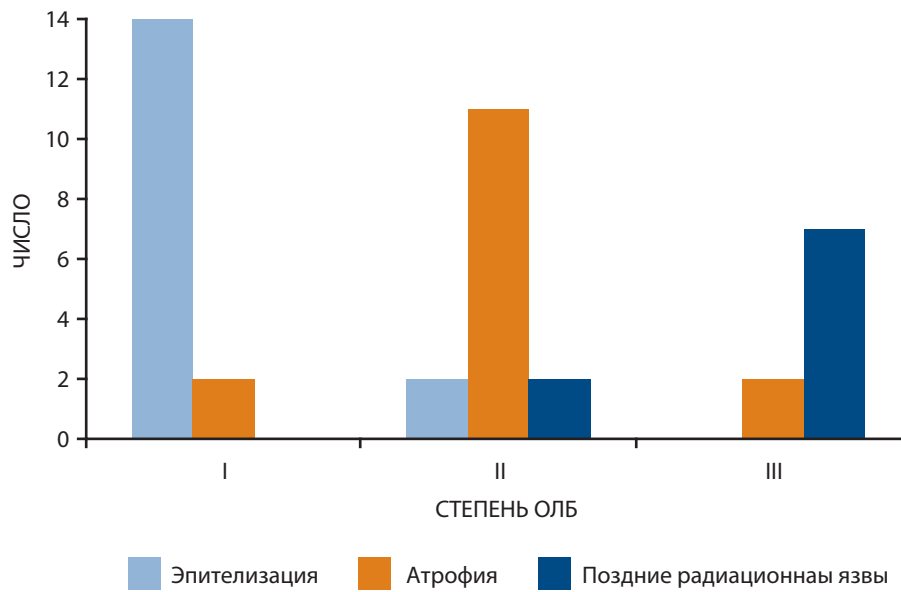


Рисунок D-V. Число лиц, перенесших ОЛБ, с местными радиационными поражениями в результате чернобыльской аварии
Данные УНЦРМ [B39]

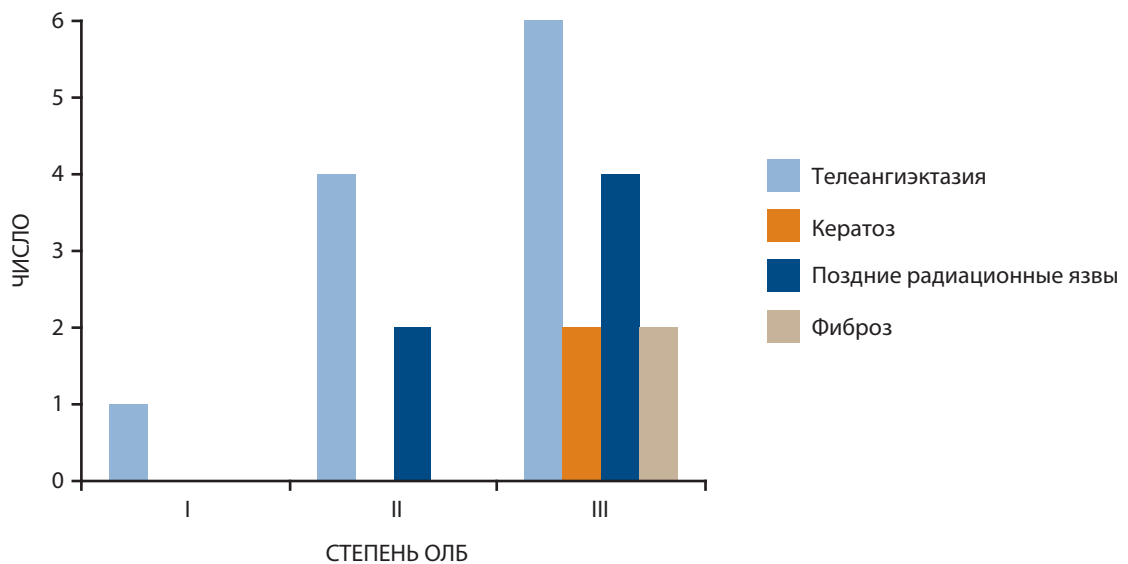


Рисунок D-VI. Распространенность респираторных заболеваний среди лиц с неподтвержденной ОЛБ и лиц, перенесших ОЛБ
Данные УНЦРМ [B42]

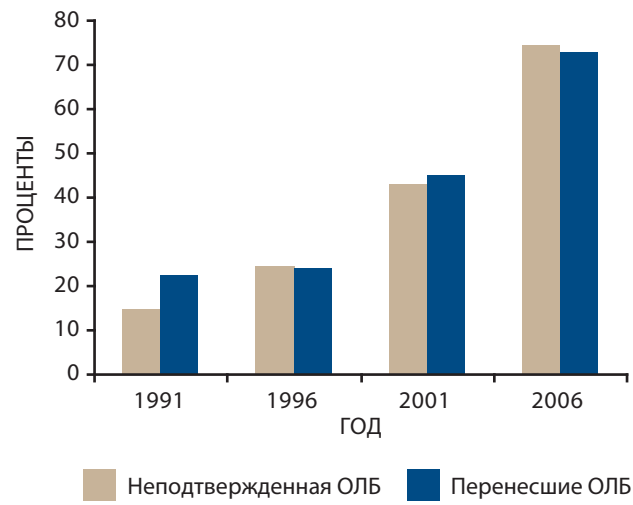


Рисунок D-VII. Число ультразвуковых обследований на 10^5 человек населения в трех областях Украины в 1990, 1995 и 2002 годах [L5]

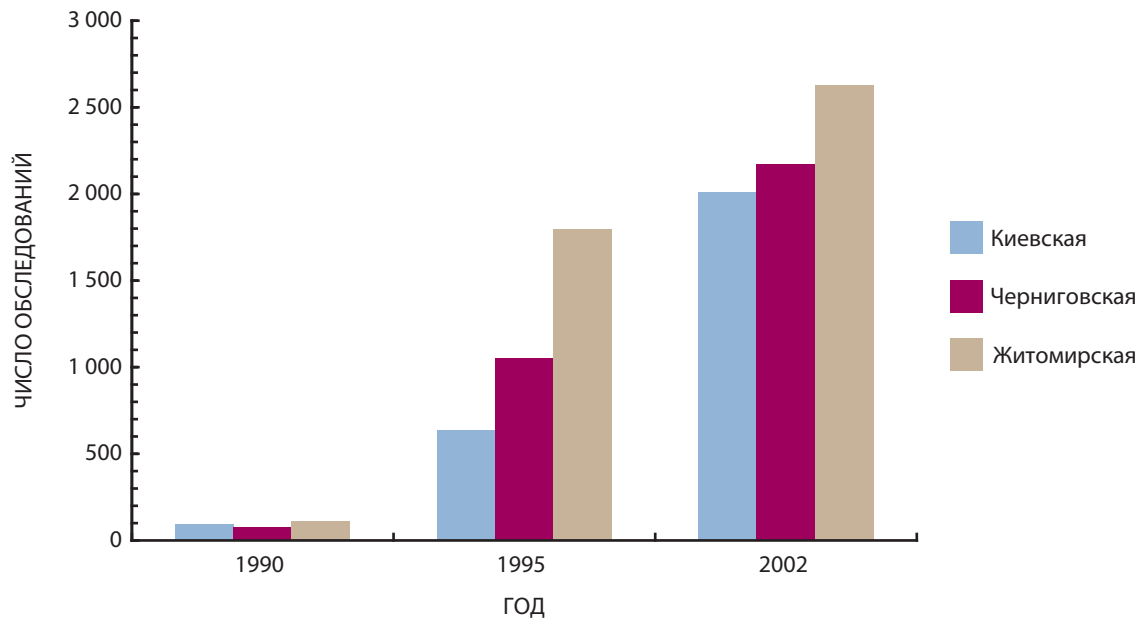


Рисунок D-VIII. Показатель заболеваемости раком щитовидной железы в разных возрастных группах (возраст на момент постановки диагноза) всего женского населения Беларуси

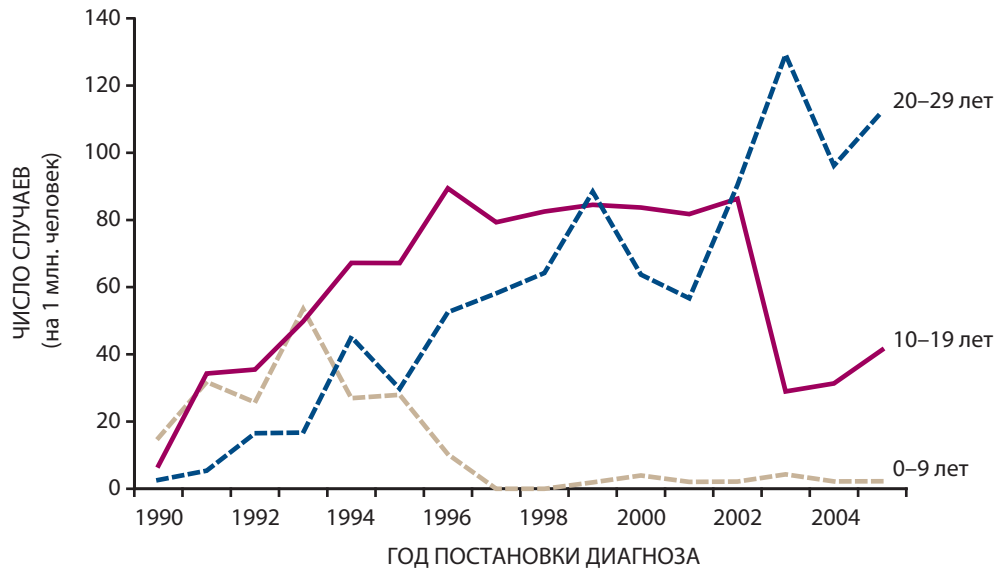


Рисунок D-IX. Показатель заболеваемости раком щитовидной железы в разных возрастных группах (возраст на момент постановки диагноза) женского населения России (Брянская, Калужская, Орловская и Тульская области)

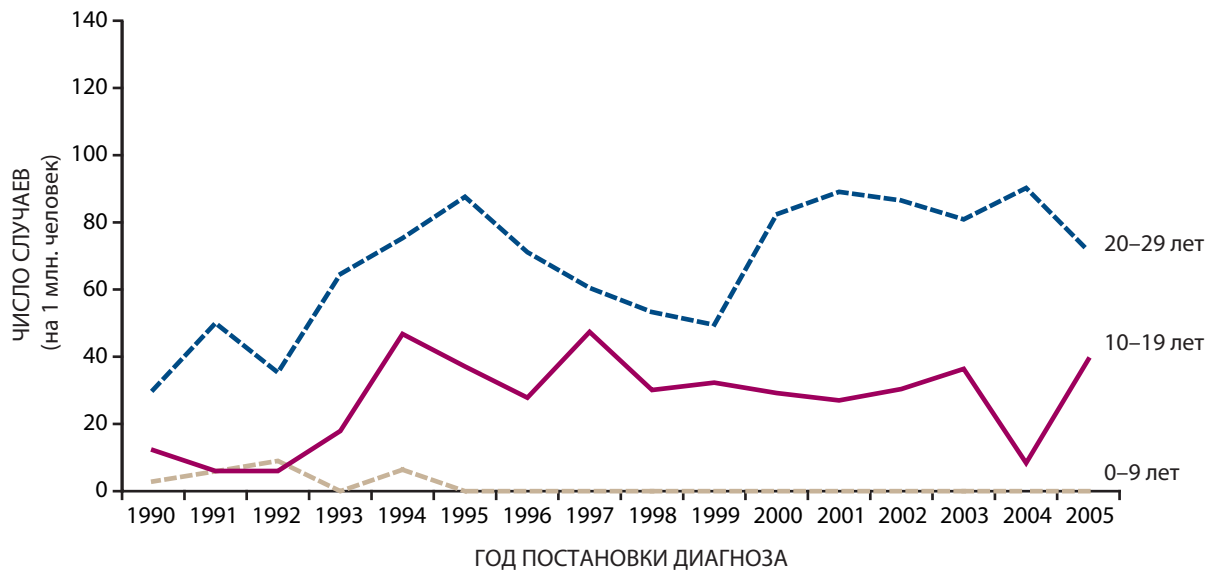


Рисунок D-X. Показатель заболеваемости раком щитовидной железы в разных возрастных группах (возраст на момент постановки диагноза) всего женского населения Украины

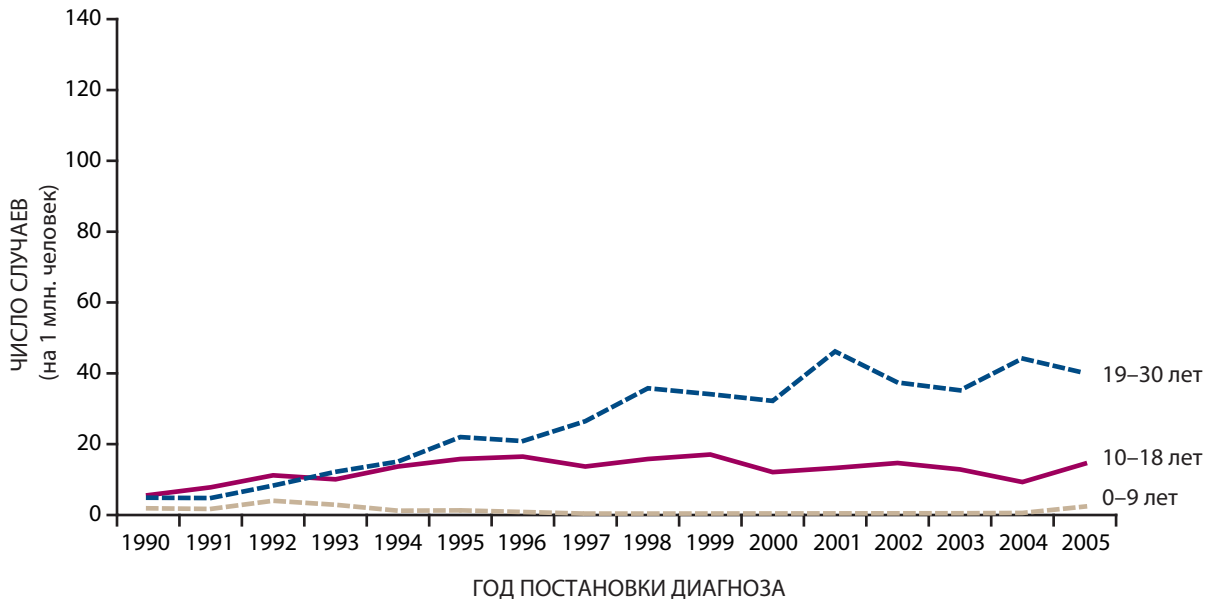


Рисунок D-XI. Показатель заболеваемости раком щитовидной железы в разных возрастных группах (возраст на момент постановки диагноза) всего мужского населения Беларуси

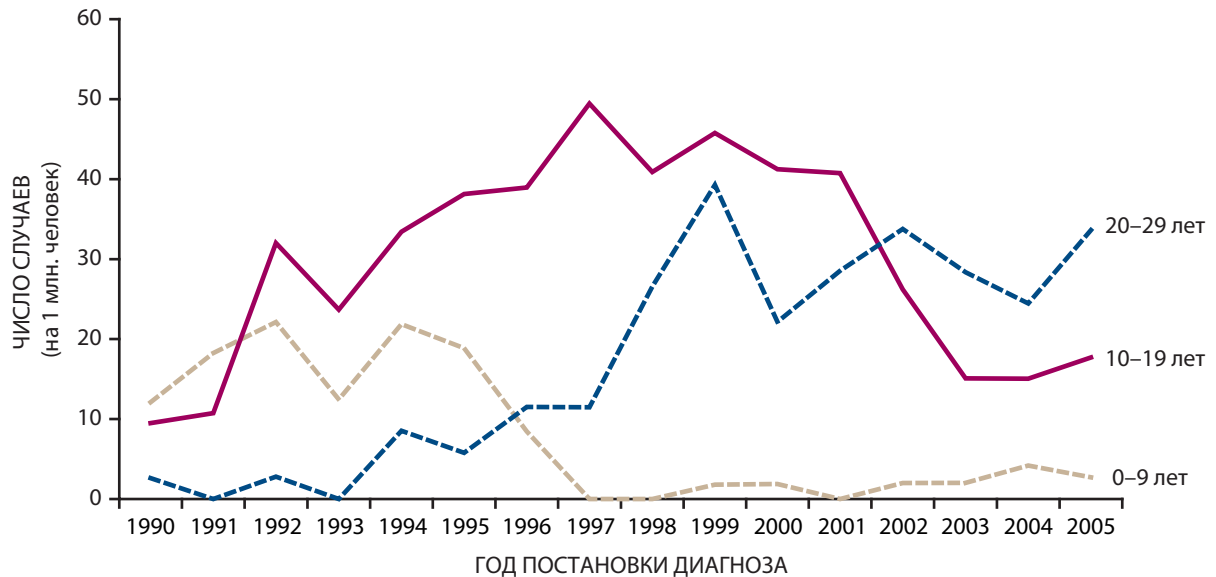


Рисунок D-XII. Показатель заболеваемости раком щитовидной железы в разных возрастных группах (возраст на момент постановки диагноза) мужского населения России (Брянская, Калужская, Орловская и Тульская области)

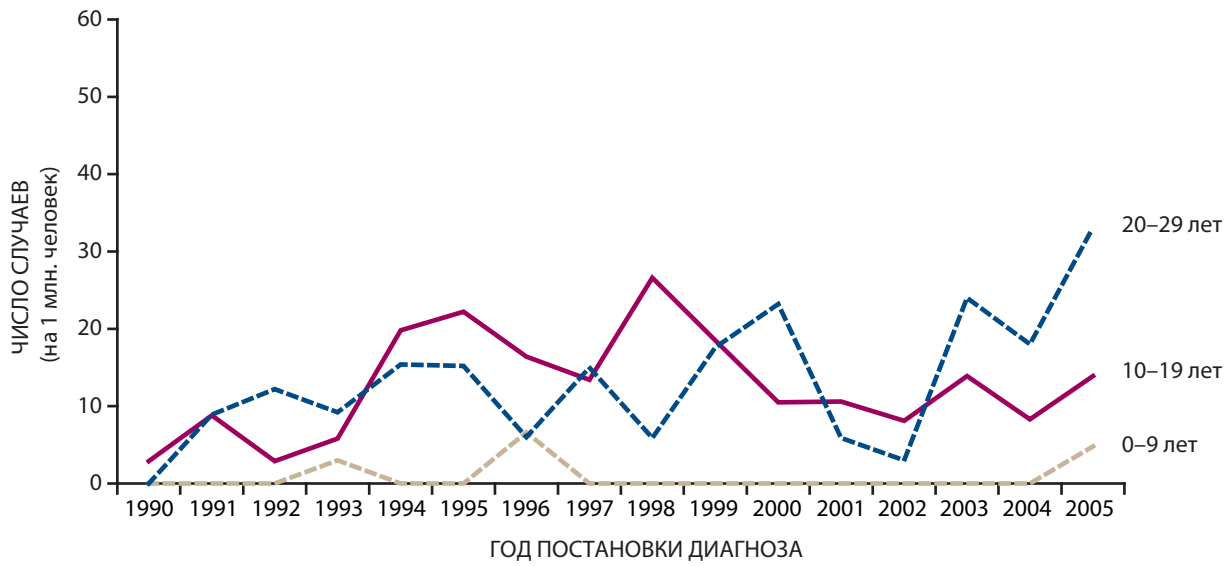


Рисунок D-XIII. Показатель заболеваемости раком щитовидной железы в разных возрастных группах (возраст на момент постановки диагноза) всего мужского населения Украины

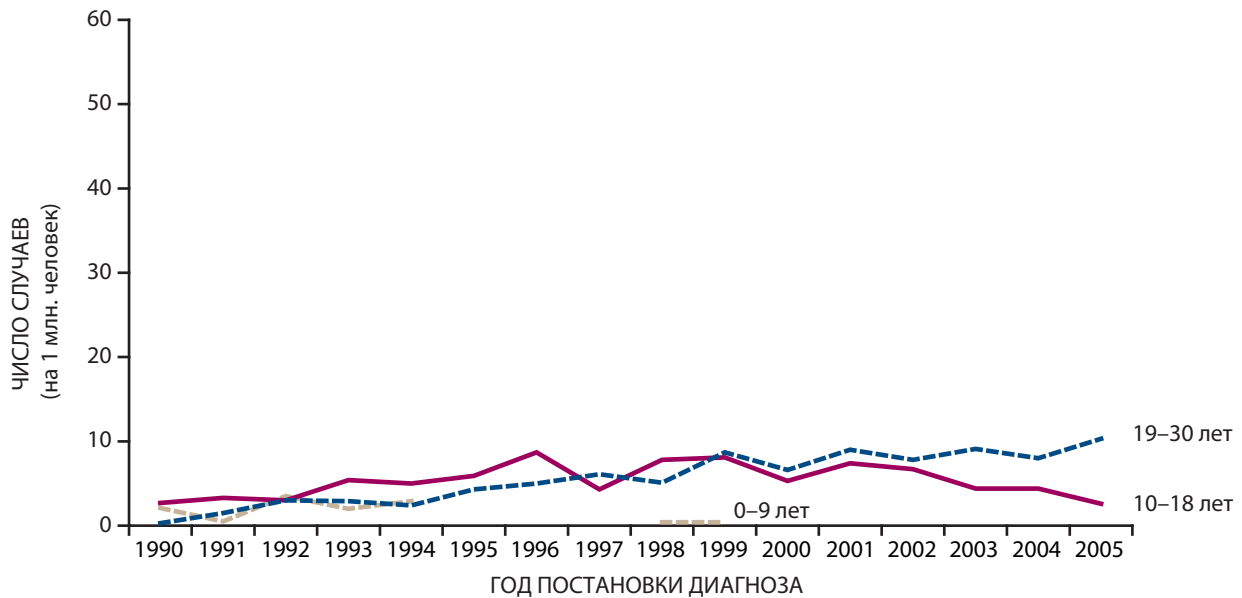


Рисунок D-XIV. Изменение доли подтипов папиллярной карциномы с течением времени после аварии
 PTC SF – солидный/фолликулярный подтип (Украина); PTC CP – подтип, состоящий в основном из папилл

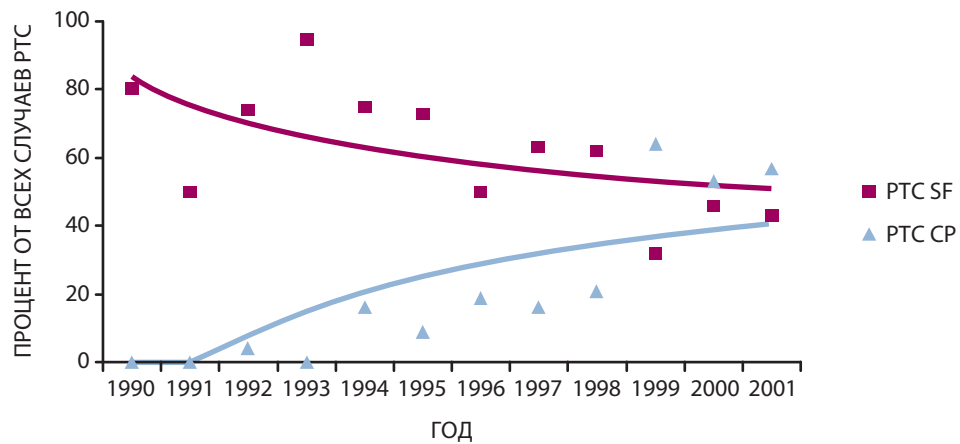
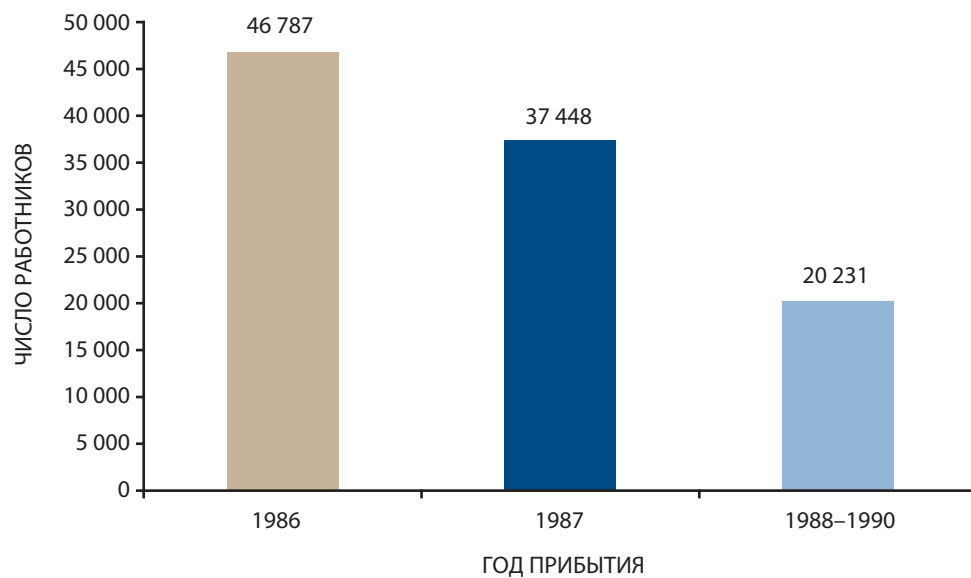


Рисунок D-XV. Распределение российских аварийных работников и ликвидаторов по году прибытия в 30-километровую зону



Список литературы

- A1 Astakhova, L.N., L.R. Anspaugh, G.W. Beebe et al. Chernobyl-related thyroid cancer in children of Belarus: a case-control study. *Radiat. Res.* 150(3): 349-356 (1998).
- A2 Adams, M.J., P.H. Hardenbergh, L.S. Constone et al. Radiation-associated cardiovascular disease. *Crit. Rev. Oncol. Hematol.* 45(1): 55-75 (2003).
- A3 Alexakhin, R.A. and N.A. Korneev (eds.). *Agricultural Radioecology. Ecology*, Moscow, 1991. (In Russian).
- A4 Alexakhin, R.M. (ed.). *Recommendations for 1991-1995 on Agriculture Management in Areas Subjected to Contamination as a Result of the Accident at the Chernobyl NPP. State Commission of the USSR Council of Ministers on Food and Procurement*, Moscow, 1991. (In Russian).
- A5 Alexakhin, R.M. Countermeasures in agricultural production as an effective means of mitigating the radiological consequences of the Chernobyl accident. *Sci. Total Environ.* 137(3): 9-20 (1993).
- A6 Andersson, K.G., J. Roed and C.L. Fogh. Weathering of radiocaesium contamination on urban streets, walls and roofs. *J. Environ. Radioact.* 62(1): 49-60 (2002).
- A7 Antsipov, G., L. Tabachny, M. Balonov et al. Evaluation of the effectiveness of decontamination activities in the CIS countries for objects contaminated as a result of the Chernobyl accident, pp. 10-15. B: *Proceedings of the EU/CIS Workshop on Restoration of Contaminated Territories Resulting from the Chernobyl Accident. EUR 18193 EN* (2000).
- A8 Alexakhin, R.M., L.A. Buldakov, V.A. Gubanov et al. *Large Radiation Accidents: Consequences and Protective Countermeasures*. Moscow, Izdat Publisher, 2004.
- A9 Antonov, A., B. Veleva, L. Adjarova et al. Time and area distribution of low level radioactivity of technogenic radionuclides in the surface air and fallout over the territory of Bulgaria, pp. 407-419. B: *Proceedings of the 14th Europhysics Conference on Nuclear Physics "Rare Nuclear Processes"*, Bratislava, 1990. World Scientific, Bratislava, 1992.
- A10 Arvela, H., M. Markkanen and H. Lemmelä. Mobile survey of environmental gamma radiation and fall-out levels in Finland after the Chernobyl accident. *Radiat. Prot. Dosim.* 32(3): 177-184 (1990).
- A11 Anspaugh, L.R., R.J. Catlin and M. Goldman. The global impact of the Chernobyl reactor accident. *Science* 242(4885): 1513-1519 (1988).
- B1 Bebeshko, V., A. Kovalenko and D. Belyi. Long term follow-up of irradiated persons: rehabilitation process, pp. 607-609. B: *The Radiological Consequences of the Chernobyl Accident. Proceedings of the First International Conference, Minsk, Belarus, March 1996* (A. Karaoglou, G. Desmet, G.N. Kelly et al., eds.). EUR 16544 (1996).
- B2 Balonov, M.I., G.Ya. Bruk, I.A. Zvonova et al. Methodology of internal dose reconstruction for a Russian population after the Chernobyl accident. *Radiat. Prot. Dosim.* 92(1): 247-253 (2000).
- B3 Balonov, M.I., I.A. Zvonova, A.A. Bratilova et al. *Thyroid Dose Reconstruction of Radioactive Iodine Exposure in Thyroids of Inhabitants Living in Settlements of Russian Federation that were Radioactively Contaminated Due to the Accident at the Chernobyl NPP in 1986*. Russian Ministry of Public Health, Moscow, 2001.
- B4 Balonov, M., G. Kaidanovsky, I. Zvonova et al. Contributions of short-lived radioiodines to thyroid doses received by evacuees from the Chernobyl area estimated using early in vivo activity measurements. *Radiat. Prot. Dosim.* 105(1-4): 593-599 (2003).
- B5 Basolo, F., E. Molinaro, L. Agate et al. RET protein expression has no prognostic impact on the long-term outcome of papillary thyroid carcinoma. *Eur. J. Endocrinol.* 145(5): 599-604 (2001).
- B6 Berkovski, V. Radioiodine biokinetics in the mother and fetus. Part 2. Fetus, pp. 327-332. B: *Radiation and Thyroid Cancer* (G. Thomas, A. Karaoglou and E.D. Williams, eds.). World Scientific, Singapore, 1999.
- B7 Bongarzone, I., P. Vigneri, L. Mariani et al. RET/NTRK1 rearrangements in thyroid gland tumors of the papillary carcinoma family: correlation with clinicopathological features. *Clin. Cancer Res.* 4(1): 223-228 (1998).
- B8 Bounacer, A., R. Wicker, B. Caillou et al. High prevalence of activating *ret* proto-oncogene rearrangements, in thyroid tumors from patients who had received external radiation. *Oncogene* 15(11): 1263-1273 (1997).
- B9 Bebeshko, V.G., A.E. Romanenko, A.N. Kovalenko et al. Health status of ARS convalescents 18 years after the Chernobyl accident. Presented at the 10th Meeting of the Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network (REMPAN), St. Petersburg, Russia, 13-15 October 2004.
- B10 Belyi, D.A., A.N. Kovalenko and V.G. Bebeshko. Pathological states of some organs and systems in persons survived after acute radiation sickness: 15 years dynamics after the Chernobyl accident. *Med. Radiol. Radiat. Saf.* 49(1): 24-36 (2004).
- B11 Bouville, A., V.V. Chumak, P.D. Inskip et al. The chornobyl accident: estimation of radiation doses received by the Baltic and Ukrainian cleanup workers. *Radiat. Res.* 166(1): 158-167 (2006).
- B12 Balonov, M.I., V.Y. Golikov, V.G. Erkin et al. Theory and practice of a large-scale programme for the decontamination of the settlements affected by the Chernobyl accident, pp. 397-415. B: *Proceedings of the International Seminar on Intervention Levels and Countermeasures for Nuclear Accidents. EUR 14469* (1992).
- B13 Buzunov, V., N. Omelyanetz, N. Strapko et al. Chernobyl NPP accident consequences cleaning up participants in Ukraine health status epidemiologic study main results, pp. 871-878. B: *The Radiological Consequences of the Chernobyl Accident. Proceedings of the First International Conference, Minsk, Belarus, March 1996* (A. Karaoglou, G. Desmet, G.N. Kelly et al., eds.). EUR 16544 (1996).
- B14 Bebeshko, V.G., I.A. Likharev, L.M. Kovgan et al. General dosimetric passportisation of settlements in Ukraine radioactive contaminated after Chernobyl accident. Summarized data for 1998-2000 (Collection 9). MES, Kiev (2001).
- B15 Beresford, N.A., R.W. Mayes, A.I. Cooke et al. The importance of source-dependent bioavailability in determining the transfer of ingested radionuclides to ruminant-derived food products. *Environ. Sci. Technol.* 34(21): 4455-4462 (2000).

- B16 Bogdevitch, I.M. (ed.). Guide for Agricultural Practice on Lands Contaminated by Radionuclides in the Republic of Belarus for 2002-2005. Ministry of Agriculture and Food, Minsk, 2002. (In Russian).
- B17 Bogdevitch, I., N. Sanzharova, B. Prister et al. Countermeasures on natural and agricultural areas after Chernobyl accident, pp. 147-158. B: Role of GIS in Lifting the Cloud Off Chernobyl (J. Kolejka, ed.). Kluwer Academic Publishers, 2002.
- B18 Bogdevitch, I.M. Guidelines on agricultural and industrial production under radioactive contamination in the Republic of Belarus. Ministry of Agriculture and Food of Belarus, Minsk (2003). (In Russian).
- B19 Bogdevitch, I.M., Yu.V. Putyatin, I.D. Shmigelskaya et al. Food crop production on personal plots of land contaminated with radionuclides. Recommendations of the Institute for Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk (2003). (In Russian).
- B20 Bruk, G.Ya., V.N. Shutov, M.I. Balonov et al. Dynamics of ¹³⁷Cs content in agricultural food products produced in regions of Russia contaminated after the Chernobyl accident. *Radiat. Prot. Dosim.* 76(6): 169-178 (1998).
- B21 Brynildsen, L.I., T.D. Selnaes, P. Strand et al. Countermeasures for radiocaesium in animal products in Norway after the Chernobyl accident—techniques, effectiveness, and costs. *Health Phys.* 70(5): 665-672 (1996).
- B22 Bulgakov, A.A., A.V. Konoplev, J.T. Smith et al. Modelling the long-term dynamics of radiocaesium in closed lakes. *J. Environ. Radioact.* 61(1): 41-53 (2002).
- B23 Bogdanova, T.I., L.Y. Zurnadzhy, E. Greenebaum et al. A cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases after the Chernobyl accident: pathology analysis of thyroid cancer cases in Ukraine detected during the first screening (1998-2000). *Cancer* 107(11): 2559-2566 (2006).
- B24 Borzilov, V.A. and N.V. Klepikova. Effect of meteorological conditions and release composition on radionuclide deposition after the Chernobyl accident, pp. 47-68. B: The Chernobyl Papers. Doses to the Soviet Population and Early Health Effects Studies, Volume I (S.E. Merwin and M.I. Balonov, eds.). Research Enterprises Inc., Richland, Washington, 1993.
- B25 Bogdevitch, I.M. Soil conditions of Belarus and efficiency of potassium fertilizers, pp. 21-26. B: Proceedings of the 16th World Congress of Soil Science. International Potash Institute, Basel, Switzerland, 1999.
- B26 Bailiff, I.K., V.F. Stepanenko, H.Y. Göksu et al. Comparison of retrospective luminescence dosimetry with computational modeling in two highly contaminated settlements downwind of the Chernobyl NPP. *Health Phys.* 86(1): 25-41 (2004).
- B27 Bailiff, I.K., V.F. Stepanenko, H.Y. Göksu et al. Retrospective luminescence dosimetry: development of approaches to application in populated areas downwind of the Chernobyl NPP. *Health Phys.* 89(3): 233-246 (2005).
- B28 Balonov, M.I., M.N. Savkin, V.A. Pitkevitch et al. Mean effective accumulated doses. Bulletin of the National Radiation and Epidemiological Registry. Radiation and Risk (Special Issue): (1999). (In Russian). http://phys4.harvard.edu/~wilson/radiation/radiation_and_risk.html.
- B29 Balonov, M.I., G. Bruk and V. Golikov. Communication to the UNSCEAR Secretariat (2006).
- B30 Balonov, M.I., G.Ya. Bruk, V.Yu. Golikov et al. Reconstruction of mean effective doses in 1986-1995 of inhabitants of settlements of the Russian Federation radioactively contaminated following the accident at the Chernobyl NPP in 1986. Methodical Instruction MU 2.6.1.579-96. State Committee on Sanitary and Epidemiological Inspection of the Russian Federation, Moscow (1996). (In Russian).
- B31 Balonov, M.I. and I.A. Zvonova (eds.). Average thyroid doses to population of different ages resided in 1986 in settlements in Bryansk, Kaluga, Orel, and Tula Oblasts contaminated by radionuclides following the Chernobyl accident. Bulletin of the National Radiation and Epidemiological Registry. Radiation and Risk (Special Issue): (2002). (In Russian).
- B32 Balonov, M.I., L.R. Anspaugh, A. Bouville et al. Contribution of internal exposures to the radiological consequences of the Chernobyl accident. *Radiat. Prot. Dosim.* 127(1-4): 491-496 (2007).
- B33 Baranov, A.E., A.K. Guskova, N.M. Nadejina et al. Chernobyl experience: biological indicators of exposure to ionizing radiation. *Stem Cells* 13 (Suppl. 1): 69-77 (1995).
- B34 Bossew, P., M. Ditto, T. Falkner et al. Contamination of Austrian soil with caesium-137. *J. Environ. Radioact.* 55(2): 187-194 (2001).
- B35 Bouville, A., I. Likharev, L. Kovgan et al. Radiation dosimetry for highly contaminated Ukrainian, Belarusian, and Russian populations, and for less contaminated populations in Europe. *Health Phys.* 93(5): 487-501 (2007).
- B36 Bruk, G.Ya. (ed.). Average Effective Doses Cumulated in 1986-2001 in Population of Settlements in Bryansk, Kaluga, Lipetsk, Orel, Ryazan and Tula Oblasts of Russian Federation Included in Zones of Radioactive Contamination. Reference Book. Moscow, 2002. (In Russian).
- B37 Bučina, I., Z. Dvořák, I. Malátová et al. Radionuclides from the Chernobyl accident in soil over the Czechoslovak territory: their origin, deposition and distribution, pp. 170-175. B: Proceedings of XV Regional Congress of IRPA - Radioecology of Natural and Artificial Radionuclides, Visby, Sweden, September 1989.
- B38 Barabanova, A. and D.P. Osanov. The dependence of skin lesion on depth-dose distribution from beta-irradiation of people in the Chernobyl nuclear power plant accident. *Int. J. Radiat. Biol.* 57(4): 775-782 (1990).
- B39 Bebesheko, V.G., A.N. Kovalenko and D.A. Belyi. Acute Radiation Syndrome and its Consequences. Ukrmedkniga, Ternopol, 2006. (In Russian).
- B40 Baranov, A., R.P. Gale, A. Guskova et al. Bone marrow transplantation after the Chernobyl nuclear accident. *N. Engl. J. Med.* 321(4): 205-212 (1989).
- B41 Bebesheko, V., D. Belyi, A. Kovalenko et al. Health consequences in the Chernobyl emergency workers surviving after confirmed acute radiation sickness, pp. 5-26. B: Follow-up of Delayed Health Consequences of Acute Accidental Radiation Exposure. Lessons to be Learned from their Medical Management. IAEA-TECDOC-1300. IAEA, Vienna (2002).
- B42 Bebesheko, V.G., D.A. Belyi and A.N. Kovalenko. Communication to the UNSCEAR Secretariat (2006).
- B43 Buzunov, V., E. Pirogova, L. Krasnikova et al. Epidemiology of non-cancer effects of ionizing radiation. Bulletin of the Ukrainian Academy of Medical Science 12(1): 174-184 (2006). (In Russian).

- B44 Bebeshko, V.G., A.N. Kovalenko, D.A. Belyi et al. Long-term health effects in ARS survivors. Presented at the 11th Meeting of the Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network (REMPAN), Kiev, April 2006.
- B45 Barden, C.B., K.W. Shister, B. Zhu et al. Classification of follicular thyroid tumors by molecular signature: results of gene profiling. *Clin. Cancer Res.* 9(5): 1792-1800 (2003).
- B46 Boice, J.D. Jr. and L.E. Holm. Radiation risk estimates for leukemia and thyroid cancer among Russian emergency workers at Chernobyl. *Radiat. Environ. Biophys.* 36(3): 213-214 (1997).
- B47 Buldakov, L.A., G.M. Avetisov, R.M. Barkhudarov et al. Assessment of the dose burden of the public and long term radiological consequences as a result of the accident at the Chernobyl NPP, pp. 5-17. B: Early and Remote Consequences of the Radiation Accident at the Chernobyl NPP. Proceedings of the All-Union Symposium held on 25-26 June 1987 (L. Ilyin and L. Buldakov, eds.). USSR Ministry of Health, Moscow, 1987. (In Russian).
- B48 Brenner, D.J., R. Doll, D.T. Goodhead et al. Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: assessing what we really know. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 100(24): 13761-13766 (2003).
- B49 Balonov, M. Third annual Warren K. Sinclair keynote address: Retrospective analysis of impacts of the Chernobyl accident. *Health Phys.* 93(5): 383-409 (2007).
- C1 Cardis, E., L. Anspaugh, V.K. Ivanov et al. Estimated long term health effects of the Chernobyl accident, pp. 241-279. B: One Decade After Chernobyl. Summing up the Consequences of the Accident. Proceedings of an International Conference, Vienna, 1996. STI/PUB/1001. IAEA, Vienna (1996).
- C2 Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Summary of the Hanford Thyroid Disease Study, Final Report. The Fred Hutchinson Cancer Research Centre, Seattle, WA, 2002.
- C3 Cardis, E., E.S. Gilbert, L. Carpenter et al. Effects of low doses and low dose rates of external ionizing radiation: cancer mortality among nuclear industry workers in three countries. *Radiat. Res.* 142(2): 117-132 (1995).
- C4 Conard, R.A. Late radiation effects in Marshall Islanders exposed to fallout twenty eight years ago, pp. 57-71. B: Radiation Carcinogenesis: Epidemiology and Biological Significance (J.D. Boice Jr. and J.F. Fraumeni Jr., eds.). Raven Press, New York, 1984.
- C5 Cohen, Y., M. Xing, E. Mambo et al. BRAF mutation in papillary thyroid carcinoma. *J. Natl. Cancer Inst.* 95(8): 625-627 (2003).
- C6 Ciampi, R., J.A. Knauf, R. Kerler et al. Oncogenic *AKAP9-BRAF* fusion is a novel mechanism of MAPK pathway activation in thyroid cancer. *J. Clin. Invest.* 115(1): 94-101 (2005).
- C7 Cucinotta, F.A., F.K. Manuel, J. Jones et al. Space radiation and cataracts in astronauts. *Radiat. Res.* 156(5): 460-466 (2001).
- C8 Cardis, E., A. Kesminiene, V. Ivanov et al. Risk of thyroid cancer after exposure to ¹³¹I in childhood. *J. Natl. Cancer Inst.* 97(10): 724-732 (2005).
- C9 Ciampi, R., Z. Zhu and Y.E. Nikiforov. BRAF copy number gains in thyroid tumors detected by fluorescence in situ hybridization. *Endocr. Pathol.* 16(2): 99-105 (2005).
- C10 Cardis, E., M. Vrijheid, M. Blettner et al. Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries. *Br. Med. J.* 331(7508): 77 (2005).
- C11 Cardis, E., D. Krewski, M. Boniol et al. Estimates of the cancer burden in Europe from radioactive fallout from the Chernobyl accident. *Int. J. Cancer* 119(6): 1224-1235 (2006).
- C12 Codex Alimentarius Commission. Codex general standard for contaminants and toxins in foods. CODEX STAN 193-1995, Rev.3-2007. FAO and WHO, Geneva (2007).
- C13 Chumak, V.V. Physical dosimetry of Chernobyl cleanup workers. *Health Phys.* 93(5): 452-461 (2007).
- C14 Chumak V.V. and V.P. Krjuchkov. Problem of verification of Chernobyl dosimetric registries. Volume 1, pp. 545-552. B: Proceedings of the 1998 ANS Radiation Protection and Shielding Division Topical Conference Technologies for the New Century, Nashville, TN, 1998. American Nuclear Society, La Grande Park, IL, 1998.
- C15 Chumak, V.V., S.V. Sholom, E.V. Bakhanova et al. High precision EPR dosimetry as a reference tool for validation of other techniques. *Appl. Radiat. Isot.* 62(2): 141-146 (2005).
- C16 Chumak, V.V., A.Y. Romanenko, P.G. Voillequé et al. The Ukrainian-American study of leukemia and related disorders among Chernobyl cleanup workers from Ukraine: II. Estimation of bone marrow doses. *Radiat. Res.* 170(6): 698-710 (2008).
- C17 Chumak, V.V., B.V. Worgul, Y.I. Kundiyeu et al. Dosimetry for a study of low-dose radiation cataracts among Chernobyl clean-up workers. *Radiat. Res.* 167(5): 606-614 (2007).
- C18 Chylack Jr., L.T., J.K. Wolfe, D.M. Singer et al. The lens opacities classification system III. The longitudinal study of cataract study group. *Arch. Ophthalmol.* 111(6): 831-836 (1993).
- C19 Chylack Jr., L.T., M.C. Leske, D. McCarthy et al. Lens opacities classification system II (LOCS II). *Arch. Ophthalmol.* 107(7): 991-997 (1989).
- C20 Choshi, K., I. Takaku, H. Mishima et al. Ophthalmologic changes related to radiation exposure and age in Adult Health Study sample, Hiroshima and Nagasaki. *Radiat. Res.* 96(3): 560-579 (1983).
- C21 Chevillard, S., N. Ugolin, P. Vielh et al. Gene expression profiling of differentiated thyroid neoplasms: diagnostic and clinical implications. *Clin. Cancer Res.* 10(19): 6586-6597 (2004).
- C22 Chernobyl Forum. Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine. The Chernobyl Forum: 2003-2005. IAEA, Vienna (2006).
- C23 Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII—Phase 2. National Academy of Sciences, National Research Council. National Academy Press, Washington, 2006.
- C24 CERRIE. Report of the Committee Examining Radiation Risks of Internal Emitters (CERRIE). Chairman: Professor D. Goodhead. www.cerrie.org (2004).
- D1 Davis, S., V. Stepanenko, N. Rivkind et al. Risk of thyroid cancer in the Bryansk oblast of the Russian Federation after the Chernobyl power station accident. *Radiat. Res.* 162(3): 241-248 (2004).
- D2 Detours, V., S. Wattel, D. Venet et al. Absence of a specific radiation signature in post-Chernobyl thyroid cancers. *Br. J. Cancer* 92(8): 1545-1552 (2005).

- D3 Day, R., M.B. Gorin and A.W. Eller. Prevalence of lens changes in Ukrainian children residing around Chernobyl. *Health Phys.* 68(5): 632-642 (1995).
- D4 Darby, S., P. McGale, R. Peto et al. Mortality from cardiovascular disease more than 10 years after radiotherapy for breast cancer: nationwide cohort study of 90 000 Swedish women. *Br. Med. J.* 326(7383): 256-257 (2003).
- D5 Davis, S., R.W. Day, K.J. Kopecky et al. Childhood leukaemia in Belarus, Russia, and Ukraine following the Chernobyl power station accident: results from an international collaborative population-based case-control study. *Int. J. Epidemiol.* 35(2): 386-396 (2006).
- D6 Dardynskaia, I., P.B. Imrey, A. Okeanov et al. Breast cancer trends in two oblasts of Belarus and the Chernobyl accident. *Int. J. Occup. Environ. Health* 12(4): 415-422 (2006).
- D7 Delange, F. and P. Lecomte. Iodine supplementation: benefits outweigh risks. *Drug Saf.* 22(2): 89-95 (2000).
- D8 Dayan, C.M. and G.H. Daniels. Chronic autoimmune thyroiditis. *N. Engl. J. Med.* 335(2): 99-107 (1996).
- D9 Davis, S., K.J. Kopecky, T.E. Hamilton et al. Thyroid neoplasia, autoimmune thyroiditis, and hypothyroidism in persons exposed to iodine 131 from the Hanford nuclear site. *JAMA* 292(21): 2600-2613 (2004).
- D10 Demidchik, E., A. Tsyb and U. Lushnikov. *Thyroid Cancer in Children.* Medicina, Moscow, 1996. (In Russian).
- D11 Dreicer, M., A. Aarkrog, R. Alexakhin et al. Consequences of the Chernobyl accident for the natural and human environments, pp. 319-361. B: One Decade after Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident. IAEA, Vienna (1996).
- D12 Dickman, P.W., L.E. Holm, G. Lundell et al. Thyroid cancer risk after thyroid examination with ¹³¹I: a population-based cohort study in Sweden. *Int. J. Cancer* 106(4): 580-587 (2003).
- D13 Drozdovitch, V., A. Bouville, N. Chobanova et al. Radiation exposure to the population of Europe following the Chernobyl accident. *Radiat. Prot. Dosim.* 123(4): 515-528 (2007).
- E1 Elisei, R., C. Romei, T. Vorontsova et al. RET/PTC rearrangements in thyroid nodules: studies in irradiated and not irradiated, malignant and benign thyroid lesions in children and adults. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 86(7): 3211-3216 (2001).
- E2 Ehlken, S. and G. Kirchner. Environmental processes affecting plant root uptake of radioactive trace elements and variability of transfer factor data: A review. *J. Environ. Radioact.* 58(2): 97-112 (2002).
- E3 Eheman, C.R., P. Garbe and R.M. Tuttle. Autoimmune thyroid disease associated with environmental thyroidal irradiation. *Thyroid* 13(5): 453-464 (2003).
- E4 European Commission and the Belarus, Russian and Ukrainian Ministries on Chernobyl Affairs, Emergency Situations and Health. The radiological consequences of the Chernobyl accident. Proceedings of the First International Conference, Minsk, Belarus, March 1996 (A. Karaoglou, G. Desmet, G.N. Kelly et al., eds.). EUR 16544 (1996).
- E5 European Commission. Atlas of caesium deposition on Europe after the Chernobyl accident. EUR 16733 (1998).
- E6 Eckerman, K.F. and J.C. Ryman. External exposures to radionuclides in air, water, and soil. Federal Guidance Report No 12. EPA, Washington DC (1993).
- F1 Fenton, C.L., Y. Lukes, D. Nicholson et al. The *ret/PTC* mutations are common in sporadic papillary thyroid carcinoma of children and young adults. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 85(3): 1170-1175 (2000).
- F2 Fugazzola, L., S. Pilotti, A. Pinchera et al. Oncogenic rearrangements of the RET proto-oncogene in papillary thyroid carcinomas from children exposed to the Chernobyl nuclear accident. *Cancer Res.* 55(23): 5617-5620 (1995).
- F3 Fesenko, S. and J. Brown. Review of countermeasures options for semi-natural environments: forest and natural meadows. NRPB-M1123 (2000).
- F4 Fesenko, S.V., S.I. Spiridonov, N.I. Sanzharova et al. Dynamics of ¹³⁷Cs bioavailability in a soil-plant system in areas of the Chernobyl nuclear power plant accident zone with a different physico-chemical composition of radioactive fallout. *J. Environ. Radioact.* 34(3): 287-313 (1997).
- F5 Fesenko, S.V., P.A. Colgan, N.I. Sanzharova et al. The dynamics of the transfer of caesium-137 to animal fodder in areas of Russia affected by the Chernobyl accident and resulting from the consumption of milk and milk products. *Radiat. Prot. Dosim.* 69(4): 289-299 (1997).
- F6 Fesenko, S.V., N.V. Soukhova, N.I. Sanzharova et al. Identification of processes governing long-term accumulation of ¹³⁷Cs by forest trees following the Chernobyl accident. *Radiat. Environ. Biophys.* 40(2): 105-113 (2001).
- F7 Fesenko, S.V., A.Yu. Pakhomov, A.D. Pasternak et al. Regularities of changes in ¹³⁷Cs content in milk in the long term after the Chernobyl nuclear reactor accident. *Radiats. Biol. Radioecol.* 44(3): 336-345 (2004). (In Russian).
- F8 Fehér, I. Experience in Hungary on the radiological consequences of the Chernobyl accident. *Environ. Int.* 14(2): 113-135 (1988).
- F9 Fesenko, S.V., R.M. Alexakhin, M.I. Balonov et al. Twenty years' application of agricultural countermeasures following the Chernobyl accident: lessons learned. *J. Radiol. Prot.* 26(4): 351-359 (2006).
- F10 Fairlie, I. and D. Sumner. The Other Report on Chernobyl (TORCH). Berlin, Brussels, Kiev. www.greens-efa.org/cms/topics/dokbin/118/118559.torch_executive_summary@fr.pdf (2006).
- F11 Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Atomic Energy Agency, International Labour Organization, OECD Nuclear Energy Agency, Office for the Co-ordination of Humanitarian Affairs of the United Nations, Pan American Health Organization, World Health Organization. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. Safety Series No. 115. IAEA, Vienna (1996).
- G1 Gavrilin, Y.I., V.T. Khrouch, S.M. Shinkarev et al. Chernobyl accident: reconstruction of thyroid dose for inhabitants of the Republic of Belarus. *Health Phys.* 76(2): 105-119 (1999).
- G2 Gavrilin, Y., V. Khrouch, S. Shinkarev et al. Individual thyroid dose estimation for a case-control study of Chernobyl-related thyroid cancer among children of Belarus-part I: ¹³¹I, short-lived radioiodines (¹³²I, ¹³³I, ¹³⁵I), and short-lived radiotelluriums (^{131m}Te and ¹³²Te). *Health Phys.* 86(6): 565-585 (2004).
- G3 Golikov, V., M. Balonov, V. Erkin et al. Model validation for external doses due to environmental contaminations by the Chernobyl accident. *Health Phys.* 77(6): 654-661 (1999).

- G4 Golikov, V.Yu., M.I. Balonov and P. Jacob. External exposure of the population living in areas of Russia contaminated due to the Chernobyl accident. *Radiat. Environ. Biophys.* 41(3): 185-193 (2002).
- G5 Gapanovich, V.N., R.F. Iaroshevich, L.P. Shuvaeva et al. Childhood leukemia in Belarus before and after the Chernobyl accident: continued follow-up. *Radiat. Environ. Biophys.* 40(4): 259-267 (2001).
- G6 Grakovich, A. Evaluation of influence of some factors on the mortality in some regions of Republic of Belarus. *Medical and Biological Aspects of the Chernobyl Accident N.2: 12-16* (2003). (In Russian).
- G7 Grakovich, A. Comparative assessment of the prevalence of coronary heart disease in the populations of the agriculture machine operators from Narovlya and Minsk districts of Belarus. *Medical and Biological Aspects of the Chernobyl Accident N.1: 25-32* (2004). (In Russian).
- G8 Goulko, G.M., V.V. Chumak, N.I. Chepurny et al. Estimation of ¹³¹I thyroid doses for the evacuees from Pripjat. *Radiat. Environ. Biophys.* 35(2): 81-87 (1996).
- G9 Galstyan, I.A., A.K. Guskova and N.M. Nadejina. Consequences of radiation exposure during the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant (analysis of data by the clinical department of the State Research Centre–Institute of Biophysics, Moscow and the Ukrainian Research Centre of Radiation Medicine. *Medical Radiology and Radiation Safety* 52/4: 5-13 (2007). (In Russian).
- G10 Guskova, A.K. and I.A. Gusev. Retrospective analysis of clinical-dosimetric correlations in radiation accidents. PPT-presentation in the 3rd International Symposium on Chronic Radiation Exposure: Biological and Health Effects, Chelyabinsk, 24-26 October 2005.
- G11 Golikov, V., E. Wallström, T. Wöhni et al. Evaluation of conversion coefficients from measurable to risk quantities for external exposure over contaminated soil by use of physical human phantoms. *Radiat. Environ. Biophys.* 46(4): 375-382 (2007).
- G12 Gusev, I.A., A.K. Guskova and F.A. Mettler. *Medical Management of Radiation Accidents*, Second edition. CRC Press, Boca Raton, Florida, 2001.
- G13 Guskova, A.K., N.M. Nadejina, A.A. Moiseev et al. Medical assistance given to personnel of the Chernobyl NPP after 1986 accident, pp. 29-102. B: *Soviet Medical Reviews*, Sect. v.7 (A.K. Gavrillov, ed.), 1996.
- G14 Guskova, A.K. and A.E. Baranov. Hematological effects in people exposed to radiation resulted from Chernobyl accident. *Med. Radiol.* 36(8): 31-37 (1991). (In Russian).
- G15 González, A.J. Recovery operations after the Chernobyl accident: The intervention criteria of the USSR's National Commission on Radiation Protection, p. 313. B: *Proceedings of International Symposium on Recovery Operations in the Event of a Nuclear Accident or Radiological Emergency*. IAEA, Vienna (1990).
- H1 Hahn, K., P. Schnell-Inderst, B. Grosche et al. Thyroid cancer after diagnostic administration of iodine-131 in childhood. *Radiat. Res.* 156(1): 61-70 (2001).
- H2 Hall, P., A. Mattsson and J.D. Boice Jr. Thyroid cancer after diagnostic administration of iodine-131. *Radiat. Res.* 145(1): 86-92 (1996).
- H3 Hamilton, T.E., G. van Belle and J.P. LoGerfo. Thyroid neoplasia in Marshall Islanders exposed to nuclear fallout. *J. Am. Med. Assoc.* 258(5): 629-635 (1987).
- H4 Heidenreich, W.F., T.I. Bogdanova, P. Jacob et al. Age and time patterns in thyroid cancer after the Chernobyl accidents in the Ukraine. *Radiat. Res.* 154(6): 731-732 (2000).
- H5 Holländer, W. and E. Garger (eds.). Contamination of surfaces by resuspended material. ECP-1, Final report. EUR 16527 (1996).
- H6 Hove, K. and H.S. Hansen. Reduction of radiocaesium transfer to animal products using sustained release boli with ammonium-iron(III)-hexacyanoferrate(II). *Acta Vet. Scand.* 34(3): 287-297 (1993).
- H7 Howard, B.J. The concept of radioecological sensitivity. *Radiat. Prot. Dosim.* 92(1): 29-34 (2000).
- H8 Howard, B.J., N.A. Beresford and K. Hove. Transfer of radiocesium to ruminants in natural and semi-natural ecosystems and appropriate countermeasures. *Health Phys.* 61(6): 715-725 (1991).
- H9 Howard, B.J., P. Strand, P. Assimakopoulos et al. Estimation of radioecological sensitivity. *Actes du congrès ECORAD-2001. Radioprotection-Colloques* 37: C1-1167–C1-1173 (2002).
- H10 Hourihan, F., P. Mitchell and R.G. Cumming. Possible associations between computed tomography scan and cataract: the Blue Mountains Eye Study. *Am. J. Public Health* 89(12): 1864-1866 (1999).
- H11 Hatch, M. Cancer following the Chernobyl nuclear accident (The Ukrainian–American studies of thyroid disease and leukemia). *J. Acad. Med. Sci. Ukraine* 12(1): 78-85 (2006).
- H12 Hall, P., F. Granath, M. Lundell et al. Lenticular opacities in individuals exposed to ionizing radiation in infancy. *Radiat. Res.* 152(2): 190-195 (1999).
- H13 Huang, Y., M. Prasad, W.J. Lemon et al. Gene expression in papillary thyroid carcinoma reveals highly consistent profiles. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 98(26): 15044-15049 (2001).
- H14 Hoshi, M., Y. Shibata, S. Okajima et al. ¹³⁷Cs concentration among children in areas contaminated with radioactive fallout from the Chernobyl accident: Mogilev and Gomel oblasts, Belarus. *Health Phys.* 67(3): 272-275 (1994).
- H15 Hoshi, M., Yu.O. Konstantinov, T.Y. Evdeeva et al. Radiocesium in children residing in the western districts of the Bryansk Oblast from 1991-1996. *Health Phys.* 79(2): 182-186 (2000).
- H16 Huber, O., W. Jeschki, S. Prêtre et al. Effects in Switzerland of the Chernobyl reactor accident. *Kerntechnik* 61(5-6): 271-277 (1996).
- I1 International Agency for Research on Cancer. *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: tobacco smoking*. Volume 36. IARC, Lyon (1986).
- I2 Ilyin, L.A., G.V. Arkhangel'skaya, Yu.O. Konstantinov et al. *Radioactive Iodine in the Problem of Radiation Safety*. Atomizdat, Moscow, 1972.
- I3 Ivanov, V.K., A.I. Gorski, M.A. Maksioutov et al. Thyroid cancer incidence among adolescents and adults in the Bryansk region of Russia following the Chernobyl accident. *Health Phys.* 84(1): 46-60 (2003).
- I4 International Commission on Radiological Protection. *Doses to the Embryo and Fetus from Intakes of Radionuclides by the Mother*. ICRP Publication 88. Annals of the ICRP 31(1-3). Pergamon Press, Oxford, 2001.
- I5 International Atomic Energy Agency. *The International Chernobyl Project. Proceedings of an International Conference. Assessment of radiological consequences and evaluation of protective measures*. IAEA, Vienna (1991).

- 16 International Atomic Energy Agency. Diagnosis and treatment of radiation injuries. Safety Reports Series No. 2. IAEA, Vienna (1998).
- 17 International Atomic Energy Agency. INSAG-7. The Chernobyl accident: updating of INSAG-1. Safety Series No. 75-INSAG-7. IAEA, Vienna (1992).
- 18 Ivanov, V.K., Ya. Kenigsberg, N.D. Tronko et al. Communication to the UNSCEAR Secretariat (2006).
- 19 Ivanov, V.K., A.F. Tsyb, A.V. Petrov et al. Thyroid cancer incidence among liquidators of the Chernobyl accident. Absence of dependence of radiation risks on external radiation dose. *Radiat. Environ. Biophys.* 41(3): 195-198 (2002).
- 110 Ivanov, V.K., A.F. Tsyb, A.I. Gorsky et al. Thyroid cancer among "liquidators" of the Chernobyl accident. *Br. J. Radiol.* 70(837): 937-941 (1997).
- 111 Ivanov, V.K., A.F. Tsyb, A.I. Gorsky et al. Leukaemia and thyroid cancer in emergency workers of the Chernobyl accident: estimation of radiation risks (1986-1995). *Radiat. Environ. Biophys.* 36(1): 9-16 (1997).
- 112 Ivanov, V.K., M.A. Maksoutov, S.Yu Chekin et al. Radiation-epidemiological analysis of incidence of non-cancer diseases among the Chernobyl liquidators. *Health Phys.* 78(5): 495-501 (2000).
- 113 Ivanov, V., A. Tsyb, A. Gorsky et al. Elevated leukemia rates in Chernobyl accident liquidators. Rapid responses. *Br. Med. J.*: (15 April 2003). Доступно по адресу: www.bmj.com/cgi/eletters/319/7203/145/a.
- 114 Ivanov, V. Communication to the UNSCEAR Secretariat (2006).
- 115 International Atomic Energy Agency. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in temperate environments. Technical Report Series No. 364. IAEA, Vienna (1994).
- 116 International Atomic Energy Agency. The use of Prussian Blue to reduce radiocaesium contamination of milk and meat produced on territories affected by Chernobyl accident. Report of United Nations Project E 11. IAEA-TECDOC-926. IAEA, Vienna (1997).
- 117 International Atomic Energy Agency. Present and future environmental impact of the Chernobyl accident. IAEA-TECDOC-1240. IAEA, Vienna (2001).
- 118 International Atomic Energy Agency. Modelling the migration and accumulation of radionuclides in forest ecosystems. IAEA-BIOMASS-1. IAEA, Vienna (2002).
- 119 International Atomic Energy Agency. Assessing radiation doses to the public from radionuclides in timber and wood products. IAEA-TECDOC-1376. IAEA, Vienna (2003).
- 120 International Atomic Energy Agency. Marine environmental assessment of the black sea. Final report. Technical co-operation project RER/2/003. IAEA, Vienna (2003).
- 121 International Atomic Energy Agency. Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: Twenty years of experience. Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment'. IAEA, Vienna (2006).
- 122 Ivanov, V.K., A.I. Gorski, A.F. Tsyb et al. Radiation-epidemiological studies of thyroid cancer incidence among children and adolescents in the Bryansk oblast of Russia after the Chernobyl accident (1991-2001 follow-up period). *Radiat. Environ. Biophys.* 45(1): 9-16 (2006).
- 123 Ivanov, V.K., K.G. Manton, I. Akushevich et al. Risk of thyroid cancer after irradiation in children and adults. *Curr. Oncol.* 12(2): 55-64 (2005).
- 124 Ivanov, V.K., A.I. Gorski, A.F. Tsyb et al. Incidence of post-Chernobyl leukemia and thyroid cancer in children and adolescents in the Bryansk region: evaluation of radiation risks. *Vopr. Onkol.* 49(4): 445-449 (2003). (In Russian).
- 125 Ivanov, V.K., A.F. Tsyb, S.I. Ivanov et al. Medical Radiological Consequences of the Chernobyl Catastrophe in Russia. Estimation of Radiation Risks. Nauka, St. Petersburg, 2004.
- 126 Ivanov, V.K. Estimation of the standardized incidence ratio (SIR) for solid cancers among the emergency workers and the population of the contaminated areas of Russia. Communication to the UNSCEAR Secretariat (2006).
- 127 Imaizumi, M., T. Usa, T. Tominaga et al. Radiation dose-response relationships for thyroid nodules and autoimmune thyroid diseases in Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors 55-58 years after radiation exposure. *J. Am. Med. Assoc.* 295(9): 1011-1022 (2006).
- 128 International Advisory Committee. The International Chernobyl Project. Technical Report. IAEA, Vienna (1991).
- 129 International Atomic Energy Agency. One decade after Chernobyl. Summing up the consequences of the accident. Proceedings of an International Conference, Vienna, 7-12 April 1996. IAEA/STI/PUB 1001. IAEA, Vienna (1996).
- 130 International Commission on Radiological Protection. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients. ICRP Publication 72. Annals of the ICRP 26/1. Pergamon Press, Oxford, 1996.
- 131 International Atomic Energy Agency. Summary report on the post-accident review meeting on the Chernobyl accident. Safety Series No. 75-INSAG-1. IAEA, Vienna (1986).
- 132 International Atomic Energy Agency. Proceedings of the All-Union Conference on the medical aspects of the Chernobyl accident. IAEA-TECDOC-516. IAEA, Vienna (1988).
- 133 International Commission on Radiological Protection. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Publication 74. Annals of the ICRP 26(3/4). Pergamon Press, Oxford, 1996.
- 134 Ilyin, L.A. Chernobyl: Myth and Reality. Moscow, Megapolis, 1995.
- 135 Institute for Medical Investigation of Croatia. Data on radioactive contamination of Croatia following the Chernobyl accident and doses to population. Report. Zagreb, Croatia (1986).
- 136 Ivannikov, A.I., E. Gaillard-Lecanu, F. Trompier et al. Dose reconstruction by EPR spectroscopy of tooth enamel: application to the population of Zaborie village exposed to high radioactive contamination after the Chernobyl accident. *Health Phys.* 86(2): 121-134 (2004).
- 137 International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Annals of the ICRP 21(1-3). Pergamon Press, Oxford, 1991.
- 138 Ivanov, V.K., L.V. Remennik, A.F. Tsyb et al. Radiation oncoepidemiology in Russia after the Chernobyl accident: prognostication and facts. *Bulletin of the National Radiation and Epidemiological Registry. Radiation and Risk* 6: 26-77 (1995). (In Russian).
- 139 Ivanov, V.K., M.A. Maksoutov, S.Yu. Chekin et al. The risk of radiation-induced cerebrovascular disease in

- Chernobyl emergency workers. *Health Phys.* 90(3): 199-207 (2006).
- 140 Ivanov, V.K., A.I. Gorski, M.A. Maksoutov et al. Mortality among the Chernobyl emergency workers: estimation of radiation risks (preliminary analysis). *Health Phys.* 81(5): 514-521 (2001).
- 141 Ivanov, V.K., A.F. Tsyb, M.A. Maksoutov et al. Radiation epidemiological studies in Russian National Medical and Dosimetric Registry with respect to Chernobyl accident: I. Cancer and non-cancer registration system among Chernobyl liquidators and the population living in the areas contaminated with radionuclides in Russia (history and the present status). *Bulletin of the National Radiation and Epidemiological Registry. Radiation and Risk* 11: 59-74 (1999). <http://phys4.harvard.edu/~wilson/radiation/rr11-12/chapter5>.
- 142 International Physicians for the Prevention of Nuclear War. Last Aid: The Medical Dimensions of Nuclear War (E. Chivian et al., eds.). W.H. Freeman, San Francisco, 1982.
- 143 Ilyin, L. and L. Buldakov (eds.). Early and Remote Consequences of the Radiation Accident at the Chernobyl NPP. Proceedings of the All-Union Symposium held on 25-26 June 1987. USSR Ministry of Health, Moscow, 1987. (In Russian).
- 144 International Commission on Radiological Protection. Problems Involved in Developing an Index of Harm. ICRP Publication 27. *Annals of the ICRP* 1(4). Pergamon Press, Oxford, 1977.
- 145 International Commission on Radiological Protection. Quantitative Basis for Developing a Unified Index of Harm. ICRP Publication 45. *Annals of the ICRP* 15(3). Pergamon Press, Oxford, 1986.
- 146 International Commission on Radiation Units and Measurements. Retrospective assessment of exposure to ionising radiation. ICRU Report 68 (2002).
- 147 Ivanov, V., L. Ilyin, A. Gorski et al. Radiation and epidemiological analysis for solid cancer incidence among nuclear workers who participated in recovery operations following the accident at the Chernobyl NPP. *J. Radiat. Res.* 45(1): 41-44 (2004).
- 148 Ivanov, V.K., A.I. Gorski, A.F. Tsyb et al. Solid cancer incidence among the Chernobyl emergency workers residing in Russia: estimation of radiation risks. *Radiat. Environ. Biophys.* 43(1): 35-42 (2004).
- 149 Ivanov, V.K., K.A. Tumanov, V.V. Kashcheev et al. Mortality in Chernobyl clean-up workers: analysis of dose-effect relationship. *Bulletin of the National Radiation and Epidemiological Registry. Radiation and Risk* 15(1-2): 11-21 (2006). (In Russian).
- J1 Jacob, P., Y. Kenigsberg, I. Zvonova et al. Childhood exposure due to the Chernobyl accident and thyroid cancer risk in contaminated areas of Belarus and Russia. *Br. J. Cancer* 80(9): 1461-1469 (1999).
- J2 Jacob, P., Y. Kenigsberg, G. Goulko et al. Thyroid cancer risk in Belarus after the Chernobyl accident: comparison with external exposures. *Radiat. Environ. Biophys.* 39(1): 25-31 (2000).
- J3 Johnson, J.R. Fetal thyroid dose from intakes of radioiodine by the mother. *Health Phys.* 43(4): 573-582 (1982).
- J4 Jacob, P., T.I. Bogdanova, E. Buglova et al. Thyroid cancer risk in areas of Ukraine and Belarus affected by the Chernobyl accident. *Radiat. Res.* 165(1): 1-8 (2006).
- J5 Johansson, K. Communication to the Chernobyl Forum (2003).
- J6 Jarzab, B., M. Wiench, K. Fajarewicz et al. Gene expression profile of papillary thyroid cancer: sources of variability and diagnostic implications. *Cancer Res.* 65(4): 1587-1597 (2005).
- J7 Jacob, P., T.I. Bogdanova, E. Buglova et al. Thyroid cancer among Ukrainians and Belarusians who were children or adolescents at the time of the Chernobyl accident. *J. Radiol. Prot.* 26(1): 51-67 (2006).
- J8 Joint Chernobyl Registry of Russia and Belarus. www.nrnr.ru/byelorussia_eng.html (2008).
- K1 Kashirina, O.G., V.M. Abdullaeva, N.M. Nadezhina et al. Radiation damage of the vision organ. p. 203-213 in: *Radiation Medicine. Manual for Medical Doctors, Volume 2* (L.A. Ilyin, ed.). IzDat Publisher, Moscow, 2001.
- K2 Kerber, R.A., J.E. Till, S.L. Simon et al. A cohort study of thyroid disease in relation to fallout from nuclear weapons testing. *J. Am. Med. Assoc.* 270(17): 2076-2082 (1993).
- K3 Kimura, E.T., M.N. Nikiforova, Z. Zhu et al. High prevalence of *BRAF* mutations in thyroid cancer: genetic evidence for constitutive activation of the RET/PTC-RAS-BRAF signaling pathway in papillary thyroid carcinoma. *Cancer Res.* 63(7): 1454-1457 (2003).
- K4 Klugbauer, S., E. Lengfelder, E.P. Demidchik et al. High prevalence of RET rearrangement in thyroid tumors of children from Belarus after the Chernobyl reactor accident. *Oncogene* 11(12): 2459-2467 (1995).
- K5 Krjuchkov, V., I. Golovanov, E. Maceika et al. Dose reconstruction for Chernobyl liquidators in cancer case-control studies. Paper 3f3. B: IRPA-11. Proceedings of the 11th International Congress of the International Radiation Protection Association, Madrid, Spain, 23-28 May 2004 (www.irpa11.com).
- K6 Krjuchkov, V.P., A.V. Nosovsky et al. Retrospective Dosimetry of Persons Involved in Recovery Operations Following Accident at the Chernobyl NPP. Seda-Style, Kiev, 1996.
- K7 Krajewski, P. Effect of administering stable iodine to the Warsaw population to reduce thyroid content of iodine-131 after the Chernobyl accident, pp. 257-271. B: Proceedings of International Symposium on Recovery Operations in the Event of a Nuclear Accident or Radiological Emergency. IAEA, Vienna (1990).
- K8 Kenigsberg, Ya. and Yu. Kruk. Communication to the UNSCEAR Secretariat (2006).
- K9 Klein, B.E., R. Klein, K.L. Linton et al. Diagnostic x-ray exposure and lens opacities: the Beaver Dam Eye Study. *Am. J. Public Health* 83(4): 588-590 (1993).
- K10 Kenigsberg, J., E. Buglova, J. Kruk et al. Thyroid cancer among children and adolescents of Belarus exposed due to the Chernobyl accident: dose and risk assessment. p. 293-300 in: *Chernobyl: Message for the 21st Century* (S. Yamashita et al., eds.). International Congress Series 1234. Elsevier Science, 2002.
- K11 Konogorov, A.P., V.K. Ivanov, S.Y. Chekin et al. A case-control analysis of leukemia in accident emergency workers of Chernobyl. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* 19(1-2): 143-151 (2000).
- K12 Kaduka, M.V., V.N. Shutov, G.Ya. Bruk et al. Soil-dependent uptake of ¹³⁷Cs by mushrooms: experimental study in the Chernobyl accident areas. *J. Environ. Radioact.* 89(3): 199-211 (2006).
- K13 Kashparov, V.A., S.M. Lundin, S.I. Zvarich et al. Territory contamination with the radionuclides representing the fuel component of Chernobyl fallout. *Sci. Total Environ.* 317(1): 105-119 (2003).

- K14 Kashparov, V.A., N. Ahamdach, S.I. Zvarich et al. Kinetics of dissolution of Chernobyl fuel particles in soil in natural conditions. *J. Environ. Radioact.* 72(3): 335-353 (2004).
- K15 Kirchner, G. Transport of iodine and cesium via the grass-cow-milk pathway after the Chernobyl accident. *Health Phys.* 66(6): 653-665 (1994).
- K16 Konoplev, A.V., R. Avila, A.A. Bulgakov et al. Quantitative assessment of radiocaesium bioavailability in forest soils. *Radiochim. Acta* 88(9-11): 789-792 (2000).
- K17 Kopecky, K.J., V. Stepanenko, N. Rivkind et al. Childhood thyroid cancer, radiation dose from Chernobyl, and dose uncertainties in Bryansk oblast, Russia: a population-based case-control study. *Radiat. Res.* 166(2): 367-374 (2006).
- K18 Konchalovsky, M.V., A.E. Baranov and V.Yu. Soloviev. Dose response of neutrophils and lymphocytes in whole body homogeneous human gamma-irradiation (based on Chernobyl accident data). *J. Med. Radiol. Radiat. Saf.* 36(1): 29-31 (1991).
- K19 Kimmel, R.R., L.P. Zhao, D. Nguyen et al. Microarray comparative genomic hybridization reveals genome-wide patterns of DNA gains and losses in post-Chernobyl thyroid cancer. *Radiat. Res.* 166(3): 519-531 (2006).
- K20 Kashparov, V.A., S.M. Lundin, S.E. Levchuk et al. Complex monitoring of agricultural products contamination with ⁹⁰Sr. *Bull. Agrarian Science (Special issue)* April: 38-43 (2001). (In Ukrainian).
- K21 Kelly, G.N. and V.M. Shershakov. Environmental contamination, radiation doses and health consequences after the Chernobyl accident. *Radiat. Prot. Dosim.* 64(1): 120 (1996).
- K22 Kenigsberg, Ya., Yu. Kruk, E. Buglova et al. Chernobyl-related cancer in Belarus: Dose and risk assessment, pp. 26-42. B: Health Effects of People Who Live in the Radio-contaminated Areas Following the Chernobyl Accident. Radiation Effects Association, Tokyo, 2002.
- K23 Kenigsberg, Ya. and Yu. Kruk. In: 20 Years after the Chernobyl Catastrophe: the Consequences in the Republic of Belarus and their Overcoming (V.E. Shevchuk and V.L. Gurachevsky, eds.). National report. Committee on the Problems of the Consequences of the Catastrophe at the Chernobyl NPP under the Belarusian Council of Ministers, Minsk, 2006.
- K24 Kesminienė, A.Z., J. Kurtinaitis and G.J. Rimdeika. A study of Chernobyl clean-up workers from Lithuania. *Acta Med. Lituanica* 2: 55-61 (1997).
- K25 Konstantinov, L.V. and A.J. González. The radiological consequences of the Chernobyl accident. *Nucl. Saf.* 30(1): 53-69 (1989).
- K26 Kritidis, P. and H. Florou. Radiological impact in Greece of the Chernobyl accident—a 10-y retrospective synopsis. *Health Phys.* 80(5): 440-446 (2001).
- K27 Krstić, D., D. Nikezić, N. Stevanović et al. Vertical profile of ¹³⁷Cs in soil. *Appl. Radiat. Isot.* 61(6): 1487-1492 (2004).
- K28 Kruk, J.E., G. Prohl and J.I. Kenigsberg. A radioecological model for thyroid dose reconstruction of the Belarus population following the Chernobyl accident. *Radiat. Environ. Biophys.* 43(2): 101-110 (2004).
- K29 Kryshev, I.I. Radioecological Consequences of the Chernobyl Accident. Nuclear Society International, Moscow, 1992.
- K30 Kryuchkov, V., V. Chumak, E. Maceika et al. Radrue method for reconstruction of external photon doses for Chernobyl liquidators in epidemiological studies. *Health Phys.* 97(4): 275-298 (2009).
- K31 Kurtinaitis, J. Lithuanian study of clean-up workers (in collaboration with NGO “Chernobyl Movement”). Unpublished data, 1998-2002.
- K32 Kazakov, V.S., E.P. Demidchik and L.N. Astakhova. Thyroid cancer after Chernobyl. *Nature* 359(6390): 21 (1992).
- L1 Likhtarev, I., B. Sobolev, I. Kairo et al. Results of large scale thyroid dose reconstruction in Ukraine, pp. 1021-1034. B: The Radiological Consequences of the Chernobyl Accident. Proceedings of the First International Conference, Minsk, Belarus, March 1996 (A. Karaoglou, G. Desmet, G.N. Kelly et al., eds.). EUR 16544 (1996).
- L2 Likhtarev, I.A., L.N. Kovgan, P. Jacob et al. Chernobyl accident: retrospective and prospective estimates of external dose of the population of Ukraine. *Health Phys.* 82(3): 290-303 (2002).
- L3 Likhtarev, I., V. Minenko, V. Khrouch et al. Uncertainties in thyroid dose reconstruction after Chernobyl. *Radiat. Prot. Dosim.* 105(1-4): 601-608 (2003).
- L4 Likhtarev, I. and L. Kovgan. Communication to the UNSCEAR Secretariat (2006).
- L5 Likhtarov, I., L. Kovgan, S. Vavilov et al. Post-Chernobyl thyroid cancers in Ukraine. Report 2: risk analysis. *Radiat. Res.* 166(2): 375-386 (2006).
- L6 Lima, J., V. Trovisco, P. Soares et al. *BRAF* mutations are not a major event in post-Chernobyl childhood thyroid carcinomas. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 89(9): 4267-4271 (2004).
- L7 Los, I. and I. Likhtarev. The peculiarities of urban environmental contamination and assessment of actions aimed at reduction of public exposure. *Int. J. Radiat. Hyg.* 1(1): 51-59 (1993).
- L8 Likhtarov, I., L. Kovgan, S. Vavilov et al. Post-Chernobyl thyroid cancers in Ukraine. Report 1: Estimation of thyroid doses. *Radiat. Res.* 163(2): 125-136 (2005).
- L9 Likhtarev, I.A., B.G. Sobolev, I.A. Kairo et al. Thyroid cancer in the Ukraine. *Nature* 375(6530): 365 (1995).
- M1 Mettler, F.A. and A.C. Upton. Medical Effects of Ionizing Radiation. Second edition. W.B. Saunders Company, Philadelphia, 1995.
- M2 Musholt, T.J., P.B. Musholt, N. Khaladj et al. Prognostic significance of RET and NTRK1 rearrangements in sporadic papillary thyroid carcinoma. *Surgery* 128(6): 984-993 (2000).
- M3 Mazzanti, C., M.A. Zeiger, N.G. Costourous et al. Using gene expression profiling to differentiate benign versus malignant thyroid tumors. *Cancer Res.* 64(8): 2898-2903 (2004).
- M4 Minamoto, A., H. Taniguchi, N. Yoshitani et al. Cataract in atomic bomb survivors. *Int. J. Radiat. Biol.* 80(5): 339-345 (2004).
- M5 Ministry of Public Health of Ukraine, Ministry of Extraordinary Situations and Protection of the Population from the Consequences of the Chernobyl Catastrophe, Ukrainian Scientific Center of Radiation Medicine, Radiation Protection Institute. Complex dosimetric passportization of Ukrainian areas radioactively contaminated as a result of the Chernobyl accident. Booklets 1-12, Kyiv (1991-2007).
- M6 Michel, R., J. Handl, T. Ernst et al. Iodine-129 in soils from Northern Ukraine and the retrospective dosimetry of the iodine-131 exposure after the Chernobyl accident. *Sci. Total Environ.* 340(1-3): 35-55 (2005).

- M7 Mironov, V., V. Kudrjashov, F. Yiou et al. Use of ^{129}I and ^{137}Cs in soils for the estimation of ^{131}I deposition in Belarus as a result of the Chernobyl accident. *J. Environ. Radioact.* 59(3): 293-307 (2002).
- M8 Mück, K., G. Pröhl, I. Likhtarev et al. A consistent radionuclide vector after the Chernobyl accident. *Health Phys.* 82(2): 141-156 (2002).
- M9 Müller, H. and G. Prohl. ECOSYS-87: A dynamic model for assessing radiological consequences of nuclear accidents. *Health Phys.* 64(3): 232-252 (1993).
- M10 Malátová, I. and J. Skrkal. Re-evaluation of internal exposure from the Chernobyl accident to the Czech population. p. 176 in: TA6–Radiation Protection of the Public and the Environment. Proceedings of the Second European IRPA Congress on Radiation Protection, Paris, France, 15-19 May 2006.
- M11 Maksiuotov, M. Radiation Epidemiological Studies in Russian National Medical and Dosimetric Registry: Estimation of Cancer and Non-cancer Consequences Observed among Chernobyl Liquidators. Nuclear Safety Research Group, Kyoto, Japan, 2002 (www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/reports/kr79/kr79pdf/Maksiuotov.pdf).
- M12 Merwin, S.E. and M.I. Balonov (eds.). The Chernobyl Papers. Doses to the Soviet Population and Early Health Effects Studies, Volume I. Research Enterprises Inc., Richland, Washington, 1993.
- M13 Mettler, F.A. Jr., A.K. Gus'kova and I. Gusev. Acute health effects and radiation syndromes resulting from the Chernobyl accident. *Health Phys.* 93(5): 462-469 (2007).
- M14 Minenko, V. Communication to the UNSCEAR Secretariat (2007).
- M15 Mahoney, M.C., S. Lawvere, K.L. Falkner et al. Thyroid cancer incidence trends in Belarus: examining the impact of Chernobyl. *Int. J. Epidemiol.* 33(5): 1025-1033 (2004).
- M16 Minenko, V.F., A.V. Ulanovsky, V.V. Drozdovitch et al. Individual thyroid dose estimates for a case-control study of Chernobyl-related thyroid cancer among children of Belarus—Part II: Contributions from long-lived radionuclides and external radiation. *Health Phys.* 90(4): 312-327 (2006).
- M17 Moberg, L. The Chernobyl Fallout in Sweden. Results from a Research Programme on Environmental Radiology. Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm, 1991.
- M18 Muikku, M., H. Arvela, H. Järvinen et al. Annoslaku 2004—Suomalaisten Keskimääräinen Efektiivinen annos. STUK-A211 (2005).
- M19 Mück, K. Fallout and exposure of the population in Austria after the Chernobyl accident. *Kerntechnik* 61(5/6): 260-270 (1996).
- N1 National Radiation and Epidemiological Registry. www.nrer.ru/main_eng.html (2008).
- N2 Nadejina, N.M., I.A. Galstian, A.A. Savitsky et al. Late consequences of ARS survivors of different gamma-beta and gamma-neutron radiation injuries. Paper T-12-4. B: IRPA-10. Proceedings of the 10th International Congress of the International Radiation Protection Association, Hiroshima, Japan, May 14-19, 2000.
- N3 Nikiforova, M.N., R. Ciampi, G. Salvatore et al. Low prevalence of BRAF mutations in radiation-induced thyroid tumors in contrast to sporadic papillary carcinomas. *Cancer Lett.* 209(1): 1-6 (2004).
- N4 Nuclear Regulatory Commission. Health effects model for nuclear power plant accident consequence analysis. NUREG/CR-4214 (1985).
- N5 Nadejina, N.M., I.A. Galstian, A.A. Savitsky et al. Late effects of acute radiation sickness. *Med. Radiol. Radiat. Saf.* 48(3): 17-27 (2003).
- N6 Nadejina, N.M., I.A. Galstian, A.A. Savitsky et al. Non-stochastic follow-up effects of Chernobyl accident recovery workers. *Br. J. Radiol. (Suppl. 26: Chronic Irradiation: Tolerance and Failure in Complex Biological Systems)*: 50-54 (2002).
- N7 Nauman, J.A. Practical experience of prophylaxis for large scale exposure after a nuclear accident, pp. 377-385. B: Radiation and Thyroid Cancer (G. Thomas, A. Karaoglou and E.D. Williams, eds.). World Scientific, Singapore, 1999.
- N8 Nadtochiy, P.P., A.S. Malinovskiy, A.O. Mogar et al. Experience of Liquidation of the Chernobyl Accident Consequences. Svit, Kyiv, 2003. (In Ukrainian).
- N9 Noshchenko, A.G., K.B. Moysich, A. Bondar et al. Patterns of acute leukaemia occurrence among children in the Chernobyl region. *Int. J. Epidemiol.* 30(1): 125-129 (2001).
- N10 Noshchenko, A.G., P.V. Zamostyan, O.Y. Bondar et al. Radiation-induced leukemia risk among those aged 0–20 at the time of the Chernobyl accident: a case-control study in the Ukraine. *Int. J. Cancer* 99(4): 609-618 (2002).
- N11 Nagataki, S., Y. Shibata, S. Inoue et al. Thyroid diseases among atomic bomb survivors in Nagasaki. *J. Am. Med. Assoc.* 272(5): 364-370 (1994).
- N12 National Report of Ukraine. 20 Years After Chornobyl Catastrophe: Future Outlook. Kyiv, Atika, 2006.
- N13 Nagataki, S. (ed.). Nagasaki Symposium on Chernobyl: Update and Future. Elsevier, 1994.
- N14 National Institute for Health Development, Estonia. Department of Epidemiology and Biostatistics. The Estonian study of Chernobyl cleanup workers. Unpublished data (2006).
- N15 Nuclear Energy Agency of the Organisation for Economic Co-operation and Development. Chernobyl ten years on: radiological and health impact. OECD, Paris (1996).
- N16 Nuclear Energy Agency of the Organisation for Economic Co-operation and Development. Chernobyl: assessment of radiological and health impacts. 2002 update of Chernobyl ten years on. OECD, Paris (2002).
- N17 Neriishi, K., E. Nakashima, A. Minamoto et al. Postoperative cataract cases among atomic bomb survivors: radiation dose response and threshold. *Radiat. Res.* 168(4): 404-408 (2007).
- N18 Nakashima, E., K. Neriishi and A. Minamoto. A reanalysis of atomic-bomb cataract data, 2000-2002: a threshold analysis. *Health Phys.* 90(2): 154-160 (2006).
- N19 Nedveckaitė, T. Radiation Protection in Lithuania. Kriventa, Vilnius, 2004. (In Lithuanian).
- O1 Osanov, D.P., V.P. Krjuchkov and A.I. Shaks. Determination of beta radiation doses received by personnel involved in the mitigation of the Chernobyl accident. p. 313-346 in: The Chernobyl Papers. Doses to the Soviet Population and Early Health Effects Studies, Volume I (S.E. Merwin and M.I. Balonov, eds.). Research Enterprises Inc., Richland, Washington, 1993.
- O2 Okladnikova, N.D., V.S. Pesternikova, M.V. Sumina et al. Consequences and outcomes of acute radiation sickness in human (40-45 years of surveillance). *Med. Radiol. Radiat. Saf.* 46(2): 16-22 (2000).
- P1 Pitkevitch, V.A., V.K. Ivanov, A.F. Tsyb et al. Exposure levels for persons involved in recovery operations after the Chernobyl accident. Statistical analysis based on the

- data of the Russian National Medical and Dosimetric Registry (RNMDR). *Radiat. Environ. Biophys.* 36(3): 149-160 (1997).
- P2 Powell, N., S. Jeremiah, M. Morishita et al. Frequency of BRAF T1796A mutation in papillary thyroid carcinoma relates to age of patient at diagnosis and not to radiation exposure. *J. Pathol.* 205(5): 558-564 (2005).
- P3 Preston, D.L., Y. Shimizu, D.A. Pierce et al. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997. *Radiat. Res.* 160(4): 381-407 (2003).
- P4 Pietrzak-Flis, Z., P. Krajewski, I. Radwan et al. Retrospective evaluation of ¹³¹I deposition density and thyroid dose in Poland after the Chernobyl accident. *Health Phys.* 84(6): 698-708 (2003).
- P5 Prister, B.S., G.P. Perepelyatnikov and L.V. Perepelyatnikova. Countermeasures used in the Ukraine to produce forage and animal food products with radionuclide levels below intervention limits after the Chernobyl accident. *Sci. Total Environ.* 137(5): 183-198 (1993).
- P6 Prister, B.S. (ed.). Recommendations on Agricultural Management on Contaminated Territories. Ukrainian Institute of Agricultural Radiology, Kiev, 1998. (In Ukrainian).
- P7 Prister, B., R. Aleksakhin, S. Firsakova et al. Short and long term environmental assessment, pp. 103-114. B: Proceedings of the EU/CIS Workshop on Restoration of Contaminated Territories Resulting from the Chernobyl Accident. EUR 18193 EN (2000).
- P8 Prister, B.S., V.G. Barjakhtar, L.V. Perepelyatnikova et al. Experimental substantiation in parameterization of the model describing ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr behavior in a soil-plant system. *Environ. Sci. Pollut. Res. (Special issue)* 1: 126-136 (2003).
- P9 Petridou, E., D. Trichopoulos, N. Dessypris et al. Infant leukaemia after in utero exposure to radiation from Chernobyl. *Nature* 382(6589): 352-353 (1996).
- P10 Pukkala, E., A. Kesminiene, S. Poliakov et al. Breast cancer in Belarus and Ukraine after the Chernobyl accident. *Int. J. Cancer* 119(3): 651-658 (2006).
- P11 Pacini, F., T. Vorontsova, E. Molinaro et al. Prevalence of thyroid autoantibodies in children and adolescents from Belarus exposed to the Chernobyl radioactive fallout. *Lancet* 352(9130): 763-766 (1998).
- P12 Parkin, D.M., D. Clayton, R.J. Black et al. Childhood leukaemia in Europe after Chernobyl: 5 year follow-up. *Br. J. Cancer* 73(8): 1006-1012 (1996).
- P13 Parkin, D.M., C.S. Muir, S.L. Whelan et al. Cancer incidence in five continents, Volume VI. IARC Scientific Publication No. 120. Lyon (1992).
- P14 Parkin, D.M., S.L. Whelan, J. Ferlay et al. Cancer incidence in five continents, Volume VII. IARC Scientific Publication No. 143. Lyon (1998).
- P15 Parkin, D.M., S.L. Whelan, J. Ferlay et al. Cancer incidence in five continents, Volume VIII. IARC Scientific Publication No. 155. Lyon (2003).
- P16 Prysazhnyuk, A., V. Gristchenko, Z. Fedorenko et al. Twenty years after the Chernobyl accident: solid cancer incidence in various groups of the Ukrainian population. *Radiat. Environ. Biophys.* 46(1): 43-51 (2007).
- P17 Pyatkin, E.K., V.Ju. Nugis and A.A. Chirkov. Evaluation of absorbed dose using the results of cytogenetic studies of the culture of lymphocytes in Chernobyl accident victims. *Med. Radiol.* 34(6): 52-57 (1989).
- P18 Port, M., C. Boltze, Y. Wang et al. A radiation-induced gene signature distinguishes post-Chernobyl from sporadic papillary thyroid cancers. *Radiat. Res.* 168(6): 639-649 (2007).
- R1 Ron, E., J.H. Lubin, R.E. Shore et al. Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. *Radiat. Res.* 141(3): 259-277 (1995).
- R2 Robbins, J. and W.H. Adams. Radiation effects in the Marshall Islands. p. 11-24 in: *Radiation and the Thyroid* (S. Nagataki, ed.). Excerpta Medica, Amsterdam, 1989.
- R3 Rahu, M., M. Tekkel, T. Veidebaum et al. The Estonian study of Chernobyl cleanup workers: II. Incidence of cancer and mortality. *Radiat. Res.* 147(5): 653-657 (1997).
- R4 Ramzaev, P.V., E.V. Ivanov, M.I. Balonov et al. Prognose of the medical consequences of the accident at the Chernobyl NPP for the population of RSFSR (Russia), pp. 348-354. B: Early and Remote Consequences of the Radiation Accident at the Chernobyl NPP. Proceedings of the All-Union Symposium held on 25-26 June 1987 (L. Ilyin and L. Buldakov, eds.). USSR Ministry of Health, Moscow, 1987. (In Russian).
- R5 Ratnikov, A.N., A.V. Vasiliev, R.M. Alexakhin et al. The use of hexacyanoferrates in different forms to reduce radiocaesium contamination of animal products in Russia. *Sci. Total Environ.* 223(2-3): 167-176 (1998).
- R6 Russian National Medical and Dosimetric Registry. Rayon-average thyroid doses of children and adolescents (as of time of the Chernobyl accident) in Belarus, Russia and Ukraine. Bulletin of the National Radiation and Epidemiological Registry. Radiation and Risk 3-4: 86-87 (2006). (In Russian).
- R7 Rahu, M., K. Rahu, A. Auvinen et al. Cancer risk among Chernobyl cleanup workers in Estonia and Latvia, 1986-1998. *Int. J. Cancer* 119(1): 162-168 (2006).
- R8 Richter, H., H. Braselmann, L. Hieber et al. Chromosomal imbalances in post-chernobyl thyroid tumors. *Thyroid* 14(12): 1061-1064 (2004).
- R9 Rogounovitch, T.I., V.A. Saenko, K. Ashizawa et al. TP53 codon 72 polymorphism in radiation-associated human papillary thyroid cancer. *Oncol. Rep.* 15(4): 949-956 (2006).
- R10 Roed, J. and K. Andersson. Communication to the UN Chernobyl Forum (2002).
- R11 Ricks, R.C., M.E. Berger and F.M. O'Hara Jr. The Medical Basis for Radiation-Accident Preparedness: The Clinical Care of Victims. Proceedings of the Fourth International REAC/TS Conference, March 2001, Orlando, Florida. CRC Press, Boca Raton, Florida, 2002.
- R12 Russian National Medical and Dosimetric Registry. www.nrnr.ru/main_eng.html (2006).
- R13 Russian State Committee for Hydrometeorology. Deposition density of ¹³⁷Cs in Russian settlements. Obninsk (2000).
- R14 Realo, E., J. Jõgi, R. Koch et al. Studies on radiocaesium in Estonian soils. *J. Environ. Radioact.* 29(2): 111-119 (1995).
- S1 Shore, R.E. Issues and epidemiological evidence regarding radiation-induced thyroid cancer. *Radiat. Res.* 131(1): 98-111 (1992).
- S2 Santoro, M., G.A. Thomas, G. Vecchio et al. Gene rearrangement and Chernobyl related thyroid cancers. *Br. J. Cancer* 82(2): 315-322 (2000).
- S3 Sugg, S.L., L. Zheng, I.B. Rosen et al. *ret*/PTC-1, -2, and -3 oncogene rearrangements in human thyroid carcinomas: implications for metastatic potential? *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 81(9): 3360-3365 (1996).

- S4 Shibata, Y., S. Yamashita, V.B. Masyakin et al. 15 years after Chernobyl: new evidence of thyroid cancer. *Lancet* 358(9297): 1965-1966 (2001).
- S5 Suchy, B., V. Waldmann, S. Klugbauer et al. Absence of RAS and p53 mutations in thyroid carcinomas of children after Chernobyl in contrast to adult thyroid tumours. *Br. J. Cancer* 77(6): 952-955 (1998).
- S6 Shakhtarin, V.V., A.F. Tsyb, V.F. Stepanenko et al. Iodine deficiency, radiation dose, and the risk of thyroid cancer among children and adolescents in the Bryansk region of Russia following the Chernobyl power station accident. *Int. J. Epidemiol.* 32(4): 584-591 (2003).
- S7 Stezhko, V.A., E.E. Buglova, L.I. Danilova et al. A cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases after the Chernobyl accident: objectives, design and methods. *Radiat. Res.* 161(4): 481-492 (2004).
- S8 Sasakawa Memorial Health Foundation. A report on the 1994 Chernobyl Sasakawa Project Workshop, Moscow, 16-17 May 1994. Sasakawa Memorial Health Foundation, Tokyo (1994).
- S9 Sasakawa Memorial Health Foundation. A report on the 1995 Chernobyl Sasakawa Project Workshop, St. Petersburg, 7-8 July 1995. Sasakawa Memorial Health Foundation, Tokyo (1996).
- S10 Stengrevics, A. Communication to the UNSCEAR Secretariat (2006).
- S11 Schmidt, A., C. Schnabel, J. Handl et al. On the analysis of iodine-129 and iodine-127 in environmental materials by accelerator mass spectrometry and ion chromatography. *Sci. Total Environ.* 223(2-3): 131-156 (1998).
- S12 Shcheglov, A.I., O.B. Tsvetnova and A.L. Klyashtorin Biogeochemical Migration of Technogenic Radionuclides in Forest Ecosystems. Nauka, Moscow, 2001.
- S13 Shestopalov, V.M., V.A. Kashparov and Y.A. Ivanov. Radionuclide migration into the geological environment and biota after the Chernobyl accident. *Environ. Sci. Pollut. Res. (Special issue)* 1: 39-47 (2003).
- S14 Shevchouk, V.E. and V.L. Gourachevskiy (eds.). 15 Years After Chernobyl Catastrophe: Consequences in the Republic of Belarus and Their Overcoming. National report. Committee on the Problems of the Consequences of the Accident at the Chernobyl NPP. Minsk (2001).
- S15 Smith, J.T., A.V. Kudelsky, I.N. Ryabov et al. Radiocaesium concentration factors of Chernobyl-contaminated fish: a study of the influence of potassium, and "blind" testing of a previously developed model. *J. Environ. Radioact.* 48(3): 359-369 (2000).
- S16 Salo, A. and J. Daglish. Response to an accident in theory and in practice. *Environ. Int.* 14(2): 185-200 (1988).
- S17 Straume, T., L.R. Anspaugh, A.A. Marchetti et al. Measurement of ^{129}I and ^{137}Cs in soils from Belarus and reconstruction of ^{131}I deposition from the Chernobyl accident. *Health Phys.* 91(1): 7-19 (2006).
- S18 Shalimov, S., A. Prysyazhnyuk, V. Gristchenko et al. Chernobyl and cancer. Onco-epidemiological aspects of problem. *J. Acad. Med. Sci. Ukraine* 12(1): 98-109 (2006). (In Ukrainian).
- S19 Sadetzki, S., R. Calderon-Margalit, B. Modan et al. Ret/PTC activation in benign and malignant thyroid tumors arising in a population exposed to low-dose external-beam irradiation in childhood. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 89(5): 2281-2289 (2004).
- S20 Saad, A.G., S. Kumar, E. Ron et al. Proliferative activity of human thyroid cells in various age groups and its correlation with the risk of thyroid cancer after radiation exposure. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 91(7): 2672-2677 (2006).
- S21 Steiner, M., I. Linkov and S. Yoshida. The role of fungi in the transfer and cycling of radionuclides in forest ecosystems. *J. Environ. Radioact.* 58(2-3): 217-241 (2002).
- S22 Shaw, G. Communication to the Chernobyl Forum (2004).
- S23 State Committee on Land Resources, Geodesis and Cartography of the Republic of Belarus. Radiation conditions on the territory of the Republic of Belarus (Map). Minsk (2000).
- S24 Sevan'kaev, A.V., D.C. Lloyd, H. Braselmann et al. A survey of chromosomal aberrations in lymphocytes of Chernobyl liquidators. *Radiat. Prot. Dosim.* 58(2): 85-91 (1995).
- S25 Schwaiger, M., K. Mueck, T. Benesch et al. Investigation of food contamination since the Chernobyl fallout in Austria. *Appl. Radiat. Isot.* 61(2-3): 357-360 (2004).
- S26 Shinkarev, S. Communication to the UNSCEAR Secretariat (2006).
- S27 Starinskii, V.V., V.M. Merabishvili, O.P. Gretsova et al. Development of a population-based system of cancer registries in Russia. *Vopr. Onkol.* 49(4): 422-426 (2003). (In Russian).
- S28 Stepanenko, V., M. Orlov, A. Ivannikov et al. Individual retrospective dosimetry in a highly contaminated settlement following the Chernobyl accident: computational modelling in comparison with EPR tooth enamel data. Presented in 6th International Symposium on ESR Dosimetry and Applications, Campos do Jordao-Sao Paulo, Brazil, 2003.
- S29 State Committee for Hydrometeorology of Republic of Belarus. Deposition density of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the settlements of the Republic of Belarus. State Committee for Hydrometeorology of Republic of Belarus, Minsk (2002).
- S30 State Chernobyl Registry of Ukraine (2005).
- S31 Stepanenko, V.F., Yu.I. Gavrilin, V.T. Khrouch et al. Re-evaluation of thyroid doses in Russia after the Chernobyl accident, pp. 321-328. B: Chernobyl: Message for the 21st Century. Proceedings of the Sixth Chernobyl Sasakawa Medical Cooperation Symposium, Moscow, Russia, 30-31 May 2001 (S. Yamashita, Y. Shibata, M. Hoshi et al., eds.). Elsevier, 2002.
- S32 Stepanenko, V.F., P.G. Voilleque, Yu.I. Gavrilin et al. Estimating individual thyroid doses for a case-control study of childhood thyroid cancer in Bryansk Oblast, Russia. *Radiat. Prot. Dosim.* 108(2): 143-160 (2004).
- T1 Thomas, G.A., H. Bunnell, H.A. Cook et al. High prevalence of RET/PTC rearrangements in Ukrainian and Belarusian post-Chernobyl thyroid papillary carcinomas: a strong correlation between RET/PTC3 and the solid-follicular variant. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 84(11): 4232-4238 (1999).
- T2 Tronko, N.D., T.I. Bogdanova, I. Komissarenko et al. Thyroid cancer in children and adolescents in Ukraine having been exposed as a result of the Chernobyl accident (15-year expertise of investigations). *Int. J. Radiat. Med.* 4: 222-232 (2002).
- T3 Tronko, M.D., G.R. Howe, T.I. Bogdanova et al. A cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases after the Chernobyl accident: thyroid cancer in Ukraine detected during first screening. *J. Natl. Cancer Inst.* 98(13): 897-903 (2006).
- T4 Torok, S., G. Borgulya, P. Lobmayer et al. Childhood leukaemia incidence in Hungary, 1973-2002. Interpolation

- model for analysing the possible effects of the Chernobyl accident. *Eur. J. Epidemiol.* 20(11): 899-906 (2005).
- T5 Talerko, N. Mesoscale modelling of radioactive contamination formation in Ukraine caused by the Chernobyl accident. *J. Environ. Radioact.* 78(3): 311-329 (2005).
- T6 Talerko, N. Reconstruction of ¹³¹I radioactive contamination in Ukraine caused by the Chernobyl accident using atmospheric transport modelling. *J. Environ. Radioact.* 84(3): 343-362 (2005).
- T7 Tronko, M.D., A.V. Brenner, V.A. Oliynyk et al. Autoimmune thyroiditis and exposure to iodine 131 in the Ukrainian cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases after the Chornobyl accident: results from the first screening cycle (1998-2000). *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 91(11): 4344-4351 (2006).
- T8 Tamponnet, C., C. Plassard, N. Parekh et al. Impact of micro-organisms on the fate of radionuclides in rhizospheric soils, pp. 175-185. B: *Radioactive Pollutants—Impact on the Environment* (F. Bréchnignac and B.J. Howard, eds.). IPSN Collection. EDP Sciences, France, 2001.
- T9 Tekkel, M., M. Rahu, T. Veidebaum et al. The Estonian study of Chernobyl cleanup workers: I. Design and questionnaire data. *Radiat. Res.* 147(5): 641-652 (1997).
- T10 Tveten, U., L.I. Brynildsen, I. Amundsen et al. Economic consequences of the Chernobyl accident in Norway in the decade 1986–1995—a cost-benefit analysis. *J. Environ. Radioact.* 41(3): 233-255 (1998).
- U1 United Nations. *Effects of Ionizing Radiation. Volume I: Report to the General Assembly, Scientific Annexes A and B; Volume II: Scientific Annexes C, D and E.* United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR 2006 Report. United Nations sales publications E.08.IX.6 (2008) and E.09.IX.5 (2009). United Nations, New York.
- U3 United Nations. *Sources and Effects of Ionizing Radiation. Volume I: Sources; Volume II: Effects.* United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000 Report to the General Assembly, with scientific annexes. United Nations sales publication E.00.IX.3 and E.00.IX.4. United Nations, New York, 2000.
- U6 United Nations. *Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1993 Report to the General Assembly, with scientific annexes.* United Nations sales publication E.94.IX.2. United Nations, New York, 1993.
- U7 United Nations. *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1988 Report to the General Assembly, with annexes.* United Nations sales publication E.88.IX.7. United Nations, New York, 1988.
- U9 United Nations. *Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1982 Report to the General Assembly, with annexes.* United Nations sales publication E.82.IX.8. United Nations, New York, 1982.
- U17 Unger, K., H. Zitzelsberger, G. Salvatore et al. Heterogeneity in the distribution of *RET/PTC* rearrangements within individual post-Chernobyl papillary thyroid carcinomas. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 89(9): 4272-4279 (2004).
- U18 Unger, K., L. Zurnadzhy, A. Walch et al. *RET* rearrangements in post-Chernobyl papillary thyroid carcinomas with a short latency analysed by interphase FISH. *Br. J. Cancer* 94(10): 1472-1477 (2006).
- U19 Ukrainian Hydrometeorological Institute. Database of radiation measurements of aquatic samples. Ukrainian Hydrometeorological Institute, Kyiv (2004).
- U20 UNESCO. Chernobyl programme: programme framework. UNESCO document catalogue number 147072. UNESCO, Paris (1990).
- V1 Vidal, M., M. Camps, N. Grebenshikova et al. Soil- and plant-based countermeasures to reduce ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr uptake by grasses in natural meadows: the REDUP project. *J. Environ. Radioact.* 56(1-2): 139-156 (2001).
- V2 Vargo, G.V. (ed.). *The Chornobyl Accident: A Comprehensive Risk Assessment.* Battelle Press, 2000.
- V3 Vozianov, A., B. Bebeshko and D. Bazyka (eds.). *Health Effects of Chornobyl Accident.* DIA Ltd., 2003.
- V4 Vermiglio, F., M.G. Castagna, E. Volnova et al. Post-Chernobyl increased prevalence of humoral thyroid autoimmunity in children and adolescents from a moderately iodine-deficient area in Russia. *Thyroid* 9(8): 781-786 (1999).
- W1 Worgul, B.V., Y.I. Kundiev, V. Chumak et al. The Ukrainian/American Chernobyl ocular study. p. 1-12 in: *Ocular Radiation Risk Assessment in Populations Exposed to Environmental Radiation Contamination, Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop, Kiev, Ukraine, 29 July-1 August 1997* (A.K. Junk et al., eds.). Kluwer Academic Publishers, London, 1999.
- W2 Williams, E.D., A. Abrosimov, T. Bogdanova et al. Guest editorial: Two proposals regarding the terminology of thyroid tumors. *Int. J. Surg. Pathol.* 8(3): 181-183 (2000).
- W3 Williams, G.H., S. Rooney, G.A. Thomas et al. *RET* activation in adult and childhood papillary thyroid carcinoma using a reverse transcriptase-n-polymerase chain reaction approach on archival-nested material. *Br. J. Cancer* 74(4): 585-589 (1996).
- W4 Williams, E.D., A. Abrosimov, T. Bogdanova et al. Thyroid carcinoma after Chernobyl latent period, morphology and aggressiveness. *Br. J. Cancer* 90(11): 2219-2224 (2004).
- W5 World Health Organization. *Health effects of the Chernobyl accident and special health care programmes.* WHO, Geneva (2006).
- W6 World Health Organization. *Health consequences of the Chernobyl accident: results of the IPHECA pilot projects and related national programmes: summary report. International Programme on the Health Effects of the Chernobyl Accident.* ISBN 9241561815. WHO, Geneva (1995).
- W7 Worgul, B.V., Y.I. Kundiyevev, N.M. Sergiyenko et al. Cataracts among Chernobyl clean-up workers: Implications regarding permissible eye exposures. *Radiat. Res.* 167(2): 233-243 (2007).
- Y1 Yamada, M., F.L. Wong, S. Fujiwara et al. Noncancer disease incidence in atomic bomb survivors, 1958-1998. *Radiat. Res.* 161(6): 622-632 (2004).
- Y2 Yamashita, S. and Y. Shibata (eds.). *Chernobyl: A Decade. Proceedings of the Fifth Chernobyl Sasakawa Medical Cooperation Symposium, Kiev, Ukraine, 14-15 October 1996.* Elsevier, 1997.
- Y3 Yamashita, S., Y. Shibata, M. Hoshi et al. (eds.). *Chernobyl: A Message for the 21st Century. Proceedings of the Sixth Chernobyl Sasakawa Medical Cooperation Symposium, Moscow, Russia, 30-31 May 2001.* Elsevier, 2002.
- Z1 Zvonova, I.A. and M.I. Balonov. Radioiodine dosimetry and prediction of consequences of thyroid exposure of the Russian population following the Chernobyl accident,

- pp. 71-125. B: The Chernobyl Papers. Doses to the Soviet Population and Early Health Effects Studies, Volume I (S.E. Merwin and M.I. Balonov, eds.). Research Enterprises Inc., Richland, Washington, 1993.
- Z2 Zvonova, I.A. Dietary intake of stable I and some aspects of radioiodine dosimetry. *Health Phys.* 57(3): 471-475 (1989).
- Z3 Zhu, Z., R. Ciampi, M.N. Nikiforova et al. Prevalence of *RET/PTC* rearrangements in thyroid papillary carcinomas: effects of the detection methods and genetic heterogeneity. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 91(9): 3603-3610 (2006).
- Z4 Zvonova, I.A. Communication to the UNSCEAR Secretariat (2007).
- Z5 Zelennikov, O.V., M.V. Mosyagina, K.E. Fedorov et al. ^{137}Cs and ^{90}Sr root uptake prediction under close-to-real controlled conditions. *J. Environ. Radioact.* 45(3): 191-217 (1999).

Издание Организации Объединенных Наций
Отпечатано в Австрии



V.12-55525 – October 2012 – 200