

Радиационная авария в Гоянии



МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ВЕНА, 1989

На первой странице обложки: эпизод дезактивационных работ после радиационной аварии в Гоянии. Пролем в стене дома сделан экскаватором для удаления пятна сильного радиоактивного загрязнения перед сносом здания. Все фотографии любезно предоставлены Национальной комиссией по ядерной энергии (НКЯЭ), Рио-де-Жанейро, Бразилия.

РАДИАЦИОННАЯ АВАРИЯ В ГОЯНИИ

Radiatsionnaya avariya b Goyanii
AN: 114430 c.1
UN: 621.039.58(81) R124 R



00000976985

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

АВСТРАЛИЯ	ИСЛАНДИЯ	ПАКИСТАН
АВСТРИЯ	ИСПАНИЯ	ПАНАМА
АЛБАНИЯ	ИТАЛИЯ	ПАРАГВАЙ
АЛЖИР	КАМЕРУН	ПЕРУ
АРГЕНТИНА	КАНАДА	ПОЛЬША
АФГАНИСТАН	КАТАР	ПОРТУГАЛИЯ
БАНГЛАДЕШ	КЕНИЯ	РУМЫНИЯ
БЕЛОРУССКАЯ СОВЕТ- СКАЯ СОЦИАЛИСТИ- ЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА	КИПР	САЛЬВАДОР
БЕЛЬГИЯ	КИТАЙ	САУДОВСКАЯ АРАВИЯ
БОЛГАРИЯ	КОЛУМБИЯ	СЕНЕГАЛ
БОЛИВИЯ	КОРЕЙСКАЯ НАРОДНО-ДЕМО- КРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА	СИНГАПУР
БРАЗИЛИЯ	КОСТА-РИКА	СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ВАТИКАН	КОТ Д'ИВУАР	СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО
ВЕНГРИЯ	КУБА	ВЕЛИКОБРИТАНИИ И СЕВЕРНОЙ ИРЛАНДИИ
ВЕНЕСУЭЛА	КУВЕЙТ	СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ
ВЬЕТНАМ	ЛИБЕРИЯ	СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК
ГАБОН	ЛИВАН	СУДАН
ГАИТИ	ЛИВИЙСКАЯ АРАБСКАЯ ДЖАМАХИРИЯ	СЬЕРРА-ЛЕОНЕ
ГАНА	ЛИХТЕНШТЕЙН	ТАИЛАНД
ГВАТЕМАЛА	ЛЮКСЕМБУРГ	ТУНИС
ГЕРМАНИЯ, ФЕДЕРАТИВНАЯ РЕСПУБЛИКА	МАВРИКИЙ	ТУРЦИЯ
ГЕРМАНСКАЯ ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА	МАДАГАСКАР	УГАНДА
ГРЕЦИЯ	МАЛАЙЗИЯ	УКРАИНСКАЯ СОВЕТСКАЯ СОЦИАЛИСТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ДАНИЯ	МАЛИ	УРУГВАЙ
ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ	МАРОККО	ФИЛИППИНЫ
КАМПУЧИЯ	МЕКСИКА	ФИНЛЯНДИЯ
ДОМИНИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА	МОНАКО	ФРАНЦИЯ
ЕГИПЕТ	МОНГОЛИЯ	ЧЕХОСЛОВАКИЯ
ЗАИР	МЬЯНМА	ЧИЛИ
ЗАМБИЯ	НАМИБИЯ	ШВЕЙЦАРИЯ
ЗИМБАБВЕ	НИГЕР	ШВЕЦИЯ
ИЗРАИЛЬ	НИГЕРИЯ	ШРИ-ЛАНКА
ИНДИЯ	НИДЕРЛАНДЫ	ЭКВАДОР
ИНДОНЕЗИЯ	НИКАРАГУА	ЭФИОПИЯ
ИОРДАНИЯ	НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ	ЮГОСЛАВИЯ
ИРАК	НОРВЕГИЯ	ЮЖНАЯ АФРИКА
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА	ОБЪЕДИНЕННАЯ РЕСПУБЛИКА	ЯМАЙКА
ИРЛАНДИЯ	ТАНЗАНИЯ	ЯПОНИЯ
ИРЛАНДИЯ	ОБЪЕДИНЕННЫЕ АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ	

Устав Агентства был утвержден 23 октября 1956 года на Конференции по выработке Устава МАГАТЭ, которая состоялась в Центральных учреждениях Организации Объединенных Наций в Нью-Йорке. Устав вступил в силу 29 июля 1957 года. Центральные учреждения Агентства находятся в Вене. Главной целью Агентства является достижение "более скорого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире".

© МАГАТЭ, 1989

Запросы о разрешении на переиздание или перевод информации, содержащейся в данной публикации, направлять в письменном виде по адресу: International Atomic Energy Agency, Wagramerstrasse 5, P.O.Box 100, A-1400 Vienna, Austria.

Отпечатано МАГАТЭ в Австрии
Декабрь 1989

РАДИАЦИОННАЯ АВАРИЯ В ГОЯНИИ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА, 1989

Doc. No.: 114430

Accession No.:

Don No.: 97698

Location:

НАСТОЯЩИЙ ДОКЛАД ПУБЛИКУЕТСЯ ТАКЖЕ
НА АНГЛИЙСКОМ, ИСПАНСКОМ И ФРАНЦУЗСКОМ ЯЗЫКАХ



РАДИАЦИОННАЯ АВАРИЯ В ГОЯНИИ
МАГАТЭ, ВЕНА, 1989
STI/PUB/815
ISBN 92-0-429089-7

ПРЕДИСЛОВИЕ

Генерального директора

Правительство и местные органы власти в Бразилии столкнулись с фактом трагической аварии в Гоянии, который произошел вследствие неправильного обращения с источником излучения, не находившемся под контролем системы радиационной защиты. Эти органы приняли ряд мер по укреплению системы контроля за такими источниками в будущем, а Национальная комиссия по ядерной энергии (НКЯЭ) Бразилии и МАГАТЭ созвали совместное совещание по разбору инцидента. Цель совещания заключалась в том, чтобы дать возможность международной группе специалистов изучить причины и следствия аварии, а заинтересованным лицам и органам других государств — возможность извлечь пользу из бразильского опыта, с тем чтобы снизить риск подобных инцидентов и должным образом подготовиться к принятию мер на тот случай, если такой инцидент все-таки произойдет.

Настоящий доклад является результатом вышеупомянутого совещания. В нем содержится описание самого инцидента и исследуются вопросы принятия соответствующих мер и ликвидации его последствий. И наконец, в нем приведены замечания и рекомендации, вытекающие из проведенного обзора.

Обзорное совещание и настоящий доклад не являются уникальными мероприятиями со стороны МАГАТЭ. В рамках своей программы безопасности МАГАТЭ намерено изучать и анализировать любой серьезный радиационный инцидент и издавать детальный доклад, из которого могли бы извлечь пользу все государства.

Применение ядерной энергии и ядерных материалов в промышленности, медицине, сельском хозяйстве и научных исследованиях способно содействовать значительному повышению производительности труда, улучшению диагностики и лечения заболеваний и совершенствованию сельского хозяйства. Такая деятельность не может быть полностью свободна от риска инцидентов или аварий. Любая человеческая деятельность связана с определенной степенью риска, тогда как отказ от такой деятельности сам по себе сопряжен с соответствующим риском.

Однако общественность должна чувствовать уверенность в том, что ответственные органы и лица делают все возможное, чтобы свести такой риск к минимуму. Этот процесс включает изучение любого инцидента, который может произойти несмотря на все принятые меры предосторожности.

Радиационные аварии происходят не часто. И действительно, учитывая количество радиоактивных источников, используемых во всем мире в области медицины, сельского хозяйства и промышленности, можно сказать, что сам факт редкости таких аварий свидетельствует об эффективности действующих норм безопасности.

Тем не менее тот факт, что подобные инциденты происходят не часто, не должен давать оснований для самоуспокоенности. Ни один радиационный инцидент не является приемлемым, а те из них, которые связаны с опасностью широкого радиоактивного загрязнения, естественно вызывают тревогу общественности, которая еще не примирилась с самим фактом существования радиоактивности.

Авария в Гоянии явилась одной из наиболее серьезных радиационных аварий, имевших место до настоящего времени. Результатом ее явилась гибель четырех человек и радиационное поражение многих других людей; оно привело также к радиоактивному загрязнению некоторых районов города.

Доклад об аварии свидетельствует о том, что ее последствия могли стать значительно более серьезными, если бы люди, занимавшиеся ликвидацией ее последствий, не выполнили свой долг с мастерством, смелостью и целенаправленностью. Большой вклад внесли те лица, которые первыми осознали серьезность ситуации и предупредили органы власти о необходимости неотложных мер. Получив такое предупреждение, эти органы действовали быстро и эффективно. Необходимые меры были приняты в Гоянии и в шт. Гояс, в федеральных органах правительства Бразилии, в других районах Бразилии и даже в других странах. Особого упоминания заслуживает НКЯЭ, которая координировала меры по ликвидации последствий инцидента в пределах штата Гояс, а также на национальном и международном уровнях.

Рассматриваемая авария послужила первой проверкой роли МАГАТЭ в рамках новой международной Конвенции о помощи в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации, согласно положениям которой МАГАТЭ содействует координации действий государств-членов, желающих предложить помощь, в случае радиационной аварии или инцидента.

МАГАТЭ хотело бы выразить признательность НКЯЭ за ту позитивную и благожелательную позицию, которую она заняла с самого начала, за информацию об аварии в Гоянии, предоставленную другим государствам-членам, и за предоставление другим государствам возможности воспользоваться теми уроками, которые можно из него извлечь.

МАГАТЭ выражает особую благодарность руководству Института радиационной защиты и дозиметрии (ИРД) за поддержку в организации обзорного совещания.

РЕДАКЦИОННОЕ ПРИМЕЧАНИЕ

Настоящий доклад основан главным образом на информации, предоставленной МАГАТЭ экспертами, которые были назначены правительством Бразилии.

Хотя было приложено немало усилий для сохранения точности информации, содержащейся в настоящем докладе, ни МАГАТЭ, ни его государства-члены не берут на себя никакой ответственности за последствия, которые могут вытекать из его использования.

Упоминание названий определенных компаний или продуктов (независимо от того, указываются ли они как официально зарегистрированные или нет) не означает какого бы то ни было намерения нарушить права собственности и не должно быть истолковано как одобрение или рекомендация со стороны МАГАТЭ.

СОДЕРЖАНИЕ

СЛУЖЕБНОЕ РЕЗЮМЕ

Часть I. Авария	1
Часть II. Последствия, затрагивающие человека: помощь пострадавшим	1
Часть III. Радиоактивное загрязнение окружающей среды: оценка и меры по его ликвидации	3
Часть IV. Замечания и рекомендации	5

ЧАСТЬ I. АВАРИЯ

1. ВВЕДЕНИЕ	11
1.1. Цель доклада	11
1.2. Структура доклада	12
2. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	13
2.1. Обстановка в Гоянии	13
2.2. Организация и инфраструктура системы радиационной защиты в Бразилии	13
2.3. Система регулирования и распределение ответственности	16
2.4. Аварийные мероприятия	17
3. ОПИСАНИЕ АВАРИИ	20
3.1. Организации, имеющие отношение к инциденту	20
3.2. Радиотерапевтическая установка и ее радиоактивный источник	20
3.3. Хронология аварии	25
4. ПЕРВЫЕ ДЕЙСТВИЯ ПОСЛЕ ОБНАРУЖЕНИЯ АВАРИИ	34
4.1. Первые действия органов власти в Гоянии	34
4.2. Начальная мобилизация ресурсов	35
4.3. Руководящая группа НКЯЭ	35
4.4. Передовая медицинская группа НКЯЭ	38
4.5. Расширение работ по ликвидации последствий	38
4.6. Организация работ на начальном этапе	39
4.7. Первая медицинская помощь пострадавшим	41
4.8. Переход к этапу длительного контроля	41

ЧАСТЬ II. ПОСЛЕДСТВИЯ, ЗАТРАГИВАЮЩИЕ ЧЕЛОВЕКА: ПОМОЩЬ ПОСТРАДАВШИМ

5.	МЕДИЦИНСКАЯ ПОМОЩЬ	45
5.1.	Введение	45
5.2.	Первоначальные мероприятия	46
5.3.	Лечение	49
5.4.	Патологоанатомические исследования: аутопсия	54
6.	ДОЗИМЕТРИЯ	57
6.1.	Дозиметрия внутреннего облучения	57
6.2.	Оценка доз с помощью цитогенетического анализа	65
6.3.	Дозиметрия внешнего облучения	67

ЧАСТЬ III. РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: ОЦЕНКА И МЕРЫ ПО ЕГО ЛИКВИДАЦИИ

7.	ВВЕДЕНИЕ И ОТЧЕТ О ПРОВЕДЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЯХ	71
7.1.	Введение	71
7.2.	Общий обзор	72
7.3.	Критерии для принятия мер	77
8.	ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	81
8.1.	Распространение загрязнения	81
8.2.	Радиационный контроль	82
8.3.	Контроль за состоянием окружающей среды	84
8.4.	Приборы радиационного контроля	89
9.	ДЕЗАКТИВАЦИЯ	91
10.	УДАЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ	94
10.1.	Выбор места для хранилища отходов	94
10.2.	Система классификации и контроля	95
10.3.	Упаковка	95
10.4.	Проектирование временного хранилища	95
10.5.	Перевозка отходов к месту хранения	98
10.6.	Учет радиоактивных отходов	98
10.7.	Последующая деятельность	99

ЧАСТЬ IV. ЗАМЕЧАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ100

ДОПОЛНЕНИЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ

Дополнение I:	МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	109
Дополнение II:	СВЯЗЬ С ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ	113
Дополнение III:	АВАРИЯ В ГОЯНИИ В ПЕРСПЕКТИВЕ	115
Дополнение IV:	УРОКИ, ИЗВЛЕЧЕННЫЕ НКЯЭ	118

Приложение I: РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА	121
Приложение II: ОСНОВАНИЯ ДЛЯ ВЫПИСКИ ПОСТРАДАВШИХ ИЗ СТАЦИОНАРА	124
Приложение III: РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА	128
Приложение IV: ХИМИЧЕСКАЯ ДЕЗАКТИВАЦИЯ	134
ЛИТЕРАТУРА	141
СПИСОК УЧАСТНИКОВ	147

СЛУЖЕБНОЕ РЕЗЮМЕ

ЧАСТЬ I. АВАРИЯ

Сейчас известно, что приблизительно в конце 1985 г. частный институт радиотерапии (Гоянийский институт лучевой терапии, Гояния, Бразилия), переезжая в новые помещения, забрал с собой установку для дистанционной лучевой терапии, работающую на кобальте-60, и оставил на старом месте аналогичную установку, в которой использовался цезий-137, не уведомив об этом лицензионный орган, как это требуется условиями выданной институту лицензии. Позже старые строения были частично разрушены. В результате установка с цезием-137 стала представлять собой крайнюю опасность. Два человека вошли в помещение, не зная, что собой представляет установка, и полагая, что ее можно использовать как металлолом, извлекли блок с радиоактивным источником из радиационной головки установки. Они принесли этот блок домой и попытались его разобрать.

Эти попытки привели к разрушению капсулы, в которой помещался источник. Этот источник радиоактивности представлял собой хорошо растворимую и легко рассеивающуюся соль — хлорид цезия. Последовало загрязнение окружающей среды, одним из результатов которого стало внешнее и внутреннее облучение ряда лиц. Так начался один из серьезнейших радиационных инцидентов, из всех когда-либо имевших место.

После разрушения капсулы с источником остатки блока, в котором помещался источник, были проданы владельцу склада утиля. Он заметил, что в темноте от вещества исходит голубое свечение. Это зрелище привлекло внимание нескольких человек, и в течение ряда дней посмотреть на необычное явление приезжали их друзья и родственники. Частицы радиоактивного вещества размером с рисовое зерно разошлись по нескольким семьям. Это продолжалось в течение пяти дней; по истечении этого времени у многих людей вследствие облучения возникли симптомы желудочно-кишечных заболеваний.

Вначале эти симптомы не были распознаны как следствие облучения. Однако один из облученных связал эти заболевания с радиоактивной капсулой и отвез ее остатки в городское санитарное управление. Это и привело к цепи событий, в результате которых выяснилась суть происшедшего.

Один местный физик был первым, кто, замерив уровень излучения, осознал масштабы инцидента и по собственной инициативе принял меры по эвакуации людей из двух районов. В то же время о случившемся были проинформированы органы власти, реакция которых оказалась поразительно быстрой и эффективной. Вскоре был установлен еще ряд районов с существенным радиоактивным загрязнением, и жители этих районов были эвакуированы.

ЧАСТЬ II. ПОСЛЕДСТВИЯ, ЗАТРАГИВАЮЩИЕ ЧЕЛОВЕКА: ПОМОЩЬ ПОСТРАДАВШИМ

Вскоре после того, как стало понятно, что произошла крупная радиационная авария, на место происшествия в Гоянию были отправлены специалисты из Рио-Жанейро и Сан-Паулу, в т.ч. физики и врачи. По прибытии они обнаружили,

что для временного сбора и проверки людей использовался стадион, где можно было выявить лиц, с радиоактивным загрязнением и/или лучевым поражением. Была проведена медицинская сортировка пострадавших, в ходе которой выяснилось, что 20 человек нуждаются в госпитализации.

Четырнадцать из них в дальнейшем были помещены в военно-морской госпиталь Марсилио Диас в Рио-де-Жанейро. Заботу об остальных шести пациентах взяла на себя Центральная больница Гоянии. Здесь был установлен счетчик излучения всего тела, что содействовало осуществлению программы мониторинга внутреннего облучения и контроля за эффективностью воздействия лекарственного препарата берлинская лазурь, применявшегося в обоих лечебных заведениях для ускорения выведения цезия из организма. Для отделения тяжело облученных от тех, кто подвергся менее значительному облучению и не нуждался в интенсивной терапии, успешно применялся цитогенетический анализ.

Основные трудности ухода за пациентами заключались в дезактивации кожи пациентов, противодействии десквамации пораженных облучением участков и обработке загрязненных выделений организма. Ежедневные гематологические и медицинские исследования, хороший уход за пострадавшими и биологическое тестирование гемокультур способствовали раннему выявлению и лечению локальных системных инфекций.

Четверо пострадавших умерли в течение четырех недель с момента госпитализации. При аутопсии были обнаружены геморрагические и септические осложнения, свойственные острому лучевому синдрому. Наиболее точные оценки доз облучения, полученных этими четырьмя лицами, были сделаны с помощью цитогенетического анализа; значения доз колеблются от 4,5 до более 6 Гр. Два пациента, получившие, согласно оценкам, аналогичные дозы облучения, выжили. При лечении тяжело облученных людей использовался новый препарат гормонального типа — фактор стимуляции колоний гранулоцитов-макрофагов (GM-CSF), однако результаты такого лечения остаются сомнительными. В течение двух месяцев все выжившие пациенты возвратились из Рио-де-Жанейро в Центральную больницу Гоянии, где находились до тех пор, пока наблюдения за выведением цезия из организма не показали, что они могут быть выписаны.

Многие лица подверглись как внешнему, так и внутреннему облучению. Всего было обследовано около 112 000 человек, из которых 249 имели либо внутреннее, либо внешнее радиоактивное загрязнение. У некоторых людей высокий уровень внутреннего и внешнего радиоактивного поражения определялся тем, каким путем осуществлялся контакт с порошком хлорида цезия: люди, например, натирали порошок кожу или ели загрязненными руками; происходило загрязнение также от строений, предметов домашнего обихода, утвари, бытовых принадлежностей.

Более 110 проб крови лиц, подвергшихся радиационному воздействию, было исследовано с помощью цитогенетических методов. В культурах лимфоцитов определялась частота хромосомных aberrаций, после чего производилась оценка поглощенной дозы по калибровочной кривой, полученной *in vitro*. Оценка доз дала значения от нуля до 7 Гр. Статистический анализ пуассонового распределения клеток с хромосомными aberrациями показал, что некоторые люди подверглись неравномерному облучению. Люди, получившие высокие дозы, до сих пор находятся под контролем на предмет выявления лимфоцитов, несущих цитогенетические aberrации.

У лиц, которые подверглись внутреннему загрязнению, брались анализы мочи, и результаты использовались в качестве метода скрининга. У пациентов с внутренними радиоактивными загрязнениями ежедневно брались анализы мочи и кала. Количества инкорпорированного нуклида и ожидаемые дозы вычислялись с помощью математических моделей с учетом возраста пациента. Эффективность влияния берлинской лазури на выведение цезия из организма оценивалась на основании данных от цезия, выводимого с калом и мочой. В Гоянии был установлен счетчик радиоактивности всего тела, с помощью которого проводились оценки периода биологического полувыведения цезия из организма пациента от дозировки получаемого им препарата берлинская лазурь.

ЧАСТЬ III. РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: ОЦЕНКА И МЕРЫ ПО ЕГО ЛИКВИДАЦИИ

В результате инцидента произошло сильное радиоактивное загрязнение окружающей среды. Действия, предпринятые для ликвидации загрязнения, можно разделить на две стадии. К первой стадии относятся неотложные меры, необходимые для взятия под контроль всех возможных источников радиоактивного загрязнения; эта стадия была в основном завершена к 3 октября, однако некоторые элементы ее сохранились до рождества 1987 года: к этому сроку были учтены все основные места радиоактивного загрязнения. Вторая стадия, которая может рассматриваться как стадия ликвидации последствий инцидента и восстановления нормальных жизненных условий, продолжалась до марта 1988 года.

Срочные меры были направлены на решение следующих основных задач: предотвращение высоких доз облучения, способных привести к нестochasticким эффектам; выявление основных районов радиоактивного загрязнения; установление контроля над этими районами. В качестве начальной реакции на инцидент, были предприняты действия, имевшие целью взять под контроль источники излучения, на что потребовалось три дня.

Первые измерения уровня радиоактивности и загрязнения проводились пешими дозиметристами в местах радиоактивного загрязнения. Были выявлены семь основных очагов загрязнения включая соответствующие склады утиля, причем мощность дозы в некоторых из них достигала $2 \text{ Зв} \cdot \text{ч}^{-1}$ на высоте 1 м от поверхности земли.

Измерения, проведенные с помощью специально оборудованного вертолета, показали, что не был пропущен ни один из основных районов радиоактивного загрязнения. В течение двух дней был проведен радиационный контроль всей городской территории Гоянии общей площадью более 67 квадратных километров. Сведения об уровне излучения в семи основных известных очагах радиоактивного загрязнения подтвердились; был обнаружен один ранее неизвестный небольшой район, где мощность дозы составляла $21 \text{ мЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$ на высоте 1 м от поверхности земли.

При обследовании небольшие участки радиоактивного загрязнения, в частности места, прилегающие к районам с высокой плотностью радиоактивного загрязнения вокруг основных очагов загрязнения, могли остаться незамеченными. В действие была введена дополнительная система радиационного контроля, охватывавшая большие пространства (однако лишь в пределах дорог). С помощью установленных на автомашинах детекторов было взято под контроль 80% дорожной

сети Гоянии протяженностью свыше 200 км. Основными очагами радиоактивного загрязнения явились склады утиля и жилые помещения, где была разобрана капсула с радиоактивным источником; общая площадь этих районов составила примерно 1 км².

На этой начальной стадии были установлены контрольные уровни, требующие принятия мер: для контроля доступа (10 мкЗв · ч⁻¹); для эвакуации населения и установления запретных зон (2,5 мкЗв · ч⁻¹, а позже — 10 мкЗв · ч⁻¹ для зданий и 150 мкЗв · ч⁻¹ для незаселенных районов), а также для сотрудников, принимавших участие в работах по устранению последствий инцидента (пределы доз и соответствующие мощности дозы в сутки, в неделю и в месяц). Всего было обнаружено 85 домов с высоким уровнем радиоактивного загрязнения, причем из 41 такого дома было эвакуировано 200 жителей. Через две недели 30 домов были готовы вновь принять жителей. Следует подчеркнуть, что эти уровни, которые примерно соответствуют наименьшим значениям уровней вмешательства, рекомендованным Международной комиссией по радиологической защите и МАГАТЭ (уровни, не требующие принятия мер), были чрезвычайно строгими под давлением политических и общественных кругов.

В дальнейшем была проведена оценка распространения радиоактивного загрязнения на весь район и гидрографический бассейн. В Гоянии была создана лаборатория для измерения содержания цезия в почве, грунтовых водах, донных осадениях и речной воде, в питьевой воде, в воздухе и пищевых продуктах. Меры защиты потребовались, однако, лишь в отношении почвы и фруктов в пределах зоны радиусом 50 метров от основных очагов.

В ходе дальнейших действий, включавших главным образом восстановительные работы, возникли различные трудности с обследованием городских районов и речного бассейна. Ситуация осложнилась тем, что в период с 21 по 28 сентября прошли ливневые дожди, которые способствовали дальнейшему распространению цезия в окружающей среде. Вопреки надеждам на то, что радиоактивные вещества будут вымываться дождем, они осаждались на крышах домов, что серьезно сказалось на уровнях мощности дозы в зданиях.

Уровень загрязнения питьевой воды был очень низок. Грунтовые воды также оказались незагрязненными, за исключением нескольких источников вблизи от основных очагов загрязнения; концентрация цезия в них едва превышала порог чувствительности приборов.

Основные контрмеры, принятые на стадии восстановления, заключались в дезактивации основных загрязненных районов (включая районы, не входящие в главные очаги поражения), зданий, общественных мест, транспорта и т.п. Для проведения дезактивации в основных очагах загрязнения требовалась тяжелая техника для разрушения зданий и удаления больших количеств почвы. Необходимо было также соорудить большое количество различных вместилищ для отходов. Кроме того, нужно было спроектировать и построить временное хранилище отходов. Это было сделано к середине ноября, и с этого времени до конца декабря 1987 года осуществлялась дезактивация основных очагов и остальных районов радиоактивного загрязнения.

Выбранные уровни исследования, которые требовали принятия мер, соответствовали дозе 5 мЗв в течение первого года и долгосрочной прогнозируемой дозе 1 мЗв в год в последующие годы. Предстоящие работы включали разрушение (и удаление) семи домов и удаление почвы. Поверхности, с которых удалялась почва, были залиты бетоном или покрыты слоем земли. В менее загрязненных

местах основным источником излучения была радиоактивная пыль, осевшая на почву; после удаления в необходимых случаях слоев почвы обнажившаяся поверхность покрывалась чистой почвой. Из 159 обследованных домов 42 нуждались в дезактивации. Дезактивация производилась путем вакуумной чистки внутренних помещений зданий и промывки внешних поверхностей струями воды под большим напором. Эффективными оказались различные методики химической дезактивации, каждая из которых подбиралась для конкретных условий, материалов и уровней радиоактивности.

Уровни вмешательства для принятия восстановительных мер выбирались под сильным давлением со стороны политических и общественных кругов. Установленные уровни были существенно ниже тех, которые были бы получены в результате процесса оптимизации. В большинстве случаев они могли рассматриваться скорее как относящиеся к нормальной ситуации, чем к стадии ликвидации последствий аварии.

После рождественских праздников в декабре 1987 года были дезактивированы районы с меньшей мощностью дозы вокруг основных очагов радиоактивного загрязнения. Тяжелая техника не требовалась, были разработаны и приняты процедуры оптимизации. Эта стадия продолжалась до марта 1988 года.

С самого начала в результате действий по устранению последствий инцидента образовалось большое количество радиоактивных отходов. Место для их временного хранения было выбрано в 20 км от Гоянии. Отходы классифицировались как нерадиоактивные (ниже $74 \text{ кБк} \cdot \text{кг}^{-1}$), низкоактивные (ниже $2 \text{ МЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$) и среднеактивные (от 2 до $20 \text{ МЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$). В зависимости от степени радиоактивного загрязнения применялись различные типы упаковок. Для упаковки отходов потребовалось 3800 металлических бочек (200 л), 1400 металлических ящиков (5 т), 10 транспортных контейнеров (32 м^3) и 6 комплектов бетонных емкостей. Временное хранилище было спроектировано для объема отходов $4000\text{--}5000 \text{ м}^3$, упакованных приблизительно в 12 500 бочек и 1470 ящиков.

Окончательный общий объем всех отходов составил 3500 м^3 , или 275 полных загрузок грузового автомобиля. Столь большой объем следует прямо отнести на счет низких установленных уровней вмешательства как для чрезвычайного, так и для восстановительного периодов. Экономические последствия выбора такого уровня, особенно на более поздней стадии, весьма значительны.

В местах хранения отходов была создана система отбора проб для радиационного контроля стоков с платформы размещения отходов (включая дождевую воду). По наиболее объективным оценкам, общее количество радиоактивного вещества в загрязнениях составляло приблизительно 44 ТБк (1200 Ки), причем известно, что до инцидента активность цезиевого источника была равна 50,9 ТБк (1375 Ки). Решение о месте окончательного захоронения отходов до сих пор не принято.

ЧАСТЬ IV. ЗАМЕЧАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Очень часто обзоры радиационных аварий служат лишь для того, чтобы еще раз привлечь внимание к хорошо известным фактам. Обзор аварии в Гоянии дал возможность выработать множество замечаний и рекомендаций. Однако проводимые здесь замечания не ограничиваются специфическими условиями данной аварии.

Основной вывод, который следует сделать с учетом возможности возникновения подобных аварий, заключается в том, что никакие обстоятельства не могут снижать ответственности того лица, которому поручен контроль безопасности источника ионизирующего излучения. Источники излучения, которые перемещаются из мест, утвержденных в процессе регистрации и оформления лицензии, могут представлять собой значительную опасность. Поэтому лицо, несущее ответственность за источник ионизирующего излучения, должно обеспечить меры по недопущению подобной небрежности, причем эти меры должны включать процедуры проверки и надлежащую систему обеспечения безопасности. Хотя система регулирования обеспечивает контроль эффективности работы специалистов и системы управления, следует подчеркнуть, что регламентационный и правовой контроль не может и не должен снижать уровня ответственности руководства.

Чтобы облегчить осуществление ответственности лица, в чьем ведении находится источник ионизирующего излучения, требования регламентационного контроля должны быть конкретными, простыми и осуществимыми в принудительном порядке. В частности, необходима самая тесная связь между всеми лицами и органами, ведающими вопросами осуществления и обязательного выполнения требований радиационной защиты.

Важным фактором снижения вероятности радиационных аварий и инцидентов является осознание населением потенциальной опасности источников излучения. Необходимо уделять должное внимание системе маркировки источников радиационной опасности, которая была бы понятна широкой публике.

Очень большое значение в области радиационных аварий имеют физические и химические свойства источников излучения. Их необходимо учитывать при выдаче лицензий на производство таких источников ввиду потенциального влияния этих свойств на последствия аварий и инцидентов, связанных с источниками излучения и неправильным обращением с ними.

Если же несмотря на все меры предосторожности все-таки произойдет авария и предвидится радиационная опасность, необходима четко понимаемая всеми система информации и управления. В этом отношении уместно упомянуть, что подготовка к принятию мер на случай радиационных аварийных ситуаций должна охватывать не только ядерные аварии, но и весь диапазон возможных инцидентов, влекущих за собой облучение людей.

С медицинской точки зрения, приобретенный в Гоянии опыт в целом подтвердил адекватность имеющихся в настоящее время диагностических процедур, антибиотиков, методов сепарации и трансфузии тромбоцитов. Кроме того, он продемонстрировал пользу цитогенетических оценок доз и замечательную эффективность берлинской лазури в выведении цезия-137 из организма пострадавших.

Лечение пострадавших при радиационных авариях и инцидентах чрезвычайно разнообразно и сложно. Оно должно осуществляться в условиях стационара персоналом, который постоянно занимается гематологическим, химиотерапевтическим, радиотерапевтическим и хирургическим лечением пациентов, подвергающихся опасности заболеть раком, подавления иммунной системы и возникновения патологических изменений крови. Как правило, медицинский персонал и средства ухода за пострадавшими не подготовлены для лечения радиационных поражений и действий в условиях чрезвычайной радиологической ситуации. При разработке планов действий на случай чрезвычайной радиационной обстановки необходимо предусматривать оказание неотложной помощи специалистами-медиками, прошедшими специальную подготовку в области лечения таких

пациентов. Однако распознавание характера радиационных поражений зависит от обучения работников, не связанных с ядерными установками, причем вся их подготовка зависит от широкого распространения образовательных программ.

Что касается мер в связи с аварийным загрязнением окружающей среды, то уместно остановиться на проблеме принятия решений об уровнях вмешательства. Как правило, имеется искушение установить чрезвычайно строгие критерии принятия мер по восстановлению нормального положения, что обычно происходит под влиянием политических и социальных соображений. Однако такие критерии налагают значительное экономическое и социальное бремя, не говоря уже о том бремени, которое проистекает из самой аварии или инцидента, а это не всегда оправданно.

И наконец, следует отметить, что надо начинать документирование хода развития инцидента как можно раньше, так как с течением времени факты, как правило, стираются из памяти. Особо важное значение имеет распространение информации среди средств массовой информации, населения и, разумеется, среди бригад реагирования. В частности, таким бригадам должна быть обеспечена поддержка по линии администрации и общественной информации, соответствующая масштабам инцидента или аварии. Серьезные инциденты требуют организации немедленной поддержки на местах в области административных мер и общественной информации. Все лица, которые могут быть привлечены к деятельности в условиях чрезвычайной радиационной обстановки, должны пройти подготовку в виде как формального обучения, так и тренировок, которая соответствовала бы кругу их возможных обязанностей.

Часть I
АВАРИЯ

1. ВВЕДЕНИЕ

2. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

3. ОПИСАНИЕ АВАРИИ

**4. ПЕРВЫЕ ДЕЙСТВИЯ ПОСЛЕ ОБНАРУЖЕНИЯ
АВАРИИ**

1. ВВЕДЕНИЕ

13 сентября 1987 года в Гоянии, Бразилия, из защитного кожуха радиотерапевтической установки в пустовавшей заброшенной клинике был извлечен и впоследствии разрушен мощный радиоактивный источник на основе цезия-137 (50,9 ТБк или 1375 Ки на тот момент времени). Вследствие этого множество людей получили высокие дозы облучения как внешнего, так и внутреннего. Четверо пострадавших в дальнейшем умерли, а 28 человек пострадали от радиационных ожогов. Жилые помещения и общественные места подверглись радиоактивному загрязнению. Дезактивация потребовала сноса семи жилых домов и различных других зданий, а также удаления верхнего слоя почвы с больших площадей. Образовалось в общей сложности около 3500 м³ радиоактивных отходов.

Авария в Гоянии стала одной из наиболее серьезных радиационных аварий, происшедших в мире. Однако он имеет черты сходства с рядом других происшествий, таких как инциденты в Мехико (1962 г.), Алжире (1978 г.), Марокко (1983 г.), и в Сьюдад-Хуаресе в Мексике (1983 г.). В частности, последний разительно схож с аварией в Гоянии.

Эти инциденты были отражены в доступной литературе в весьма различных объемах, что привело к потере полезной информации о них. Учитывая это, а также осознавая необходимость уделять больше внимания радиационной защите вне ядерного сектора, МАГАТЭ в сотрудничестве с властями Бразилии подготовило настоящий обзор аварии в Гоянии.

1.1. ЦЕЛЬ ДОКЛАДА

Обзор аварии преследует следующие цели:

- (a) свести воедино в одном связном докладе все факты, касающиеся аварии;
- (b) извлечь уроки из случившегося с целью снижения вероятности такой аварии и приобретения опыта в ликвидации последствий на тот случай, если такая авария все-таки произойдет;
- (c) получить как можно больше информации о медицинских эффектах облучения и о лечении пострадавших, получивших высокие дозы облучения и радиоактивного загрязнения;
- (d) изучить опыт действий по ликвидации последствий аварий с широким распространением радиоактивного загрязнения;
- (e) оценить эффективность международного сотрудничества при действиях в чрезвычайных обстоятельствах и определить возможные пути его совершенствования.

1.2. СТРУКТУРА ДОКЛАДА

Необходимо, чтобы такого рода обзор давал непредвзятую, объективную картину происшедшего во время инцидента и предпринятых действий. С этой целью доклад разделен на пять основных разделов, а именно:

- Описание и анализ аварии: хронология извлечения и разрушения источника, обнаружение аварии и первоначальная реакция на него.
- Последствия, затрагивающие человека: помощь пострадавшим. Обработка, лечение и уход за пострадавшими, определение доз внутреннего и внешнего облучения.
- Оценка загрязнения окружающей среды и восстановительных работ.
- Замечания и рекомендации: уроки случившегося.
- Дополнения и приложения, дающие более детальную административную, научную и техническую информацию в связи с аварией.

Следует надеяться, что этот доклад будет полезен для ответственных органов при формулировке подходов к задаче снижения вероятности радиационных инцидентов и аварий и ограничения их последствий, а также планирования действий на случай таких аварий. Что касается последнего, то не следует забывать, что сидя в кабинете и пользуясь имеющейся информацией, легко задним числом составлять планы аварийных действий, позволяющие справиться с “последней” аварией. Происходящие аварии и инциденты неизбежно имеют свои собственные характеристики, требующие изменения и адаптации базового плана. Более того, инциденты являются источниками травм и стрессов, которые могут быть по достоинству оценены только непосредственными участниками событий.

2. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

2.1. ОБСТАНОВКА В ГОЯНИИ

Гояния — столица штата Гояс, расположенного в центре Бразильского плоскогорья, и известного своими зерноводческими и скотоводческими фермами. Среднегодовая температура воздуха 21,9°C (часто поднимается до 40°C), климат влажный, с годовой нормой осадков 1700 мм.

Гояния — крупный город с населением около миллиона человек. Часть города, в которой произошла авария, — один из беднейших районов, населенный людьми с ограниченным уровнем грамотности. На рис. 1 показаны относительные размеры городского района, подвергшегося радиоактивному загрязнению, и положение Гоянии по отношению к городам Рио-де-Жанейро (расстояние 1348 км) и Сан-Паулу (919 км), где сосредоточены основные средства радиационной защиты.

Здесь дается краткая характеристика некоторых органов власти и организаций штата и города, фигурировавших в происшедших событиях. Федеральное министерство здравоохранения отвечает за систему здравоохранения в национальном масштабе; некоторые вопросы здравоохранения переданы из ведения федерального министерства секретарям по вопросам здравоохранения штатов. Вопросы окружающей среды входят в компетенцию государственного агентства СЕМАГО. В самой Гоянии имеется санитарное управление, в круг ведения которого входят, например, вопросы, связанные с пищевыми продуктами и медикаментами.

2.2. ОРГАНИЗАЦИЯ И ИНФРАСТРУКТУРА СИСТЕМЫ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ В БРАЗИЛИИ

Компетентным национальным органом, ведущим вопросами ядерной энергии в Бразилии, является Национальная комиссия по ядерной энергии (НКЯЭ), председатель которой подчиняется непосредственно президенту Республики. НКЯЭ имеет три исследовательских института: Институт ядерных и энергетических исследований (ИПЭН) в Сан-Паулу, Институт радиационной защиты и дозиметрии (ИЗРД) и Ядерный инженерный институт (ИЭН), расположенные совместно со штаб-квартирой НКЯЭ в Рио-де-Жанейро (рис. 2).

ИПЭН имеет исследовательский реактор, который используется для производства большей части бразильских медицинских радиоизотопов и радиоактивных источников для промышленности. Институт располагает также установками для переработки тория и урана. В ИПЭН есть отдел радиационной защиты, обслуживающий собственные нужды института,

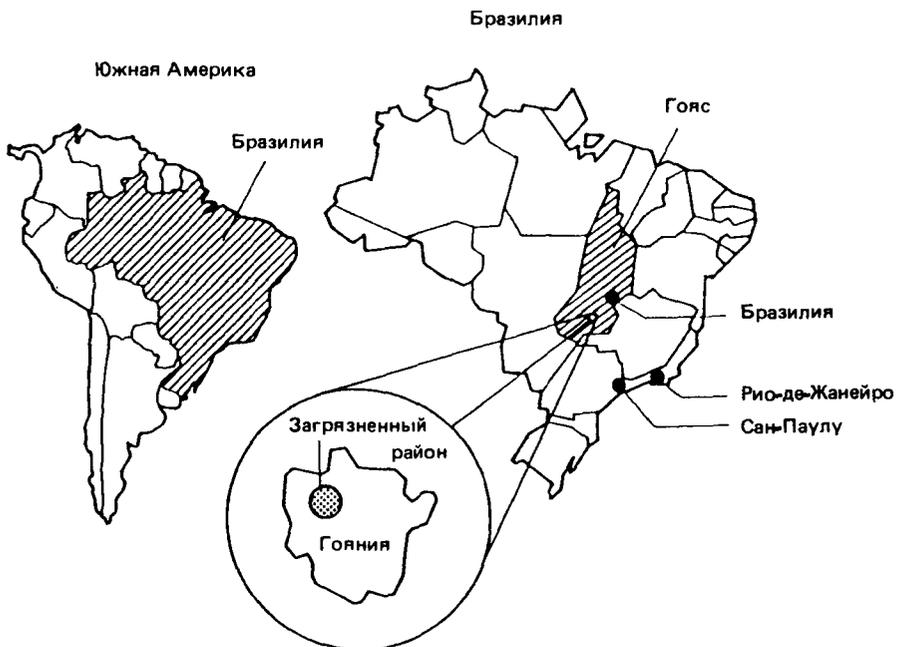


РИС.1 Карта, показывающая местоположение Гоянии по отношению к Рио-де-Жанейро (1348 км) и Сан-Паулу (919 км), где сосредоточены основные средства радиационной защиты, и дающая представление о величине района города, подвергшегося радиоактивному загрязнению.

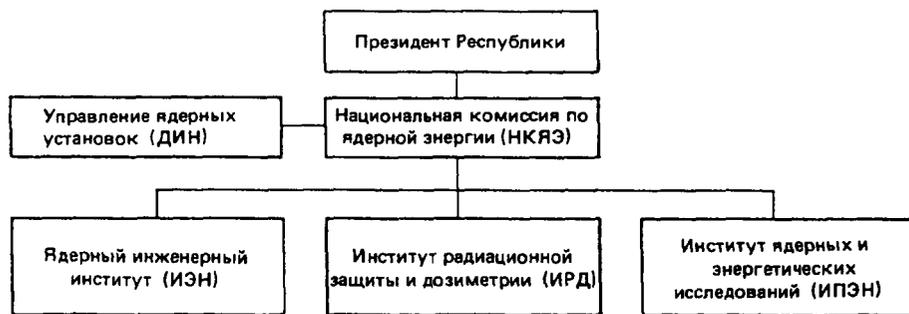


РИС.2. Три исследовательских института и управление ядерного регулирования Бразильской Национальной комиссии по ядерной энергии (НКЯЭ).

а также выполняющий некоторые внешние регулирующие и инспекционные функции на юге Бразилии. ИЭН также имеет исследовательский реактор и соответствующие средства радиационной защиты, но его работы главным образом ориентированы на область измерительной аппаратуры и ядерной техники.

Как и следует из его названия, ИРД — главный центр по вопросам радиационной защиты в Бразилии, и в качестве такового он предоставил большую часть персонала и оборудования для работ по ликвидации последствий аварии. Институт имеет ряд отделов, включая следующие:

- (a) отдел радиационной защиты окружающей среды занимается оценкой воздействий на окружающую среду, контролем выбросов, вопросами радиохимии и исследований;
- (b) отдел индивидуального мониторинга обеспечивает индивидуальный радиационный контроль внутреннего и внешнего облучения. Контроль внутреннего облучения проводят группы оценки доз, моделирования, физических исследований, измерения активности всего тела и биологической дозиметрии;
- (c) отдел радиационной защиты в области профессионального облучения выполняет программу инспекций, контроля и подготовки кадров в области использования радиоактивных источников в медицине и промышленности и деятельности предприятий ядерного топливного цикла;
- (d) отдел метрологии располагает дозиметрической лабораторией вторичных стандартов и проводит калибровку измерительных приборов в национальном масштабе;
- (e) отдел подготовки кадров и образования организует учебные курсы по радиационной защите для специалистов различного уровня.

Помимо НКЯЭ, уместно отметить некоторые другие организации федерального правительства. Компания “Эмпресас нуклеарес бразилейрас, СА” (НУКЛЕБРАЗ) занимается деятельностью, связанной с ядерным топливным циклом, реакторным оборудованием, исследованиями и торговлей ядерными материалами. НУКЛЕБРАЗ имеет свое отделение в Гоянии, ведающее надзором за работами этой компании по разведке урана в центральной Бразилии. Это отделение предоставило некоторые приборы, использовавшиеся на начальном этапе работ по ликвидации последствий инцидента. Производство электроэнергии с использованием ядерных источников входит в компетенцию организации ФУРНАС, которая эксплуатирует атомную электростанцию в Ангре. Согласно аварийному плану атомной электростанции в Ангре все пострадавшие от ионизирующего излучения помещаются в военно-морской госпиталь Мар-

силио Диас в Рио-де-Жанейро, где имеется отведенное для этих целей отделение.

2.3. СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

НКЯЭ является органом ядерного регулирования, выдающим лицензии на приобретение и транспортировку радиоактивных источников (Закон № 6189 от 16 декабря 1974 года). Этот орган уполномочен также осуществлять контроль и регулирование производства, использования, обеспечения безопасности и удаления радиоактивных материалов, предназначенных для различных видов применения, и несет за это ответственность. В сфере медицинского использования радиоактивных источников ответственность и права регулирования разделены между НКЯЭ, федеральными органами здравоохранения и органами штатов. Более подробно это разделение функций описывается ниже.

НКЯЭ ведает системой лицензирования, касающейся как индивидуумов, так и оборудования. Специалисты по радиационной физике и работники службы радиационной безопасности обязаны пройти предписанную правилами подготовку и сдать соответствующие экзамены по радиационной защите в зависимости от типа оборудования. После успешного завершения курса подготовки они получают квалификационное удостоверение. Организация, желающая получить лицензию на использование радиоактивных источников, должна иметь у себя на службе персонал с такими удостоверениями.

НКЯЭ также требует представления планов по новому оборудованию и установкам до начала строительства наряду со всей документацией по радиационной безопасности, такой как описание методик, местные правила, дозиметрический контроль оборудования и персонала, и особенно планы на случай аварийной ситуации. Эти планы проходят экспертизу, а после окончания строительства проводится приемочная проверка на предмет удовлетворения планов установленным требованиям. Только после этого выдается лицензия на эксплуатацию установки. Эти лицензии сопровождаются рядом условий, главное из которых состоит в представлении НКЯЭ информации о любом изменении, касающемся радиоактивных материалов, например в случае намерения переместить или удалить источники. Документ НКЯЭ "Правила 6/73" определяет правовые требования, которые обязаны выполнять пользователи, получившие лицензию.

Последующая проверка медицинского оборудования на соответствие этим Правилам возложена на федеральное министерство здравоохранения согласно закону № 6229 от 17 июля 1975 года. Декретом № 77052 от

19 января 1976 года эти обязанности были в свою очередь переданы министрам здравоохранения штатов. Степень такой передачи ответственности в разных штатах различна.

2.4. АВАРИЙНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Планы аварийных мероприятий, имевшиеся в НКЯЭ на момент инцидента, были разработаны в расчете на ликвидацию двух основных типов аварий. Во-первых, имелся аварийный план для атомной электростанции Ангра, который предназначался для ликвидации последствий аварии на АЭС; во-вторых, предусматривались мероприятия на случай радиационной аварийной ситуации вне сферы ядерной энергетики. Последние имеют, как правило, небольшие масштабы, например, транспортные происшествия или инциденты с источниками для радиографии. Авария в Гоянии не попала ни в одну из этих категорий, и в ее рамках были применены элементы из обеих запланированных серий аварийных мероприятий. Характерные черты этих серий описаны ниже.

На рис. 3 представлена схема основных групп реагирования согласно аварийному плану для атомной электростанции Ангра. Аббревиатуры на схеме соответствуют бразильским, а названия групп носят описательный характер, а не являются прямым переводом. Наиболее важные решения должны приниматься на политическом уровне — в Главном координационном комитете, в котором представлены основные правительственные органы, такие как НКЯЭ, ФУРНАС, федеральные министерства и министерства штатов. Мероприятиями по линии НКЯЭ ведает Исполнительная группа контроля за аварийной ситуацией (ГЕКЕ), которая пользуется консультациями Группы технического анализа (ГЕРЕ). Две из групп, подотчетных ГЕРЕ — Группа анализа безопасности управления АЭС (ГАСУ) и группа анализа безопасности на площадке АЭС (ГИОУ) — ведают только вопросами безопасности Ангра и не были прямо задействованы в Гоянийском инциденте.

В аварийной ситуации Группа аварийного контроля и анализа (ГЕ/ИРД) несет ответственность за радиационный контроль состояния окружающей среды и населения и оценку результатов. Имеется также Группа административно-хозяйственного и материально-технического обеспечения (ГАЛА). Обе эти группы в той или иной степени были привлечены к работам в связи с аварией в Гоянии. В ИРД существует аварийная группа, состоящая из заранее назначенных координаторов различных бригад радиационного контроля и обеспечения. Хотя перечисленные структуры и планы не предназначались для действий в условиях такой аварийной ситуации, какая имела место в Гоянии, приготовления на случай чрезвычайных обстоятельств и планирование аварийных работ, вне всякого

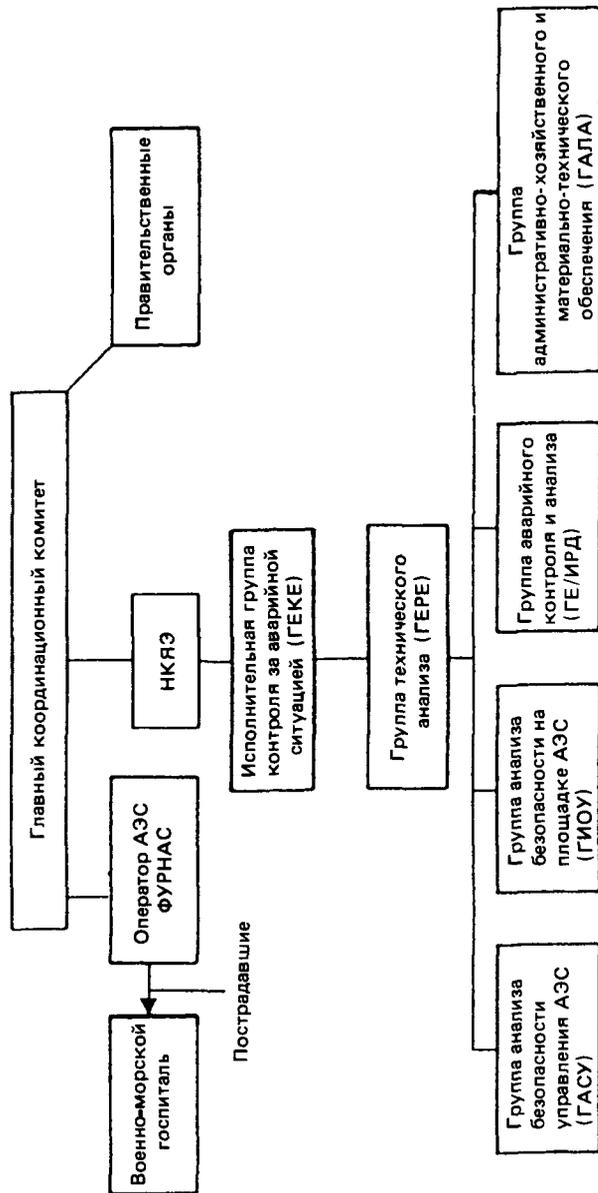


РИС.3. Схема основных групп реагирования для атомной электростанции Ангра.

сомнения, оказались полезными. Например, большую пользу принесло наличие пункта аварийного управления, полностью оборудованного системами связи.

Схема аварийных мероприятий на случай радиационной аварии вне сферы ядерной энергетики разрабатывалась таким образом, чтобы всегда имелось центральное ответственное должностное лицо, с которыми можно связаться в случае аварии и которое сможет организовать необходимую помощь. Таким центральным должностным лицом, или координатором аварийных работ в случае ядерной аварии был согласно аварийному плану директор Управления ядерных установок НКЯЭ (ДИН) в Рио-де-Жанейро. Он мог связаться с директорами ИПЭН в Сан-Паулу или ИРД в Рио-де-Жанейро в зависимости от того, где произошла авария. Каждая из этих групп имела заранее назначенных координаторов аварийных работ (иных чем предусмотренные в рамках аварийного плана для АЭС Ангра). Координаторы могут быстро отправить к месту аварии специалиста с соответствующим опытом и контрольной аппаратурой, который мог бы принять меры к ликвидации последствий непосредственно на месте или, в случае необходимости, оценить, какие дополнительные средства для этого потребуются.

3. ОПИСАНИЕ АВАРИИ

3.1. ОРГАНИЗАЦИИ, ИМЕЮЩИЕ ОТНОШЕНИЕ К АВАРИИ

Гоянийский институт радиотерапии (ГИР) является частным учреждением, собственностью группы медицинских работников. Лечебное оборудование институтской клиники включало помещения для дистанционной радиотерапии с использованием радионуклидов цезий-137 и кобальт-60. В отношении ГИР была проведена обычная лицензионная процедура, описанная в разделе 2.3, и 17 июня 1971 года НКЯЭ разрешила импорт источника излучения с цезием-137. Вскоре после этого оборудование было смонтировано, проинспектировано и пущено в действие. Согласно лицензии на его эксплуатацию, выданной НКЯЭ, физик и врач (один из партнеров) совместно несут ответственность за выполнение условий лицензии. В частности, в ней содержалось требование уведомлять НКЯЭ о любых существенных изменениях в состоянии оборудования.

Теперь стало известно, что примерно в конце 1985 года ГИР прекратил деятельность в этих помещениях, а новая группа владельцев заняла другие помещения. Радиотерапевтическая установка с кобальтом-60 была перевезена в эти новые помещения. Право собственности на оборудование клиники ГИР было оспорено, и поэтому установка с цезием-137 осталась на старом месте. НКЯЭ не получила надлежащего уведомления об этих изменениях в состоянии клиники, предусмотренного в требованиях лицензии, выданной институту. Большая часть клиники вместе с несколькими соседними строениями была снесена. Помещения для радиотерапии не были снесены, они остались в заброшенном состоянии и, очевидно, посещались бродягами (фотографии 1–3).

Обстоятельства, которые привели к оставлению без надзора радиотерапевтической установки, полностью укомплектованной источником излучения на цезии-137, в старой клинике, к превращению ее в опасный для человека объект и к последующему разрушению, полностью не выяснены. Более того, в момент составления настоящего доклада эти обстоятельства являются предметом судебного расследования. Однако ничто не может изменить тот факт, что профессиональная и моральная ответственность за безопасность радиоактивного источника возлагается на лицо или лица, указанные в лицензии как ответственные за нее.

3.2. РАДИОТЕРАПЕВТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА И ЕЕ РАДИОАКТИВНЫЙ ИСТОЧНИК

Дистанционная радиотерапевтическая установка, о которой идет речь, представляла собой модель “Сесапан F-3000”, была изготовлена

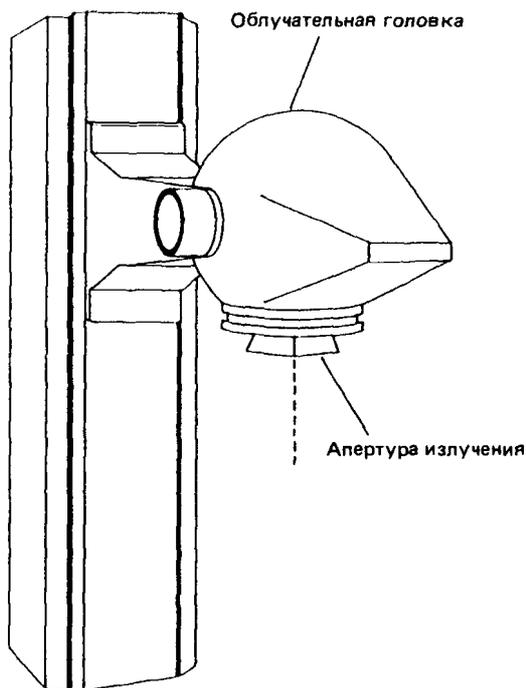


РИС. 4. Схематическое изображение радиотерапевтической установки, аналогичной той, с которой была снята сборка с радиоактивным источником в Гоянии: облучательная головка перемещается вертикально и может вращаться вокруг двух горизонтальных осей.

фирмой “Барадзетти энд компани” (Милан, Италия) в 50-х годах и продана итальянской фирмой “Дженерей СпА”. Рис. 4 дает общее представление о внешнем виде аналогичной радиотерапевтической установки. Чтобы понять то, что произошло впоследствии, необходимо различать основные компоненты радиотерапевтической установки.

Герметичная капсула радиоактивного источника размещена на *колесе источника*, изготовленном из свинца и нержавеющей стали, образуя механизм с *вращающимся затвором* (рис. 5). Для получения пучка излучения производится вращение затвора электромотором, с тем чтобы совместить капсулу источника с аппаратурой излучения — отверстием выхода пучка. После облучения пациента или в случае отказа в системе энергообеспечения установки пружинное устройство возвращает затвор с радиоактивным источником в “выключенное” или “безопасное” положение. Между вращающимся затвором и приводом электромотора находится цилиндрическая защитная пробка. Эти элементы в целом можно назвать *вращающейся сборкой*. Установка спроектирована таким обра-

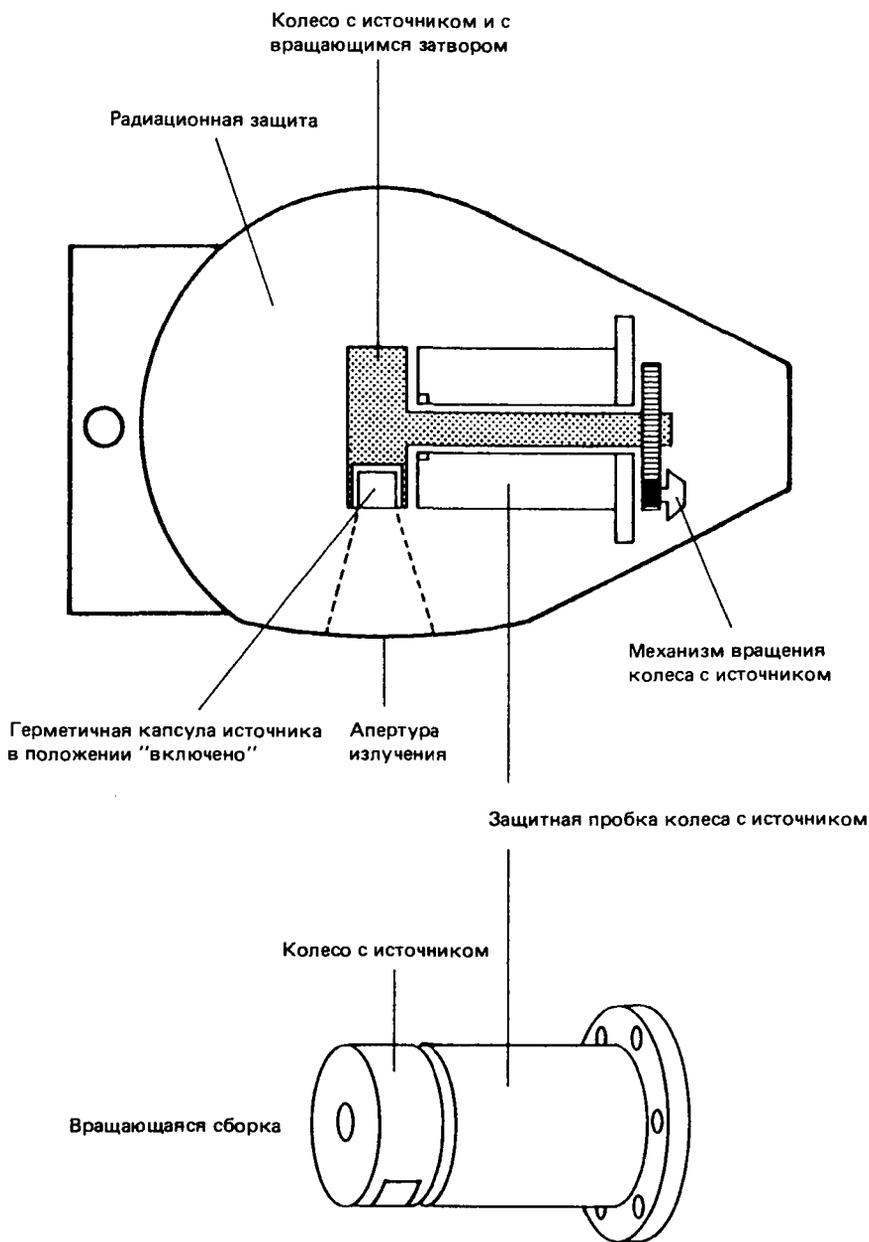


РИС.5. Поперечное сечение облучательной головки радиотерапевтической установки, аналогичной той, с которой была снята сборка с радиоактивным источником в Гюльни; видна вращающаяся сборка с капсулой источника.

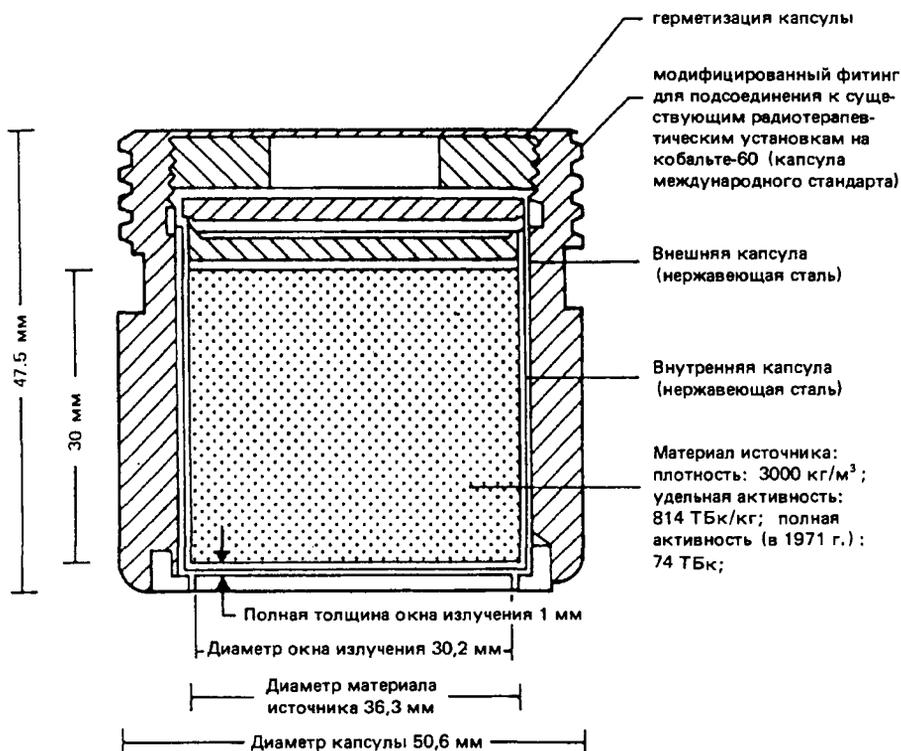


РИС. 6. Поперечное сечение капсулы источника, соответствующей международному стандарту. Такая капсула с радиоактивным хлоридом цезия была разрушена и привела к аварии в Голландии. Источник уплотнен для создания твердой массы и герметизирован в двух капсулах из нержавеющей стали.

зом, что с помощью особых инструментов вращающуюся сборку можно было удалить из экранированной облучательной головки.

Серийный номер герметизированного радиоактивного источника неизвестен, но согласно другой информации можно предположить, что источник изготовлен в Ок-Риджской национальной лаборатории (ОРНА) в Соединенных Штатах Америки примерно в 1970 году. Источником излучения является изотоп цезий-137 в виде легко растворимой соли — хлорида цезия. Материал источника был уплотнен для создания твердой массы и герметизирован с помощью двух капсул из нержавеющей стали, как показано на рис. 6. Эти капсулы в свою очередь были герметизированы в капсуле международного стандарта, имеющую стандартные габариты, подходящие для большинства радиотерапевтических установок. На рис. 6 показано поперечное сечение источника, заделанного в капсулу международного стандарта.

ТАБЛИЦА I. ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ ПО ЦЕЗИЮ-137

Основные данные по цезию-137

Гамма-излучение		0,66 МэВ (84%)
Бета-излучение	Макс. энергии	0,51 МэВ (95%)
		1,17 МэВ (5%)
	Средняя энергия	0,187 МэВ
Период полураспада		30 лет
Гамма-постоянная нуклида		8,9 мГр·ч ⁻¹ на расстоянии 1 м на ГБк
		0,33 рад·ч ⁻¹ на расстоянии 1 м на Ки

Данные о цезиевом источнике клиники ГИР (сентябрь 1987 года)

Радиоактивность	50,9 ТБк (1375 Ки)
Мощность дозы на расстоянии 1 м	4,56 Гр·ч ⁻¹ (456 рад·ч ⁻¹)

Радиоактивный материал

Объем	$3,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$
Масса	0,093 кг
Удельная активность	$0,55 \text{ ТБк} \cdot \text{г}^{-1}$ ($15,1 \text{ Ки} \cdot \text{г}^{-1}$)

Дозиметрические параметры

Мощность дозы на расстоянии 1 м при равномерном загрязнении поверхности земли	$1,6 \cdot 10^{-12} \text{ Зв} \cdot \text{ч}^{-1} (\text{Бк} \cdot \text{м}^{-2})^{-1}$
Доза на единицу поступления в организм (перорально)	$1,2 \cdot 10^{-8} \text{ Зв} \cdot \text{Бк}^{-1}$
Доза на единицу поступления в организм (через дыхательные пути)	$8,7 \cdot 10^{-9} \text{ Зв} \cdot \text{Бк}^{-1}$
Предел годового поступления (перорально)	$4,0 \cdot 10^6 \text{ Бк}$
Предел годового поступления (через дыхательные пути)	$6,0 \cdot 10^6 \text{ Бк}$
Производная концентрация в воздухе	$2,0 \cdot 10^3 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$

В табл. I приведены основные данные, относящиеся к свойствам цезия-137 и рассматриваемого источника, а также к обеспечению радиационной защиты.

3.3. ХРОНОЛОГИЯ АВАРИИ

Существует несколько точек зрения на то, что привело к аварии в Гоянии. Эти точки зрения основываются на содержании бесед с различными людьми. Хотя все версии событий в основном согласуются, имеются некоторые незначительные несоответствия, главным образом в описании деталей радиотерапевтической установки. Последовательность событий, изложенная в таблице II, где приводятся только инициалы людей, пострадавших в ходе аварии, представляется наиболее правдоподобным описанием происшедшего. Это описание касается большого количества людей и охватывает несколько участков в районе или вблизи района аэропорта Гоянии. Чтобы помочь читателю понять происшедшее, в конце доклада приведены три рисунка (рис. 7–9, см. внутреннюю сторону последней страницы обложки), дополняющие описанное в табл. II.

На рис. 7 представлен план Гоянии, показывающий основные места радиоактивного загрязнения. На рис. 8 в виде схематической диаграммы показана хронология аварии; диаграмма составлена по данным рисунка, сделанного исследователями вскоре после аварии в попытке установить, что именно произошло. На рис. 9 приведена схема-перечень лиц, подвергшихся наибольшему радиационному поражению в ходе аварии в Гоянии, перечислены места загрязнения радиоактивными веществами и семьи, к которым принадлежат пострадавшие. Приведены также оценки полученных доз (по данным цитогенетического анализа), информация о госпитализированных пострадавших и о четырех летальных исходах от радиационного воздействия.

Следует отметить, что интерес, проявленный к голубому свечению радиоактивного хлорида цезия, серьезно повлиял на протекание аварии. Кроме того, хорошая растворимость хлорида цезия способствовала значительному радиоактивному загрязнению большого числа людей, имущества и окружающей среды. Если бы не эти факторы, авария могла бы развиваться аналогично инциденту с кобальтом-60 в Сьюдад-Хуфресе (Мексика) в 1983 году, который дал меньшее радиоактивное загрязнение и не привел к смертельным исходам.

Впоследствии явление голубого свечения наблюдалось сотрудниками Ок-Риджской национальной лаборатории и сотрудниками Центра министерства энергетики Соединенных Штатов по оказанию помощи при

(Продолжение текста на стр. 33)

ТАБЛИЦА II. ХРОНОЛОГИЯ ИНЦИДЕНТА В ГОЯНИИ

10–13 сентября 1987 г.	<p>До Р.А. дошли слухи о том, что в пустующей клинике ГИР (пункт.А) оставлено ценное оборудование. К.А. и его друг W.P. пришли в заброшенную клинику и попытались разобрать радиотерапевтическую установку с помощью простых инструментов. В конце концов К.А. и W.P. удалось снять вращающуюся сборку. Блестящий корпус установки из нержавеющей стали оказался им ценным, и они отвезли его на тачке к дому Р.А. (пункт В), в полукилометре от клиники.</p> <p><i>Поскольку в помещении клиники радиоактивного загрязнения не обнаружено, предполагается, что сборка источника на этом этапе еще оставалась в целости. Однако с того момента, как они удалили вращающуюся сборку, они потенциально могли попасть в поле действия прямого луча, если бы повернули колесо источника в положение "включено" пока оно еще находилось в облучательной головке. В этом случае они бы облучились с мощностью дозы $4,6 \text{ Гр} \cdot \text{ч}^{-1}$ на расстоянии 1 м.</i></p>
13 сентября	W.P. и Р.А. страдали рвотой, но связывали это с недоброкачественным питанием.
14 сентября	У W.P. начались понос и головокружение, одна рука распухла (отек). <i>У W.P. впоследствии проявился такой ожог запястья и кисти руки, какой мог произойти, если он держал вращающуюся сборку одной рукой около апертуры пучка.</i>
15 сентября	W.P. обратился за медицинской помощью. Симптомы его заболевания были диагностированы как аллергическая реакция на недоброкачественную пищу. По совету врача он неделю оставался дома, чувствовал себя плохо, выполнял только легкую работу.
18 сентября	Вращающаяся сборка была поставлена на землю под манговым деревом в саду Р.А. Здесь Р.А. время от времени работал над сборкой, пытаясь отделить колесо вращающегося затвора источника. Ему удалось с помощью отвертки проколоть окно капсулы источника толщиной 1 мм и извлечь часть источника. Думая, что это порох,

ТАБЛИЦА II. ХРОНОЛОГИЯ (продолжение)

	<p>он пытался поджечь его. 18 сентября ему удалось отделить колесо источника.</p> <p><i>Проведенное 2 октября измерение остаточного радиоактивного загрязнения земли под манговым деревом показало мощность дозы $1,1 \text{ Гр} \cdot \text{ч}^{-1}$ на расстоянии 1 м. Весь дом R.A. и его земельный участок были сильно загрязнены радиоактивными материалами. Дом пришлось снести и удалить верхний слой почвы.</i></p>
18 сентября	<p>Части вращающейся сборки были проданы D.F., жившему рядом со складом утиля, которым он управлял (склад утиля 1, пункт С). Части сборки были перевезены на тачке (работником D.F.). Этой же ночью D.F. зашел в гараж, куда были помещены части сборки, и увидел голубое свечение, исходящее из капсулы источника. Ему это свечение понравилось, и он решил, что светящийся порошок может быть ценным (как драгоценный камень) или даже сверхъестественным, и он принес капсулу в дом. В течение следующих трех дней соседи, родственники и знакомые приглашались посмотреть на капсулу как на диковинку. За это время D.F. и его жена M.F.1 тщательно изучали порошок.</p> <p><i>M.F.1 (доза 5,7 Гр) впоследствии умерла. D.F. (доза 7,0 Гр) выжил, возможно из-за того, что провел много времени вне дома, и его облучение носило фракционированный характер.</i></p>
21 сентября	<p>E.F.1 (друг D.F.) посетил его и с помощью отвертки удалил несколько фрагментов источника из капсулы. Фрагменты имели размер рисовых зерен, но легко крошились в порошок. E.F.1 дал несколько светящихся фрагментов своему брату E.F.2, а остальное забрал домой. D.F. также раздал фрагменты источника членам своей семьи. Впоследствии в некоторых случаях люди натирали кожу радиоактивным порошком, подобно блесткам, используемым как украшение во время карнавала.</p>
21–23 сентября	<p>У M.F.1 начались рвота и понос. Она была обследована в больнице Сан-Лукас. Диагноз был тот же, что и у W.P. (аллергическая реакция на недоброкачественную пищу), и</p>

ТАБЛИЦА II. ХРОНОЛОГИЯ (продолжение)

ее отправили домой отдыхать. Ее мать М.А.1 приехала к ней на два дня, чтобы ухаживать за больной, а затем вернулась домой, недалеко от Гоянии, подвергшись радиоактивному загрязнению значительного количества радиоактивных веществ.

Согласно оценкам, в организм М.А.1 поступила активность 10 МБк (270 мкКи), а доза по данным цитогенетического анализа составила 4,3 Гр. Она выжила, хотя на одной из стадий заболевания ее состояние было критическим.

22–24 сентября Фрагментами вращающейся сборки занимались нанятые техники D.F., в основном I.S. и A.S., с целью извлечения свинца. В это время их посетил Z.S. и сказал, что вернется с кислородноацетиленовым газовым резаком, чтобы разрезать куски сборки. Однако он забыл сделать это.

I.S. и A.S. получили дозы 4,5 и 5,3 Гр соответственно. Оба впоследствии умерли. Их облучение, вероятно, носило острый характер, так как они работали с практически незащищенными остатками сборки источника.

23 сентября W.P. был помещен в больницу Санта-Мария, где он оставался до 27 сентября, когда кожные эффекты облучения были диагностированы как симптом некоего заболевания, и его перевели в больницу тропических болезней.

24 сентября I.F. (брат D.F.) пошел на склад утиля I и там ему дали несколько фрагментов источника. Он отнес их в свой дом, расположенный рядом со складом утиля (склад утиля II, пункт D). Эти фрагменты находились на столе во время еды. Его 6-летняя дочь L.F.2 брала их во время еды рукой, что делали и остальные члены семьи, но в меньшей степени.

L.F.2 впоследствии умерла; согласно оценкам, в ее организм поступила активность 1,0 ГБк (27 мКи), и она получила дозу 6,0 Гр.

25 сентября D.F. продал свинец и остатки сборки источника владельцу склада утиля III (пункт E).

ТАБЛИЦА II. ХРОНОЛОГИЯ (продолжение)

- 26 сентября К.С., работник склада утиля II, и еще один человек направились в старую клинику ГИР и забрали оставшееся оборудование, в основном защитный контейнер (весом около 300 кг), на склад утиля II.
- 28 сентября К этому дню заболело значительное количество людей. М.Ф.1 была убеждена, что светящийся порошок из сборки источника является причиной болезни. Вместе с G.S., работавшим у D.F., она пошла на склад утиля III и попросила его положить остатки вращающейся сборки и сборки источника в дорожную сумку. На автобусе они отвезли эту сумку в городское санитарное управление (Vigilancia Sanitaria) (пункт F). От остановки автобуса G.S. нес сумку на плече. В помещении управления сумка была поставлена на письменный стол доктора Р.М., и М.Ф.1 заявила, что это "убивает ее семью".
- G.S. получил серьезный радиационный ожог плеча. Согласно оценке, доза на все тело составила 3,0 Гр, и в его организм поступила активность 100 МБк (2,7 мКи).*
- 28 сентября Доктор Р.М. оставил остатки источника в сумке на своем столе еще на некоторое время, а затем, будучи немало встревожен, перенес ее во двор и поставил на стул у внешней стены здания. (Здесь сумка оставалась еще один день).
- Доктор Р.М. получил, согласно оценке, дозу 1,3 Гр. Попадание активности в организм было пренебрежимо малым (поскольку остатки источника находились в сумке).*
- М.Ф.1 и G.S. были помещены в Центр здравоохранения. Там был поставлен первичный диагноз — тропическое заболевание. Их перевели в больницу тропических болезней. Несколько других людей, загрязненных радиоактивными веществами в этом инциденте, имели те же симптомы заболеваний и к тому времени уже находились в больнице тропических болезней с аналогичным диагнозом. Однако один из врачей, д-р R.P., впервые заподозрил, что кожные поражения пациентов вызваны действием радиации. Поэтому он связался с д-ром А.М.,

ТАБЛИЦА II. ХРОНОЛОГИЯ (продолжение)

который работал как в больнице тропических болезней, так и в качестве управляющего в Информационном центре по токсикологии. Независимо от этого с д-ром А.М. связался также д-р Р.М. из санитарного управления по поводу подозрительного багажа (сумка с остатками источника), в котором, по его первоначальному мнению, содержались части рентгеновского аппарата. После дальнейшего осмотра пациентов доктора Р.Р. и А.М. решили, что дело требует дальнейшего расследования. Они связались доктором J.P. из департамента охраны окружающей среды штата Гояс. Доктор J.P. предложил, чтобы подозрительную сумку осмотрел медицинский физик. Доктор J.P. знал физика, W.F., который случайно находился в Гоянии в это время; однако он смог связаться с ним только на следующий день.

Темп развития событий затем увеличился, так как начала осознаваться серьезность аварии; поэтому далее указывается примерное время дня.

29 сентября,
08.00

W.F., медицинский физик, имеющий лицензию, который был знаком с доктором J.P. и случайно посетил Гоянию в это время, был приглашен по телефону сделать некоторые измерения вокруг подозрительной сумки санитарным управлением. Он решил, что найдет, где взять на время измеритель мощности дозы, и согласился. Одно из правительственных учреждений, связанное с ядерным топливным циклом (НУКЛЕБРАЗ), имеет свое отделение в Гоянии, занимающееся разведкой урановых месторождений. W.F. пошел в это отделение и попросил дать ему на время измеритель мощности дозы. После некоторой задержки ему дали сцинтиллометр (измеритель мощности дозы со сцинтилляционным детектором, очень чувствительным к излучению). Сцинтиллометр имел малое время срабатывания и динамический диапазон измерений от 0,02 до 30 мкГр·ч⁻¹, обычный для геологических изысканий. W.F. отправился в санитарное управление и включил прибор еще находясь на некотором расстоянии от него. Прибор немедленно зашкалило, причем зашкаливание происходило независимо от

ТАБЛИЦА II. ХРОНОЛОГИЯ (продолжение)

-
- направления его ориентировки. Физик предположил, что прибор неисправен, и вернулся в отделение НУКЛЕБРАЗ за заменой.
- 10.20 W.F. прибыл в санитарное управление. Включив новый прибор после выхода из отделения НУКЛЕБРАЗ, он убедился, что в районе находится значительный источник излучения. Тем временем д-р Р.М. настолько встревожился, что вызвал пожарную команду. W.F. прибыл как раз вовремя, чтобы отговорить пожарную команду от намерения выбросить источник в реку.
- 11.00 W.F. убедил работников и посетителей санитарного управления покинуть помещение. Полиция и пожарная команда следили за тем, чтобы никто не возвращался в здание.
- 12.00 Доктор Р.М. объяснил, откуда к нему попал источник, и вместе с W.F. они пошли на склад утиля I. Там было установлено, что прибор зашкаливает на большой территории и имеются свидетельства радиоактивного загрязнения. Это убедило их в том, что загрязнение носит широкий характер. Они переговорили с D.F. — управляющим склада утиля I и с некоторым трудом убедили его, его семью и многих соседей покинуть этот район.
- 13.00 W.F. и другие отправились к министру здравоохранения штата Гояс с целью информировать власти об аварии, о ее значении, и заручиться необходимой помощью. Можно понять официальных сотрудников министерства, которые выразили сомнение в серьезности аварии и в оценке масштабов необходимой эвакуации населения. Было нелегко убедить их в том, что дело достаточно серьезно, чтобы привлечь внимание министра здравоохранения. W.F. и другие настаивали на своем, и в конце концов их допустили к министру, которому они разъяснили серьезность положения.
- 15.00 По телефону была установлена связь с директором управления ядерных установок НКЯЭ, являющемся Координатором аварийных работ на ядерных установках (КАР). Он предложил им обратиться за помощью к
-

физику больницы ГИР и сказал, что в этом случае удастся лучше определить природу аварии и загрязненную площадь ввиду наличия у него более широкого комплекса приборов. КАР также связался с физиком и врачом из ГИР, у которых имелись лицензии, и было предварительно установлено, что источник излучения возможно взят в ГИР.

16.00–20.00

Примерно в одно и то же время в Гоянии были предприняты некоторые действия, в частности:

(а) в больницу тропических болезней было сообщено, что несколько человек подверглись радиоактивному воздействию и пострадали от облучения.

(б) были подняты по тревоге силы гражданской обороны (полиция, пожарные команды, скорая помощь, больницы).

(с) известные места радиоактивного загрязнения, а именно санитарное управление и склад утиля I были повторно обследованы с помощью оборудования ГИР;

(д) министр здравоохранения штата Гояс собрал совещание и выработал план сбора пораженных облучением людей на Олимпийском стадионе города (пункт Н). К этому времени событиями заинтересовалась пресса.

22.00

Z.S. (который ранее предлагал разрезать части вращающейся сборки кислородно-ацетиленовой газовой горелкой) посетил W.F. и объяснил ему, как была разрушена сборка с источником и куда отнесены ее части. Это сообщение позволило группе дозиметристов найти дополнительные районы сильного радиоактивного загрязнения и эвакуировать еще некоторых пострадавших. В ночь с 29 на 30 сентября на городском стадионе были отобраны 22 человека, которые потенциально подверглись сильному облучению. Их разместили в палатках отдельно от других. Это разделение частично было основано на измерениях радиоактивного загрязнения и медицинских симптомах, но оно основывалось также на принадлежности к семьям, проживавшим в районах максимального загрязнения. Первоначальный отбор был проведен доктором А.М., с коллегой, и лица, имевшие радиацион-

ные поражения, были отправлены в больницу тропических болезней, где же находились другие пациенты. К этому времени персонал больницы был информирован о том, что пациенты подверглись радиоактивному загрязнению и их следует изолировать.

радиационных аварийных ситуациях/тренировочного полигона в Ок-Ридже, США, при разгерметизации источника на основе хлорида цезия-137 в начале 1988 года. Предполагается, что это свечение связано с флуоресценцией или излучением Черенкова в связи с поглощением влаги источником. Сейчас в Ок-Ридже ведутся дальнейшие исследования природы этого голубого свечения.

4. ПЕРВЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПОСЛЕ ОБНАРУЖЕНИЯ АВАРИИ

Авария была обнаружена во второй половине дня 28 сентября, а ее серьезность впервые нашла признание утром 29 сентября. Прежде чем рассматривать начальную стадию работ по ликвидации последствий аварии, которыми руководили городские власти, уместно прокомментировать здесь некоторые специфические аспекты последовательности событий (более общие комментарии приведены в разделе “Наблюдения и рекомендации”).

4.1. ПЕРВЫЕ ДЕЙСТВИЯ ОРГАНОВ ВЛАСТИ В ГОЯНИИ

В этом разделе описаны первые действия органов власти в Гоянии, уведомление и мобилизация органов НКЯЭ и начальные действия руководящей группы и бригад медиков и физиков НКЯЭ по их прибытии в Гоянию. Далее описано, как расширялись задействованные ресурсы, организовывались работы по возвращению ситуации к норме. Этот период занял время от вторника 29 сентября до субботы 3 октября.

Органы власти в Гоянии мобилизовали полицию, пожарные команды и силы гражданской обороны, а 29 сентября к 20.00 было принято решение использовать близлежащий Олимпийский стадион как сборный пункт для изоляции пострадавших и проведения скрининга на предмет радиоактивного загрязнения. Две уже известные основные зоны радиоактивного загрязнения — территория санитарного управления и склада утиля I подверглись повторному обследованию с помощью дозиметрического оборудования новой клиники ГИР; жители соседних домов были эвакуированы, а доступ в зоны поставлен под контроль. Были установлены лица, потенциально подвергшиеся радиационному воздействию, и отправлены на стадион.

В ночь с 29 на 30 сентября по городу распространились слухи о происшедшем. Они обострили обстановку к утру, когда проснувшиеся люди обнаружили, что некоторые районы окружены кордоном без четкого разъяснения причин. Многие пытались пройти на Олимпийский стадион для обследования, что затрудняло действия дозиметристов, имевших в то время ограниченное число приборов (фотографии 4 и 5).

Хотя не существовало заранее разработанных планов мероприятий в условиях радиационных аварийных ситуаций, импровизированная местными властями стратегия позволила эффективно взять ситуацию под контроль и предотвратила дальнейшее значительное облучение населения. По мере прибытия персонала НКЯЭ местные власти осуществляли их

поддержку, обеспечение помещениями, оборудованием, административной помощью, а также местными ресурсами, необходимыми для начальных работ. Местные власти действовали эффективно, чем помогли органам НКЯЭ приступить к работе по ликвидации последствий в условиях управляемой ситуации.

4.2. НАЧАЛЬНАЯ МОБИЛИЗАЦИЯ РЕСУРСОВ

Аварийные работы были организованы Группой по контролю за аварийными ситуациями НКЯЭ (ГЕКЕ). Ответственный за безопасность исполнительный директор НКЯЭ, уполномоченный президентом страны, ввел в действие Аварийную группу управления ядерных установок (ГЕДИН). Директор ГЕДИН был назначен координатором восстановительных работ в Гоянии и предпринял все необходимые шаги для выполнения аварийного плана.

Директору Института радиационной защиты и дозиметрии (ИРД) было предписано продолжать работы по изысканию и мобилизации технических и физических ресурсов в ИРД, необходимых для решения возникающих проблем. Первым шагом было налаживание связи с ключевыми специалистами — медиками и физиками. Позднее потребовался дополнительный персонал, а также большое количество материалов и оборудования. Сложная система административной и научной поддержки, предусмотренная аварийным планом для АЭС Ангра, оказалась весьма полезной.

4.3. РУКОВОДЯЩАЯ ГРУППА НКЯЭ

29 сентября в 18.00 координатор аварийных работ при ядерных авариях (КАР) отбыл из Рио-де-Жанейро в Гоянию, куда он прибыл после полуночи (00.30) в среду 30 сентября. Его сопровождали два техника из ИПЭН (Сан-Паулу), которые везли с собой необходимое дозиметрическое оборудование, отобранное на основе предварительной информации, полученной от физика W.F.

Руководящая группа вначале посетила заброшенную клинику ГИР. Не найдя там признаков радиоактивного источника и следов радиоактивного загрязнения, она направилась в санитарное управление, а затем на другие ключевые объекты. Ее члены подтвердили местонахождение остатков источника в дорожной сумке на стуле во дворе управления. На рис. 10 приведена схема результатов дозиметрии района санитарного

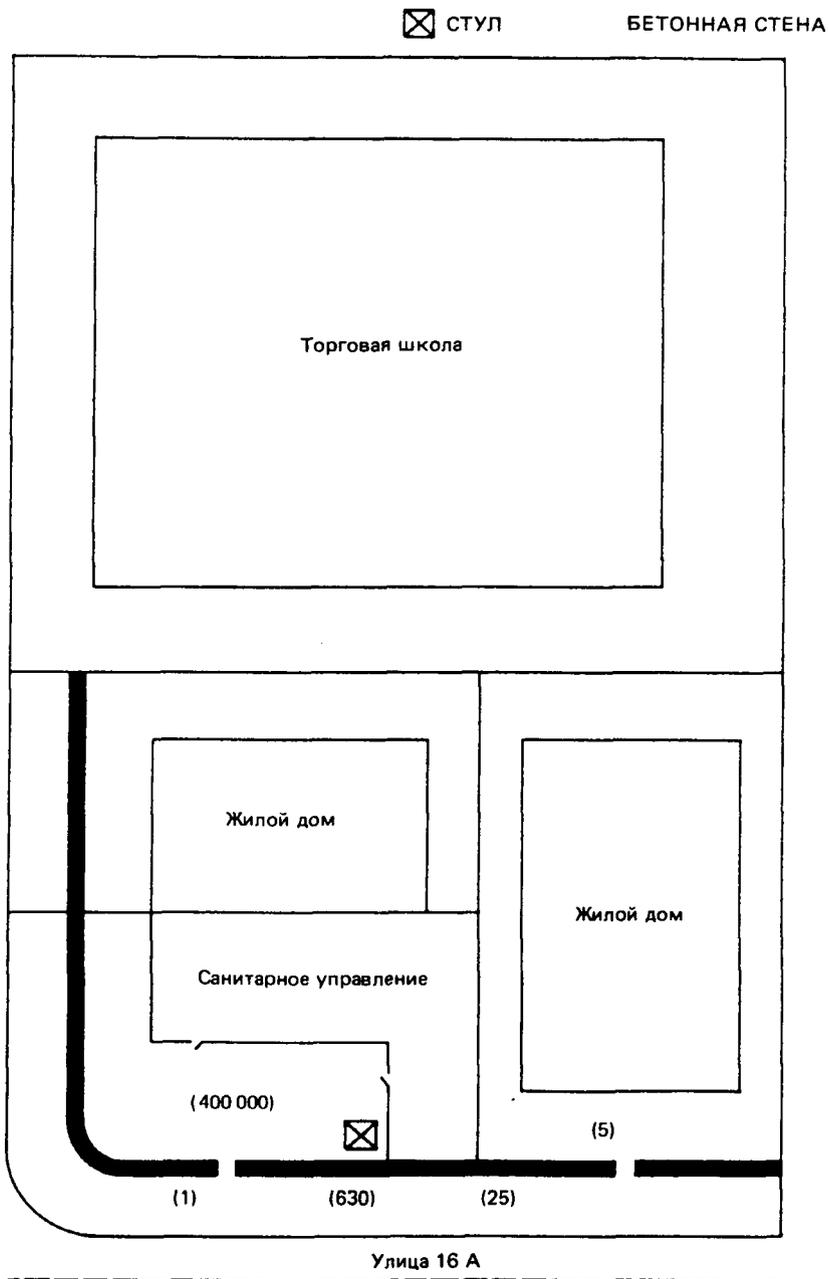


РИС. 10. Мощность дозы (в $\text{мкЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$) в районе санитарного управления (Vigilância Sanitaria) и улицы 16А (по данным Управления здравоохранения Гоянии).

управления с соответствующими данными по мощности дозы. В частности, мощность дозы на расстоянии 1 м от остатков источника составляла $0,4 \text{ Зв} \cdot \text{ч}^{-1}$, что соответствует активности $4,5 \text{ ТБк}$ (120 Ки), то есть менее 10% первоначальной активности источника.

В течение следующих нескольких часов этой ночи физик W.F., который обнаружил аварию, показал сотрудникам НКЯЭ места, определенные им как основные зоны радиоактивного загрязнения. W.F. и власти Гоянии решили эвакуировать жителей из зон, в которых мощность дозы превышает $2,5 \text{ мкЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$. В создавшихся условиях нельзя было дожидаться точного научного обоснования этой предельной мощности дозы как критерия для вмешательства. В первом приближении приведенное значение было просто взято из рекомендаций международных организаций по пределу дозы профессионального облучения, равному 50 мЗв в год. W.F. знал, что соответствие пределу дозы в 50 мЗв в год для профессионального работника, занятого полный рабочий день, будет обеспечено при мощности дозы не выше $25 \text{ мкЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$ на внешней поверхности барьера. Он также знал, что предел индивидуальной дозы для населения должен быть в 10 раз ниже, чем для профессионалов, что и дало критерий по мощности дозы, равной $2,5 \text{ мкЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Руководящая группа НКЯЭ решила не менять этот простой критерий на начальном этапе работ, придя к аналогичному выводу из других соображений. Во-первых, она сочла нежелательным и политически неприемлемым получение местными жителями дозы выше 5 мЗв в год. Во-вторых, группа признала, что коэффициенты пребывания жителей в жилом помещении (определяющий продолжительность ежедневного облучения) выше, чем соответствующий коэффициент для профессионального облучения. Она также вначале оценила продолжительность дезактивационных работ в 3 месяца (то есть облучение будет иметь место только в течение четверти года). Был сделан вывод, что эти два соображения примерно компенсируют друг друга, подтверждая таким образом критерий мощности дозы в $2,5 \text{ мкЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$. В дальнейшем, однако, этот простой критерий установления уровня вмешательства по мощности дозы был уточнен и скорректирован (раздел 7.3).

W.F. и группа НКЯЭ затем отправились на Олимпийский стадион, где люди, подвергшиеся облучению, размещались в палатках, на одном конце футбольного поля. Представители НКЯЭ распорядились о том, чтобы все подвергшиеся облучению приняли душ, так как выяснилось, что не сделано никаких попыток дезактивации людей из опасения радиоактивного загрязнения воды. Одежда была собрана в мешки. Кроме того, физики установили дополнительное дозиметрическое оборудование для обследования сотен людей, которые слышали об аварии и ожидали на стадионе проверки на загрязнение.

В среду 30 сентября в 03.00 КАР доложил обстановку в штаб-квартиру НКЯЭ. Он оценил ситуацию как критическую и отметил потребность в большом количестве ресурсов.

Утром 30 сентября КАР занялся остатками источника, находящимися во дворе санитарного управления. С помощью небольшого крана была поднята секция канализационной трубы, перенесена через двухметровую ограду двора, и выходное отверстие трубы было опущено над стулом. Затем через ограду в трубу был залит бетон, накрывший стул и остатки источника. В результате мощность дозы в окрестностях была значительно снижена, и, поскольку радиоактивное загрязнение не было основной проблемой в этом районе, со значительной его части можно было снять оцепление. Это было закончено к полудню.

4.4. ПЕРЕДОВАЯ МЕДИЦИНСКАЯ ГРУППА НКЯЭ

Врач от НКЯЭ-ИРД прилетел в Гоянию в 06.30 в среду 30 сентября вместе с еще двумя физиками из ИРД. Прибыв на стадион, этот врач узнал, что его коллега из больницы тропических болезней, первым распознавший возможность радиационного происхождения тех симптомов, которыми страдали его пациенты, провел ночь на стадионе и уже обследовал людей, посланных туда. В общей сложности симптомы облучения были установлены у 22 человек. 11 из них уже были отправлены в больницу тропических болезней.

Поскольку лица, переведенные в больницу тропических болезней, находились под наблюдением других медиков, врач из НКЯЭ остался вместе с коллегой из этой больницы на стадионе для заполнения историй болезни и проведения осмотров. К концу дня эти два врача обследовали от 50 до 70 человек, пораженных радиацией. С тех пор и вплоть до 3 октября было проведено много других медицинских мероприятий. Они описаны в разделе 5.

4.5. РАСШИРЕНИЕ РАБОТ ПО ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ

Во вторник 29 сентября к 17.00 бывший директор ИРД был вызван новым директором этого Института, который просил его отправиться в Гоянию для анализа аварии с радиотерапевтической установкой. В Гоянии КАР попросил бывшего директора ИРД действовать в качестве своего заместителя. На этом этапе еще сохранялось некоторое замешательство относительно причин радиоактивного загрязнения, и информация о радиоактивном источнике клиники ГИР не содержала дан-

ных о его химической форме. Бывший директор ИРД был особенно обеспокоен проблемой распространения источника радиоактивного загрязнения. Он заключил, что это загрязнение не могло бы распространиться так легко, если бы это был кобальт (металл), и, вероятно, это был цезий в виде его соли, такой как хлорид цезия. Проследить подтверждающую информацию относительно формы источника оказалось трудно. 30 сентября в 09.00 он был информирован о том, что загрязнение связано с цезиевым источником и что еще 6 или 7 человек отправлены в больницу.

В 16.00 в Гоянию из Рио-де-Жанейро прилетели заместитель КАР, два врача и специалисты по радиационной безопасности. На Олимпийском стадионе они встретили большое скопление народа: пострадавших в результате инцидента людей, желающих пройти обследование, и просто интересующиеся происходящим, включая представителей прессы. Загрязненные районы были оцеплены в ночь с 29 на 30 сентября, и это встревожило население, поскольку еще не было сделано никаких публичных сообщений, касающихся инцидента. Прибывшая группа была немедленно проинформирована КАР и местными властями о зонах радиоактивного загрязнения, эвакуации и обработке пострадавших на стадионе.

4.6. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ

Заместитель КАР, основываясь на данных доклада об аналогичном инциденте в Мексике в 1983 году, рекомендовал в качестве важной начальной меры до проведения дезактивации местности осуществить тщательное, хорошо документированное дозиметрическое обследование пораженных районов с измерением уровней загрязненности. Это предложение было принято и легло в основу формирования планов по ликвидации последствий аварии. Штаб-квартира НКЯЭ вначале была создана на стадионе, где находилась более четырех дней, пока министерство здравоохранения штата Гояс не предоставило ей помещения в здании министерства.

В этот период палатки, в которых находились люди, были снесены сильной бурей. Это задержало на некоторое время восстановительные работы и было предвестием плохой погоды, в условиях которой проводилась часть дезактивационных мероприятий.

Первоначально только пять человек занимались вопросами радиационной безопасности, включая W.F. и физика из ГИР. 30 сентября КАР запросил дополнительную помощь с указанием конкретных лиц для решения каждой задачи, основываясь на выработанном плане действий. Персонал отбирался в соответствии с его профессиональной квалификацией, включая способности работать в условиях стресса. В четверг 1 октября

прибыли еще 15 специалистов. Образовавшаяся бригада в составе 20 человек была разделена на три группы, занимающиеся управлением, обследованием района и дезактивацией. Последняя группа была поделена на четыре подгруппы по количеству основных зон радиоактивного загрязнения.

Пресса и население в целом были, естественно, заинтересованы в информации о происходящем, и время, затрачиваемое на ответы, постоянно отвлекало силы, необходимые для контроля ситуации. Оглядываясь назад, следует признать, что назначение с самого начала представителя для связи с прессой и информации общественности было бы очень полезным.

Организация записи и документации работ стала возможной лишь на третий день, так как все были перегружены работами по дозиметрическому контролю и обучению других лиц методам скрининга на предмет выявления радиоактивного загрязнения. В этот момент была признана необходимость административной помощи техническому персоналу. Весь персонал разместился в гостинице, примерно в двух километрах от загрязненных районов, что способствовало эффективности восстановительных работ. С субботы 3 октября, когда штаб работ переместился в министерство здравоохранения штата, организация работ улучшалась по мере включения в деятельность персонала административной поддержки, в том числе служб секретариата, телексной связи и фотокопировальной службы. Был назначен координатор по вопросам информации. Ежедневно от всех лиц, выполнявших дезактивационные работы, требовались устные и письменные отчеты, на основе которых корректировалась общая стратегия действий. В ретроспективе представляется, что было бы полезным иметь официального работника для ведения документации.

К субботе 3 октября уже имелось больше ресурсов, и было проведено более детальное обследование загрязненных районов. Группа дозиметристов, работавшая на стадионе, выявила 249 человек с признаками радиоактивного загрязнения. Лица, имевшие только внешнее загрязнение, были легко дезактивированы, но у 129 человек было обнаружено попадание активности в организм, и им оказывалась медицинская помощь. Основные районы загрязнения были установлены и, хотя еще велись работы по проверке других возможных районов загрязнения, этим был эффективно завершен начальный этап взятия ситуации под контроль и ликвидации риска дальнейшего серьезного облучения людей.

Карты местности были затребованы в среду 30 сентября и получены в пятницу 2 октября; на них были нанесены основные участки загрязнения. Жители районов, в которых мощность дозы превышала $2,5 \text{ мкЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$, были эвакуированы к субботе 3 октября. (критерии для проведения этой акции обсуждаются в части III).

4.7. ПЕРВАЯ МЕДИЦИНСКАЯ ПОМОЩЬ ПОСТРАДАВШИМ

Главной медицинской задачей начального периода было оказание помощи 11 наиболее тяжело пострадавшим пациентам, помещенным в больницу тропических болезней или в больницу Санта-Мария. Эти пациенты были переведены в Центральную больницу Гоянии, где заняли весь третий этаж одного из корпусов, с тем чтобы все пациенты находились в одном месте, контролируемом по радиологическим и биологическим параметрам.

Как и можно было ожидать, медицинский персонал этой больницы не был подготовлен к оказанию помощи пациентам с радиоактивными поражениями. Поэтому пациенты оставались без помощи до прибытия двух медиков-специалистов в этой области. Дело осложнялось забастовкой, проходившей в это время. Врачи и специалисты по радиационной защите были оснащены дозиметрическим оборудованием и стандартной защитной одеждой (шапочки, перчатки, комбинезоны). Они установили зону радиологического контроля в больнице в соответствии с докладом № 65 Национального совета Соединенных Штатов по радиационной защите и измерениям¹. Врачи начали физические и лабораторные исследования, брали пробы крови и проводили симптоматическое лечение.

В среду 30 сентября в 18.30 к группе медиков присоединился врач из ФУРНАС в Рио-де-Жанейро. Медицинская сортировка пострадавших продолжалась 12 часов. Врачи решили перевести шестерых из 11 пациентов в специальное отделение Военно-морского госпиталя Марсилио Диас в Рио-де-Жанейро. Этот выбор был основан на относительной тяжести симптомов и на необходимости использования более современного оборудования для их лечения. Врач из ФУРНАС и шесть пациентов вылетели из Гоянии в Рио-де-Жанейро в 09.00 в четверг 1 октября и в 12.30 были в Военно-морском госпитале. Еще четыре пациента были переведены в этот госпиталь 3 октября.

4.8. ПЕРЕХОД К ЭТАПУ ДЛИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

К субботе 3 октября положение полностью контролировалось. Главными задачами групп реагирования стало дальнейшее лечение пострадавших и дезактивация районов радиоактивного загрязнения. После решения первых неотложных задач работы продолжались в более спокойном темпе. Были разработаны планы на длительный период. Были проведены

¹ UNITED STATES NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, Management of Persons Accidentally Contaminated with Radionuclides, Rep. No. 65, USNCRP, Bethesda, MD (1980).

дозиметрические работы и оценены потребности в ресурсах. Были разработаны процедуры контроля за доступом в пораженные зоны, контроля за качеством оборудования, отбора лиц для проведения цитогенетического анализа и других анализов крови, установлены спецификации контейнеров для отходов. Эти и последующие действия могут рассматриваться под рубриками оказания помощи пострадавшим и очистки окружающей среды. Они описаны в частях II и III соответственно.

Описание каждого из основных направлений деятельности — медицинский, по обследованию и дезактивации местности, удалению отходов, связи с общественностью — представлено в отдельных разделах доклада. Эти разделы составлены достаточно подробно, с тем чтобы специалисты могли получить информацию, необходимую для извлечения уроков из аварии в Гоянии.

Часть II

ПОСЛЕДСТВИЯ, ЗАТРАГИВАЮЩИЕ ЧЕЛОВЕКА: ПОМОЩЬ ПОСТРАДАВШИМ

5. МЕДИЦИНСКАЯ ПОМОЩЬ

6. ДОЗИМЕТРИЯ

5. МЕДИЦИНСКАЯ ПОМОЩЬ

5.1. ВВЕДЕНИЕ

Радиационная авария в Гоянии имела серьезные медицинские последствия и привел к четырем смертным случаям. Однако она мало чем отличалась от нескольких предшествующих аварий, которые привели к поражению лиц из числа населения. В ней проявились разительные черты сходства с инцидентами в Мехико в 1962 году, в Алжире в 1978 году, в Марокко в 1983 году и в Сьюдад-Хуаресе, Мексика, в 1983 году: в первую очередь речь идет о значительном облучении всего тела с вытекающим из этого острым лучевым синдромом наряду с тяжелыми местными лучевыми ожогами у некоторых индивидуумов. Инцидент в Сьюдад-Хуаресе привел к внешнему загрязнению нескольких людей кобальтом-60, однако уровни его были низкими, и значительного поступления радионуклида внутрь организма не произошло.

Одной из характерных особенностей аварии в Гоянии было тяжелое внешнее и внутреннее загрязнение цезием-137, что усложнило уход за пострадавшими и потребовало широкого применения гексацианферрата $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ (в виде берлинской лазури, или радиогардазы[®]), что осуществлено впервые в истории радиационных инцидентов и аварий. Уникальность этой аварии заключалась в том, что пострадавшие получили острое внешнее облучение всего тела, за чем последовало хроническое облучение всего организма с низкими мощностями дозы от отложений поступившего внутрь организма цезия-137. Эти дозы были различными в зависимости от времени, проведенного вблизи источника, и количества цезия-137, поступившего в организм.

Радиологические аспекты аварии еще более осложнились в результате неполноты историй облучения и отсутствия информации относительно того, когда именно начиналось облучение соответствующего типа. Некоторые дозы внешнего облучения были несомненно фракционированными как следствие трудовых обычаев и личных привычек. Кроме того, наиболее тяжело пострадавшие лица получили также острое местное поражение кожи от бета-излучения и более глубоко лежащих тканей от проникающего гамма-излучения. Это разнообразие природы облучения (и вытекающие из этого неопределенности) осложняло интерпретацию цитогенетических оценок дозы, которые основывались на кривых доза-реакция, полученных для высоких мощностей дозы.

После выявления аварии 28 сентября и ее подтверждения результатами радиологического обследования 29 сентября (проведенного медицинским физиком W.F. и персоналом служб здравоохранения штата Гояс)

были введены в действие аварийные мероприятия НКЯЭ. Утром 30 сентября из Рио-де-Жанейро в Гоянию были направлены врач, дозиметрист и технолог–специалист по вопросам радиационной защиты. Ко времени прибытия этой группы были взяты под контроль четыре основных района загрязнения в городе, эвакуировано население районов, прилегающих к очагам загрязнения, а на Олимпийском стадионе Гоянии был создан специализированный район радиационного контроля и медицинской сортировки пострадавших. Ко времени прибытия медицинской бригады на стадионе были собраны 22 человека из числа пострадавших. Это были либо жители домов, находившихся вблизи от площадки, где был разобран радиоактивный источник, либо родственники владельцев складов утиля, куда были сданы детали радиотерапевтической установки с цезием-137, и работники этих складов.

По прибытии на Олимпийский стадион члены медицинской бригады узнали, что 11 подвергшихся облучению лиц уже госпитализированы в больнице тропических болезней и в больнице Санта-Мария в Гоянии по указанию местных органов здравоохранения. Эти 11 человек были госпитализированы 28 сентября по поводу предполагаемого пищевого отравления, контактного дерматита или пузырьчатки — заболевания, весьма распространенного в центральной Бразилии. Позже выяснилось, что большинство из них испытывает тошноту, у них наблюдается рвота, диарея, головокружение и усталость. У всех одиннадцати, кроме одного, имелись лучевые поражения кожных покровов различной степени тяжести на кистях рук, ступнях, голенях или на других ограниченных участках тела (фотографии 25, 26, 28–31).

5.2. ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

По прибытии в район сортировки пострадавших на Олимпийском стадионе медицинская бригада заслушала сообщения сотрудников местных органов. Все 22 человека, собравшиеся на стадионе, были подвергнуты радиационному контролю, и было найдено, что все они подверглись внешнему загрязнению цезием-137. Загрязненная одежда была удалена, а дезактивация тела производилась путем многократного мытья с мылом. По показаниям ручных дозиметров такая дезактивация была эффективной на 50–80%. После дезактивации с пострадавшими были проведены беседы с целью установить соответствие медицинских историй болезни признакам и симптомам острого лучевого синдрома. Медицинские истории болезни были составлены к 18 часам 30 сентября в результате уско-

ренного медицинского обследования всех 22 пострадавших. К этому времени из Рио-де-Жанейро отправились еще два врача и специалисты по радиационной гигиене. Оба эти врача ранее проходили обучение по вопросам оказания помощи пострадавшим от облучения. Один из них окончил трехмесячный курс интенсивной подготовки (в качестве специалиста МАГАТЭ) по ликвидации последствий радиационных аварий всего за несколько месяцев до происшествия в Гоянии.

Члены медицинской бригады считали, что наиболее неотложная задача состоит в лечении 11 пострадавших, уже находившихся в больнице тропических болезней и в больнице Санта-Мария. Это решение основывалось на сообщениях медицинского персонала больниц о состоянии пациентов. Вечером 30 сентября эти 11 пациентов были переведены из больницы тропических болезней и больницы Санта-Мария в специально оборудованное отделение Центральной больницы Гоянии.

Когда медицинская бригада (три врача и технический вспомогательный персонал) прибыла в Центральную больницу Гоянии, она организовала контроль радиоактивного загрязнения и доз облучения на основе проведенного радиологического обследования. Она разработала план действий, руководствуясь указаниями, содержащимися в докладе № 65 НСРЗ США¹, и применяя свои собственные знания, полученные в ходе обучения по вопросам ликвидации последствий радиационных аварий. Было проведено обследование пациентов и составлены медицинские истории болезни. Считалось, что все эти пациенты страдают от острого лучевого синдрома или имеют радиационные поражения кожных покровов от небольших до обширных; имеет место также наружное загрязнение цезием-137 и его поступление в организм. Радиологические обследования поражений кожи показали высокие мощности дозы вплоть до $15 \text{ мЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$, а обследование одной шестилетней девочки показало при контакте с кожей среднюю мощность дозы $3 \text{ мЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$.

У всех пациентов были взяты анализы крови, мочи и кала. У них была проведена дезактивация кожных покровов с использованием нейтрального мыла и воды, уксусной кислоты и двуокиси титана. Дезактивация была лишь частично успешной, поскольку в результате потоотделения происходило повторное загрязнение кожи от внутренних отложений цезия-137.

Рано утром 1 октября было принято решение транспортировать (в военном самолете) шестерых из 11 пациентов в центр интенсивной тера-

¹ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СОВЕТ СОЕДИНЕННЫХ ШТАТОВ ПО РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ И ИЗМЕРЕНИЯМ, Management of Persons Accidentally Contaminated with Radionuclides, Rep. No. 65, USNCRP, Bethesda, MD (1980).

пии при военно-морском госпитале Марсилио Диас в Рио-де-Жанейро. Клиническими критериями отбора служили медицинские истории болезни, продромальные признаки и симптомы, время наступления рвоты и частота ее приступов, степень тяжести поражений кожи, наличие эпиляции, а также приблизительная оценка содержания радиоактивного цезия в организме, сделанная на основе радиологического обследования. Результаты анализов крови в этот период были ненадежными. Эти шесть пациентов были доставлены в Рио-де-Жанейро самолетом в сопровождении одного из врачей бригады. 3 октября в связи с ухудшением состояния здоровья в Рио-де-Жанейро были доставлены еще четыре пациента.

К 3 октября стала ясна полная картина аварии, и было значительно увеличено количество вспомогательного персонала. До тех пор, пока не возникла потребность в счетчике содержания радиоактивности во всем организме, имелось достаточно оборудования и материалов для основного медицинского ухода. Ожидалось, что запасы берлинской лазури (радиогардазы^R) в Бразилии вскоре истощатся. Поэтому была сделана заявка на дополнительные поставки из "Гезелльшафт фюр Штрален унд Умвельтфоршунг" (Общество радиационных и экологических исследований) в Нюрнберге, Федеративная Республика Германия.

К 7 октября в Центральной больнице Гоянии было завершено укомплектование основным медицинским персоналом специального отделения для лечения пострадавших. В промежуточный период медицинский уход обеспечивался нормально. Среди клинического персонала лабораторий отмечался некоторый страх или беспокойство по поводу состояния собственного здоровья, однако эти трудности были устранены в результате личных заверений и неформального инструктажа, проведенного двумя сопровождавшими пострадавших врачами. Однако медицинская общественность в Гоянии в целом неохотно откликалась на призывы о помощи. Тем не менее еще один врач из состава персонала больницы присоединился к медицинской бригаде в Гоянии. Медицинские возможности реагирования на чрезвычайные обстоятельства были окончательно сформированы в первой неделе ноября, когда был установлен счетчик излучения всего тела, специально сконструированный для измерения высоких мощностей дозы у пациентов (фотография 32).

В военно-морском госпитале Марсилио Диас в Рио-де-Жанейро была быстро организована бригада быстрого радиологического реагирования и введен в действие ранее спроектированный пункт приема/обработки пострадавших от радиационных аварий. Среди клинического персонала лабораторий отмечался страх по поводу возможного облучения, однако этих людей удалось успокоить путем их обучения и в результате создания специальной лаборатории вблизи от района обработки пациентов.

5.3. ЛЕЧЕНИЕ

Терапевтические процедуры, применявшиеся в течение критической стадии чрезвычайных мероприятий, включали:

- лечение в критический период острого лучевого синдрома, проявляющегося в виде подавления функции костного мозга;
- лечение местных радиационных поражений;
- выведение цезия-137 из организма;
- общеукрепляющая терапия и психотерапия.

5.3.1. Лечение острого лучевого синдрома

Лечение наиболее тяжело пострадавших пациентов было направлено на оценку и ликвидацию гематологического кризиса, связанного с острым лучевым синдромом. С помощью бесед с пациентами, определения гемограмм и восстановления очередности событий в ходе происшествия предпринимались попытки определить начальный день облучения, его длительность, определить дозу с помощью цитогенетических методов, а также определить степень тяжести внутреннего облучения организма от поглощенного цезия-137. Эти данные оказались полезными для прогнозирования степени подавления гематологической функции и вытекающей из него подверженности инфекциям. Цитогенетическая дозиметрия показала, что дозы, полученные пациентами, которые находились в Рио-де-Жанейро, составляла от 1 до 7 Гр. Эти дозовые оценки, проводившиеся с помощью цитогенетических методов, хотя они и осложнялись непрерывным излучением отложившегося в организме цезия-137, оказались полезными для прогнозирования и предварительного планирования медицинского лечения, связанного с подавлением функции костного мозга. Таким образом, медицинские мероприятия основывались на клинической картине состояния каждого пациента и в основе своей не опирались на цитогенетическую дозиметрию.

Для идентификации бактериальных, грибковых и вирусных инфекций брались стандартными методами пробы крови, кожи, пораженных тканей в ранах, а также пробы из естественных отверстий организма для последующего выращивания в культуре. На основе результатов анализа выращенных в культуре проб и клинической картины болезни пациенты получали общее или местное лечение с помощью антибактериальных, противогрибковых или противовирусных средств.

Основной медицинский уход за пациентами состоял в следующем:

- (a) помещение в палаты с реверсивной изоляцией;
- (b) диета с исключением сырых овощей или пищевых продуктов, не подвергавшихся тепловой обработке;

- (c) подрезание и чистка ногтей;
- (d) местная обработка неомицином носовой полости;
- (e) стерилизация кишечника при концентрации нейтрофилов менее $1,5 \times 10^9 \cdot \text{л}^{-1}$ путем перорального введения триметоприм/сульфаметоксазола и нистатина;
- (f) введение в организм антибиотиков при температуре тела свыше $38,5^\circ\text{C}$ или при появлении других признаков инфекции у пациента с гранулоцитозом (концентрация нейтрофилов ниже $0,75 \times 10^9 \cdot \text{л}^{-1}$); эмпирический режим введения антибиотиков включал iv-гентамицин, цефалотин и карбенициллин, которые впоследствии были заменены цефоперазоном, имипенемом и/или пиперациллином² вследствие эволюции общего состояния и/или по результатам анализов проб, выращенных в культуре; пациенты с непрерывно повышенной температурой в течение более 48–72 часов получали амфотерицин-Б;
- (g) введение облученной (25 Гр) эритроцитарной массы и вливание тромбоцитов для поддержания уровня гемоглобина выше $1,55 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$ ($0,1 \text{ кг} \cdot \text{л}^{-1}$) и уровня тромбоцитов выше $20 \times 10^9 \cdot \text{л}^{-1}$, а также во всех случаях кровотечений у пациентов с уровнем тромбоцитов ниже $60 \times 10^9 \cdot \text{л}^{-1}$;
- (h) введение ацикловира по истечении примерно трех недель после облучения для предотвращения активации вируса герпеса;
- (i) применение противоглистных средств, таких как мебендазол и тиабендазол по результатам исследования стула или эмпирически (эозинофилия).

Клиническое течение болезни и результаты лабораторных исследований показали, что трансплантация костного мозга не требуется ни одному из пациентов.

Отклонением от клинической практики, применявшейся после предыдущих радиационных аварий, явилось использование фактора стимуляции колоний гранулоцитов макрофагов (GMCSF), который в госпитале в Рио-де-Жанейро вводился восьми пациентам. Четыре пациента из числа получивших GMCSF в дальнейшем умерли вследствие полученных доз (4–6 Гр) от осложненных геморрагий и инфекций. Четыре оставшихся в живых пациента из числа принимавших GMCSF получили наименьшие оцененные дозы облучения (2,5–4,4 Гр) в группе лиц, получивших наивысшие дозы. Два пациента из числа получивших высокие дозы (6,2 и 7,1 Гр), у которых отмечалось тяжелое подавление функции костного мозга, но которые не получали GMCSF, выжили.

² Два пациента получали ванкомицин и один — амикацин и цефокситин.

5.3.2. Лечение местных радиационных поражений

Радиационные поражения кожи наблюдались у 19 из 20 госпитализированных пациентов. У них наблюдались припухлость, эритема, бронзовая пигментация, сухая десквамация и образование пузырей еще в период пребывания в больнице в Гоянии. Поражения отмечались на кистях, ступнях, голенях, в подмышечных впадинах и на многочисленных небольших участках кожных покровов груди, живота, лица, предплечий и средней передней части голеней (фотографии 25, 26, 28–31). В течение первой недели октября 1987 года пузыри в большинстве областей кожных поражений лопались и давали жидкие выделения. Инфицирование пораженных участков кожи серьезной проблемы не представляло.

К 12 октября началось подсыхание пораженных участков кожи, некротическое отслаивание кожи и реэпителизация, чем подтверждался факт поверхностного поражения за счет бета-излучения (фотография 31). Такая же картина наблюдалась примерно на три недели позже у 10 из 20 пациентов, получивших глубокие поражения кожи, что свидетельствует о проникновении гамма-излучения в более глубоко лежащие ткани (фотография 26).

Все кожные раны были загрязнены цезием-137; вблизи некоторых ран были замерены мощности дозы вплоть до $15 \text{ мЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$. Уровни загрязнения значительно снижались в результате некротического отслаивания кожи и дальнейших попыток ее дезактивации. Как в Рио-де-Жанейро, так и в Гоянии лечение локализованных ожогов осуществлялось путем местных аппликаций антисептических и болеутоляющих растворов, мазей, содержащих антибиотики, неомицина, сока алоэ (*aloe vera*) (ингибитор тромбоза) и алантоина (противовоспалительное средство). Пациенты в Гоянии получали две дополнительные терапевтические процедуры: инъекции противостимуляторов тромбоцитов для облегчения поражения капилляров и введение сосудорасширяющих средств, таких как трентал^R и иридукс^R. Клиническая картина состояния пациентов в обоих лечебных заведениях была приблизительно одинаковой.

В военно-морском госпитале Марсилио Диас применялись системы получения изображений депо крови. Это принесло пользу в определении демаркационного раздела между поврежденными и нормальными артериями. Эта система пригодилась также в том случае, когда 15 октября потребовалась ампутация. В пределах 48 часов клиническая картина состояния этого пациента улучшилась, и он выжил после острого лучевого синдрома. Хирургического вмешательства потребовало состояние еще пяти пациентов: у четырех проводилась хирургическая санация ран и у одного пересадка кожи.

5.3.3. Ускорение выведения радионуклида из организма

Авария в Гоянии привела к наивысшим уровням загрязнения цезием-137 из всех, когда-либо зарегистрированных клинически. Внешнее загрязнение наблюдалось у 249 человек из 112 000 лиц, подвергнутых в Гоянии радиационному контролю. Дезактивация, проводившаяся в целях удаления внешнего загрязнения цезия-137, была успешной у тех лиц, в организм которых поступили малые количества радионуклида или же он не поступал вообще. У других пациентов накопление радионуклида в организме приводило к неоднократному повторному загрязнению кожных покровов в результате потоотделения. Внутренние отложения цезия-137 представляли совершенно иную проблему как с медицинской, так и с радиационно-гигиенической точек зрения. (Уровни поступления в организм обсуждаются ниже). Наивысшая индивидуальная доза от внутренних отложений цезия-137 накапливалась с начальной мощностью дозы $0,25 \text{ Гр} \cdot \text{сут}^{-1}$.

После аварии в Гоянии берлинская лазурь (радиогардаза^R) вводилась 46 лицам. Дозы ее составляли от 1 до $10 \text{ г} \cdot \text{сут}^{-1}$. Начальная доза для взрослых, разделенная на три равных приема, составляла $3 \text{ г} \cdot \text{сут}^{-1}$. Для пациентов, у которых количество поступившего в организм цезия-137 превышало годовой предел поступления этого радионуклида более чем в пять раз, начальная доза составляла от 4 до $6 \text{ г} \cdot \text{сут}^{-1}$ и принималась от 4 до 6 раз в сутки равными дозами. Начальная доза для 13 детей составляла $1,0\text{--}1,5 \text{ г} \cdot \text{сут}^{-1}$.

По результатам радиохимических анализов было видно, что с повышением дозы берлинской лазури повышалась и активность проб кала. По результатам измерения активности всего тела наблюдалось ускорение выведения цезия-137 из организма по мере увеличения дозы берлинской лазури. Кривая зависимости доза-эффект пока не выведена, но на рис. 11 проиллюстрирован эффект у одного пациента. С учетом этих наблюдений взрослые и подростки в дальнейшем получали $10 \text{ г} \cdot \text{сут}^{-1}$ восемью или десятью равными дозами, а дети — $3 \text{ г} \cdot \text{сут}^{-1}$ тремя равными дозами.

В настоящее время проводятся более детальные исследования влияния введения в организм берлинской лазури на биологический период полувыведения цезия. У пациентов, пострадавших от поступления радионуклида в организм, периодически берутся радиохимические анализы и проводятся исследования *in vivo*.

Поскольку в литературе не имеется данных относительно эффектов введения столь высоких доз берлинской лазури, медицинская бригада на протяжении всего времени принимала особые меры для того, чтобы обеспечить своевременное выявление любых побочных эффектов. Регулярно дважды в неделю производились измерения уровня содержания калия в сыворотке; это же проводилось во всех случаях, когда имелись клиниче-

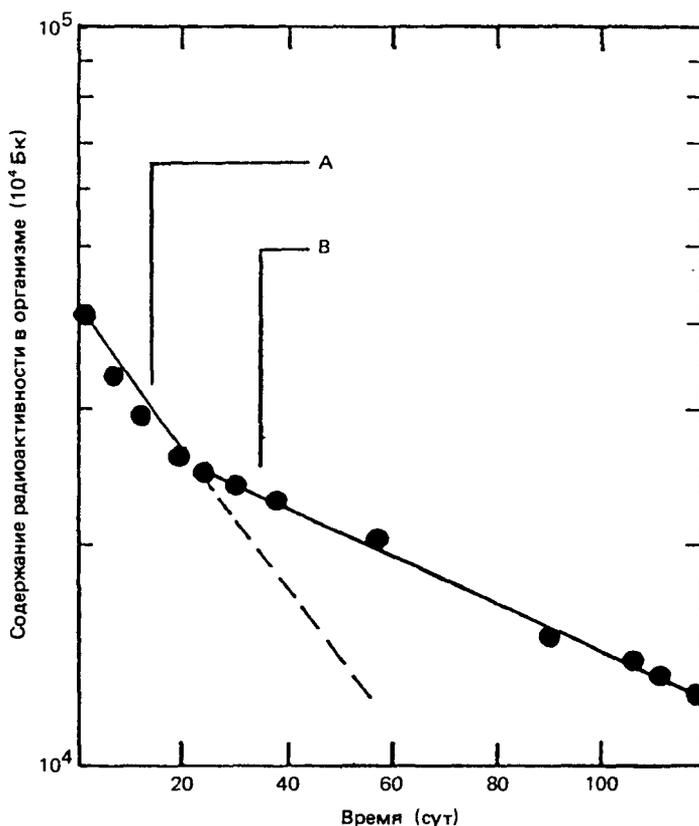


РИС.11. Эффект применения берлинской лазури: содержание радиоактивного материала в организме в соотношении со временем. А: введение 10 г берлинской лазури в день. В: после прекращения введения берлинской лазури.

ские показания. Сколько-нибудь значительных изменений уровня содержания калия в сыворотке обнаружено не было. Одним из видимых побочных эффектов были запоры у небольшого числа пациентов; однако их реакция на диету и прием слабительных средств была хорошей.

Пациенты с повышенными уровнями поступления радионуклида в организм получали диуретики, если не было клинических противопоказаний для этого. В общей сложности диуретики получали 17 пациентов; шесть из них нуждались в диуретиках также в связи с гипертонией. Из числа диуретиков применялись фуросемид в дозах $40 \text{ мг} \cdot \text{сут}^{-1}$ или гидрохлоротиазид в дозах $50\text{--}100 \text{ мг} \cdot \text{сут}^{-1}$; оба медикамента принимались перорально. Однако данные анализов мочи продемонстрировали неэффективность диуретиков как средства выведения цезия-137 из организма, и их назначение было отменено.

Некоторые пациенты с высокими уровнями поступления радионуклида в организм получали повышенные количества обогащенных калием жидкостей (3 л в сутки); они же получали берлинскую лазурь и диуретики.

Высокие уровни отложений цезия-137 в организме обуславливали некоторые особые медицинские проблемы, поскольку необходимо было собирать все жидкости, содержащиеся в организме, и все выделения, а также хранить их для последующего анализа. На протяжении всего более чем трехмесячного срока госпитализации пациентов необходимы были строгие меры радиационного контроля, с тем чтобы уход за пациентами не представлял значительного риска для здоровья медицинского персонала. На протяжении всего срока госпитализации пациентов накопленные дозы медицинского персонала не превысили 5 мЗв.

5.3.4. Общий уход и психологическое обеспечение

Описанные выше меры предназначались для лечения заболеваний, выявленных в условиях стационара, таких как артериальная гипертензия, сердечная недостаточность и аритмия или инфекции мочевыводящего тракта. Особое внимание уделялось поддерживающей психотерапии не только с целью преодоления психологических последствий длительной госпитализации и стресса в результате происшествия как такового, но и для обеспечения эффективного психиатрического лечения некоторых пациентов, ранее лечившихся по поводу психических расстройств.

5.4. ПАТОЛОГОАНАТОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: АУТОПСИЯ

Аутопсия четырех умерших пациентов производилась патологоанатомами судебно-медицинской экспертизы с участием членов медицинской бригады и вспомогательной группы специалистов по радиационной гигиене военно-морского госпиталя Марсилио Диас. Были взяты пробы для бактериологического и гистопатологического анализа.

5.4.1. Пациент № 1: М.Ф.1: женщина 38 лет; дата смерти 23 октября 1987 года

Внешний осмотр показал: глазничные гематомы; тяжелая алопеция; бледность слизистых; геморрагии на шее, грудной клетке, конъюнктиве, предплечьях, голених и кожных покровах.

Внутреннее исследование показало: диффузные геморрагии всех органов, наиболее тяжелые на сердце и легких. Кровь жидкая и темная.

Повсеместно на скелетной мускулатуре — геморрагические бляшки. Отек мозга. На мягкой и паутинной оболочках мозга видны многочисленные очаги кровоизлияния. Ксантохромия спинномозговой жидкости. На серозной оболочке кишечника и желудка — многочисленные области кровоизлияний. В полостях этих органов — большие количества геморрагического фекального материала. Диффузные отеки и петехии всей слизистой желудка и кишечника. Печень увеличена, мягкая.

Общее впечатление: широко рассеянный геморрагический диатез (острый лучевой синдром); отек мозга и петехиальные геморрагии (возможно, вследствие септической токсемии).

5.4.2. Пациент № 2: L.F.2: девочка 6 лет, дата смерти 23 октября 1987 года

Внешний осмотр показал: тяжелый отек лица, шеи и верхней трети грудной клетки; бледность слизистых. Многочисленные участки алопеции. Многочисленные области петехии на всех кожных покровах, слизистых и конъюнктиве. Множественные очаги сухой десквамации эпидермы с участками гиперпигментации. Области изъязвления дермы, особенно на животе, припулковой области и голени. Обширные области некроза на ладони левой руки, захватывающие также пальцы. Темные пятна на подошвах ступней.

Внутреннее исследование показало: многочисленные очаги кровоизлияний в виде бляшек и пятен на всей скелетной мускулатуре. Значительные застойные явления во внутренних органах с участками кровоизлияний. Легкие и сердце в наибольшей степени затронуты диффузными кровоизлияниями. В полостях желудка и кишечника имеется геморрагический материал с примесью слизистой. Почечные лоханки со следами геморрагий. Экхимоз и петехиальные геморрагии обнаружены также в серозных оболочках, в мягких и паутинных оболочках церебральной области и продолговатого мозга. Спинномозговая жидкость чистая.

Общее впечатление: широко рассеянный геморрагический диатез (вследствие острого радиационного синдрома). Геморрагическая пневмония и геморрагический нефрит, миомаляция миокарда.

5.4.3. Пациент № 3: I.S.: мужчина 22 лет; дата смерти 27 октября 1987 года

Внешний осмотр показал: бледность слизистых; геморрагии конъюнктивы и слизистых, а также петехии кожи. Множественные депигментированные области десквамации дермы. Очаги некроза и локализо-

ванного воспаления. Эти поражения наиболее тяжелы на внутренних поверхностях бедер, мошонке и пенисе, а также в области ягодиц и паха. Имеются области десквамации эпидермиса и некроза на ладонях.

Внутреннее исследование показало: геморрагический экхимоз и петехии серозных оболочек, наиболее тяжелые в области перикарда. Легкие твердые, со следами геморрагий и плохой вентиляции. На поверхности среза видны слегка приподнятые желтоватые участки. Имеются фибриновые слипания в междольковых пространствах. Правый желудочек сердца увеличен. В межжелудочковой и субэндокардиальной областях миокарда обнаружены геморрагические петехии и экхимоз. На слизистой желудка и кишечника — петехиальные геморрагии. Общая гиперплазия лимфатических узлов. Гиперемия мягких и паутинных оболочек головного мозга.

Общее впечатление: двусторонняя геморрагическая бронхопневмония (вследствие облучения всего тела). Фиброзный плеврит, гипертрофия правого желудочка. Гиперплазия лимфатических узлов.

5.4.4. Пациент № 4: А.С.: мужчина 18 лет; дата смерти 28 октября 1987 года

Внешний осмотр показал: диффузная бледность слизистых. Повсеместная тяжелая алопеция. Многочисленные участки гиперхроматоза эпидермиса с десквамационными поражениями, но без воспалительных очагов. Имеется область десквамации с некрозом на ладони левой руки.

Внутреннее исследование показало: диффузные застойные явления во всех органах. Легкие увеличены, имеются области геморрагии, особенно во внутренних долях, где на поверхностях срезов видны небольшие приподнятые участки. Сердце увеличено, главным образом за счет увеличения правого желудочка. Геморрагические субэндокардиальные и субперикардиальные петехии. В желудке и кишечнике — петехиальные геморрагии слизистой. На скелетных мышцах — несколько геморрагических экхимозов, однако меньшей степени тяжести, чем у первых двух пациентов. В печени, селезенке, почках, поджелудочной железе и надпочечниках наблюдаются петехиальные геморрагии.

Общее впечатление: двусторонняя геморрагическая бронхопневмония. Генерализованный системный и кардиальный диатез (как следствие острого радиационного синдрома). Гипертрофия правого желудочка.

6. ДОЗИМЕТРИЯ

Когда была выявлена авария в Гоянии, с самого начала стало ясно, что облучению подверглось множество лиц и происходило оно в виде различных сочетаний внешнего облучения, загрязнения кожных покровов и попадания радиоактивных веществ в организм. В ходе первоначального скрининга потенциально облученных лиц использовались различные методы дозиметрии, проводилось последующее лечение пациентов и была сделана общая научная оценка происшествия. Применялись следующие основные методы дозиметрии:

- дозиметрия внутреннего облучения: биопробы и измерение активности всего тела;
- цитогенетические методы: оценка дозы с помощью анализа хромосомных aberrаций;
- дозиметрия внешнего облучения: оценка доз на основе воссоздания хода развития событий и радиационных эффектов.

Эти методы, необходимые для их применения средства, встретившиеся трудности и полученные результаты описываются в нижеследующих разделах.

6.1. ДОЗИМЕТРИЯ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

6.1.1. Методология

Потенциальные пути поступления активности в организм включали их поступление при дыхании (ингаляционное поступление), через желудочно-кишечный тракт (пероральное поступление) и поступление через раневые поражения. Ингаляционный путь поступления не был отнесен к числу главных, что в дальнейшем подтвердилось результатами радиационного контроля проб воздуха и другими данными. Первые шаги были направлены на выявление людей, у которых отмечалось поступление активности в организм, и были приняты неотложные меры для оценки уровня такого поступления методами радиационного контроля проб мочи и кала. В условиях высоких уровней активности отбор проб необходимо было проводить с чрезвычайной тщательностью, чтобы не допустить их перекрестного загрязнения. Пробы отбирались в Гоянии и отправлялись самолетами в Рио-де-Жанейро для анализа. Многие из первоначальных проб были настолько высоко активны, что носимые измерители мощности дозы давали высокие показатели. Поэтому именно такое простое средство радиационного контроля и использовалось для скрининга паци-

ТАБЛИЦА III. ИЗМЕНЕНИЯ 70-ЛЕТНЕЙ ОЖИДАЕМОЙ ДОЗЫ НА ЕДИНИЧНОЕ ПОСТУПЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОДНОКРАТНОГО ПОСТУПЛЕНИЯ ЦЕЗИЯ-137; БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ БЕРЛИНСКОЙ ЛАЗУРИ

Биотип	Процент активности, остающейся в организме по истечении 15 суток	Ожидаемая доза (Гр·Бк ⁻¹)
Новорожденный	66,7	$3,85 \times 10^{-8}$
Ребенок в возрасте 1 года	44,5	$7,82 \times 10^{-9}$
Ребенок в возрасте 5 лет	54,7	$7,13 \times 10^{-9}$
Ребенок в возрасте 10 лет	61,1	$7,22 \times 10^{-9}$
Ребенок в возрасте 15 лет	74,5	$9,76 \times 10^{-9}$
Взрослый мужчина	82,1	$9,94 \times 10^{-9}$
Взрослая женщина	82,1	$8,22 \times 10^{-9}$

ентов в больнице и для выявления проб, требовавших особого обращения. Для работы с биопробами были подготовлены стандарты по моче и калу для цезия-137. Позже потребовался фантом из пеленок одноразового пользования, поскольку выяснилось, что цезий-137 попал в организм ряда грудных детей.

Поскольку радиоактивному загрязнению подверглись люди широкого возрастного диапазона, было сочтено необходимым использовать повозрастное моделирование, с тем чтобы обеспечить врачей соответствующими данными, такими как поступление цезия, скорость экскреции и динамика формирования ожидаемых доз (доз, получаемых в различные периоды времени). Повозрастная модель, использованная для этих целей, была основана на данных, содержащихся в докладах Ок-Риджской национальной лаборатории³. Эти модели в дальнейшем оказались полезными также при оценке эффективности применения берлинской лазури для выведения активности из организма. Были разработаны модели для биотипов новорожденного, ребенка в возрасте 1 года, 5, 10 и 15 лет, а также взрослого человека. Эти повозрастные модели доказали свою полезность. В табл. III показаны изменения ожидаемой дозы на единичное поступление активности в зависимости от возраста.

³ OAK RIDGE LABORATORY, Estimating Dose Rates to Organs as a Function of Age Following Internal Exposure to Radionuclides, ORNL-TM-8265, Oak Ridge, TN (1984); also ORNL-TM-8385, Oak Ridge, TN.

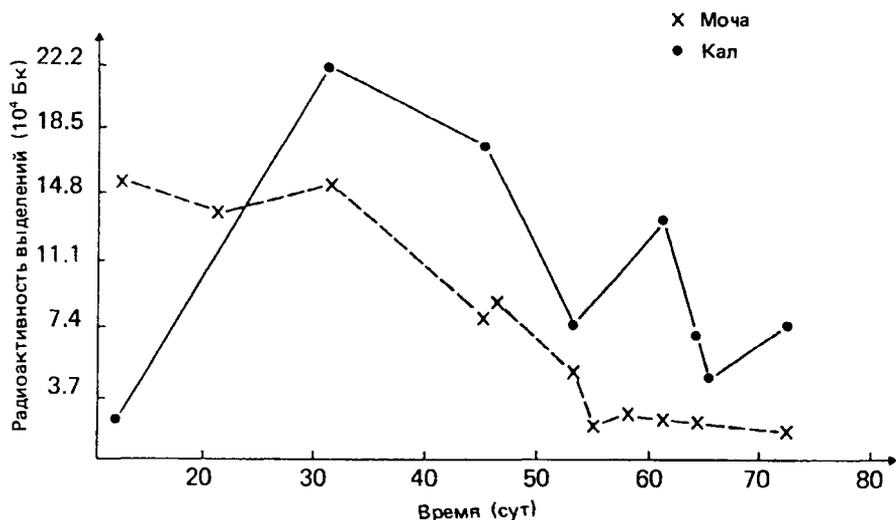


РИС. 12. Типичный пример влияния берлинской лазури на скорость выведения активности с выделениями пациента.

При проведении скрининга — массовой проверки индивидуумов — врачам необходимо было предоставить сведения об эффективности мер по выведению цезия-137 из организма, в частности об эффектах применения берлинской лазури. Считается, что изотопы цезия обычно выводятся из организма главным образом с мочой (80% с мочой и 20% с калом). Эффект берлинской лазури заключается в увеличении скорости выведения с калом. У лиц, в организм которых поступала активность, брались ежедневные анализы кала и мочи и так же ежедневно определялись соотношения экскреции цезия-137 с калом и мочой. Почти незамедлительно стало ясно, что в большинстве случаев эффект берлинской лазури заключался в значительном увеличении скорости экскреции с калом, причем до такой степени, что это становилось основным видом выведения радионуклида из организма. В некоторых случаях соотношения выведения с калом и мочой даже изменялись на обратные, составив величину 4:1 соответственно. В целом эффект определялся как функция дозы берлинской лазури и интенсивности метаболизма у пациента. Соотношение между количеством принятой пациентом берлинской лазури и скоростью выведения цезия из организма с калом с учетом влияния общих количеств отложившегося в организме цезия и факторов метаболизма все еще является предметом исследования. На рис. 12 показан типичный график скорости выведения цезия с калом и мочой.

Следующий шаг заключался в количественной оценке эффективности берлинской лазури в сокращении биологического полупериода удержания цезия в организме. Для достижения этой цели в начале ноября в Гоянии был установлен транспортный счетчик излучения человека. Лица с внутренним загрязнением радионуклидом подвергались периодическому радиационному контролю, частота сеансов которого зависела от количества активности, поступившей в организм каждого данного пациента, и от способа дезактивации. Три пациента из военно-морского госпиталя Марсилио Диас прошли перед возвращением в Гоянию радиационный контроль на установке ИРД по измерению активности всего тела, и полученные результаты соответствовали тем, которые были получены на импровизированной установке в Гоянии. Результаты различных измерений описаны в разделе 6.1.2.

После аварии в Гоянии для проведения связанных с ней работ была полностью выделена лаборатория в Рио-де-Жанейро. Ее оборудование вначале предназначалось для текущего анализа проб кала с низкими уровнями активности, и высокие уровни активности проб, отобранных у пациентов после аварии, послужили причиной некоторых трудностей. Так обстояло дело в основном на ранних стадиях после аварии, когда поступали также пробы в нестандартных упаковках и в результате могли подвергнуться загрязнению.

В лаборатории имелось два входа — один из внутренней части здания и один снаружи. Это очень помогло делу, так как дало возможность организовать стандартные процедуры радиационного контроля для персонала у входа из внутренней части здания, а также контроль поступлений и загрязнения проб у наружной двери.

Смежное помещение, к которому также имелся доступ снаружи, было превращено в склад прибывающих образцов радиоактивных материалов, ожидающих анализа или захоронения. Полы лаборатории были отделаны пластиковым покрытием для облегчения дезактивации. В течение первых четырех недель после инцидента девять человек проводили лабораторные измерения и еще два человека составляли группу оценки доз.

По истечении четырех недель после аварии потребности изменились, и в Центральной больнице Гоянии была установлена транспортная установка со счетчиком излучения человека. Этот счетчик был установлен в центре помещения размером 4,0 × 3,5 м, причем пол был покрыт семью слоями листового свинца толщиной по 2 мм. После ряда испытаний оказалось, что наилучшие результаты дает детектор на основе кристалла йодистого натрия [NaI(Tl)] диаметром 200 мм и толщиной 100 мм, коллимированный свинцовым экраном толщиной 50 мм и установленный на высоте примерно 2,2 м от пола. Под ним было установлено низкое кресло

из стекловолокна таким образом, чтобы его центр располагался примерно на 2 м ниже центра детектора.

Короткое время измерения (например, 2 мин) было продиктовано уровнями активности, большим потоком пациентов и осуществления мер дезактивации. Нижний порог детектирования при времени счета 2 минуты составил 9,1 кБк (247 нКи) при доверительном уровне 95%. Соблюдались нормальные процедуры счета *in vivo*, такие как смена одежды пациентов, учет их роста и веса.

Эта система действовала до 14 января 1988 года, когда установка со счетчиком излучения человека была перебазирована на rua-57 (57-ю улицу) и установлена вблизи от исходных очагов аварии. Эти районы к тому времени были дезактивированы, и НКЯЭ создала там лабораторию. Помещение, в котором был установлен счетчик излучения человека, было экранировано листовым свинцом толщиной 2 мм на стенах и свинцовой плитой толщиной 130 мм на полу. Средняя точка детектора помещалась в 2,2 м над полом и в 2 м над тем же креслом, которое использовалось для счета ранее (фотография 32). Порог детектирования активности времени измерения 2 мин счета составил 7,3 кБк (197 нКи).

К апрелю 1988 года в Гоянии на счетчике излучения человека прошли радиационный контроль 600 человек. Такой радиационный контроль *in vivo* потребовал работы двух-трех человек для обслуживания системы и обработки результатов на месте. В январе к транспортабельной установке по измерению активности всего организма на 57-й улице добавилась лаборатория по измерению уровней радиоактивности в выделениях организма; ее обслуживающий персонал составил еще три человека.

6.1.2. Общие результаты

В течение первых четырех недель после аварии вся информация о поступлении активности в организм людей получалась путем анализа выделений организма, который проводился в Рио-де-Жанейро. Такие измерения были признаны наиболее информативными из всех, которые можно было проводить в тот период. По данным этих измерений стало возможным отделить людей со значительными количествами поглощенного радионуклида от тех, у кого поглощение не наблюдалось, а также оценить ожидаемые дозы. В период с октября 1987 по январь 1988 года был проведен анализ более 4000 проб мочи и кала, взятых в общей сложности у 80 человек. На рис. 13 приводится диаграмма, показывающая частотное распределение поглощенных количеств цезия-137. Ожидаемая 70-летняя доза внутреннего облучения, которая была бы получена в отсутствие мер дезактивации, представлена на рис. 14. У шестилетней девочки, умершей 23 октября (L.F.2), поступление цезия-137 составило

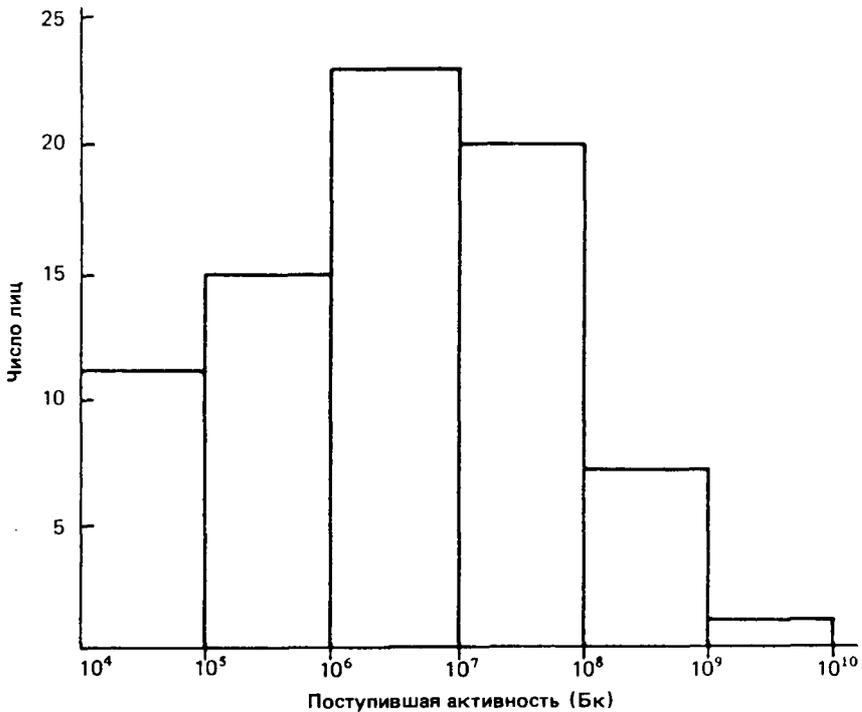


РИС. 13. Диаграмма частотного распределения количества радиоактивности, поступившей в организм пострадавших (оценка): число лиц в соотношении с уровнем радиоактивности в беккерелях.

1,0 ГБк (27 мКи) — наивысший зарегистрированный уровень, а оценка дозы внутреннего облучения к моменту смерти составила 4 Гр.

В целях оценки эффективности берлинской лазури в ускорении процесса дезактивации организма производился обратный расчет содержания радиоактивного материала в организме по данным выведения радионуклида с мочой; эти данные сопоставлялись с данными радиационного контроля всего организма. Статистический тест не показал значимых различий в содержании активности в организме, определявшемся с помощью контроля *in vivo* и по данным о выведении радионуклида с мочой. Это свидетельствует о нижеследующем:

- (а) снижающиеся уровни активности в моче, наблюдавшиеся по данным анализов мочи, отражали реальное снижение содержания активности в организме;
- (б) моделирование было осуществлено правильно и в данном случае получило подтверждение;

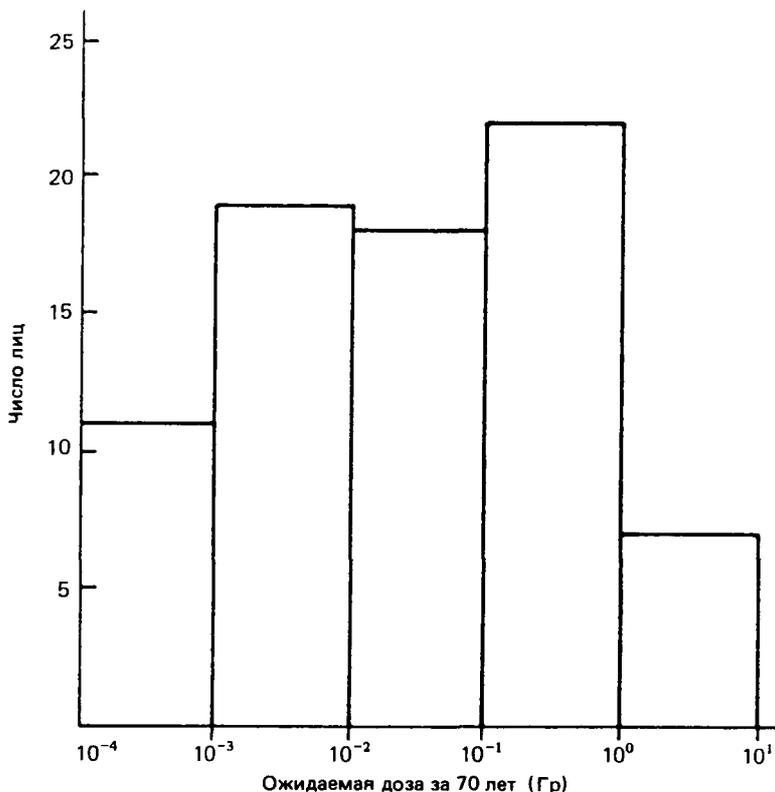


РИС. 14. Диаграмма частотного распределения прогнозируемых ожидаемых доз у пострадавших без дезактивационной терапии: число лиц в соотношении с 70-летней ожидаемой дозой в Гр.

(с) берлинская лазерь эффективно содействует выведению цезия-137 из организма при условии достаточно высоких доз (свыше $3 \text{ г} \cdot \text{сут}^{-1}$).

В настоящее время все еще проводится детальный анализ эффектов различной дозировки берлинской лазури с точки зрения ее влияния на биологический период полувыведения цезия-137 из организма. Однако первоначальные результаты, хотя они еще окончательно не уточнены, реально свидетельствуют о том, что это лекарственное вещество увеличивает скорость выведения цезия-137 из организма. В этом можно убедиться, например, по данным рис. 11, где показано содержание радиоактивного материала как функция времени в организме взрослого человека, добровольно прекратившего прием этого медикамента. После прекращения приема биологический период полувыведения, определенный по данным измерений на протяжении 120 дней, составил около 100 суток, что соот-

ветствует ожидаемому биологическому периоду полувыведения цезия-137 у взрослых. Биологический период полувыведения у этого индивидуума был более длительным по сравнению с тем, который определялся в условиях приема берлинской лазури. Следующий этап анализа результатов будет состоять в полной оценке снижения ожидаемых доз у 62 пациентов, принимавших берлинскую лазурь.

Был сделан вывод, что для ликвидации последствий чрезвычайного происшествия потребовался целый ряд мероприятий и средств:

- (a) необходимо наличие персонала, обладающего достаточной подготовкой и опытом, с тем чтобы он был способен адаптировать стандартные процедуры; в этом отношении особенно полезной оказалась учебная программа, финансируемая МАГАТЭ;
- (b) очень большую пользу для защиты здоровья персонала и сведения к минимуму перекрестного загрязнения проб принесла лаборатория для проведения измерений *in vitro*, где имелись два отдельных входа;
- (c) потребовалось устройство радиационного контроля *in vitro* с запасными детекторами и электронными приспособлениями, которое можно было отправить в Гоянию для создания там импровизированной установки радиационного контроля;
- (d) необходимы модели, связывающие данные анализа биопроб, содержание активности в организме и ожидаемые дозы; они должны быть применимы к различным радионуклидам и разным возрастным группам.

Ведется последующее исследование пострадавших. Основная его цель — определить реальные ожидаемые дозы пациентов с учетом воздействия принимавшихся доз берлинской лазури. Кроме того, как уже упоминалось, осуществляется непрерывная программа анализа биопроб и радиационного контроля всего организма, которая будет содействовать дальнейшему исследованию эффектов берлинской лазури. Однако одним из вносящих трудности факторов явится неоднобразие дозировки при лечении каждого отдельного пациента. Периодическими изменениями *in vivo*, в ходе которых проводится анализ проб крови, тканей раневых поражений и различных органов, охвачены 20 человек, с тем чтобы выявить возможное неравномерное распределение и удержание цезия в тканях организма. На особом учете состоит мать с новорожденным ребенком; изучаются механизмы удержания радионуклида в ее организме и его перехода к ребенку в результате грудного вскармливания.

Необходимо было иметь общие критерии для выписки пациентов из стационара, с тем чтобы они могли вернуться к месту жительства в условиях безопасности. Критерии радиационной безопасности, определявшие момент выписки пациентов из стационара, приведены в приложении II. Поскольку в период пребывания пациентов в стационаре стало ясно, что они не всегда выполняли такие требования, как хранение собственных выделений в бутылках, эти критерии выбирались с запасом.

6.2. ОЦЕНКА ДОЗ С ПОМОЩЬЮ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Пробы крови для анализа брались у всех, кто, по мнению членов медицинской бригады, потенциально мог получить дозы выше 0,1 Гр (в общей сложности 110 человек); полученный материал отправлялся в цитогенетическую лабораторию в Рио-де-Жанейро для оценки доз. Эта лаборатория была создана в 1983 году. В лаборатории используются стандартные процедуры и методы, описанные в Техническом докладе № 260 МАГАТЭ⁴. В период чрезвычайной ситуации после инцидента из лаборатории радиационной генетики и химического мутагенеза Лейденского государственного университета в Нидерландах были отправлены дополнительные партии важнейших химикатов (которых не было в Бразилии) для культивирования проб крови. Другие обычные лабораторные материалы имелись на месте.

Первые пробы крови были получены 2 октября, а в течение первой недели после этого было получено для анализа более 25 проб крови. Первыми анализировались пробы, взятые у десяти пострадавших, получивших наивысшие дозы и находившихся в военно-морском госпитале Марсилио Диас в Рио-де-Жанейро. Высевались пробы цельной крови, а по истечении 48 часов производился сбор лимфоцитов, которые подготавливались для хромосомного анализа. На этой начальной стадии в каждом случае производился анализ 100 клеток в целях предварительной оценки дозы. Подсчитывались aberrации хромосомного типа, а именно, дицентрики, хромосомы с центрическими кольцами и ацентрические фрагменты. Поскольку калибрационной кривой для цезия-137 в целях оценки доз не имелось, использовалась калибрационная кривая, полученная для гамма-излучения кобальта-60 при мощности дозы 0,12 Гр·мин⁻¹.

Первые результаты были получены через три дня после доставки проб крови. Для лиц, получивших высокие дозы, анализ 100 клеток оказался достаточным. Однако для оценки более низких доз (о чем свидетельствовала меньшая частота aberrаций) анализировались от 200 до 300 клеток. Быстрое сообщение результатов лечащим врачам помогало им в определении курса лечения пациентов. Распределение доз по данным цитогенетического анализа показано на рис. 15. Из него следует, что дозовые оценки превышали 1,0 Гр для 21 человека и 4,0 Гр для 8 человек. Ни одна из дозовых оценок не превышала 7,0 Гр.

В тех случаях, когда облучение всего тела было равномерным, частота aberrаций в лимфоцитах следовала пуассоновому распределению. Отклонение от пуассонового распределения (чрезмерная дисперсия) могло свидетельствовать о неравномерном облучении (облучении части

⁴ МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Биологическая дозиметрия: анализ хромосомных aberrаций в целях оценки дозы, Серия технических докладов, № 260, МАГАТЭ, Вена (1986).

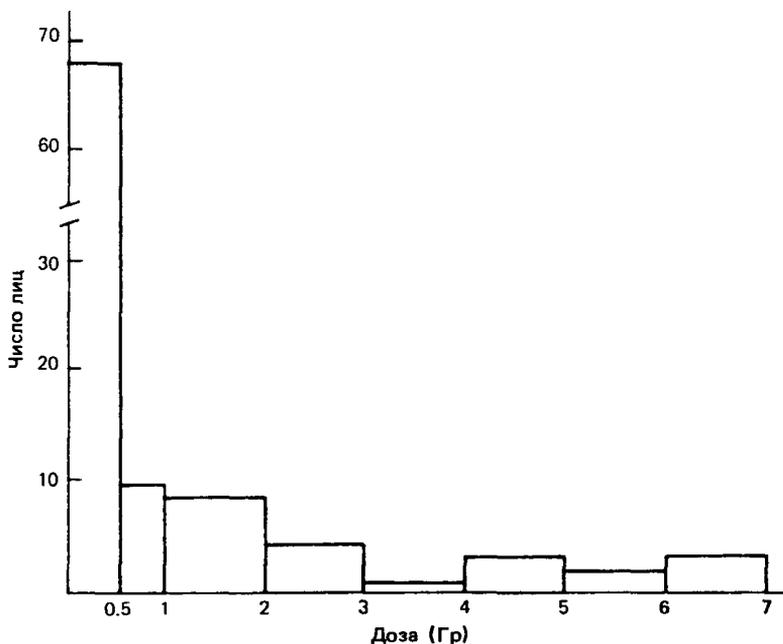


РИС. 15. Диаграмма частотного распределения цитогенетических оценок дозы у пострадавших: число лиц в соотношении с дозой в Гр.

тела). Предварительный анализ в отношении лиц, получивших, согласно оценке, дозы 0,5 Гр или более, показал, что шесть человек из этого числа были облучены неравномерно. Оценка доз на все тело для них составила 0,5; 0,6; 0,7; 1,3; 2,7 и 4,5 Гр. Хотя несколько других индивидуумов, получивших, согласно оценке, высокие дозы, также, возможно, подверглись неравномерному облучению (различные участки тела получали разные дозы), разрешающая способность анализа пуассонового распределения недостаточна для выявления этого.

Пробы крови направлялись для цитогенетического анализа также в другие страны. Полученные оценки доз были ниже, чем оцененные ранее. Эти расхождения не вызывают удивления, ибо на оценку доз могут повлиять такие факторы, как задержка инициации лимфоцитов в культуре (то есть гибель в интерфазе клеток, подвергшихся высоким уровням облучения), различия в критериях подсчета и использование разных калибрационных кривых (для острого или хронического облучения). Вывод заключается в том, что цитогенетические методы были чрезвычайно полезны в оценке полученных доз облучения.

Шесть пострадавших подверглись длительному наблюдению для выявления частоты аберраций в лимфоцитах в различные сроки после облучения. Были выявлены три общие схематические картины, а именно:

- (а) в двух случаях частота аберраций оставалась постоянной в течение одного месяца после облучения и снизилась примерно до 30% начальной частоты еще через 3 месяца;
- (б) в двух случаях наблюдалось постепенное снижение частоты примерно на 20% каждые три месяца; и
- (с) *в двух случаях наивысших доз внутреннего облучения наблюдалось увеличение частоты аберраций (на 50 и 100%) в течение трехмесячного периода.*

В течение пяти лет 15 отобранных индивидуумов будут подвергнуты дальнейшему наблюдению для выявления частоты как стабильных аберраций (транслокаций), так и нестабильных (дицентриков и центрических колец).

6.3. ДОЗИМЕТРИЯ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

В ситуации, создающейся непосредственно после радиационной аварии, оценка доз, основанная на мощностях дозы излучения в окружающей среде и воспроизведении последовательности событий, часто может дать полезную основу для начального отбора пациентов. Как только был выявлен факт аварии в Гоянии, стало ясно, что оценка доз, полученных пострадавшими, будет чрезвычайно затруднена из-за сложного сочетания внешнего и внутреннего облучения, причем геометрия внешнего облучения носила чрезвычайно сложный характер, а факторы времени в основном оставались неизвестными. Однако для целей отбора лиц были сделаны некоторые приблизительные оценки доз, а более детальные оценки делались в отношении четырех пациентов с наиболее ярко выраженными признаками. Это касается доз, полученных двумя лицами (G.S. и M.F.1), которые отвезли автобусом остатки блока, где помещался радиоактивный источник, в санитарное управление; дозы, полученной д-ром P.M. в санитарном управлении; и дозы внешнего облучения одного из пациентов (E.F.), который носил фрагмент источника в кармане брюк. Но даже эти дозовые оценки были сопряжены со значительными неопределенностями.

В дальнейшем были предприняты последующие попытки использовать документированные данные замеров мощности дозы и сведений о нахождении людей в помещениях, выявляемых на основе более детальной информации, полученной от пациентов. В связи с трудностями воспроизведения различных сценариев эти оценки еще не являются полными.

Параллельно с этим осуществляется несколько проектов с участием некоторых облученных лиц, в отношении которых может оказаться возможным использование усложненных методик количественного определения дозы. Например, используется методология электронного резонанса для дозиметрии костей и зубов, а в отношении тех объектов, которые могут служить индикаторами полученных доз, используется термолюминесцентная дозиметрия.

Часть III

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: ОЦЕНКА И МЕРЫ ПО ЕГО ЛИКВИДАЦИИ

7. ВВЕДЕНИЕ И ОТЧЕТ О ПРОВЕДЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЯХ

8. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

9. ДЕЗАКТИВАЦИЯ

10. УДАЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

7. ВВЕДЕНИЕ И ОТЧЕТ О ПРОВЕДЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЯХ

7.1. ВВЕДЕНИЕ

При подготовке плана действий на случай аварийной радиологической ситуации и при описании имевших место радиационных аварий полезно рассматривать такие события поэтапно. Применительно к возможным авариям на ядерно-энергетических установках на подготовку таких планов были затрачены значительные усилия⁵.

Масштабы радиационных аварий, не связанных с ядерной энергетикой, обычно на несколько порядков величины меньше масштаба потенциальных аварий на ядерно-энергетических установках, и поэтому планирование связанных с ними работ и их деление на возможные стадии тяготеют к большей простоте. Действительно, для большинства таких инцидентов проведение необходимых работ может быть условно разделено на два временных периода или этапа:

- (a) *Начальный этап* экстренных мер, когда необходимо:
 - (i) определить потенциальные источники острого облучения, и
 - (ii) взять облучение под контроль.
- (b) *Восстановительный период*, когда неотложные меры более не требуются, целью становится нормализация обстановки.

Однако с увеличением масштаба и сложности событий появляется тенденция к размыванию различий между их этапами и к появлению более мелких этапов, которые могут иметь неодинаковую продолжительность для различных сторон аварии.

В разделе 7 дан обзор работ физико-технического характера в связи с аварией в Гоянии, проводившихся с момента обнаружения этого происшествия 28 сентября 1987 года и вплоть до марта 1988 года. Конкретные аспекты этих работ, такие как оценка состояния окружающей среды, дезактивация и удаление отходов, более детально рассмотрены в разделах 8–10. Далее в разделе 7 дается поэтапное описание применительно к событиям в Гоянии.

⁵ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОМИССИЯ ПО РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ, Защита населения в случае крупных радиационных аварий: принципы планирования, публикация № 40, Пергамон Пресс, Оксфорд и Нью-Йорк (1984).

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Принципы установления уровней вмешательства при защите населения в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации, Серия изданий по безопасности, № 72, МАГАТЭ, Вена (1985).

7.2. ОБЩИЙ ОБЗОР

Основными очагами радиоактивного загрязнения в описываемом инциденте оказались дворы, где сборка с источником была выломана из защитного экрана, его капсула разрушена, и основным объектом поражения оказались места проживания людей. Они располагались главным образом в пределах зоны площадью около 1 км² в городских районах аэропорта, центра и железнодорожного вокзала, хотя незначительные очаги загрязнения имелись и в других местах. Потребовалось почти 11 недель интенсивных работ, чтобы осуществить радиационный контроль и дезактивацию сильно загрязненных участков в этой зоне, и еще три месяца для ликвидации остаточных низких уровней загрязнения.

На начальной стадии работ первостепенными задачами были:

- (а) определение основных районов загрязнения;
- (б) эвакуация жителей домов, где уровни радиоактивного загрязнения превышали установленный предел;
- (с) установление дозиметрического контроля вокруг этих районов, запрещения доступа в них там, где это необходимо;
- (д) обнаружение лиц, получивших значительные дозы облучения или загрязненных радиоактивными веществами.

В основном эти цели были достигнуты к субботе 3 октября; к этому времени было обнаружено семь главных очагов радиоактивного загрязнения (см. рис. 16). Ретроспективно этот день можно рассматривать как завершающий начальную стадию экстренных мер, когда под контроль были взяты основные источники опасности. Тем не менее, как будет видно из дальнейшего, впоследствии удалось обнаружить и взять под контроль еще несколько зон, загрязненных в меньшей степени.

Неделя с 3 по 10 октября может быть представлена как период укрепления достигнутых позиций и разработки генеральной программы восстановительных работ. Подготовка этой программы включала оценку необходимых ресурсов персонала, оборудования и материалов. Сконцентрировать необходимые ресурсы в месте, удаленном примерно на 1000 км от главных радиологических центров, было весьма сложно. Здесь оказалась полезной Группа административно-хозяйственного и материально-технического обеспечения (ГАЛА), созданная в рамках аварийного плана АЭС Ангра, особенно в части ее контактов с военно-воздушными силами Бразилии для решения транспортных задач. ГАЛА составила основу такого материально-технического обеспечения, однако опыт показал необходимость импровизации и наличия административных полномочий для преодоления бюрократизма.

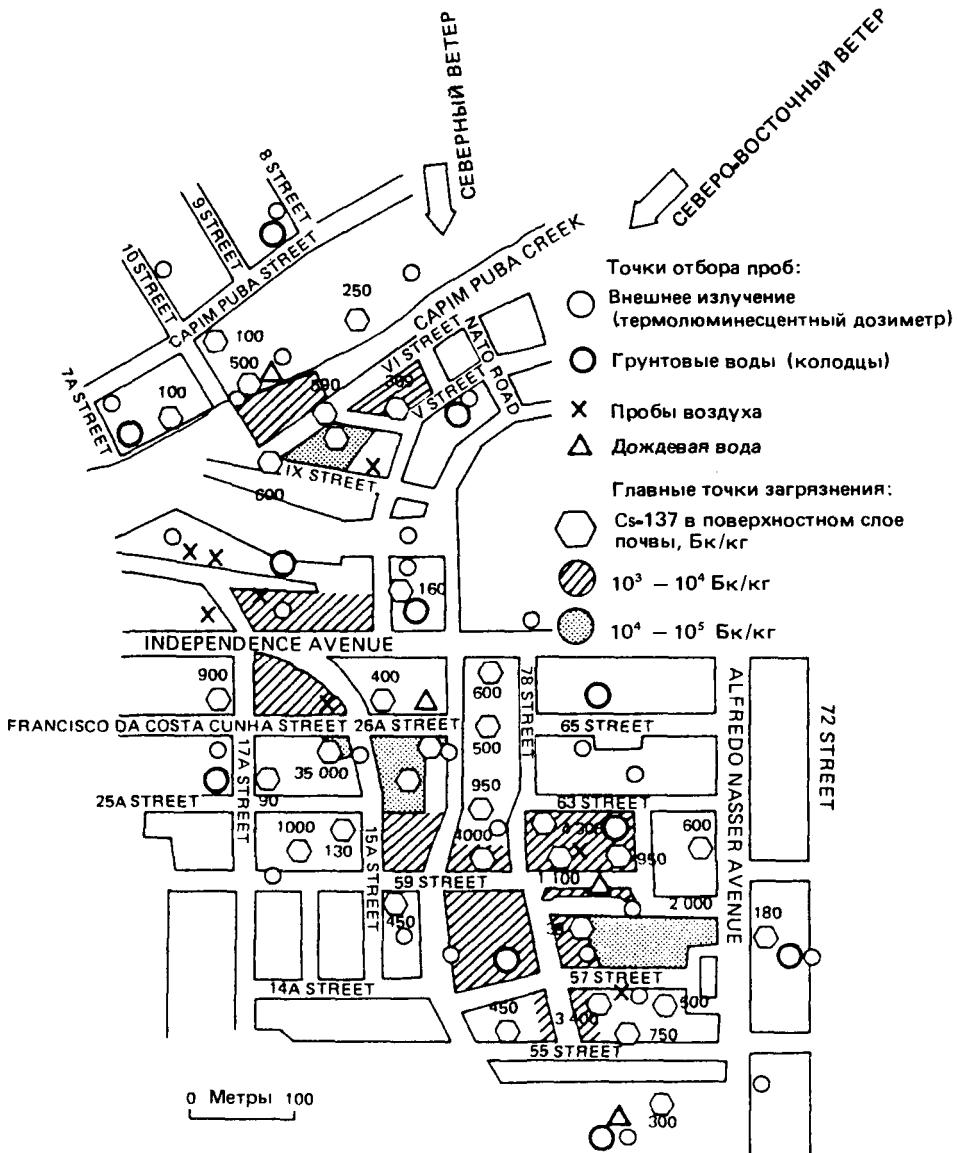


РИС.16. План района Гоянии, прилегающего к аэропорту, на котором показано расположение основных участков загрязнения и точек отбора проб.

Хотя некоторые мероприятия по ликвидации последствий инцидента, например бетонирование остатков источника во дворе санитарного управления, были проведены еще на начальном этапе работ, уже на самой ранней стадии было решено, что основные работы по дезактивации должны проводиться после широкого радиологического обследования района загрязнения и подготовки места для хранилища отходов. Предварительно были выработаны письменные инструкции, критерии проведения операций и процедуры контроля качества. Общая программа радиационного контроля местности включала несколько элементов. Прежде всего необходимо было обеспечить невозможность упустить из виду любые районы значительного загрязнения. Использовались два основных метода контроля:

- (а) 7 и 8 октября с помощью детекторов, размещенных на вертолете, проводилась аэросъемка города по методике, принятой для авиационной геофизической съемки.
- (б) Теми же приборами, которые использовались на вертолете, в дальнейшем установленными на автомобиле, проводился предварительный радиационный контроль сети городских улиц. В это же время с другого автомобиля, оборудованного термолюминесцентными детекторами на йодистом натрии размером 2 x 2 дюйма, велась проверка различных районов города в поисках возможных новых очагов загрязнения. Более точные измерения были проведены позже с помощью детекторов, смонтированных в заднем отделении автомобиля с кузовом "универсал" (фотография б).

Кроме того, госпитализированных пациентов и жителей загрязненных домов опрашивали о возможных посетителях и об их собственных передвижениях в течение соответствующего периода, что позволяло выявить возможные пути распространения радиоактивного загрязнения, и действительно, в городе и за его пределами были найдены еще 42 участка, подвергшихся меньшему загрязнению. Нельзя недооценивать важность такого опроса пострадавших, так как это позволяет правильно использовать ресурсы радиационного контроля и делает их использование наиболее эффективным. Для контроля общественных мест, жилищ и таких объектов, как автомобили, необходимо было провести большое количество измерений с помощью переносных приборов. Проверке подвергалось также множество других предметов, включая — в основном для успокоения населения — банкноты.

Уже на начальном этапе были также предприняты действия по организации системы наблюдения, чтобы установить, имел ли место перенос радиоактивного загрязнения различными водными путями, особенно чтобы удостовериться, что радиоактивному загрязнению не подверглись

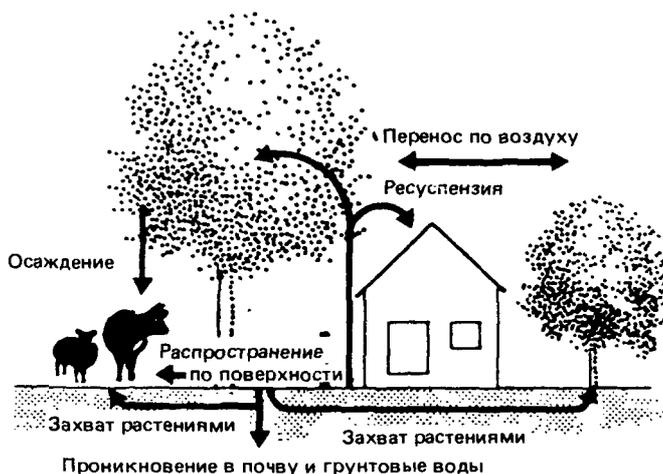


РИС.17. Пути распространения загрязнения цезием.

источники питьевой воды, каким бы маловероятным это ни представлялось. В октябре отбор проб для радиологического анализа не был систематическим и проводился по заявкам местных властей и в целях проверки утверждений населения. В целях контроля всех путей распространения радиоактивного загрязнения в окружающей среде позже была разработана и утверждена сеть отбора проб (пути распространения цезиевого загрязнения показаны на рис. 17).

Результаты этих мер радиационного контроля и оценки состояния окружающей среды показали необходимость различных восстановительных мероприятий, таких как химическая дезактивация, удаление верхнего слоя почвы, сбор загрязненной одежды и продукции, выраженной на участках около домов. Достаточно рано стало очевидным, что придется иметь дело с большим количеством радиоактивных отходов, и к 3 октября были приняты к рассмотрению соответствующие планы работ. Очевидной трудностью оказалась подготовка под эти отходы необходимого количества подходящих емкостей. Их характеристики в известной степени зависели от особенностей места размещения отходов, транспортных средств и режимных требований. Как и следовало ожидать, инцидент вызвал широкую негативную реакцию со стороны населения ко всему, что связано с радиацией, и поэтому выбор места хранения отходов был сопряжен с необходимостью учета политических обстоятельств и произошел с некоторой задержкой. Размещение хранилища где-либо в Гоянии исключалось. 16 октября было выбрано место в 20 км от города, объявленное, однако, лишь временным.

Решение вопросов, связанных с расположением места хранения отходов, его проектированием и строительством, заняло больше времени, чем предполагалось. Только к середине ноября стало возможным начать основные работы по дезактивации. До этого деятельность ограничивалась в основном приготовлениями и принятием мер по предотвращению ухудшения ситуации. Эти приготовления включали:

- (a) проектирование и производство контейнеров для отходов;
- (b) сборку необходимых для основной дезактивации тяжелых механизмов, таких как экскаваторы и автопогрузчики;
- (c) приведение оперативных инструкций в соответствии с требованиями обстановки;
- (d) испытание различных методов дезактивации;
- (e) построение графика работ.

В действительности некоторая дезактивация уже велась, но вне главных очагов загрязнения, причем она была сосредоточена на внутренних помещениях домов, откуда было эвакуировано население.

Отсутствие хранилища отходов и накопление материально-технических и политических проблем привели к некоторой потере темпа работ. Новый импульс придали программе следующие действия:

- (a) председатель НКЯЭ решил лично возглавить работы в Гоянии, что уменьшило количество инстанций при принятии решений местными и федеральными властями;
- (b) Гоянию посетил президент Республики;
- (c) был установлен срок 21 декабря для завершения дезактивации основных районов загрязнения, что позволило бы эвакуированным и участникам аварийных работ вернуться домой к Рождеству.

К этому времени персонал, занятый в связи с инцидентом в Гоянии, насчитывал около 250 профессиональных работников и технического персонала, а также еще 300 человек для вспомогательных работ, транспортировки, сноса построек и т. д. Значительная работа велась также штаб-квартирой и институтами НКЯЭ в Рио-де-Жанейро и Сан-Паулу, обеспечившими функционирование различных аналитических и дозиметрических служб. Завершение работ к контрольному сроку 21 декабря было обеспечено ежедневной работой 12-часовыми сменами, часто в неблагоприятных погодных условиях.

Этим знаменовалось завершение той части работ, которая может быть названа этапом “сдерживания” в том смысле, что остающееся загрязнение уже не могло создать значительной опасности в краткосрочном плане. До этого любая небрежность в работе систем контроля или угроза сильной бури, которая была весьма реальной, могли возобновить

распространение загрязнения. Однако еще оставалась необходимость дальнейших восстановительных работ в отношении загрязненных районов вокруг главных очагов, где уровни радиоактивности уже не были столь высокими, и, следовательно, эти районы теперь могли быть подвергнуты контролю и обработке. На этом этапе не требовались тяжелые механизмы, использовались только ручной труд и химическая обработка. Фактор времени более не был критическим, что позволило разработать и принять оптимальные методики работ. Эта деятельность возобновилась после Рождества и продолжалась до марта 1988 года.

Оглядываясь назад, можно выделить, по-видимому, три главных составных элемента работ, а именно:

- (a) установление контроля;
- (b) сдерживание разрастания проблемы;
- (c) восстановительные работы.

Эти три элемента и два главных этапа аварии перекрываются во времени. Например, хотя контроль над событиями был установлен в течение пяти дней, составляющих начальный этап, впоследствии были обнаружены другие, менее загрязненные районы, что потребовало организации дополнительного контроля. Накопление опыта и обратная связь — это также важные элементы работы, о которых часто забывают. В этом отношении важно отметить, что факты, связанные с таким инцидентом, должны быть как можно скорее документированы, поскольку с течением времени они обычно стираются из памяти. Чтобы извлечь уроки из опыта подобных инцидентов и использовать их для повышения аварийной готовности, должны быть в полной мере использованы все возможности.

7.3. КРИТЕРИИ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ МЕР

В ходе всех работ по ликвидации последствий аварии использовался ряд дозовых критериев, на основе которых устанавливались уровни вмешательства в отношении измеримых величин. Эти уровни подробнее обсуждаются в следующих разделах, однако принципы, положенные в их основу, и дозовые критерии рассматриваются в настоящем разделе.

7.3.1. Эвакуация

Руководящие принципы в отношении уровней вмешательства при защите населения в случае ядерной аварии или радиологической аварийной ситуации были изданы как МКРЗ, так и МАГАТЭ (раздел 7.1), и эти доклады совместимы по своему смыслу. По сравнению с любыми другими защитными мероприятиями при радиационном инциденте эвакуация

в наибольшей степени нарушает нормальное течение жизни людей, и поэтому решение о ее проведении должно приниматься в свете сложившихся конкретных обстоятельств. Однако в двух вышеупомянутых докладах установлено, что эвакуация обычно не предполагается при уровне дозы до 50 мЗв в год, и почти наверняка должна быть осуществлена при дозах свыше 500 мЗв в год.

Как разъяснялось в разделе 4, решение об эвакуации жителей было принято физиком W.F. на основе выведенной допустимой мощности дозы $2,5 \text{ мкЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$ на высоте 1 м внутри помещения. Этот норматив вытекает из упомянутого предела дозы для населения, равного 5 мЗв в год для неаварийного (предвидимого) облучения. При тех обстоятельствах, которые сопутствовали обнаружению аварии в Гоянии, и из-за невозможности быстро рассчитать составляющие дозы от поступления активности в организм людей, не следовало ожидать детальной проработки концептуальной основы для принятия такого решения. В течение нескольких первых дней работавшая в Гоянии группа сотрудников НКЯЭ продолжала пользоваться этим простым критерием. По прошествии примерно недели критерий для эвакуации был ослаблен до величины мощности дозы $10 \text{ мкЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$. Этот новый показатель по-прежнему основывался на пределе дозы 5 мЗв в год, но теперь были учтены некоторые факторы, модифицирующие дозу, и соответствующие им коэффициенты. Эти коэффициенты с возможными диапазонами значений (от 0 до 1), приведенными в скобках, составили:

- (a) коэффициент нахождения в помещении (от 0,30 до 0,75);
- (b) коэффициент географического распределения — соотношение средней и максимальной мощности дозы (от 0,1 до 0,2); и
- (c) коэффициент временного распределения, отражающий снижение радиоактивности вследствие, например, очистке или ветровой миграции (от 0,1 до 0,4).

В каждом случае использовалась наиболее консервативная (максимальная) величина. Хотя в то время была разработана детальная методика для осуществления более сложной программы действий, и приняты критерии, основанные на более высоких дозовых уровнях, они так и не были применены, поскольку авария в Гоянии официально не была объявлена чрезвычайной. Принятый подход складывался в условиях значительного политического и общественного давления и нежелания рассматривать аварию как чрезвычайную, сколько-нибудь сравнимую с возможной ядерно-энергетической аварией.

Лицам, принимающим решения, следует иметь в виду, что установление ограничительного (заниженного) критерия (5 мЗв в год) сопряжено с серьезным экономическим и социальным бременем, которое может

быть еще более усугублено при использовании совокупных пессимистических критериев для установления уровня, требующего принятия мер.

7.3.2. Восстановительные работы

Был проведен в жизнь целый ряд восстановительных мероприятий, таких как дезактивация имущества, сбор загрязненной одежды, удаление загрязненного слоя почвы и установление ограничений на потребление продуктов питания домашнего производства вблизи от главных очагов загрязнения. Дозовый критерий был установлен таким образом, чтобы доза для критической группы населения не превысила за первый год 5 мЗв. Уровни для принятия различных мер выводились из этого критерия, а впоследствии долгосрочные дозы оценивались на основе критерия менее 1 мЗв в год. Было установлено, что критерий 5 мЗв является ограничивающим фактором.

Было признано, что существует несколько возможных путей облучения (см. рис. 17), и верхние пределы дозы за первый год для каждого из основных путей поступления были установлены следующим образом:

- (а) внутри помещений (внешнее облучение): 1 мЗв;
- (б) вне помещений (поступление от загрязненной почвы): 4 мЗв; этот предел разделен на две части: 3 мЗв от внешнего облучения и 1 мЗв от внутреннего облучения, например от загрязненных фруктов и других продуктов питания.

Верхний предел допустимой дозы при облучении внутри помещений относился только к внешнему облучению (в основном связанному с загрязнением крыш), так как считалось, что при установленном пределе поверхностного загрязнения долей внутреннего облучения можно будет пренебречь. Этот предел, требующий принятия мер, был принят равным $37 \text{ кБк} \cdot \text{м}^{-2}$, что соответствует уровню радиоактивности, установленному основными нормативами НКЯЭ для незагрязненной местности. Применительно к внешнему облучению коэффициент времени нахождения в помещении был принят равным 0,5 (12 ч в сут), что дало критерий для принятия мер по дезактивации, равный $0,5 \text{ мЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$ с учетом мощности дозы за счет естественного фона.

Как уже упоминалось, дозовые критерии, и модели для расчета уровней, требующих принятия мер (см. последующие разделы), были выбраны в обстановке сильного общественного и политического давления. Следует отметить, что избранные величины больше применимы к нормальным условиям, чем к той ситуации, которая сложилась непосредственно после инцидента.

Использование модели бесконечного плоского источника при пределе дозы 3 мЗв для внешнего облучения от почвы, коэффициенте пребывания в доме и на приусадебной территории, равном 0,5 (12 ч в сут), и мощности дозы природного радиационного фона $0,2 \text{ мкЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$ дало уровень, требующий принятия мер, $1,0 \text{ мкЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$. Эта величина соответствует поверхностной радиоактивности $430 \text{ кБк} \cdot \text{м}^{-2}$, или $22,5 \text{ кБк} \cdot \text{кг}^{-1}$ для 15-миллиметрового верхнего слоя почвы, где содержался максимум активности. Предел загрязнения, требующий проведения исследования, был установлен на уровне $10^4 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$.

Прогноз ожидаемой эффективной эквивалентной дозы от использования приусадебных садов и огородов в течение первого года после аварии при данной радиоактивности почвы составил 1 мЗв. Прогноз был составлен на основе данных по отдельным участкам с использованием модели, описанной в Серии изданий по безопасности, № 57⁶. Учитываемые пути поступления радионуклида внутрь организма включали употребление в пищу загрязненных фруктов, кур, яиц, свинины и зелени (вдыхание радиоактивных веществ в результате вторичного пылеобразования считалось несущественным). Однако для фруктов, уже загрязненных за счет начального осаждения радиоактивных веществ после инцидента, был установлен расчетный уровень радиоактивности $650 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$, требующий подрезания веток деревьев и уборки плодов, что соответствует нормам Бразилии для пищевых продуктов.

⁶ МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Общие модели и параметры для оценки переноса в окружающей среде радионуклидов из обычных источников: облучение критических групп, Серия изданий по безопасности, № 57, МАГАТЭ, Вена (1982).

8. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

8.1. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

На начальной стадии группа реагирования приняла к сведению общую картину расположения районов и степени радиоактивного загрязнения. Было выявлено семь основных районов загрязнения, находившихся главным образом в урбанизированных пригородах, для которых типичны приусадебные огороды и сады; владельцы некоторых домов разводят кур. Все дома снабжены водопроводом и подключены к системе канализации. В ряде мест есть артезианские скважины, но они используются только в случае длительной нехватки воды. Сточные и дождевые воды сбрасываются в ручей Капим-Пуба — приток реки Мея-Понти, пересекающей Гоянию с северо-востока на юго-запад (рис. 18).

Согласно метеорологическим данным министерства сельского хозяйства Бразилии, в Гоянии 21 сентября выпало 25,2 мм осадков, 23 сентября — 18,4 мм; затем дождя не было до 27–28 сентября, когда в течение двух дней выпало 8,7 мм осадков. Дождям предшествовали ветры и очень высокие температуры воздуха. В течение более 15 дней до обнаружения инцидента средняя температура воздуха была 26,4°C.

Хлорид цезия обладает высокой растворимостью, поэтому дожди усилили его распространение из разрушенной капсулы источника в окружающую среду. Вначале предполагалось, что из-за сильных ливней радиоактивное загрязнение будет либо смыто в глинный слой почвы и там удержано, либо будет унесено водой. Однако этого не произошло.

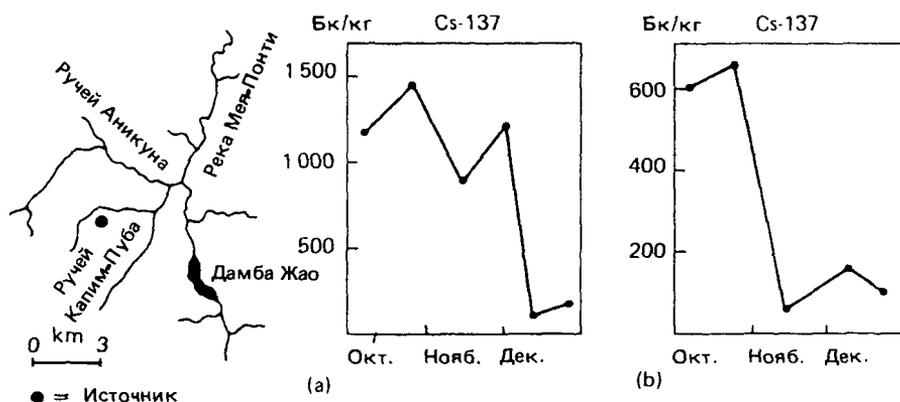


РИС. 18. Схема речной сети в Гоянии и графики концентрации цезия-137 по месяцам в образцах донных отложений, отобранных (а) в ручье Аникуна и (б) у дамбы Жао.

Высокая температура воздуха способствовала быстрому высыханию почвы, а сильные ветры вызвали повторное распыление и рассеивание радиоактивных веществ. Результат оказался неожиданным: для некоторых домов загрязнение кровли стало главным источником излучения внутри помещения, что сделало необходимым удаление черепицы с крыш.

Помимо этих естественных процессов, происходил перенос радиоактивных материалов людьми, проходящими через места загрязнения, а также имелись случаи выноса загрязненных бытовых отходов в заброшенные сады.

8.2. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

8.2.1. Радиационный контроль с воздуха

В начальный период работ по ликвидации последствий инцидента необходимо было убедиться в том, что выявлены действительно все главные источники загрязнения. Для этого 7 и 8 октября проводилась аэрограмма Гоянии с вертолета. Использовался портативный гамма-спектрометр с питанием от батарей, снабженный детекторами на кристаллах йодистого натрия $[\text{NaI}(\text{TI})]$ общим объемом 840 см^3 . После проверки на земле был проведен пробный полет вдали от загрязненных участков для измерения местного природного радиационного фона. Специальные испытания подтвердили, что нисходящий поток воздуха от ротора не приводит к существенному распылению и дополнительному рассеиванию загрязнения. Большая часть съемок проводилась с высоты 40 м, при этом эффективно контролировался круг радиусом 80 м. Горизонтальная скорость составляла от 50 до 70 км/ч. В течение двух дней была проведена съемка всех городских районов Гоянии (около 67 км^2). Это подтвердило, что ни один из основных очагов загрязнения не был пропущен, и, кроме того, был найден отдельный участок загрязнения с мощностью дозы до $21 \text{ мЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$ на высоте 1 м (на рис. 19 показана типичная непрерывная запись уровня излучения, полученная над загрязненными районами).

8.2.2. Радиационный контроль с помощью автомобиля

Контроль с воздуха не гарантировал обнаружение всех участков с меньшей степенью загрязнения, особенно вблизи сильно загрязненных мест, создающих повышенный фон излучения. Поэтому была необходима дополнительная система контроля, также способная охватывать большие площади, но не столь трудоемкая, как контроль с помощью переносных

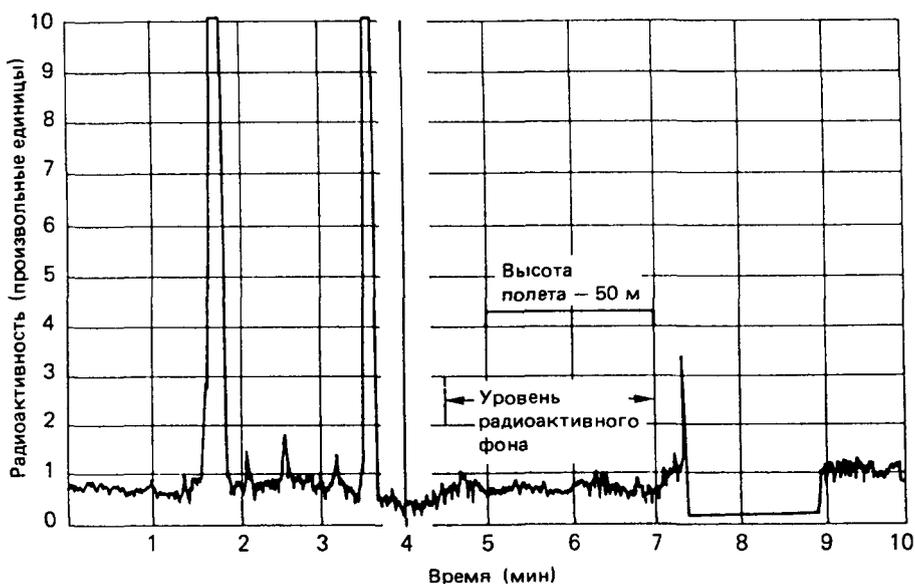


РИС.19. Запись самописца в ходе радиационного контроля с воздуха. Уровень природного радиационного фона определялся с высоты 50 м над открытой местностью в стороне от загрязненного района Гоянии. Пики показывают радиометрические аномалии над загрязненными участками.

приборов. Эти потребности первоначально удалось удовлетворить путем установки на автомобиле тех же детекторов, которые использовались на вертолетах, и радиационного контроля районов, прилегающих к главным очагам загрязнения, а также некоторых других районов города. Кроме того, для наблюдения за рамками и с целью поиска новых очагов загрязнения в различных районах города использовался такой же установленный на автомобиле детектор с кристаллом йодистого натрия. Позже в заднем отделении автомобиля был смонтирован комплекс детекторов (фотография 6). Использовались детекторы на йодистом натрия размером 100×100 мм и счетчики Гейгера-Мюллера. Поскольку оказалось, что электроника чувствительна к температурным колебаниям, потребовался автомобиль с кондиционированием воздуха. Программа радиационного контроля осуществлялась в два этапа. Первый продолжался до декабря и имел главной целью контроль районов вне основных очагов загрязнения. После Рождества был проведен повторный контроль после дезактивации очагов.

8.2.3. Использование переносных приборов

Более точные измерения мощности дозы проводились вблизи главных очагов загрязнения.

На рис. 16, где отображена эта обширная программа измерений, показан широкий диапазон мощностей доз и поясов загрязнения почвы вокруг нескольких главных очагов. Более детальные измерения мощности дозы отображены на рис. 20 (для дома и двора, где впервые была вскрыта капсула источника), а также на рис. 21 и 22. На рис. 23 показан типичный менее загрязненный участок, куда радиоактивные вещества были принесены хозяевами и их гостями.

8.3. КОНТРОЛЬ ЗА СОСТОЯНИЕМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Чтобы количественно определить степень рассеяния цезия в окружающей среде, потребовалось более 1300 измерений радиоактивности цезия-137 в почве, растениях, воде и воздухе. Акцент был сделан на исследование вблизи от главных очагов загрязнения (в радиусе 50 м). Первоначально использовался многоканальный анализатор с кристаллом йодистого натрия (NaI) размером 2 × 2 дюйма, который был установлен в специальной лаборатории, организованной в Гоянии к середине октября. Однако оказалось, что для коротких (10 мин) времен измерений одноканальный анализатор с кристаллом NaI размером 3 × 3 дюйма обладает достаточной чувствительностью, так как в пробах присутствовал только цезий-137. (Это означает, что приборы могут быть значительно проще тех, которые потребовались бы в результате аварий, приводящих к загрязнению многими радионуклидами.)

8.3.1. Почва

Распределение уровней активности примерно 400 образцов почвы показано на рис. 16. Эти уровни лежат в пределах от 102 до 105 Бк·кг⁻¹ и уменьшаются по мере удаления от главных очагов загрязнения. Распределение активности почвы отражает преимущественное направление ветра, демонстрируя эффекты повторного распыления и рассеивания. Вертикальные профили почвы, полученные позже, показали, что при любой удельной активности поверхности верхний слой почвы толщиной 15 мм содержит в среднем 60% цезия (фотография 19).

8.3.2. Растительность

В тех же местах, где отбирались пробы почвы, были собраны для анализа 263 образца растительности, включая листья, ветви и плоды.



Снесенная постройка

0 Метры 12

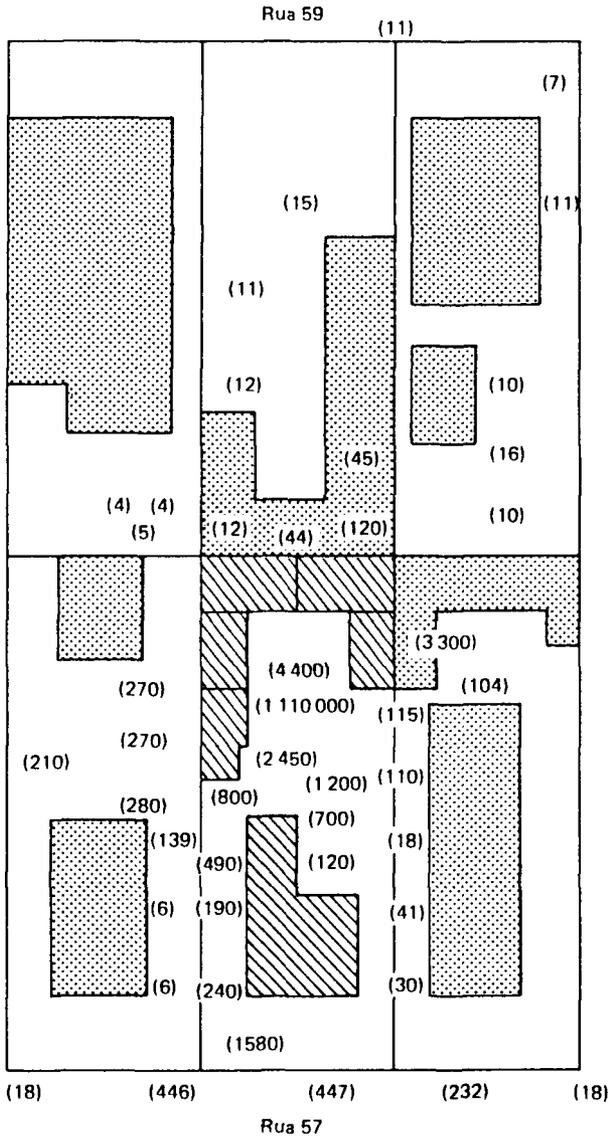


РИС.20. Мощности дозы (в $\text{мкЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$) вокруг дома Р.А. на 57-й улице.

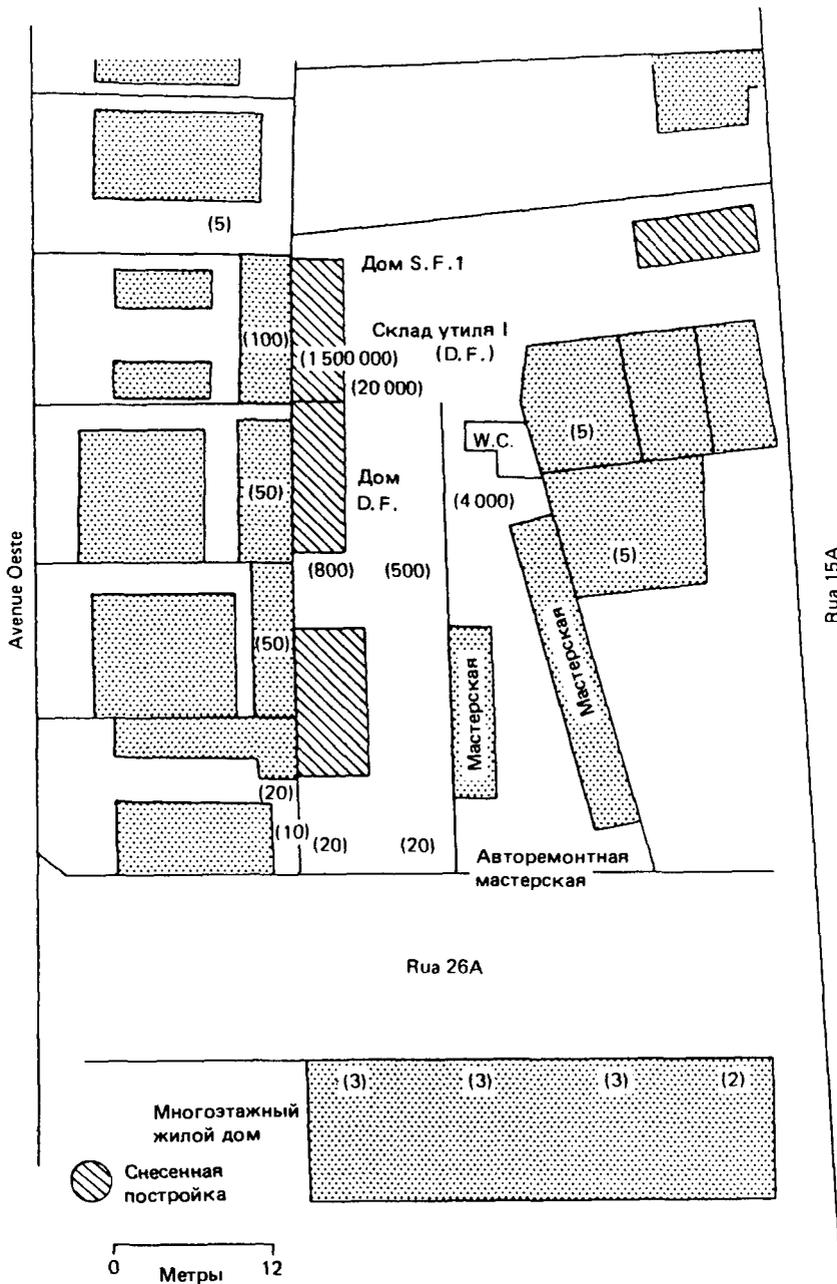


РИС. 21. Мощности дозы (в $\text{мкЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$) вокруг дома D.F. на улице 15А.

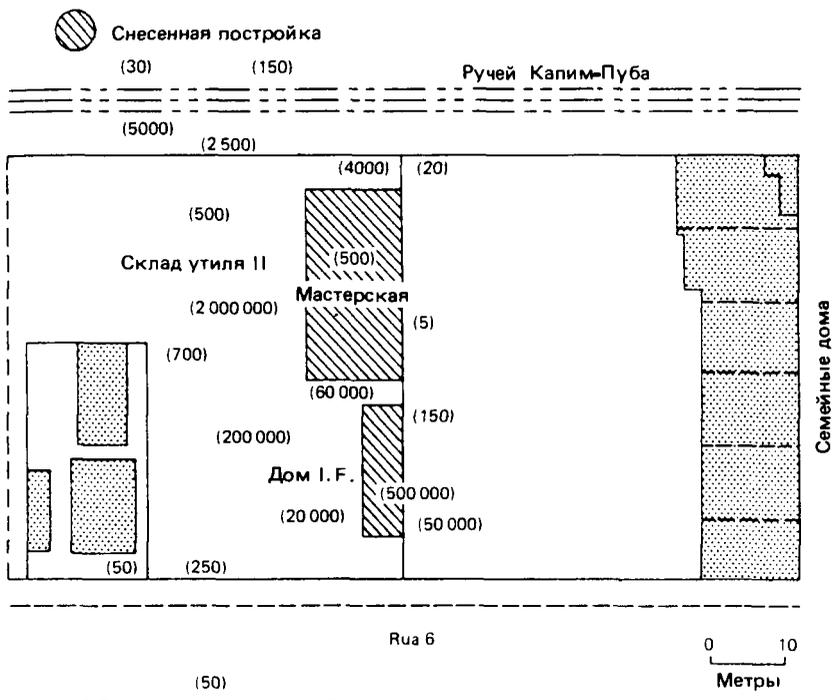


РИС. 22. Мощности дозы (в $\text{мкЗ} \cdot \text{ч}^{-1}$) вокруг дома I. F. на 6-й улице.

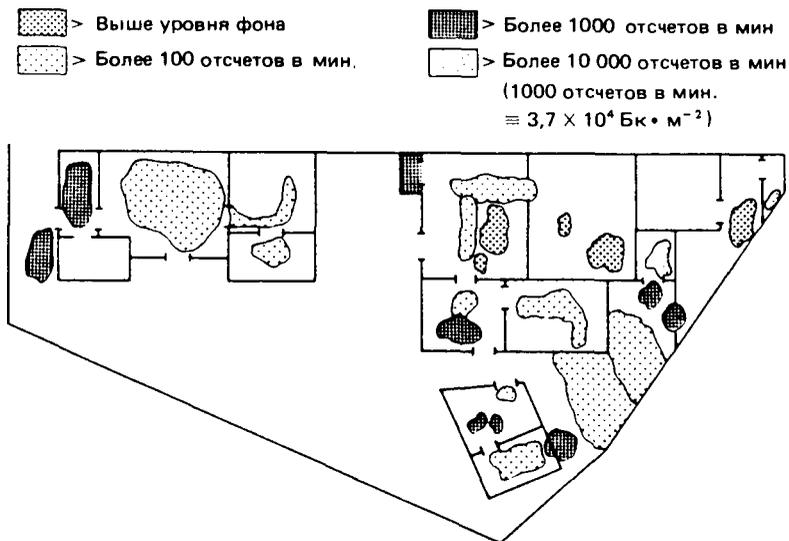


РИС.23. Мощности дозы (в $\text{мкЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$) в жилом районе, загрязненном жителями и их гостями.

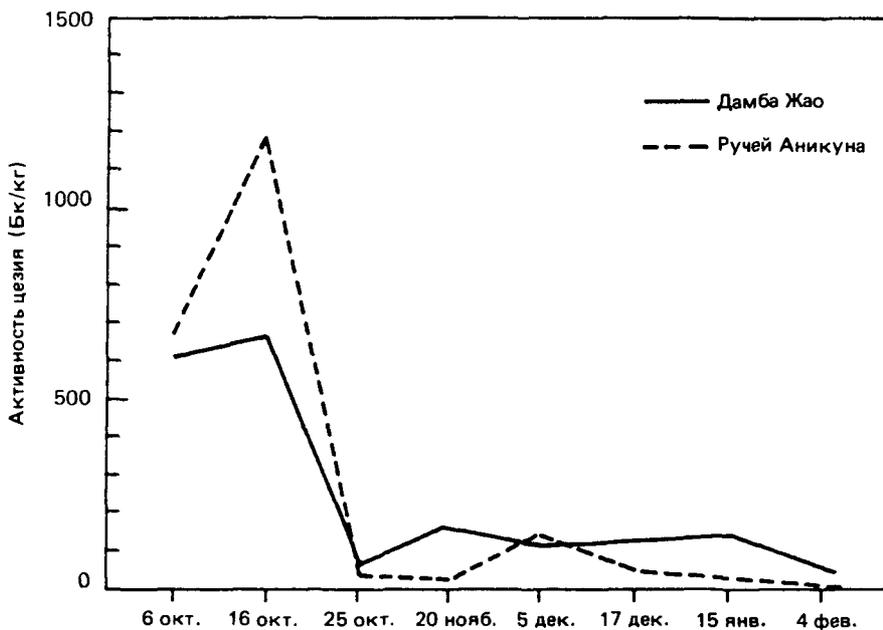


РИС. 24. Изменения во времени активности цезия-137 в донных отложениях ручья Аникуна и у дамбы Жао.

Уровень и распределение активности листьев близко соответствовали активности почвы, что являлось следствием оседания пыли; этот механизм подтверждается тем фактом, что смыванию поддается 50% радиоактивности.

8.3.3 Река Мея-Понти

Первичный контроль состояния гидрографического бассейна проводился в течение первых дней октября и включал измерения радиоактивности поверхностной воды, взвешенных веществ, донных отложений и рыбы, а также скрининг речного дна. Особое внимание уделялось ручью Капим-Пуба — притоку реки Мея-Понти, куда сбрасываются как паводковые, так и сточные воды из района, где расположены три наиболее загрязненных участка. В дополнение к этому проводился контроль канализационной системы района. Он показал отсутствие существенного радиоактивного загрязнения (рис. 24).

8.3.4. Водопровод

Водоснабжение населения Гоянии производится со станции водочистки, осуществляющей забор воды из притока реки Мея-Понти выше

места впадения ручья Капим-Пуба. Резервуары, в которые поступает обработанная вода, расположены с наветренной стороны от загрязненной местности. Поэтому неудивительно, что радиоактивность воды, поступающей со станции из резервуаров, была ниже минимального детектируемого уровня ($1 \text{ Бк} \cdot \text{л}^{-1}$) как до, так и после обработки. Тем не менее подтверждение этого факта результатами измерений помогло успокоить население и сохранить его доверие на ранних этапах работ.

8.3.5. Грунтовые воды

Несмотря на наличие в Гоянии общественной системы водоснабжения, жители многих домов все еще пользуются колодцами, особенно в периоды засухи. Проверке подверглись 30 колодцев вокруг главных районов загрязнения. Только колодцы вблизи главных очагов имели концентрацию активности выше предела детектирования ($1,5 \text{ Бк} \cdot \text{л}^{-1}$). Наивысший уровень активности, $30 \text{ Бк} \cdot \text{л}^{-1}$, обнаружен в неиспользуемом колодце одного из жилых домов.

8.3.6. Дождевая вода

Для определения полного количества осаждаемой активности в районе города, примыкающем к аэропорту, были установлены 11 станций сбора дождевой воды. Превышение активности цезия-137 над уровнем фона выявлено не было.

8.3.7. Воздух

Вблизи главных районов загрязнения было установлено пять воздухозаборников с высокой скоростью прокачки — $58 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$ (рис. 16); контрольный воздухозаборник находился в отдаленной деревне. Результаты еженедельного отбора проб (табл. IV) показали, что пиковые уровни радиоактивности, обусловленные дезактивационными мероприятиями, приходились на третью и четвертую недели ноября, но в основном радиоактивность воздуха была ниже на порядок величины и более.

8.4. ОБОРУДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Для радиационного контроля применялись приборы различных типов, собранные координатором в штаб-квартире НКЯЭ из многих источников: НКЯЭ и ее различных институтов (ИРД, ИЭН, ИПЭН), ФУРНАС, НУКЛЕБРАЗ, из университетов и исследовательских органи-

ТАБЛИЦА IV. АКТИВНОСТЬ АЭРОЗОЛЕЙ В 50-МИНУТНЫХ ПРОБАХ ВОЗДУХА, ОТБИРАЕМЫХ В ОСНОВНЫХ ОЧАГАХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ПЕРИОД УДАЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Пункт	Активность аэрозолей в связи с присутствием цезия-137 в различные периоды отбора проб в 1987 году (мБк·м ⁻³)				
	Ноябрь			Декабрь	
	2-я неделя	3-я неделя	4-я неделя	1-я неделя	2-я неделя
1	0,9 ± 0,3	3,8 ± 0,4	>0,4	0,33 ± 0,11	0,3 ± 0,07
2	1,0 ± 0,4	75 ± 4	29 ± 2	4,4 ± 0,3	д/н ^а
3	0,7 ± 0,3	>0,5	2,2 ± 0,3	2,6 ± 0,2	д/н ^а

^а д/н = данных не имеется.

заций, а также из источников международной поддержки. Всего использовалось 55 измерителей мощности дозы, 23 прибора для измерения степени загрязнения и 450 электрометров с кварцевой нитью (ЭКН) (“карандашных дозиметров”).

Как и следовало ожидать, в условиях использования такого большого количества приборов, полученных из столь многих источников, часть оборудования была поставлена без инструкций по калибровке и эксплуатации, необходимых для работы с приборами и их ремонта. Интенсивная эксплуатация оборудования в полевых условиях, иногда людьми, не имевшими достаточного опыта работы с ним, неизбежно требовала наличия постоянной ремонтной службы. С этой целью на ранней стадии работ в Гоянии была организована лаборатория ремонта и калибровки электронной аппаратуры. В приложении I перечислены типы оборудования, использовавшегося для радиационного контроля, и представлена субъективная оценка их пригодности по группам приборов.

9. ДЕЗАКТИВАЦИЯ

Дезактивация, в которой принимали участие около 550 работников, была, несомненно, наиболее ресурсоемким элементом работ. В данном разделе представлены ее наиболее характерные особенности.

Значительному загрязнению подверглось 85 домов, причем жители 41 из них были эвакуированы. Жилища, расположенные вдали от главных очагов загрязнения, дезактивировались первыми. Вначале выбиралась подходящая незагрязненная точка вне дома, из которой можно было легко измерить радиоактивность предметов, находящихся в помещении. Затем это место покрывалось полимерной пленкой, а из дома удалялись все предметы, которые можно было вынести. Все удаленные предметы просматривались прибором, регистрирующим поверхностное загрязнение. Одежда проверялась сцинтилляционным детектором (кристалл йодистого натрия), который экранировался в случае высокой местной мощности дозы. Незагрязненные предметы заворачивались в пленку. Загрязненные предметы по возможности дезактивировались или удалялись как отходы.

Выбор метода дезактивации зависел от конкретного объекта. Решение о дезактивации предмета или его удалении зависело от простоты дезактивации, за исключением предметов особой ценности, таких как ювелирные изделия, или личные вещи, дорогие с эмоциональной точки зрения. Вид игрушек, фотографий и других предметов, имеющих очевидную эмоциональную ценность и сваленных во дворе для возможного захоронения, волновал жителей и персонал. Таков психологический аспект инцидента, который нельзя упускать из виду.

После удаления из дома всего его содержимого проводилась очистка поверхностей внутри помещения пылесосами с высокоэффективными фильтрами. Контролировались стены, окна, полы, сантехническое оборудование. В случае необходимости с поверхностей снималась краска. Полы, обычно покрытые красной керамической плиткой, дезактивировались кислотой, смешанной с берлинской лазурью (подробнее см. в приложении IV).

Загрязнение кровли домов осевшей радиоактивной пылью могло существенно повлиять на уровень радиоактивного загрязнения внутри помещений. В таких случаях кровля обрабатывалась с внутренней стороны пылесосами, а с внешней — мылась струями воды под давлением. Этот метод был не очень эффективен, так как уменьшал мощность дозы примерно лишь на 20%, и поэтому кровлю двух домов пришлось снять.

Что касается садов, то эффективная дезактивация обеспечивалась подрезанием веток деревьев и удалением плодов.

Было также удалено загрязнение в 45 различных общественных местах, включая тротуары, скверы, магазины и бары. Уровень его был обычно ниже, чем в местах проживания, оно присутствовало в виде отдельных пятен на искусственных поверхностях, например, на тротуарах и стенах. Было также обнаружено загрязнение около 50 различных автотранспортных средств (фотография 17).

Основные работы по дезактивации начались в середине ноября сносом и удалением семи домов, загрязненных в такой степени, что дезактивация была нецелесообразна. После профильных измерений почвы было также удалено много грунта из прилегающих садов и дворов (фотографии 7–19).

Наибольшему загрязнению подвергся дом, где впервые была взломана капсула с источником (рис. 20). Это было самое опасное для дезактивации место (фотографии 13 и 14), и оно обрабатывалось последним. Мощности экспозиционной дозы были весьма высокими, что требовало организации работ в горячих точках очень короткими сеансами. Работу необходимо было тщательно спланировать. Более 90% активности в наиболее загрязненной почве содержалось в ее поверхностном слое (с такими высокими мощностями экспозиционной дозы, как $1,5 \text{ Зв} \cdot \text{ч}^{-1}$), в то время как значительная часть работ проводилась во время сильных ливней (фотография 21). При механизированной погрузке радиоактивной грязи в контейнеры было особенно трудно не превысить установленный для персонала суточный предел дозы $1,5 \text{ мЗв}$.

После сноса зданий щебень и почва удалялись до тех пор, пока не достигался требуемый уровень радиоактивного загрязнения. Затем это место покрывалось бетоном или чистым грунтом.

После Рождества, когда основные очаги загрязнения были дезактивированы, все дома и необрабатываемые земли в радиусе 100 м от очагов подверглись радиационному контролю. Загрязнение присутствовало обычно в виде осевшей пыли, особенно в садах. Однако имелись данные о том, что некоторые радиоактивные бытовые отходы, вероятно из домов, являвшихся главными очагами загрязнения, закапывались в землю в пустынных местах еще до вмешательства НКЯЭ. Поскольку экстренные меры более не требовались, схема дальнейшей дезактивации была построена так, чтобы свести к минимуму количество удаляемых отходов и создать как можно меньше трудностей для населения:

- (а) измерялась мощность дозы гамма-излучения;
- (б) участки с наивысшими мощностями дозы профилировались (фотография 19);
- (с) в соответствии с предварительно установленными критериями выявленный в результате анализа профиля слой почвы удалялся, а затем снимался дополнительный слой;

- (d) измерялась мощность дозы гамма-излучения и средняя удельная активность почвы; и
- (e) если эти измерения укладывались в установленные пределы, участок покрывался 30-миллиметровым слоем новой почвы.

10. УДАЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

10.1. ВЫБОР МЕСТА ДЛЯ ХРАНИЛИЩА ОТХОДОВ

Поскольку в процессе ликвидации последствий аварии с самого начала шло образование радиоактивных отходов, технический персонал немедленно пришел к выводу о том, что для облегчения работ по дезактивации необходимо определить подходящее место в Гоянии или в окрестностях города, куда можно было транспортировать надлежащим образом упакованные отходы. Основываясь на предварительной оценке вероятного объема отходов и соответствующих транспортных проблем, технический персонал признал, что любая отсрочка в выборе места неблагоприятно скажется на ходе работ.

Строительство хранилища отходов не было связано с конкретными техническими трудностями, однако выбор места для него был задержан по политическим причинам. Сложилась весомая общественная оппозиция. Тем не менее в процессе дискуссии между НКЯЭ и правительством штата Гояс было принято политическое решение, предусматривающее изыскание площадки для помещения отходов на срок до двух лет, с тем чтобы отложить на некоторое время выбор места постоянного захоронения. В конечном счете площадка для временного хранилища отходов была выбрана в малонаселенной местности в 20 км от Гоянии и в 2,5 км от города Абадия-де-Гояс (фотографии 23, 24 и 27).

10.2. СИСТЕМА КЛАССИФИКАЦИИ И КОНТРОЛЯ

С 1 октября для работы с радиоактивными отходами была сформирована дозиметрическая группа. Одним из их первых шагов было введение формы отчета об удалении радиоактивных отходов (табл. V), в которой фиксировалось бы их происхождение, физическая форма, горючесть, плотность и т. д., а также мощность дозы у внешней поверхности. (Эта система впоследствии стала важной основой оценки собранной доли активности цезиевого источника.)

В соответствии с действующим законодательством (Резолюция НКЯЭ-19/85 "Производство радиоактивных отходов в радиационных установках" от 27 ноября 1985 года) твердые отходы подразделялись на следующие классы:

- (1) нерадиоактивные: активность менее $74 \text{ кБк} \cdot \text{кг}^{-1}$ ($2 \text{ нКи} \cdot \text{г}^{-1}$);
- (2) низкоактивные отходы: активность менее $2 \text{ мЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$ вблизи поверхности упаковки;

- (3) среднеактивные отходы: активность менее $2 \text{ мЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$, но ниже $20 \text{ мЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Жидкие отходы отверждались цементом и классифицировались таким же образом.

10.3. УПАКОВКА

Большая часть отходов, классифицированных как низкоактивные, помещалась в цилиндрические емкости (бочки) промышленного изготовления или в гофрированные металлические ящики (фотографии 18, 20, 22 и 23). Бочки имели объем 40, 100 и 200 л и были сделаны из углеродистой стали марки 18. Ящики объемом $1,2 \text{ м}^3$ и макс. вместимостью 5 тонн имели антикоррозионное покрытие из хромата цинка и акриловой краски и были снабжены привинчивающимися крышками с резиновыми уплотнениями. Для абсорбции воды на дно емкостей засыпался цемент. Чтобы уменьшить число типоразмеров емкостей, с которыми придется иметь дело в хранилище, и поместить некоторые типы отходов в двойную упаковку, использовались 40- и 100-литровые бочки, которые вкладывались в 200-литровые бочки или в металлические ящики (фотографии 18, 20, 22).

Значительную часть низкоактивных отходов составляли загрязненные кипы бумаги со склада утиля III (фотография 9). Эти кипы заворачивались в пленку и помещались в контейнеры для морских перевозок судами с горизонтальной погрузкой (объем контейнера 32 м^2) для временного хранения до будущей переработки.

Среднеактивные отходы складывались в 200-литровые бочки, которые помещались в так называемые "VBA" — цилиндрические емкости со стенками из армированного железобетона толщиной 200 мм.

Способы упаковки в значительной мере определялись тем фактом, что место, отведенное для хранения отходов, было лишь временным. В общей сложности потребовалось 3800 200-литровых бочек, 1400 ящиков, 10 контейнеров и 6 VBA. Бочки и контейнеры были приобретены в коммерческой сети, MBA первоначально предназначались для АЭС Ангра. Ящики были специально изготовлены на заводах в Гоянии.

10.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВРЕМЕННОГО ХРАНИЛИЩА

Хранилище должно было вместить, по предварительным оценкам, 4000–5000 м^3 отходов. Если предположить, что половина отходов будет упакована в бочки, а половина в ящики, то хранилище следовало спроек-

ТАБЛИЦА V. ФОРМА ОТЧЕТА ОБ УДАЛЕНИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Национальная комиссия по ядерной энергии		Место происхождения	Регистрационный номер
Контроль радиоактивных отходов	
Идентификационный номер упаковки			
Тип упаковки	... Бочка 100 л	... Металлическая емкость	...Бочка 100/200л
	... Бочка 200 л	... Бетон	...Бочка 40/100 л
	... VBA	... Бочка 40 л	...Бочка 40/200 л

Материал			
Уплотняемые отходы	... Бумага	... Ткань	...
	... Картон	... Керамика/стекло	...
	... Пластмасса	... Свинец	...
Неуплотняемые отходы	... Металлический лом	... Грунт	...Бытовые принадлежности
	... Строительный щебень	... Древесина	...
	... Жесть	... Мебель	...
Гамма- и бета-активные нуклиды: цезий-137			
Масса упаковки кг			
Мощность экспозиционной дозы на поверхности упаковки:		Макс. (МР·ч ⁻¹)	
		Мин.(МР·ч ⁻¹)	
Макс. мощность экспозиционной дозы на расстоянии 1 м от поверхности упаковки:	 (МР·ч ⁻¹)	
Поверхностное загрязнение, не фиксированное	 (мкКи·см ⁻²)	
Проверено..... (фамилия)		Дата	
.....		
Подпись		Организация	

тировать для приема 12 500 бочек и 1470 ящиков. Было решено, что открытые площадки наилучшим образом отвечают местным условиям, ограниченным сроком строительства и политическим требованиям.

Чтобы быстро построить площадки, проект был стандартизован. Бетонные плиты на площадках были так спроектированы по размерам, чтобы на них размещались как бочки, так и ящики с полным использованием площади. Каждая плита при толщине 0,15 м имела размер 2,75 × 2,75 м. При объеме ящика 1,2 м³ на одну плиту можно было поместить 8 ящиков или 32 бочки штабелями в два слоя. Для того количества бочек и ящиков, которое ожидалось по предварительным оценкам, необходимо было иметь 574 бетонных плиты, оптимально размещенных на площадках (фотографии 23 и 24).

С учетом некоторых ограничений было решено сначала построить только шесть площадок, которых и хватило для размещения фактического объема отходов 3500 м³.

Для защиты ящиков и бочек от сильных дождей, они до помещения на место хранения были тщательно дезактивированы и покрыты пленкой (фотография 21). Кроме того, бетон для плит был полуабсорбционным для удержания любого остаточного загрязнения, которое может появиться в результате испарения и конденсации под пленкой.

Наконец, для непрерывного наблюдения за активностью стока с площадок (главным образом дождевого) была сконструирована система непрерывного отбора проб воды (фотография 24). Чтобы замедлить сток дренажной воды и увеличить задержание цезия в пределах участка хранилища, была построена система естественных препятствий (в том числе небольшая насыпь, используемая для изучения состояния среды).

Каждая упаковка была пронумерована, а ее содержимое описано в инвентарной карте. Эти данные использовались в математической компьютерной модели для прогнозирования мощностей дозы излучения от бочек и ящиков при различном их расположении. Наиболее радиоактивные упаковки помещались в центре площадок, с тем чтобы свести к минимуму мощности дозы в оставленных проходах для доступа к емкостям защитного ограждения хранилища.

Помимо дозиметрического контроля персонала, проводилась радиометрия почвы, растительности, поверхностных вод, пылевых отложений и воздуха, а также измерение термолюминесцентными дозиметрами доз излучения у защитного ограничения. Не было обнаружено никакой утечки радиоактивных материалов, но, принимая во внимание высокие влажность и температуру воздуха, через несколько лет можно ожидать некоторой коррозии металлических емкостей. Сильные дожди уже тогда размывали почву под площадкой. Проводились исследования по выбору способа постоянного захоронения, которое, как ожидается, будет сопря-

жено с большими издержками как в смысле риска профессионального облучения, так и в экономическом плане.

10.5. ПЕРЕВОЗКА ОТХОДОВ К МЕСТУ ХРАНЕНИЯ

Отходы перевозились в соответствии с требованиями бразильского законодательства, которые в основном совпадают с Правилами безопасной перевозки радиоактивных веществ⁷ МАГАТЭ. Перед погрузкой измерялась мощность дозы излучения каждой упаковки и проверялось отсутствие загрязнения на ее поверхности. Упаковки типа А провозились на грузовых автомобилях с полной загрузкой. В период с 25 октября по 19 декабря к месту временного хранения было перевезено в общей сложности 275 полных загрузок грузового автомобиля. Автомобили двигались колонной в сопровождении полицейского эскорта со скоростью не более 20 км·ч⁻¹ в городе и за его пределами. Каждая колонна сопровождалась дозиметристами, экипированными для работы в чрезвычайной ситуации. (И действительно, чрезвычайное происшествие имело место: один грузовик съехал с дороги и перевернулся, но поступления активности во внешнюю среду не произошло). Грузовики после использования подвергались радиационному контролю, чтобы подтвердить отсутствие остаточного загрязнения.

10.6. УЧЕТ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Данные о мощности дозы излучения на поверхности каждой упаковки, записанные на учетных картах, впоследствии использовались для оценки активности в каждой бочке методом протяженного источника ("kernel spot method")⁸. (При этом методе предполагается равномерное распределение активности в барабане цилиндрической формы, для учета известной защиты или неоднородности содержимого введены поправочные коэффициенты.) Точность расчета активности определялась качеством других оценок, особенно оценки массы. (Более точные оценки могли быть получены только за счет увеличения дозы профессионального облучения персонала и не считались оправданными.)

Наилучшая оценка суммарной активности собранных отходов вместе с активностью, установленной в Военно-морском госпитале Марсилио

⁷ МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Правила безопасной перевозки радиоактивных веществ, издание 1985 года, Серия изданий по безопасности, № 6, МАГАТЭ, Вена (1985); а также Дополнение 1986 года (1986).

⁸ Reactor Shielding, Theodore Rockwell Publishing House, McGraw and Co. (1956).

Диас, составила около 44 ТБк (1200 Ки). Хотя известная активность источника с хлоридом цезия до инцидента составляла 50,9 ТБк (1375 Ки) и находится в пределах погрешности этой оценки, в прессе имела место некоторая критика по поводу того, что активность в размере “сотен кюри” еще потенциально оставалась в окружающей среде. При данных обстоятельствах полученный результат оценки активности отходов был наилучшим из тех, на которые можно было рассчитывать. Некоторое радиоактивное загрязнение оставалось, например на крышах или в почве, но в незначительных количествах. Оценки радиоактивности отходов, как предполагалось, должны были служить лишь подтверждением. Результаты исчерпывающих, всеобъемлющих радиологических наблюдений за состоянием окружающей среды составили основу для уверенности в том, что остаточное загрязнение не представляет существенной опасности.

10.7. ПОСЛЕДУЮЩАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

После завершения дезактивации были предприняты другие дозиметрические и исследовательские работы. Для подтверждения безопасности хранения отходов необходимо было продолжать наблюдение за местом хранения и его окрестностями до принятия решения об окончательном захоронении отходов, которое позволило бы освободить это место. Созданная в Гоянии сеть отбора проб была сохранена для подтверждения результативности дезактивации. Кроме того, были организованы различные исследовательские программы, некоторые из них совместно с университетами и другими национальными и международными научными учреждениями, с тем чтобы использовать уникальную возможность для изучения механизма миграции цезия в окружающей среде, в частности в городских условиях.

Часть IV

ЗАМЕЧАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Анализ радиационных аварий и инцидентов экспертами позволяет извлечь опыт, необходимый для соответствующих систем контроля и управления, с тем чтобы способствовать уменьшению вероятности таких инцидентов в будущем и лучшей готовности к тем, которые все же случаются. Подобный анализ увеличивает объем знаний в этой области, а также иллюстрирует и подчеркивает принципы и критерии деятельности, хотя обычно они уже хорошо известны. Это отражено в предлагаемых замечаниях и рекомендациях, которые вытекают из результатов международного обзора радиационной аварии в Гоянии и не обязательно связаны с конкретными обстоятельствами этой аварии.

Авария в Гоянии показала, как действия, безвредные при обычных обстоятельствах, в присутствии радиоактивных материалов становятся вопросом жизни или смерти. Этим подтверждается главный принцип радиационной защиты, а именно: сохранность источника есть дело величайшей важности. Радиоактивные источники, удаляемые с того места, которое было предназначено для них в процессе уведомления, регистрации и лицензирования, могут представлять серьезную опасность. Из этого следует, что лицо, ответственное за радиоактивный источник, обязано обеспечить средства предотвращения каких-либо нарушений мер предосторожности, в том числе процедуры проверки и соответствующие охранные устройства. Следует, кстати, заметить, что необходимость обеспечить сохранность источника имеет многие параллели в общей области проблем, связанных с безопасностью вредоносных материалов, например при обращении с ядами, такими как цианиды или мышьяк.

Принцип обязательной охраны источника и контроля за обращением с ним должен быть выражен компетентными национальными органами в соответствующей системе регулирования, опирающейся на надлежащие правила и режимные инспекции; именно так обстояло дело и в Бразилии. Однако такая система не может снизить уровень ответственности лица, отвечающего за радиоактивный источник. Система регулирования не может и не должна уменьшать ответственность руководящих лиц; в частности, она не может заменить собой ответственность держателя лицензии за безопасность. Эту систему следует рассматривать лишь как средство контроля за эффективностью профессиональной и административной систем; в частности, она может служить средством проверки соблюдения надлежащих требований лицом, владеющим лицензией. Инспекция оборудования — один из способов, с помощью которых система

регулирования может осуществлять эту функцию, однако частота периодических инспекций неизбежно ограничена имеющимися ресурсами.

Системы мероприятий, обеспечивающие соблюдение требований регламентов, должны быть конкретными, простыми и обязательными. Например, одна из возможностей, которую могут использовать регулирующие органы, — это потребовать от владельца лицензии, ответственного за сильный радиоактивный источник, извещать регулирующий орган всякий раз, когда проверяется целостность источника, вместо простого ведения записей для проверки во время инспекции. Такое сообщение может делаться почтовой карточкой, читаемой машиной. Если владелец лицензии не прислал извещение в установленное время, орган регулирования должен быть готов провести проверку состояния источника. Такой подход отвечал бы требованиям конкретности, простоты и обязательности. Кроме того, между лицами, осуществляющими меры радиационной защиты, и теми, кто контролирует их неукоснительное соблюдение, необходимо хорошо налаженное взаимодействие, и приведенное требование является хорошим примером того, как можно улучшить коммуникацию между заинтересованными сторонами. Тем не менее, прежде чем применять такую процедуру, следует оценить ее эффективность в сопоставлении с затратами.

Следует рассмотреть вопрос о способах маркировки в связи с радиационной опасностью, которая была бы понятна широкой публике. Интерес, вызванный голубым свечением источника с радиоактивным хлоридом цезия, заметно повлиял на ход аварии в Гоянии. Разборчивая и понятная маркировка источников излучения могла бы уменьшить вероятность случайного облучения.

При выдаче лицензий на изготовление источников следует учитывать их физические и химические свойства ввиду их потенциального влияния на последствия возможных инцидентов или неправильного использования источников. Растворимость и легкость рассеяния хлорида цезия оказали решающее влияние на ход развития аварии в Гоянии. Большое количество менее радиоактивных источников с цезием-137 используется в остекленной форме, которая исключает его рассеяние. К сожалению, источник такого типа не может дать высокую удельную активность, которая требуется от источника в радиотерапии.

Если вопреки всем предосторожностям инцидент все же происходит и возникает радиационная опасность, становится необходимой четко понимаемая система информации и управления. В частности, для принятия необходимых мер в случае серьезной аварии или инцидента стране, по-видимому, потребуется задействовать большое число квалифицированных работников, иногда из учреждений, расположенных на большом удалении, а также использовать большое количество оборудования таких

учреждений. План аварийных мероприятий должен предусматривать необходимость такой интеграции; должна быть также заранее создана соответствующая структура управления.

В этом отношении важно не только распределить ответственность, но и предоставить необходимую власть, достаточную для преодоления бюрократизма. Например, ввиду отдаленности Гоянии от радиологических центров мобилизация персонала и обеспечение материальными ресурсами оказались главной трудностью (жизненно необходимым оказался воздушный транспорт). Четкое распределение функций руководства облегчит обеспечение ресурсами, необходимыми в аварийной ситуации, включая средства, позволяющие провести немедленную мобилизацию.

Из сказанного следует, что готовность к принятию мер в случае радиационной опасности должна распространяться не только на ядерные аварии, но и на целый ряд возможных других радиационных аварий и инцидентов. Международные и национальные органы приложили значительные усилия к подготовке мероприятий на случай ядерных аварий, однако другим видам радиационной опасности уделялось значительно меньше внимания. Авария в Гоянии служит примером серьезной радиационной аварии вне пределов ядерной промышленности. Она не является уникальной по своим масштабам; действительно, у нее есть много общего с происшествием в Сьюдад-Хуаресе (Мексика) в 1983 году (в своем Обзоре ядерной безопасности за 1987 год МАГАТЭ привело краткое описание радиационных аварий со смертельными исходами, происшедших к тому времени; см. дополнение III). Большинство радиационных аварий, повлекших за собой гибель людей, произошло вне области ядерной промышленности; по-видимому, радиационная защита в неядерном секторе заслуживает большего внимания.

Кроме того, при подготовке планов аварийных мероприятий ответственные органы должны обеспечить, чтобы в случае радиационной аварии, затрагивающей население, имелись хорошо известные средства для вызова помощи и оповещения соответствующих органов. Какие из них являются наиболее эффективными, зависит от инфраструктуры соответствующей страны, однако можно использовать такие местные службы, как полиция или пожарная охрана, которые должны иметь для этого необходимых ответственных лиц.

В связи с радиационной аварией может понадобиться, помимо постоянно действующего стандартного оборудования, легко транспортируемая медицинская аппаратура для биологических анализов и радиационного контроля всего тела человека. Могут также потребоваться специалисты, обученные проведению обычных процедур в особых условиях. По-видимому, полезно пересмотреть с этих позиций существующие планы аварийной готовности.

Быстрое выведение из организма инкорпорированных радиоактивных веществ — важная задача, возникающая вследствие аварии с радиоактивными материалами. Подтвердилось, что берлинская лазурь эффективно способствует выведению цезия-137. Порог эффективности, по-видимому, находится на уровне суточной дозы, равной 3,0 г (1,0 г перорально три раза в день). Национальные фармацевтические органы могли бы рассмотреть вопрос о допустимости для внутреннего приема дозы до 10–12 г в сутки для взрослых пациентов.

Цитогенетическая дозиметрия — чрезвычайно полезный метод оценки полной дозы внешнего облучения всего тела и неоднородности дозы, полученной пострадавшими. Это ценная информация для врача, ответственного за диагноз и прогноз. Поэтому национальным властям можно предложить пересмотреть планы аварийных мероприятий, с тем чтобы обеспечить наличие лабораторий, способных проводить такую работу, либо в самой стране, либо на основе международного сотрудничества. Необходимо совместно разработать соответствующие программы для установления желаемой степени согласованности между различными лабораториями.

Требуются дальнейшие исследования экспериментального и клинического использования препарата фактора стимулирования колоний гранулоцитов-макрофагов (ПТМСЫА), чтобы прояснить сомнительные результаты его применения в связи с аварией в Гоянии, прежде чем применять его в возможных будущих радиационных инцидентах. Эти результаты, возможно, являются следствием того факта, что еще не известны его оптимальные дозировки и сроки введения.

После радиационных аварий люди обычно обращались за медицинской помощью по поводу облучения и в тех случаях, когда диагноз облучения не ставился. Такие трудности диагностики типичны для подобных аварий, когда медицинские диагнозы иногда включают укусы насекомых, укусы пауков и змей, вирусную инфекцию и воздействие токсичных химических. Распознавание радиационного поражения зависит от характера образования работников, не имеющих отношения к ядерной технике, а также от наличия подготовленных специалистов в области медицины и радиационной защиты, причем подготовка и тех, и других зависит от широты охвата программами образования и обучения. Авария в Гоянии может послужить образцовой ‘историей болезни’ для включения в программы образования медицинских работников и специалистов в области безопасности, а также лиц, на которых возлагается ответственность за надзор за мощными радиоактивными источниками.

В настоящее время для лечения пострадавших в результате радиационных аварий используются сложные и разнообразные методы. Такие пациенты должны лечиться в стационаре под наблюдением специалистов,

в обычное время повседневно занимающихся лечением больных, которые подвержены опасности онкологических заболеваний, подавления иммунитета, и патологических изменений крови, с помощью гематологических, химиотерапевтических, радиотерапевтических и хирургических методов. В целом, однако, медицинский персонал и лечебные учреждения обычно не подготовлены к лечению радиационных поражений и в целом лиц, пострадавших от облучения. В планах аварийных мероприятий должна быть предусмотрена непосредственная поддержка со стороны медицинских специалистов, обученных лечению таких пациентов.

После радиационных аварий, приводящих к широкому распространению загрязнения, обычно возникает соблазн принять слишком жесткие критерии для проведения восстановительных мероприятий, чаще всего под влиянием политических и социальных соображений. Такие критерии приводят к существенному дополнительному, экономическому и социальному бремени, помимо вызванного самой аварией. МАГАТЭ рекомендовало шкалу справочных уровней дозы, требующих принятия мер, которые не являются чрезмерно жесткими⁹. Кроме того, лица, руководящие работами по ликвидации последствий, из-за неотложности мер обычно не имеют возможности разработать сложную систему уровней вмешательства и предпочитают использовать в качестве основы такие дозовые пределы для обычного предвидимого облучения. Это излишнее ограничение, так как данные дозовые пределы не предназначены для использования в случаях непредвиденного облучения в результате аварии или инцидента. Однако в качестве дополнительного параметра, особого для каждой страны, общественное и политическое давление, оказываемое на процесс принятия решений, не следует недооценивать.

При проведении радиационного контроля и дезактивации в Гоянии встретился ряд практических проблем. Они детально изложены в разделах 8 и 9 и в приложениях I, III и IV. Однако два замечания заслуживают упоминания в данном контексте:

- (а) аварийное оборудование должно быть приспособлено к работе в неблагоприятных внешних условиях;
- (б) почти наверняка возникнет необходимость привлечения работников, не имеющих опыта радиологической работы, и даже профессиональные специалисты могут не иметь достаточного практического

⁹ МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Принципы установления уровней вмешательства при организации защиты населения в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации, Серия изданий по безопасности, № 72, МАГАТЭ, Вена (1985).

опыта. Поэтому в рамках планов аварийной готовности необходимо предусмотреть соответствующее обучение персонала.

Если для повышения аварийной готовности мы хотим извлекать уроки из опыта таких инцидентов, необходимо как можно скорее документировать фактическую сторону событий, поскольку с течением времени они стираются из памяти. С этой целью необходимо включать в состав аварийной группы должностное лицо, с самого начала ведущее запись происходящего с целью облегчить дальнейшую реконструкцию последовательности событий и оценку приобретенного опыта.

Особое значение имеет распространение информации среди средств массовой информации, населения и, конечно, среди самих участников работ. В ходе аварии необходимость предоставления информации обычно отвлекает значительную часть ресурсов, находящихся в распоряжении людей, которые непосредственно занимаются ликвидацией последствий инцидента. Поэтому рекомендуется, чтобы персонал, занятый в работах по ликвидации последствий радиационной аварии или инцидента, имел поддержку со стороны средств служебной и общественной информации, соответствующей масштабам происшествия. При возникновении серьезных аварийных ситуаций требуется оперативная служба административной и общественной информации непосредственно в месте событий. Все лица, назначенные в качестве возможных участников аварийных работ, должны пройти как теоретическую, так и практическую подготовку в соответствии с их функциями.

Авария в Гоянии на сегодняшний день представляет собой одно из наиболее серьезных радиационных происшествий из всех, имевших место до настоящего времени. Он привел к радиационному поражению многих людей, четверо из которых скончались, а также обусловил радиоактивное загрязнение части города. Радиационные аварии происходят редко, но это не дает оснований для самоуспокоенности. Ни одно радиационное происшествие не является приемлемым, и общественность должна быть уверена в том, что соответствующие компетентные органы и лица делают все необходимое для их предотвращения. Частью этого процесса является изучение уроков, которые можно извлечь из аварии в Гоянии.

ФОТОГРАФИИ

(Все фотографии публикуются с разрешения Национальной комиссии по ядерной энергии (НКЯЭ), Рио-де-Жанейро, Бразилия)

- 1-3. Заброшенные помещения Гоянийского института радиотерапии — частной радиотерапевтической клиники в Гоянии. Мощный радиоактивный источник был снят с телетерапевтической установки, оставленной в помещении клиники (раздел 3.1)
4. Физик W.F., обнаруживший аварию, измеряет радиоактивное загрязнение одежды офицера полиции на Олимпийском стадионе (раздел 4.1)
5. Проведение дозиметрического контроля населения на Олимпийском стадионе (раздел 4.1)
6. Мобильная дозиметрическая установка: детекторы с йодидом натрия и счетчики Гейгера-Мюллера, смонтированные на автомобиле. С помощью этой установки было обследовано более 2000 км дорог (разделы 7.2, 8.2)
7. Подготовка к сносу дома E.F.2 и S.F.1, расположенного около склада утиля 1 (раздел 9)
8. Дозиметрия крыши дома E.F.2 и S.F.1 во время сноса (раздел 9)
9. Загрязненные кипы бумаги, собранной на складах утиля для переработки. Несколько кип было отправлено в другие города (раздел 9)
10. Разрушение дома на складе утиля II, где жила L.F.2 — 6-летняя девочка, умершая в результате аварии. С помощью экскаватора в стене было пробито отверстие для удаления источника мощного излучения, создавшего мощность дозы $0,5 \text{ Зв} \cdot \text{ч}^{-1}$ (раздел 9)
11. Расчистка склада утиля II на 6-й улице (раздел 9)
12. Склад утиля II: резка загрязненных балок (раздел 9)
- 13, 14. Загрязненные остатки снесенного дома R.A. на 57-й улице, в котором была разобрана сборка и разрушена капсула источника (раздел 9)
15. Удаление загрязненных предметов со склада утиля III (раздел 9)
16. Резка загрязненных предметов для удаления со склада утиля III. Неснимаемое радиоактивное загрязнение пола склада было так велико, что его пришлось залить слоем бетона (раздел 9)
17. Дезактивация автомобиля. Было обнаружено около 50 загрязненных автомобилей (раздел 9)
18. Импровизированный метод одновременного заполнения восьми бочек загрязненным грунтом (раздел 10.3)

19. Дозиметрический контроль грунта (разделы 8.3, 9)
20. Один из специально изготовленных 5-тонных контейнеров для отходов (раздел 10.3)
21. Значительную часть дезактивационных работ пришлось проводить при сильном дожде (разделы 9, 10.4)
22. Укладка контейнеров с отходами в штабели перед отправкой на грузовиках к местам временного хранения радиоактивных отходов (раздел 10.3)
23. Контейнеры и бочки с отходами собраны в штабели и накрыты в месте их временного хранения (разделы 10.1, 10.2, 10.3)
24. Место временного хранения контейнеров; показаны бетонные основания с каналами для отбора проб стекающей воды (разделы 10.1, 10.4)
25. Е.Ф., 20 октября 1987 года. Радиационное поражение кожи бедра от частицы цезиевого источника, которую он носил в кармане брюк. Большой струп в центре раны типичен для острого облучения от источников гамма-излучения с дозой более 5 Гр. Около 25 дней после облучения (разделы 5.1, 5.3)
26. Е.Ф., 30 декабря 1987 года. Прогрессирование раны бедра. Поражением захвачена мышечная ткань. Было выполнено несколько санитарных обработок раны. Размер раны приблизительно 100×120 мм (разделы 5.1, 5.3)
27. Контейнеры с отходами в месте временного хранения. В период между 25 октября и 19 декабря к месту хранения перевезены отходы в количестве, эквивалентном загрузке 275 грузовиков (раздел 10.1)
28. О.Ф.1, 11 октября 1987 года. Большой волдырь на ладони человека, помогавшего снимать цезиевый источник. Обращает на себя внимание влажная десквамация большого и других пальцев. Примерно 19 дней после облучения (разделы 5.1, 5.3)
29. О.Ф.1, 28 октября 1987 года. Рана на ладони прогрессирует. Волдырь полностью прорван, и поражение распространилось на указательный и средний пальцы. Обращает на себя внимание поражение последней фаланги указательного пальца, которым цезий-137 извлекался из капсулы источника. Примерно 36 дней после облучения (разделы 5.10, 5.3)
30. О.Ф.1, 30 ноября 1987 года. Частичное заживление раны на ладони. Примерно 69 дней после облучения (разделы 5.1, 5.3)
31. Поверхностное поражение кожи нижних конечностей бета-излучением (на стадии заживления) у человека, подвергшегося сильному загрязнению цезием-137. Около 60 дней после облучения (разделы 5.1, 5.3)
32. Импровизированный счетчик излучения всего тела, использованный в Гоянии. Следует отметить необычно большое расстояние между пациентом и детектором, а также использование кресла для отдыха (разделы 5.2, 6.1)



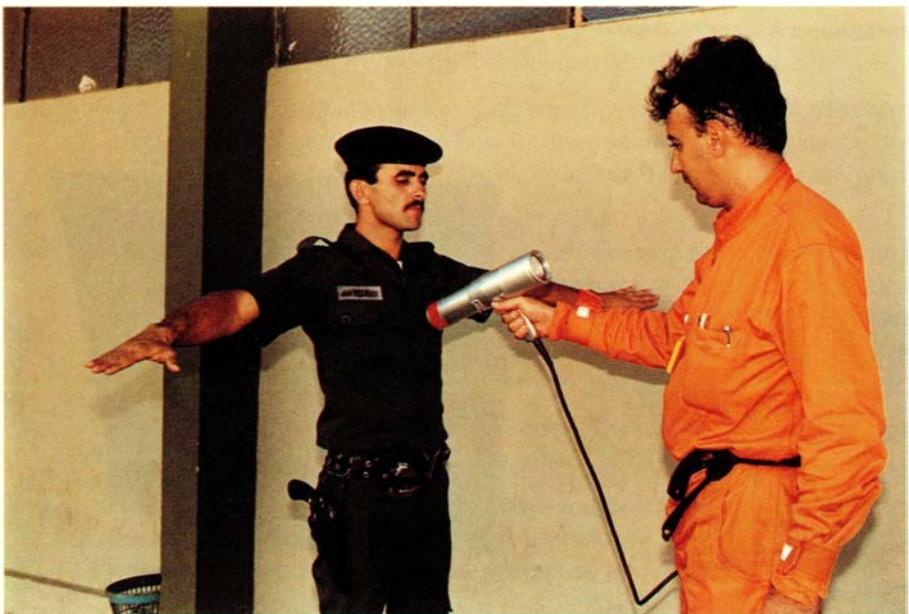
1. Зброшенное помещение клиники в Гоянии, из которой был похищен цезиевый источник.



2. Зброшенное помещение клиники в Гоянии, из которой был похищен цезиевый источник.



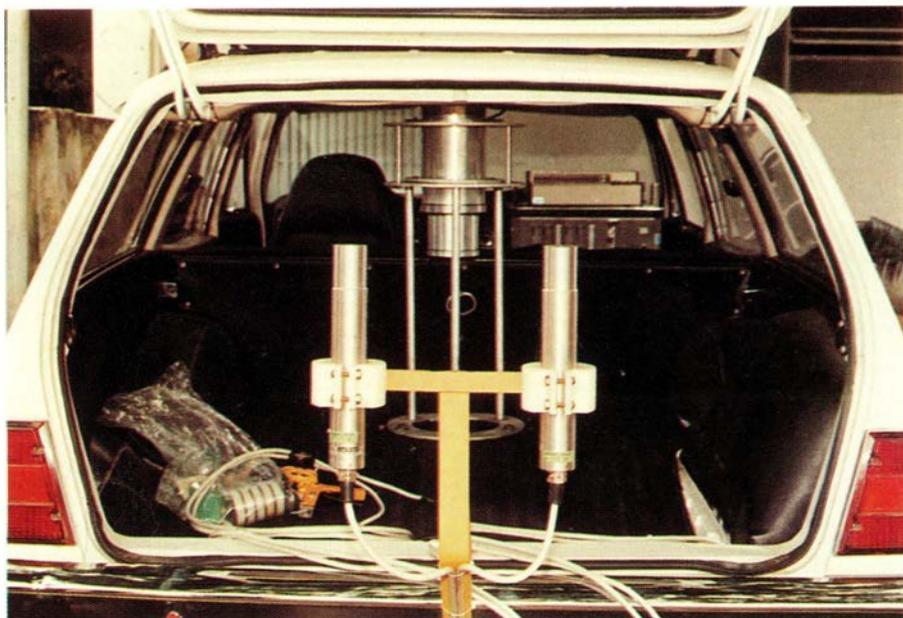
3. *Заброшенное помещение клиники в Гоянии, из которой был похищен цезиевый источник.*



4. *Физик W.A. измеряет степень загрязнения людей на Олимпийском стадионе.*



5. Радиационный контроль людей на Олимпийском стадионе.



6. Мобильная дозиметрическая установка: детекторы с йодидом натрия и счетчики Гейгера-Мюллера смонтированы на автомобиле.



7. Подготовка к сносу дома E.F.2 и S.F.1, находящегося около склада утиля I.



8. Дозиметрия крыши дома E.F.2 и S.F.1 во время сноса.



9. Загрязненные радиоактивными веществами кипы бумаги, собранной на складах утиля для переработки.



10. Пробито отверстие для удаления источника излучения с мощностью дозы $0,5 \text{ Зв} \cdot \text{ч}^{-1}$



11. Очистка территории склада утиля II на 6-й улице.



12. Склад утиля II: резка загрязненных балок.



13. Загрязненные обломки снесенного дома R.A. на 57-й улице.



14. То же место после удаления загрязненных обломков.



15. Удаление загрязненных предметов со склада утиля III.



16. Резка загрязненных предметов для удаления со склада утиля III.



17. Дезактивация автомобиля. Было обнаружено около 50 загрязненных автомобилей.



18. Импровизированный способ одновременного заполнения восьми бочек загрязненным грунтом.



19. Дозиметрический контроль грунта.



20. Один из специально изготовленных 5-тонных контейнеров для хранения отходов.



21. Значительную часть дезактивационных работ пришлось проводить при сильном дожде.



22. Штабелирование контейнеров, отправляемых в место временного хранения.



23. Контейнеры и бочки штабелированы и накрыты в месте временного хранения.



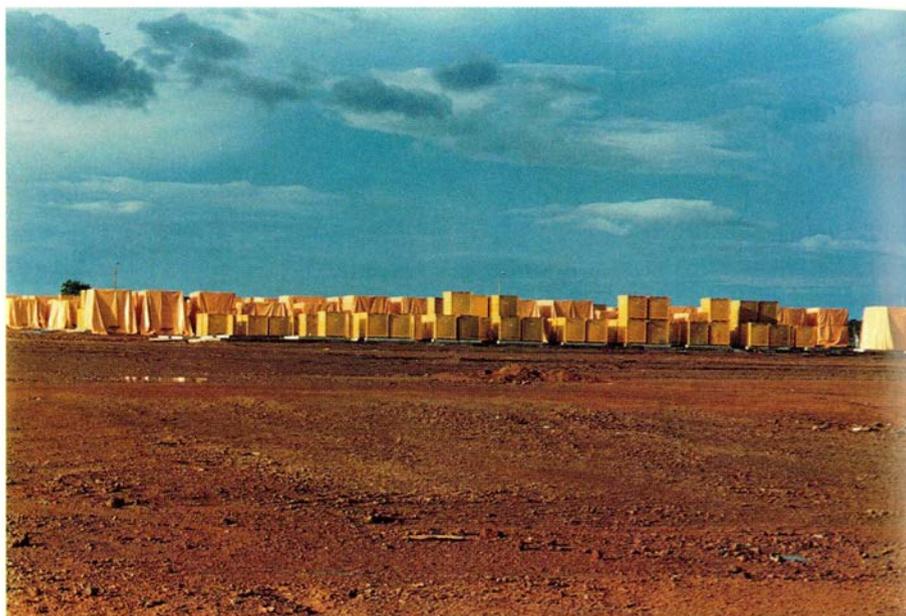
24. Место временного хранения; показаны бетонные основания с каналами для отбора проб стекающей воды.



25. Радиационное поражение кожи бедра через 25 суток после облучения.



26. Поражение распространилось на мышечную ткань бедра.
Размер раны 100 × 120 мм.



27. Контейнеры с отходами в месте временного хранения.



28. Большой волдырь на ладони. Обращает на себя внимание влажная десквамация.



29. Волдырь полностью прорвался, поражение распространилось на указательный и средний пальцы.



30. Частичное заживление раны на ладони.



31. Поверхностное поражение кожи бета-излучением
(на стадии заживления).



32. Импроевизированный счетчик излучения всего тела, использованный в Гоянии.

Дополнение I

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

До аварии в Гоянии

Подразделения НКЯЭ были способны выполнить все необходимые работы для ликвидации последствий аварии в Гоянии, включая оценку доз облучения, диагностику и лечение пострадавших от чрезмерных доз и работу по ликвидации сильного радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Программа сотрудничества Бразилии с МАГАТЭ в области готовности к аварийным ситуациям сыграла значительную роль в обеспечении такой готовности. Осуществление этой программы началось с посещения Бразилии группой экспертов непосредственно накануне аварии в Гоянии, что привело к строительству лабораторий и подготовке персонала путем выделения стипендий и организации миссий экспертов. Первый проект включал подготовку врача к работе в радиологических аварийных ситуациях, что оказалось крайне полезным при ликвидации последствий аварии.

В ходе ликвидации последствий аварии

Бразильские власти информировали МАГАТЭ об аварии, как только он был обнаружен, и просили предоставить помощь в рамках Международной конвенции о помощи в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации. Оказанная помощь включала выделение экспертов и оборудования (детали приведены в табл. VI).

После аварии

После аварии было предпринято множество совместных усилий бразильских экспертов и экспертов других стран по оценке накопленного опыта и извлечения из него уроков на будущее. Одним из результатов этой деятельности является международный обзор аварии, на котором основан настоящий доклад. Среди других вопросов будет оценен опыт предоставления и координации международной помощи, с тем чтобы определить возможности совершенствования таких операций в будущем.

Авария в Гоянии дал большую базу данных, которая может обеспечить ценную информацию по широкому кругу вопросов. Несколько научно-исследовательских проектов в этой области уже осуществляются,

ТАБЛИЦА VI. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ЛИКВИДАЦИИ
ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ В ГОЯНИИ

Страна/ организация	Тип сотрудничества	Тип помощи	Область работ	Организация, оказавшая помощь
Аргентина	Двустороннее	Эксперты	Медицина	Национальная комиссия по атомной энергии
Аргентина	Двустороннее	Эксперты	Радиационная защита и захоронение отходов	Национальная комиссия по атомной энергии
Исследовательский центр Евратома, Испра	Техническое сотрудничество	Оборудование	Радиационная защита	
Франция	МАГАТЭ	Оборудование	Радиационная защита	
ФРГ	Двустороннее	Эксперты и оборудование	Радиационная защита	Институт радиационной защиты, Мюнхен
ФРГ	МАГАТЭ	Оборудование	Радиационная защита	
Венгрия	МАГАТЭ	Оборудование	Радиационная защита	
МАГАТЭ	Техническое сотрудничество	Эксперты и оборудование	Радиационная защита	
Израиль	МАГАТЭ	Оборудование	Радиационная защита	

Япония	Добровольное	Эксперты	Медицина	Институт трудноизлечимых болезней
Нидерланды	МАГАТЭ	Оборудование	Радиационная защита	
СССР	Добровольное	Эксперты	Медицина	Центральная больница № 6, Москва
Соединенное Королевство	МАГАТЭ	Оборудование	Радиационная защита	
США	Добровольное	Эксперты и оборудование	Медицина	Калифорнийский университет
США	Добровольное	Эксперты	Медицина	Городская больница Бостона
США	МАГАТЭ	Эксперты	Радиационная защита	Центр по оказанию помощи при радиационных аварийных ситуациях министерства энергетики/тренировочный полигон, Ок-Ридж
США	МАГАТЭ	Эксперты	Медицина	Центр по оказанию помощи при радиационных аварийных ситуациях министерства энергетики/тренировочный полигон, Ок-Ридж
Всемирная организация здравоохранения	Техническое сотрудничество	Эксперты	Радиационная защита	Всемирная организация здравоохранения

другие планируются или могут быть предложены. Задачей международных организаций должно бы стать содействие обмену информацией об уроках, извлеченных из аварии.

Замечания

- МАГАТЭ следует рассмотреть вопрос об обеспечении лучшей подготовки персонала к работам в аварийных условиях на региональном уровне, включая участие в этой подготовке лиц, уже работавших в аварийных условиях в регионе, и практические полевые занятия в типичных условиях региона.
- МАГАТЭ следует координировать усилия по периодическому региональному обмену информацией о достоинствах и недостатках в системе готовности к действиям в аварийных ситуациях.
- МАГАТЭ следует по-прежнему преследовать цели оказания помощи в аварийных ситуациях небюрократическими методами.

Дополнение II

СВЯЗЬ С ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ

Авария в Гоянии имела большое психологическое воздействие на бразильцев по ассоциации с аварией на Чернобыльской атомной электростанции в СССР в 1986 году. Многие опасались радиоактивного загрязнения, облучения и ухудшения здоровья; хуже того, опасались неизлечимых и смертельных болезней.

Некоторые жители Гоянии подвергались дискриминации даже со стороны своих родственников, а продажи скота, зерновых культур и других сельскохозяйственных продуктов, а также тканей, товаров из хлопка — основных продуктов экономики штата Гояс — после аварии сократились на одну четверть.

Технические сотрудники НКЯЭ провели опрос населения в период после аварии. Они получили следующие результаты:

- (а) около 90% жителей Гоянии не испытали никакого ухудшения уровня жизни или условий работы;
- (б) из лиц, затронутых аварией, 30% ощутили заметное ухудшение домашних условий и 30% — условий работы;
- (с) из лиц, проверенных на предмет радиоактивного загрязнения, 74% пришли на проверку самостоятельно из страха перед облучением.

Чтобы снять эти опасения, рабочей группе было поручено разъяснить населению, чем она занимается и почему; например, членам группы рекомендовалось соглашаться на предложения попробовать воду и пищу из домашних запасов. Таким путем они обрели доверие населения и повысили степень доверия к официальным заявлениям.

Члены рабочей группы часто выступали по телевидению. Их подход состоял в изложении простым языком аналогий с традиционными, известными методами применения излучений, например рентгеновского излучения в медицине; они также рассказывали обо всем, что было известно о ситуации к моменту передачи.

Кроме того, если координаторы испытывали затруднения в разъяснении общественного какого-либо аспекта радиационной защиты, они проводили встречи с журналистами, объясняя им в общепонятных терминах вопросы использования и воздействия радиации. Была издана брошюра “Что вам нужно знать о радиоактивности и радиации”, причем разошлось 250 000 экземпляров. Телефонная служба круглосуточно отвечала на вопросы населения или принимала информацию о людях или районах, предположительно подвергшихся загрязнению.

Были проведены беседы с различными группами населения и представителями общественности, с тем чтобы восстановить уверенность в возможности нормальной общественной жизни.

Отмечалось два резко различающихся этапа в реакции средств массовой информации (печать, радио, телевидение). Первый этап характеризовался сенсационностью, ложной информацией и критикой властей. На втором этапе имело место более ответственное описание событий, стремление лучше информировать население и более ясно представлять ему все происходящее и действия, предпринимаемые НКЯЭ, а также правительствами страны и штата Гояс.

Чтобы стимулировать более ответственное освещение событий, персонал НКЯЭ предпринял усилия по обстоятельному разъяснению сути происходящего работникам средств массовой информации, по показу и объяснению своих действий. Репортеры могли сопровождать сотрудников НКЯЭ, участвующих в дезактивационных работах и в лечении пострадавших.

Дополнение III

АВАРИЯ В ГОЯНИИ В ПЕРСПЕКТИВЕ

(выдержки из обзора МАГАТЭ по вопросам ядерной безопасности за 1987 год)

Серьезные радиационные аварии

Начиная с 1945 года собран большой объем документированной информации об авариях, связанных со случаями значительного чрезмерного облучения людей¹⁰ (табл. VII и VIII). Большинство аварий на ядерных установках произошли на ранних этапах развития технологии

ТАБЛИЦА VII. СЕРЬЕЗНЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ АВАРИИ, О КОТОРЫХ ИМЕЮТСЯ СООБЩЕНИЯ (1945-1987 Г.Г.)

Тип установки	Количество случаев	Облучение ^a в чрезмерных дозах	Смертельные случаи
<i>Ядерные установки</i>	27 (34%)	272 (64%)	35 (59%)
<i>Неядерные установки</i>			
Промышленные	42 (52%)	84 (20%)	20 (34%)
Исследовательские	7 (9%)	10 (2%)	- (-)
Медицинские	4 (5%)	62 (14%)	4 (7%)
	80 (100%)	428 (100%)	59 (100%)

^a Под облучением в чрезмерных дозах здесь понимается облучение всего тела, кроветворных и других жизненно важных органов в дозе 0,25 Зв или более; кожи — 6 Зв или более; другие виды внешнего облучения — 0,75 Зв или более; поступление радиоактивных веществ внутрь организма — в размерах половины и более от “предельно допустимого содержания радиоактивных веществ в органе” (Концепцию “предельно допустимого содержания радиоактивных веществ в органе” сейчас заменила концепция “годового предела поступления радиоактивных веществ”). В таблице не учтены пострадавшие из числа специалистов и населения в результате аварии в Чернобыле.

¹⁰ The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness (Proc. REAC/TS Int. Conf. Oak Ridge, TN, 1979) (НУИТУК, Л.А., АKN, Ы.Ф., Увы), Тшкер-Ршдлфтв, Туц Ншкл (1980); НАУЧНЫЙ КОМИТЕТ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ ПО ДЕЙСТВИЮ АТОМНОЙ РАДИАЦИИ, “Ионизирующая радиация: источники и биологические эффекты”, доклад Генеральной Ассамблеи, Организация Объединенных Наций, Нью-Йорк (1982).

ТАБЛИЦА VIII. РАДИАЦИОННЫЕ АВАРИИ СО СМЕРТЕЛЬНЫМ ИСХОДОМ, О КОТОРЫХ ИМЕЮТСЯ СООБЩЕНИЯ (1945-1987 Г.Г.)^а

Год	Место	Источник излучения	Количество погибших	
			Работники	Население
1945	Лос-Аламос, США	Критическая сборка	1	-
1946	Лом-Аламос, США	Критическая сборка	1	-
1958	Винча, Югославия	Экспериментальный реактор	1	-
1958	Лос-Аламос, США	Критическая сборка	1	-
1961	Швейцария	Краситель, содержащий тритий	1	-
1962	Мехико, Мексика	Утерянный радиографический источник	-	4
1963	Китай	Облучатель семян	-	2
1964	Германия, Федеративная Республика	Краситель, содержащий тритий	1	-
1964	Род-Айленд, США	Завод по переработке урана	1	-
1975	Брешиа, Италия	Облучатель пищевых продуктов	1	-
1978	Алжир	Утерянный радиографический источник	-	1
1981	Оклахома, США	Промышленная радиография	1	-
1982	Норвегия	Стерилизатор инструментов	1	-
1983	Конституэнтес, Аргентина	Исследовательский реактор	1	-
1984	Марокко	Утерянный радиографический источник	-	8
1986	Чернобыль, СССР	Атомная электростанция	29	-
1987	Гояния, Бразилия	Демонтированный источник радиотерапевтической установки	-	4
Итого:	17 инцидентов, 59	погибших.	40	19

^а На ядерных установках, в неядерных отраслях промышленности, при исследованиях и в медицинских учреждениях (исключая события, связанные с пациентами).

использования ядерной энергии. Некоторые аварии были связаны с критичностью, некоторые произошли на экспериментальных реакторах. Хотя аварийность на ядерных установках за последние годы существенно снизилась, возросло количество аварийных ситуаций иного рода. В ряде случаев от радиационного воздействия пострадало население. Некоторые приводили к смертельному исходу, когда терялся контроль за мощными радиоактивными источниками, которые нераспознанными находились среди населения.

“Общая картина представляется ясной и хорошо документированной, даже несмотря на то, что о некоторых радиационных авариях (например, об облучении кистей рук у специалистов по промышленной радиографии) могло не сообщаться, информация, которая была бы полезной для предотвращения аналогичных случаев, оставалась недоступной. По сравнению с количеством погибших в других промышленных авариях на протяжении каждого года аналогичные данные по аварийному облучению, опубликованные за 40 лет во всем мире, не столь уж велики (см. табл. VIII). Однако относительно благополучные данные по безопасности использования излучений не дают оснований для благодушия, особенно там, где могут быть предприняты эффективные и реальные шаги для снижения риска радиационных аварий”.

Дополнение IV

УРОКИ, ИЗВЛЕЧЕННЫЕ НКЯЭ

Из аварии в Гоянии НКЯЭ сделала следующие выводы:

- (1) Радиационная авария, влекущая за собой радиоактивное загрязнение в связи с разрушением радиоактивного источника, может привести к более тяжелым последствиям, если до его обнаружения пройдет много времени.
- (2) Физические и химические свойства радиоактивного источника являются важными факторами аварии. Документация, касающаяся герметизированных источников, должна содержать информацию об этом. Предлагается учитывать физические и химические свойства источников при выдаче лицензий на их производство и придавать при этом особое значение оценке возможных последствий при авариях или неправильном использовании.
- (3) Для предотвращения паники среди части населения необходима адекватная система информации. Население в целом должно быть осведомлено о том, что такое радиация и как она применяется. Средства массовой информации должны иметь брошюру с объяснением специальных терминов и единиц измерения, связанных с радиацией. В случае радиационной аварии должна быть создана группа для предоставления информации законодательным органам, школам, церквям, общественным организациям и т. д., а также средствам массовой информации. Персонал, проводящий дезактивацию и имеющий дело с жертвами аварии, должен быть проинструктирован о том, как следует излагать понятную для населения информацию. Его контакты с людьми, пострадавшими в результате аварии в Гоянии, выявил очень важный факт: люди оценивают серьезность ситуации по поведению членов персонала. Люди, наиболее затронутые последствиями аварии, судили о действительной очистке их домов от радиоактивного загрязнения по тому, принимают ли сотрудники НКЯЭ от них воду или кофе.
- (4) В случае радиационной аварии, вызвавшей серьезное радиоактивное загрязнение, должна быть создана адекватная система социальной и психологической поддержки. В психологической поддержке нуждаются лица, прямо или косвенно пострадавшие от инцидента, и персонал, ликвидирующий его последствия. Психологи должны быть включены в качестве советников в группу, отвечающую за принятие быстрых решений и планирование мер по восстановлению положения, а также должны оценивать возможный стресс у пострадавших.

- (5) Эффективность международной помощи в случае радиационной аварии зависит от инфраструктуры данной страны. Курсы подготовки к работе в аварийных условиях следует организовать как в развивающихся, так и в развитых странах, где имеются и функционируют необходимые для этого средства. В общем плане программы касаются аварийных ситуаций, ликвидируемых мощными организациями, на которые действуют в заранее известных условиях. Однако обстоятельства во многих странах весьма различны, оборудование неоднобразно, климат неблагоприятен, а административные системы функционируют по-разному.
- (6) Всегда необходимо иметь мобильную систему первой помощи, обеспеченную воздушным транспортом.
- (7) Соответствующим международным организациям следует рассмотреть вопрос о подготовке перечня имеющегося радиологического оборудования. Таким организациям следует также иметь комплект радиологического оборудования, готового к транспортировке. Следует изменить таможенные правила с целью облегчения импорта и возврата материалов и/или оборудования. Следует рассмотреть вопрос о создании региональных центров аварийного реагирования на каждом континенте.
- (8) Приборы и оборудование должны быть приспособлены к работе в полевых условиях, то есть к использованию в условиях высокой влажности, высокой температуры и неустойчивых параметров внешней среды. Персонал, работающий с приборами, должен быть обучен измерению данных о мощности дозы в широком диапазоне доз; персонал должен знать оборудование, наиболее подходящее к различным условиям, и факторы его калибровки.
- (9) Следует иметь сведения о ресурсах персонала в соответствующих различных областях проведения работ. Эксперты в каждой из таких областей должны быть доступны для контактов, с тем чтобы в случае аварии они могли поддержать местные группы радиационной защиты. Эти эксперты должны быть готовы к активным консультациям в отношении принятия решений и выработки мер противодействия аварии и к участию в проведении всех необходимых работ. Опыт ликвидации последствий аварии в Гоянии показал, что якобы «лучшие» доклады о ней были подготовлены специалистами, не участвовавшими в восстановительных работах.
- (10) Представляется совершенно необходимым создание временного хранилища отходов вблизи зоны, затронутой радиационной аварией. Задержка в принятии решения, обычно носящего политический характер, о том, где строить такое хранилище, может привести к более значительному распространению радиоактивных веществ в окружающей среде.

- (11) Инфраструктура гражданского инженерного персонала должна быть готова к участию в дезактивационных работах.
- (12) Должна быть четко определена иерархия органов, принимающих решения и создающих рабочие группы по ликвидации последствий радиационной аварии. Распределение ответственности в процессе принятия решений, начиная с планирования и кончая действиями и оценкой последствий, должно быть совершенно однозначным, и каждая группа должна четко понимать свои функции. По возможности формируемые группы должны возглавляться людьми, руководившими ими в нормальных рабочих условиях.
- (13) В общем плане очень важна программа инспекций радиологического оборудования и установок; однако эта программа будет эффективной только в сочетании с какой-либо обязательной системой, такой как определение гражданской или профессиональной ответственности при лицензировании радиоактивных источников.

Приложение I

РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

В этом приложении содержится подробное описание радиологической контрольно-измерительной аппаратуры, которая использовалась после аварии в Гоянии, а также приводятся оценки, сделанные группой прибористов, которые работали с этой аппаратурой и их наблюдения по вопросам ее применения. В табл. IX приведена оценка характеристик аппаратуры измерения мощности дозы излучения. В табл. X содержатся такого же рода оценки для приборов контроля уровня радиоактивного загрязнения.

Замечания

На основе опыта эксплуатации аппаратуры группа НКЯЭ сделала следующие выводы:

- (1) Для предохранения контрольных приборов от воздействия окружающей среды, особенно от радиоактивного загрязнения и дождевой воды, необходимо было помещать их в пластиковые пакеты. Эта мера вызывала некоторые трудности в обращении с приборами и в снятии показаний.
- (2) Постоянно возникали проблемы с кабелем для приборов, имеющих дистанционные датчики. Зачастую кабель можно отремонтировать, но все же необходим значительный запас кабеля для замены.
- (3) Звуковые сигналы были очень полезными при определении уровня загрязнения, однако в присутствии неспециалистов (например, при контроле жилых домов) приходилось отключать звуковую сигнализацию, так как ее срабатывание вызывало тревогу среди людей.
- (4) Пропорциональные счетчики и ионизационные камеры оказались чувствительными к высокой влажности, вследствие чего были менее полезны. Кроме того, ионизационные камеры реагируют на высокие температуры.
- (5) Приборы с высвечиванием цифровой индикации были чувствительны к температуре; кроме того, было трудно снимать показания при ярком солнечном свете, особенно когда приборы упаковывались в пластиковые пакеты.
- (6) При дождях (часто проливных) вода попадала внутрь телескопических секций контрольных приборов типа "Телетектор", после чего требовалась их сушка. Сушка осуществлялась с помощью фена для волос.
- (7) Для наполнения пропорциональных счетчиков использовался газ, применяемый в зажигалках. К сожалению, выяснилось, что такой газ, имеющийся в Бразилии, не соответствует необходимым стандартам; счетчики засорялись, что приводило к большому числу отказов.
- (8) Ряд контрольных приборов имели длительное время срабатывания; это стало существенным на последних этапах работы по ликвидации последствий инцидента, когда преобладали низкие мощности дозы и уровни загрязнения.

ТАБЛИЦА IX. ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ ДОЗЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

Тип	Количество приборов	Прочность	Надежность в неблагоприятных условиях	Чувствительность	Количество отказов или ремонтов
Счетчик Гейгера-Мюллера	27	Очень хорошая	Очень хорошая	Очень хорошая	3
Пропорциональный счетчик	2	Очень хорошая	Удовлетворительная	Отличная	1
Ионизационные камеры	16	Очень хорошая	Удовлетворительная	Низкая при малых мощностях дозы	1
Дистанционные детекторы ("телекторы")	7	Очень хорошая	Удовлетворительная	Отличная	1
Дистанционные детекторы (шарнирные)	3	Очень хорошая	Очень хорошая	Хорошая	0

- (9) Впоследствии были получены сцинтилляционные измерители мощности дозы. Они были сконструированы для геологоразведочных работ. Эти приборы успешно использовались при измерениях вплоть до фоновых уровней, и они обладают очень малым временем срабатывания. Они были очень полезны для оперативного выявления малых пятен радиоактивного загрязнения. Показателем важности большой скорости срабатывания может служить факт обнаружения кипы загрязненной бумаги на грузовике, проезжавшим со скоростью 60 километров в час. Чувствительность этих приборов позволяла применять их в некоторых обстоятельствах для контроля уровней загрязненности.
- (10) Персонал первоначально задействованной группы был знаком с методами радиационного контроля, однако в дальнейшем ему пришлось использовать оборудование, характеристики и возможности которого ему не были известны. Более того, по мере развития работ пришлось привлекать значи-

ТАБЛИЦА X. ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Тип	Количество во приборов	Прочность	Надежность в неблагоприят- ных условиях	Чувстви- тельность	Количество отказов или ремонтов
Торцевой счетчик Гейгера- Мюллера	11	Очень хорошая	Очень хорошая	Отличная	3
Пропорцио- нальный счетчик	7	Низкая	Хорошая	Отличная	5
Боковой счетчик Гейгера- Мюллера	2	Очень хорошая	Очень хорошая	Удовлетво- рительная	0
Сцинтилля- ционный детектор	3	Очень хорошая	Очень хорошая	Очень хорошая	0

тельный контингент специалистов по радиационной гигиене, имевших мало практического опыта работ по радиационному контролю. Поэтому возникла необходимость организовать обучение их основам этой работы. Тем не менее возникали проблемы в связи с различиями принятых методик измерения.

Приложение II

ОСНОВАНИЯ ДЛЯ ВЫПИСКИ ПОСТРАДАВШИХ ИЗ СТАЦИОНАРА

Процедуры, принятые властями Бразилии в качестве основания для выписки пациентов, подвергшихся облучению вследствие поступления в организм цезия-137, основаны только на критериях радиационной защиты населения и окружающей среды

Рекомендованные предельные значения

Рекомендуется проводить исследования на содержание активности всего тела и суточный сбор мочи пациентов, госпитализированных по поводу поступления радиоактивности в организм, и лиц, у которых такое подозревается. Далее, рекомендуется выписывать из стационара и возвращать к месту жительства пациентов, у которых содержание внутренней активности в организме ниже значений, приведенных в табл. XI, а средняя радиоактивность мочи менее $15 \text{ kBк} \cdot \text{л}^{-1}$ ($0,4 \text{ мкКи} \cdot \text{л}^{-1}$).

Теоретическое обоснование

Согласно бразильскому стандарту CNEN-ME-6.05, Руководство по выбросам из радиационных установок (1985), допустимая концентрация цезия-137 в стоках, попадающих в канализационную систему, составляет $0,4 \text{ мкКи} \cdot \text{л}^{-1}$ ($15 \text{ kBк} \cdot \text{л}^{-1}$). Фактически этот норматив определяет такое количество радиоактивных отходов, которое при разбавлении средним дневным объемом канализационных стоков установки даст концентрацию в среднем равную $0,4 \text{ мкКи} \cdot \text{л}^{-1}$.

Предлагается применять этот предельный уровень $0,4 \text{ мкКи} \cdot \text{л}^{-1}$ к содержанию радиоактивности в моче в качестве критерия для выписки из стационара пациентов, подвергшихся внутреннему загрязнению. В этом нормативе не учитывается разбавление мочи в санитарных фитингах и канализационных трубах.

Подтвердилось, что радиогардаза R (берлинская лазурь) оказывает максимальное влияние на скорость удаления цезия с калом, доводя ее до величины, более чем втрое превышающей скорость выделения цезия с мочой; таким образом, скорость выделения $15 \text{ kBк} \cdot \text{л}^{-1}$ в моче может соответствовать до $45 \text{ kBк} \cdot \text{л}^{-1}$ или более в кале. Однако в отношении выделений с калом должно учитываться разбавление в канализационной системе санузла. Объем разбавляющей воды в этом случае составит по меньшей мере 4 л. Следовательно, фекальное вещество попадет в канализационную систему, имея уровень активности, не превышающий допустимого для радиоактивных стоков.

Предлагаемые нормативы по активности, обусловленной цезием-137 в организме человека, достаточно низки для того, чтобы нахождение среди других людей человека с таким уровнем активности не нанесло им ущерба вследствие внешнего облучения.

В табл. XII приведены данные о мощности дозы, регистрируемой в непосредственном контакте с некоторым цилиндром и на расстоянии 0,3 м от него при условии, что цилиндр содержит равномерно распределенную радиоактивность, соответствующую данным таблицы XI; размеры цилиндра были подобраны в соответствии с моделируемой возрастной группой.

ТАБЛИЦА XI. ПРЕДЛАГАЕМОЕ МАКСИМАЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ В ОРГАНИЗМЕ АКТИВНОСТИ, ПРИ КОТОРОМ ПАЦИЕНТ МОЖЕТ БЫТЬ ВЫПИСАН ИЗ СТАЦИОНАРА, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗРАСТА И ВРЕМЕНИ, ПРОШЕДШЕГО С МОМЕНТА ПОСТУПЛЕНИЯ В ОРГАНИЗМ ЦЕЗИЯ-137

Время с момента поступления в организм (сутки)	Макс. содержание активности в организме (мкКи) ^a					
	Новорожденные	1 год	5 лет	10 лет	15 лет	Взрослые
15	4,4	4,2	8,1	19,2	51,8	105,4
30	4,4	4,2	10,2	28,9	60,0	110,7
45	4,4	4,4	11,8	34,4	69,0	110,7
60	4,4	4,6	12,8	36,4	69,0	110,8
75	4,4	4,7	13,3	37,0	69,0	110,7
90	4,4	4,8	13,5	37,2	69,0	110,7
105	4,4	4,9	13,6	37,3	69,0	110,7
120	4,4	4,9	13,7	37,3	69,0	110,7
135	4,4	5,0	13,7	37,3	69,0	110,8
150	4,4	5,0	13,7	37,3	69,0	110,8
165	4,4	5,0	13,7	37,3	69,0	110,8
180	4,4	5,1	13,7	37,3	69,0	110,8
240	4,5	5,7	13,7	37,3	69,0	110,8
300	4,5	4,1	13,7	37,3	69,0	110,7
360	4,4	0,79	13,9	37,3	69,0	110,7

^a 1 мкКи = 37 кБк.

ТАБЛИЦА XII. МОЩНОСТЬ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ, СООТВЕТСТВУЮЩАЯ МАКСИМАЛЬНОМУ СОДЕРЖАНИЮ АКТИВНОСТИ В ОРГАНИЗМЕ, ПРИВЕДЕННОМУ В ТАБЛ. XI

Содержание активности в организме (мкКи) ^a	Мощность экспозиционной дозы (мР·ч ⁻¹) ^b	
	В контакте	На расстоянии 0,3 м
<i>Новорожденные</i>		
4,4	0,13	0,008
<i>1 год</i>		
4,2	0,05	0,005
4,4	0,05	0,005
4,6	0,06	0,006
4,7	0,06	0,006
4,8	0,06	0,006
4,9	0,06	0,006
5,0	0,06	0,006
5,1	0,06	0,006
5,7	0,07	0,007
4,1	0,05	0,005
0,79	0,01	0,001
<i>5 лет</i>		
8,1	0,04	0,007
10,2	0,05	0,008
11,8	0,06	0,010
12,8	0,07	0,011
13,3	0,07	0,011
13,5	0,07	0,011
13,6	0,07	0,011
13,7	0,07	0,011
<i>10 лет</i>		
19,2	0,06	0,011
28,9	0,09	0,017
34,4	0,10	0,020
36,4	0,11	0,021
37,0	0,11	0,021
37,2	0,11	0,021
37,3	0,11	0,021

ТАБЛИЦА XII (продолжение)

Содержание активности в организме (мкКи) ^a	Мощность экспозиционной дозы (МР·ч ⁻¹) ^b	
	В контакте	На расстоянии 0,3 м
<i>15 лет</i>		
51,8	0,09	0,021
60,0	0,10	0,024
69,0	0,12	0,028
<i>Взрослые</i>		
105,4	0,13	0,034
110,7	0,14	0,036
110,8	0,14	0,036

^a 1 мкКи = 37 кБк.

^b 1 МР = 0,258 мКи·кг⁻¹.

Приложение III

РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА

Защитные мероприятия при проведении работ в медицинских учреждениях

Почти все пациенты Центральной больницы Гоянии и военно-морского госпиталя Марсилио Диас в Рио-де-Жанейро, помещенные туда в результате инцидента, характеризовались высокой степенью поступления активности в организм, особенно те, кто был доставлен в госпиталь. Этот факт создал проблемы как внешнего облучения, так и радиоактивного загрязнения. Так, например, мощность дозы гамма-излучения вблизи пациентов в момент их госпитализации колебалась примерно от $10 \text{ мкЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$ до $15 \text{ мЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$ (вблизи от загрязненных ран). Вследствие этого понадобились широкие мероприятия по контролю и надзору со стороны служб радиационной гигиены, которые необходимо было увязывать с неотложными медицинскими требованиями. Для палат пришлось установить контрольные зоны с соответствующим ограждением и разработать особые правила работы в них; кроме того, надо было обеспечить специальные средства дезактивации.

Была явная необходимость установления контроля за биопробами выделений пациентов. Сами пробы с уровнем активности вплоть до $30 \text{ МБк} \cdot \text{л}^{-1}$ (моча) и $75 \text{ МБк} \cdot \text{л}^{-1}$ (кал) вызывали проблемы радиоактивного загрязнения как больницы, так и дозиметрического оборудования (раздел 6.1). Однако еще большей заботой радиационных гигиенистов стала проблема выделения цезия-137 из организма пациентов с потом. Несмотря на регулярную дезактивацию, пациенты представляли собой передвижной возобновляемый источник радиоактивного загрязнения.

Для оценки потребностей в дезактивации проводились обычные измерения уровня загрязнения, и пациенты, если не было медицинских противопоказаний, в целях дезактивации принимали душ. Велась запись основных данных по уровням радиоактивного загрязнения в контролируемых зонах. Расхождения в протоколах измерений затрудняют интерпретацию результатов, однако в контрольных зонах часто отмечались уровни загрязненности $105\text{--}106 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2}$. В некоторых палатах военно-морского госпиталя Марсилио Диас проводился радиационный контроль воздуха ввиду возможности повторного появления радиоактивных взвесей, однако уровни радиоактивного загрязнения были низкими. Сточные воды и мусор также проходили контроль.

В целях облегчения дезактивации везде, где это было возможно, пол и стены закрывались пластиковыми покрытиями. Опыт первой недели выявил необходимость изменения некоторых правил работы. Особой методики надо было придерживаться при проведении аутопсии четверых скончавшихся жертв аварии.

Чтобы обеспечить в военно-морском госпитале действенную службу радиационной гигиены, были установлены две 12-часовые рабочие смены радиогигиенистов, в каждой из которых имелось четыре специалиста, работавших в палатах и занимавшихся контролем персонала и отходов. Кроме того, еще четверо были

заняты дезактивацией поверхностей и одежды, организацией перевозки и перемещения пациентов.

Дозы облучения персонала, входившего в контролируемую зону, измерялись с помощью плоских пленочных дозиметров и карандашных дозиметров ЭКН (электрометр с кварцевой нитью), при контакте с пациентами применялись термолюминесцентные дозиметры в виде перстней. За все время госпитализации пострадавших доза профессионального облучения не превысила 5 мЗв.

Защитные мероприятия при проведении работ в Гоянии

При проведении аварийных работ в Гоянии существовала высокая вероятность профессионального облучения, как внешнего так и внутреннего, и в этой ситуации было необходимо оборудование дозиметрического контроля. Установленные основные принципы и принятые методики были такими же, что и в большинстве учреждений, имеющих дело с радиацией. Однако обстоятельства, в которых они применялись — в неблагоприятных условиях окружающей среды и на объектах, не приспособленных к условиям радиации, — были необычны. Это требовало прагматического подхода, сочетающего в себе гибкое мышление с глубоким пониманием вопросов радиационной защиты.

В местах наибольшего загрязнения мощность дозы составляла порядка десятков миллизивертов в час, а в нескольких пятнах превышала $1,0 \text{ Зв} \cdot \text{ч}^{-1}$. Работы в этих зонах в ходе дезактивации следовало предварительно планировать, причем ограничивающим фактором при этом зачастую служили прогнозируемые дозы. Чтобы облегчить такого рода планирование, а также общий радиационный контроль, были официально установлены пределы дозы для различных периодов времени, а именно:

- 1,5 мЗв в сутки;
- 5,0 мЗв в неделю;
- 15,0 мЗв в месяц;
- 25,0 мЗв в квартал.

Контроль профессионального облучения велся с помощью пленочных дозиметров, однако непрерывный дозовый контроль осуществлялся на основе ежедневного снятия показания карандашных дозиметров ЭКН. В общей сложности было использовано 450 таких «карандашей» (75 штук получены от МАГАТЭ и 221 — из Франции). Из-за высокой влажности окружающей среды их приходилось носить между слоями одежды, что, в свою очередь, создавало условия для их разряда в случае неосторожного обращения с концевыми колпачками. Обеспечение работ дозиметрическими приборами с прямой индикацией, способными работать в условиях окружающей среды места аварии, — важнейший вопрос для рассмотрения органами, которые планируют действия в аварийной обстановке.

Наиболее трудной была работа по контролю за радиоактивным загрязнением, ибо она требовала использования соответствующей защитной одежды, а также хороших навыков практической деятельности. Условия окружающей среды были таковы, что обычные комбинезоны одноразового пользования были при-

знаны непригодными, и вместо них использовались матерчатые комбинезоны. Необходимо было оборудовать специальную прачечную, хотя бы самую примитивную. Правильная работа обеспечивалась посредством контроля, обучения и использования письменных инструкций. Обучение стало особенно важным мероприятием, поскольку, как это бывает при любой серьезной аварии, контингент работающих включал большое количество людей, имеющих незначительный опыт работы в условиях радиации или не имеющих такового вообще (в рассматриваемом случае это относилось к двум третям работающих). Даже многие профессионалы не обладали непосредственным опытом практической работы и нуждались в некотором обучении.

Дозиметрический контроль персонала

Внешнее облучение

В работах по ликвидации последствий аварии в Гоянии приняли участие тем или иным образом в общей сложности 755 работников. Они работали на складах утиля I, II и III; на 57-й улице, где была разрушена капсула источника; в месте обнаружения кип загрязненной бумаги; в хранилище радиоактивных отходов; в больнице тропических болезней; в других больницах Гоянии и в военно-морском госпитале Марсилио Диас в Рио-де-Жанейро. Различные группы занимались разной деятельностью: это приборное обеспечение и дозиметрия, руководство, дезактивация, обследование жилищ, поиск новых очагов радиоактивного загрязнения, прием жалоб от населения.

Среди этих работников только 262 человека ранее работали или получили какую-то подготовку в области защиты от излучений. Другим изредка доводилось работать с ионизирующими излучениями, и они были привлечены к аварийным работам, так как имели соответствующие специальности (например, дозиметристы).

Индивидуальный дозиметрический контроль всех работников осуществлялся с помощью пленочных дозиметров, которые заменялись по прошествии месяца или по окончании каждого этапа работ. Пленочные дозиметры отсылались в Институт радиационной защиты и дозиметрии (ИРД) в Рио-де-Жанейро, а результаты возвращались обратно в центральную систему контроля в Гоянии.

Использование карандашных дозиметров ЭКН первоначально было ограничено очень малой группой, но со временем их носили приблизительно 450 человек. Дозиметрический контроль с помощью ЭКН проводился ежедневно. Каждое утро каждый работающий брал с собой свой ЭКН, и в конце дня доза регистрировалась в личном файле, в котором содержалась также запись о зоне, где работал данный человек. Ежедневно этот файл обрабатывался с помощью компьютерной программы по сбору данных.

Пленочные дозиметры были предоставлены Институтом радиационной защиты и дозиметрии (ИРД). Дозиметры ЭКН поступили из различных лабораторий, и часть из них была откалибрована в тех учреждениях, откуда они были присланы (более половины калибровалось в ИРД). Для проверки дозиметров

ЭКН ежедневно в случайном порядке отбиралось восемь штук, и они облучались в течение ночи источником на основе цезия-137. На следующее утро регистрировались показания дозиметров и их разброс. Дозиметры, ошибка которых превышала 20%, изымались.

Данные по всем 755 работникам, включающие 583 величины накопленных доз за период с 30 сентября по 21 декабря 1987 года, показывают, что 67,6% работников получили дозы менее 1 мЗв и все 100% получили менее 16 мЗв. Последняя величина ниже установленного НКЯЭ предельного значения квартальной дозы для этой аварии, составляющего 30 мЗв. Было определено среднее значение накопленной дозы для каждой группы, выполнявшей определенные работы. Наибольшую дозу — 4,7 мЗв за три месяца — получила группа, проводившая дезактивацию главных очагов радиоактивного загрязнения.

Поступление активности в организм

В общем 194 человека, принимавших участие в аварийных работах в профессиональном качестве, прошли дозиметрический контроль на предмет поступления активности в организм. Контроль проводился в ИРД с помощью счетчика излучения всего тела. Оказалось, что у 38 человек в организме содержится радиоактивное вещество, количество которого превышает минимально детектируемый уровень радиоактивности (74 Бк за время счета 30 минут). Самый высокий уровень активности в организме составил $2,0 \pm 0,3$ кБк, что соответствует ожидаемой эквивалентной дозе примерно 10 мЗв.

Облучение населения

Радиометрические исследования и оценки внешнего облучения показывают, что облучение населения в районах, установленных как очаги радиоактивного загрязнения, характеризуется следующими показателями:

(а) Вблизи очагов

- В доме по 57-й улице позади дома 68 полученная доза внешнего облучения оценивается величиной от 0,08 до 0,12 Зв (учитывался период времени с момента разрушения источника до изоляции района). В этом доме проживало пять человек.
- В соседних домах по 57-й улице интегральная доза внешнего облучения находится в пределах от 0,8 до 0,012 Зв;
- В окрестностях остальных основных очагов загрязнения, суммарные дозы внешнего облучения оцениваются величинами от 0,2 до 9 мЗв.

(б) В местах, отдаленных от очагов загрязнения

- В трех зданиях в Анаполисе образовались пятна радиоактивного загрязнения с уровнями активности до $250 \text{ мР} \cdot \text{ч}^{-1}$ ($1 \text{ Р} = 258 \text{ мкКи} \cdot \text{кг}^{-1}$), а в трех других в Апаресида-де-Гоянии — пятна, дававшие мощность дозы

до $30 \text{ мР} \cdot \text{ч}^{-1}$. Эти дома подверглись радиоактивному загрязнению только потому, что туда заходили люди, имевшие перед этим непосредственный контакт с цезием-137.

(с) На улицах

- Суммарные дозы, полученные за этот период на улицах, оцениваются в пределах от 1,12 до 1,73 мЗв.

(d) Перевозка остатков сборки источника

- Была проведена реконструкция обстановки внутри автобуса, на котором М.Ф. и G.S. перевезли остатки сборки с источником со склада утиля III на улице Р-19 в санитарное управление на улице 16А. Это позволило оценить максимальную дозу, которую мог получить гипотетический пассажир, находящийся в наиболее неблагоприятном положении по отношению к источнику в течение 15 минут — наибольшего предполагаемого времени поездки. Было установлено, что эта доза не превысила бы 0,3 Зв на ноги. На расстоянии 1,4 м от источника эта цифра упала бы до 0,04 Зв без учета какого-либо дополнительного экрана на пути пучка излучения.

(e) Санитарное управление

- Было проведено расследование с целью установить сотрудников Санитарного управления, которые могли непосредственно контактировать с источником или побывать вблизи него во дворе, где 28 сентября были оставлены остатки сборки с источником.

На основании этой информации был сделан вывод о существовании большого количества людей, подвергавшихся опасности облучения. Согласно сделанным в отношении этих людей оценкам только четверо получили измеримые дозы, что было установлено путем цитогенетического анализа, а именно 0,2 Гр, 0,3 Гр, 0,5 Гр и 1,3 Гр. Только у одного человека было отмечено внутреннее радиоактивное загрязнение свыше предела измерения — 0,74 ГБк. Эти люди находятся под пристальным наблюдением со стороны специалистов по радиационной медицине из НКЯЭ и врачей министерства здравоохранения штата Гояс; наблюдение включает регулярные клинические осмотры и анализы.

Как было установлено, менее 1000 человек подверглось внешнему облучению в дозах, превышающих годовую дозу от естественного фона. Предварительное восстановление хода событий, основанное на информации о содержании активности в источнике в период его пребывания в упомянутых местах, позволяет утверждать, что более 97% из этих 1000 человек получили дозы облучения в пределах от 0,2 до 0,001 Зв.

За период с 30 сентября по 22 декабря главный центр НКЯЭ, расположившийся на Олимпийском стадионе Гоянии, провел дозиметрический контроль приблизительно 112 000 человек. Из них у 249 человек было выявлено внешнее или внутреннее радиоактивное загрязнение. Из этого числа как внутреннему, так и

ТАБЛИЦА XIII. ДОЗЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ВО ВРЕМЯ
ИНЦИДЕНТА В ГОЯНИИ

Количество людей	Ожидаемая доза (70 лет) (Зв)
45	<0,005
42	0,005-0,05
33	0,05-1,0
4	1-2
2	2-3
1	3-4
1	5-6
1	7

внешнему загрязнению подверглись 129 человек. Биопробы и измерение на счетчике излучения всего тела, установленного НКЯЭ в Гоянии, дали результаты, представленные в табл. XIII.

Из этой последней группы 49 человек были госпитализированы. Из 49 госпитализированных 22 человека нуждались в интенсивной терапии. Среди этих пациентов, десятеро находились в критическом состоянии, у них развились клинические осложнения и радиодерматиты. Четыре пациента умерли, одному пришлось ампутировать предплечье. Выжившие пациенты были выписаны после внутренней и внешней дезактивации; сейчас они находятся под амбулаторным медицинским наблюдением.

Приложение IV

ХИМИЧЕСКАЯ ДЕЗАКТИВАЦИЯ

(Ниже приводится краткое изложение технических записей, сделанных бразильскими экспертами по вопросам методологии химической дезактивации, применявшейся в ходе аварии в Гоянии.

Предполагается, что более подробное техническое описание таких методик будет опубликовано в литературе.)

Цезиевое загрязнение в Гоянии: химические аспекты

Перед обсуждением методов дезактивации рассматривается механизм загрязнения цезием. Хлорид цезия-137 (перемешанный со связующим веществом), из которого состоял исходный радиоактивный источник, поддается выщелачиванию водой и водными растворами. Энергия связи кристаллов хлорида цезия низка, а его растворимость в воде очень высока (приблизительно 2 кг на 1 кг воды при 30°). Ионы $(Cs^+)_{aq}$ несколько меньше, чем ионы $(K^+)_{aq}$, и легко замещают их в слаборастворимых соединениях, таких как силикаты или ионообменники, как минеральные, так и органические. Эти процессы предполагают наличие термодинамического равновесия, и, хотя соединения Cs^+ с большими анионами менее растворимы, чем соединения K^+ , а ионы Cs^+ легко замещают все щелочные ионы в ионообменниках, ионы Cs^+ могут быть вытеснены ионами K^+ и даже ионами Na^+ в процессе концентрации.

Главными объектами и материалами, на которые влиял перенос ионов и загрязнение ионами Cs^+ , являлись люди и животные, почвы (некоторое количество кремнеземных материалов, в основном глины, двухслойные кремнеземы с ионообменными свойствами, особенно по отношению к ионам Cs^+), водные растворы, бетон и цемент.

Исходный хлорид цезия подвергался гидратации и высвобождал ионы Cs^+ . Они абсорбировались кожей людей, почвенными водами и зданиями. (Это может быть определено как "первичное загрязнение"). В почвах ионы Cs^+ захватывались через посредство ионообменного процесса силикатами глин, а также силикатами в составе бетона и цемента.

Процесс этого первичного загрязнения привел к очень серьезному поражению людей. Через кожу ионы Cs^+ проникали в мышцы и в систему кровообращения. В некоторых случаях цезий поступал в организм перорально, и ионы Cs^+ попадали непосредственно в желудок, кишечник и в кровь.

Вторичный процесс был обусловлен загрязнением почвы: люди, животные и дождевая вода способствовали переносу загрязнения в здания, обуславливая распространение ионов Cs^+ за счет конкурирующих механизмов. Загрязненная почва образовывала пыль, с которой ионы Cs^+ переносились на кожу людей, на строе-

ния, крыши и т. д. Там с помощью влаги или дождевых вод процесс установления равновесия приводил ко вторичному загрязнению. Вдыхание людьми воздуха, загрязненного радиоактивной пылью, также вело к вторичному загрязнению.

Значительными источниками первичного и вторичного загрязнения служили люди и животные, контактировавшие с исходным радиоактивным источником и переносившие ионы Cs^+ с потом, мочой, слюной и калом. Эти носители распространяли ионы Cs^+ в высокорастворимой форме, абсорбируемой более интенсивно, чем в случае переноса с почвой или пылью. Такого рода загрязнение намного сильнее взаимодействовало с цементом, бетоном, окрашенными поверхностями, синтетическими органическими материалами и фенольными смолами. Некоторые поверхности, окрашенные масляной краской, содержали берлинскую лазурь в качестве пигмента. Известно, что этот пигмент интенсивно поглощает ионы Cs^+ в результате обмена с ионами K^+ (или с ионами Fe^{3+} , с меньшей вероятностью).

Подготовительные лабораторные исследования

В лаборатории анализа минералов ИРД было обеспечено проведение химического анализа и изучение кинетики процесса связывания ионов Cs^+ ионами гексацианферрата (берлинской лазури) $[Fe(CN)_6]^{4-}$ в суспензиях в целях выведения цезия из организма пациентов в военно-морском госпитале Марсилио Диас. Исследование суспензии с содержанием 0,5% берлинской лазури показало, что происходит захват 99,9% ионов Cs^+ путем замещения ими ионов K^+ . Было найдено, что препарат (производства фармацевтической лаборатории Маринья, Рио-де-Жанейро), имеющий формулу $KFe(CN)_6$ и названный РВК, обладает растворимостью менее 10^{-12} . В отличие от этого, опыты с промышленной берлинской лазурью, применяющейся в качестве пигмента в красителях, показали захват цезия только на 30%. Дальнейшие исследования берлинской лазури включали изучение сорбции и десорбции цезия-137 в почвах с высоким содержанием глины, в установках по дезактивации мочи и жидких отходов и в качестве реагента для индивидуальной дезактивации.

Сорбция и десорбция в почвенном слое

Моча, содержащая цезий-137, пропусклась через однолитровые колонны с почвой, аналогичной почвам Гоянии. (Параллельно проводились серии экспериментов.) Для связывания ионов Cs^+ в почвах, схожих с почвой во дворе R.A., где, возможно, осталось 18 ТБк (500 Ки) активности, были предложены калиевые квасцы и суспензии из портландского цемента. Эксперименты продемонстрировали, что растворы квасцов (содержащие ионы K^+ , Al^{3+} и SO_4^{2-}) полностью десорбируют ионы Cs^+ путем обмена с ионами K^+ и коагуляции минералов глинозема. Наилучший результат по захвату цезия дает осаждение РВК. (Предло-

жение по использованию каолинита было отвергнуто, поскольку такие суспензии фильтруются почвой, замедляют перколяцию и имеют невысокую способность к поглощению цезия).

Дезактивация мочи и жидких отходов

Эксперименты с ионообменниками показали, что цезий-137 очень эффективно выводится с помощью сильных кислот и катионообменных смол, насыщенных РВК, даже в присутствии ионов Na^+ , Ca^{2+} , Al^{3+} в высокой концентрации. Анионообменные смолы, насыщенные РВК, дают меньшую эффективность. Изготовленные из полихлорвиниловых (ПХВ) труб колонны литрового объема (2 дюйма \times 0,5 м) использовались в Гоянии в больницах и при дезактивационных работах.

Реагенты для внешней дезактивации людей

На кожу наносились кремы и гели, содержащие ионообменные вещества. Ионы Cs^+ , имеющиеся на поверхности кожи и попавшие внутрь организма под воздействием механизмов переноса и установления химического равновесия, замещаются ионами Na^+ , H^+ или K^+ в зависимости от типа ионообменного материала: катионит Na^+ (RNa типа сульфополистирола); ионит H^+ (RH); или смола с РВК (RAPK). Кремы, легко накладываемые на кожу слоями в 2–5 мм толщиной, получались на основе карбоксиметилцеллюлозы, глицерина и каолинита. RNa, замещающий ионами Na^+ ионы Cs^+ , мягче действует на кожу, а RH образует на коже соляную кислоту, которая вызывает раздражение. Наиболее активной ионообменной смолой была RAPK. (На основе этих экспериментов в центральной больнице Гоянии для обработки загрязненных пациентов применялась RAPK).

Работы по химической дезактивации

Группа химической дезактивации в составе 20 человек была создана в Гоянии из сотрудников ИРД, ИПЭН, ИЭН, НУКЛЕБРАЗ, ФУРНАС и Федерального университета Рио-де-Жанейро; на 57-й улице была развернута полевая лаборатория. Полевая подготовка включала изучение задач, которые могут возникнуть, и выбор наиболее подходящего образа действий в каждой ситуации.

Как того требовали обстоятельства, каждая подгруппа численностью от двух до четырех человек назначала одного человека для ведения дозиметрического контроля. Наиболее широко использовались детекторы загрязнения поверхностей. Химическая дезактивация проводилась в случаях, когда загрязнение обуславливалось мощностью дозы свыше $15 \text{ P} \cdot \text{ч}^{-1}$ ($1 \text{ P} = 258 \text{ мкКи} \cdot \text{кг}^{-1}$).

Следующий перечень иллюстрирует разнообразие объектов и предметов, которыми приходилось заниматься:

- Санитарное управление: полы, стены, столы, пишущие машинки, стулья, бетон;
- Центральная больница Гоянии: палаты, помещение для дезактивации, ваннные комнаты, полы, окна;
- Больница тропических болезней: спальни, керамические полы, ваннные комнаты;
- СООЖ — институт детства и юности: комнаты, стулья, стены, двери, рестораны, ваннные комнаты, плавательный бассейн;
- бар: металлические столы, стулья, цементные полы;
- строение на складе утиля I, которое не было снесено: бетонный пол, стены, крыши, автомобили, инструменты, механизмы, двигатели;
- склад утиля II: обломки вращающейся сборки (за исключением капсулы с источником), которая была доставлена сюда из клиники ГИР, асфальтовое покрытие, прилегающие стены;
- склад утиля III: грузовые автомобили, велосипеды, тяжелые шины;
- двор дома № 68 по 57-й улице: почва (обрабатывалась растворами квасцов в кислоте, затем хлопчатобумажными полотенцами, насыщенными РВК, с использованием для их фиксации пенополиуретановых прямоугольников со свинцовой защитой; при работах с автопогрузчиками, суспензия РВК сводила к минимуму дренирование ионов Cs^+ во время проливных дождей; автопогрузчики, грузовые автомобили, инструменты и улица дезактивировались струями воды, иногда с добавлением HCl-Al-РВК);
- Олимпийский стадион: ваннные комнаты, канализационные системы санузлов, асфальтовое покрытие улицы, автомобили, барабанный пресс;
- частные дома: полы, стены, ваннные комнаты, кухни, окна, приусадебные участки, предметы домашнего обихода, холодильники, мебель;
- дома №№ 58 и 80 по 57-й улице: строения, мебель, кровли (кровли очищались с помощью пылесосов изнутри и струями воды снаружи; около 50% поверхностной активности удалялось посредством смывания; внутри более 90% активности несла на себе пыль; радиоактивные растворы подвергались химической обработке);
- ценные вещи и предметы личного обихода: ювелирные изделия и часы; деньги, документы и фотографии; одежда;
- военно-морской госпиталь Марсилио Диас в Рио-де-Жанейро;
- выделения из организма пациентов госпиталя.

Методы химической дезактивации

Ввиду большого разнообразия материалов, подлежащих дезактивации, было разработано несколько технологий дезактивации в целях скорейшего дости-

жения результата, обеспечения минимума разрушений и минимального количества отходов:

- растворы калиевых квасцов, подкисленные соляной кислотой (K-Al- HCl), для глиняных или цементных полов и стен, а также для почвы или материалов, загрязненных радиоактивной почвой, и для крыш (использованные растворы собирались и впоследствии проходили переработку);
- органические растворители, затем K-Al- HCl : для восковых или жировых пятен на полах и столах;
- растворы каустика (NaOH) с моющими средствами, затем K-Al- HCl : для полов, покрытых синтетическими материалами, некоторых механизмов, пишущих машинок, личных вещей;
- этиленгликоль или пропиленгликоль с соляной кислотой: для замасленных цементных полов, личных вещей, ювелирных изделий;
- галогенированные углеводороды, затем растворители: для разрушения и последующего удаления краски;
- соляная кислота плюс берлинская лазурь плюс калиевые квасцы (РВК- HCl-Al): для почвы, бетона, цемента, асфальта, бумаги (фотографии, документы, деньги), одежды;
- кремы или гели, содержащие РАПК: для кожи и объектов, требующих осторожного обращения, таких как мебель, экраны телевизоров;
- плавиковая кислота (HF) с соляной кислотой и АРК: для глазурованных керамических поверхностей (кухни, ванны комнаты), эмалированных поверхностей (духовки, холодильники, стиральные машины), гранит и другие силикатные материалы;
- водные струи: для очистки поверхностей от загрязнений (полы, крыши, стены, автомобили, автопогрузчики);
- механическое и химическое воздействие (с использованием K-Al- HCl и РВК- HCl-Al) щетками и с применением промышленных шлифовальных машин;
- аспираторы и полиуретановые губки: для сбора жидких радиоактивных отходов;
- химическая переработка растворов и суспензий, содержащих РАПК или АРК (в ходе переработки получается всплывающий на поверхность цезий).

Обработка выделений пациентов в лаборатории НКЯЭ в Гоянии

Для обработки загрязненной радиоактивными веществами мочи в Гоянии были установлены две системы. Они представляли собой фильтр из песка и активированного угля, резервуар (20 л, из ПВХ) и две соединенные последовательно

однолитровые колонны длиной 0,5 м, также из ПВХ, содержащие катионообменную смолу, насыщенную РВК. Разбавленная и подкисленная моча медленно фильтровалась через колонны, защищенные свинцовой фольгой. Регулярно проводились замеры активности и мощности дозы. После фильтрования 50 л мочи (100 л раствора с разбавлением 1:1, или 100 объемов колонны), распределившийся в колонне цезий еще не достигал ее конца. Распределение активности измерялось при помощи счетчика Гейгера-Мюллера со свинцовым окошком. Максимум активности, обуславливающий мощность дозы $7 \text{ мР} \cdot \text{ч}^{-1}$, находился на расстоянии 0,1 м от верха колонны. Когда поток направлялся во вторую колонну, первая заменялась. Очищенная от цезия моча на выходе имела фоновую активность.

Обработка кала носила циклический характер и осуществлялась в 60-литровых барабанах путем разбавления и вступления в реакцию с ионообменной смолой, насыщенной РВК, которая связывала ионы Cs^+ . Загрязненные смолы отправлялись к месту хранения радиоактивных отходов, а оставшаяся жидкость, имеющая фоновую радиоактивность, сбрасывалась в канализацию. Так обрабатывались все фекалии, которые собирались в стационарах и отправлялись на анализ.

Радиоактивные отходы, образовавшиеся в военно-морском госпитале Марсилио Диас

После аварии в Гоянии в военно-морском госпитале Марсилио Диас образовались радиоактивные отходы многих видов. Эти отходы включали медицинские материалы, использовавшиеся при оказании медицинской помощи пациентам, и выделения людей, подвергшихся внутреннему радиоактивному загрязнению.

Такие отходы сортировались и обрабатывались. Обработка фекалий состояла в перемешивании их с негашеной известью и цементом; для обработки мочи использовалась ионообменная смола. Другие виды радиоактивных отходов прессовались или кондиционировались.

В общей сложности накопилось около 3,5 тонны твердых отходов, 3 м³ мочи и 350 кг фекалий, которые хранились в небольшой специальной установке в НКЯЭ/ИЭН в Рио-де-Жанейро.

Суммарная радиоактивность, обусловленная цезием-137 и сброшенная в канализационную систему с октября 1987 года по май 1988 года, составила около 2×10^8 Бк.

Для дезактивации мочи применялась катионообменная смола S100-Lewatit. Максимальная достигнутая эффективность составила примерно 90% при скорости тока мочи $6 \text{ л} \cdot \text{ч}^{-1}$ и ее разбавлении в соотношении четыре части воды на одну часть мочи. Кривая насыщения смолы и изменение ее эффективности в зависимости от разбавления показаны на рис. 25.

Прошли дезактивацию и другие материалы, в большинстве случаев посредством обычного мытья водой с моющими средствами. Общее количество материалов, поступивших в ИЭН для дезактивации из военно-морского госпиталя

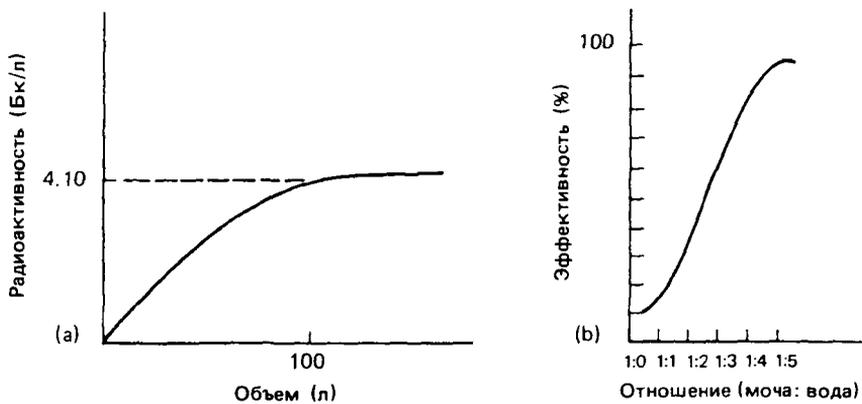


РИС.25. (а) Количество цезия-137, задержанного в объеме катионо-обменной смолы как функция объема разбавленной мочи (одна часть мочи на четыре части воды). (б) Изменение эффективности захвата цезия-137 в зависимости от разбавления мочи (при скорости потока мочи $6 \text{ л} \cdot \text{ч}^{-1}$).

Марсилио Диас за период с октября по декабрь 1987 года, было следующим: два санитарных автомобиля; 1000 единиц одежды (защитной и больничной); 150 хирургических инструментов; 50 единиц госпитального оборудования и 50 предметов личного обихода.

ЛИТЕРАТУРА

Бразильские и другие документы, касающиеся радиационной аварии в Гоянии

Приводимые ниже документы можно получить в Национальной комиссии по ядерной энергии (НКЯЭ), Рио-де-Жанейро, Бразилия

MEZRAHI, A., XAVIER, A.M., Radioactive waste transport and management in Goiânia.

HEILBRON, P.F.L., Source inventory calculation.

FILHO, A.T.,^a Design and construction of the temporary repository.

FERREIRA, M.C., Monitoring in Goiânia with a mobile unit.

SILVA, C.J., DELGADO, J.V., LUIZ, M.T.B., BARROS, P.D.,^b DA CUNHA, P.G., Considerations relating to the decontamination of houses in Goiânia: limitations and implications, II General Congress on Nuclear Energy, Rio de Janeiro, April 1988.

GODOY, J.M., GUIMARAES, J.R., GOUVEIA, V.A., ROCHEDO, E.R., Caesium-137 monitoring in water and soil near Goiânia.

AMARAL, E.C.S., VIANNA, M.E.C., GODOY, J.M., ROCHEDO, E.R., CAMPOS, H.J., OLIVEIRA, J.P., REIS, W.G., PIRES DO RIO, M.A., PEREIRA, J.C.A., ROMEIRO, C.H., RAMOS JUNIOR, A.C., Considerations relating to the decontamination of soils in Goiânia: population dose in the first year and in the long term, II General Congress on Nuclear Energy, Rio de Janeiro, April 1988.

LIPSZTEIN, J.L., BERTELLI, L.D., MELLO, D.R., AZEREDO, A.M.G.F., JULIAO, L., SANTOS, M.S., Internal contamination.

NOGUEIRA, C.A., LOURENCO, M.C., DANTAS, B.M., LUCENA, E.A., Whole body monitoring.

RAMALHO, A.T., NASCIMENTO, A.C., Cytogenetic dosimetry.

BRANDAO MELO, C.E., First steps in medical care. Organization of the irradiated patients' infirmary in the Goiânia General Hospital. Clinical and analytical assessment of the patients.

FARINA, R., Measures to accelerate caesium elimination: experience acquired.

OLIVEIRA, A.R.,^c Evaluation and treatment of radiodermatitis. Medium and long term medical follow-up of the patients.

MASSINI, N.,^d PALHARES, F.,^d Legal medical aspects of the accident in Goiânia.

DA NOBREGA, A.W., Caesium retention by polyurethane foam with Prussian Blue.

MEDEIROS, J.A., DE MELO FERREIRA, A.C., DE PAULA MELO, L.T.D.V., CARVALHO, M.L.C.P., ZYLBERBERG, H., DA CUNHA, V., Caesium-137: chemical decontamination in Goiânia.

DE MELO FERREIRA, A.C., MEDEIROS, J.A., Caesium-137 decontamination of liquid and solid wastes.

NEI, C., *Air monitoring during site decontamination work in Goiânia.*

ROZENTAL, J.J., Chronological summary: search for contaminated sites, houses and casualties; public monitoring.

BIAGIO, R.M., TAHUATA, L., VARGAS RAMOS, E., Occupational monitoring in the accident in Goiânia.

SORDI, G.M.,^e Radiation protection: procedures and limits.

BECKER, P., Technical personnel and equipment.

BARRETTO, P., DA FONSECA, E.S., Aeroradiometric survey of the city of Goiânia after the accident with caesium-137, II General Congress on Nuclear Energy, Rio de Janeiro, April 1988.

JANSEN, J., Infrastructure, II General Congress on Nuclear Energy, Rio de Janeiro, April 1988.

PERES, S.S.,^f SILVA, J.J.G.,^f Management of radioactive wastes from hospitals due to the accident in Goiânia.

PERES, S.S.,^f SILVA, J.J.G.,^f Evaluation of the processes used for the treatment of radioactive hospital wastes containing caesium-137.

SILVA, J.J.G.,^f Some radiation protection aspects of the emergency in the Ferroviário district of Goiânia.

FAJARDO, P.W.,^f Radiation protection procedures at Marcilio Dias Naval Hospital during the treatment of the casualties of the radiological accident in Goiânia.

SILVA, L.H.C.,^f ROSA, R.,^f FAJARDO, P.W.,^f Radiation protection at Marcilio Dias Naval Hospital during the treatment of the casualties of the radiological accident in Goiânia.

NETO, L.B., LIPSZTEIN, J.L., Methodology for dosimetric calculations in connection with the incorporation of caesium by adults.

NETO, L.B., LIPSZTEIN, J.L., Methodology for dosimetric calculations in connection with the incorporation of caesium by children.

OLIVEIRA, C.A.N.,^g FARINA, R.,^g BERTELLI, L.,^g NATARAJAN, A.T.,^g Measurements of radioactivity due to caesium-137 in blood from individuals internally exposed in the accident in Goiânia: a preliminary report (in preparation).

OLIVEIRA, A.R.,^c VALVERDE, N.J.,^d BRANDAO MELO, C.E., HUNT, J.,^h General medical and related aspects of the accident in Goiânia (to be published).

VALVERDE, N.J.,^d CORDEIRO, J.M., OLIVEIRA, A.R.,^c BRANDAO MELO, C.E., The acute radiation syndrome in the Brazilian caesium-137 accident.

TAHUATA, L., General description of the radiological accident in Goiânia.

CLARKE BINNS, D.A., Searching for radiation: Goiânia, Brazil, 1987.

GUIMARAES, J.R.D., GODOY, J.M., GOUVEA, V.A., ROCHEDO, E.R., Environmental impact of the Goiânia radiological accident.

BRANDAO MELO, C.E., FARINA, R., OLIVEIRA, A.R.,^c The radiation accident in Goiânia: medical aspects. Preliminary reports.

LIPSZTEIN, J.L., OLIVEIRA, C.A.N., BERTELLI, L., AZEREDO, A.M., JULIAO, L., RABELLO, B., VILLALOBOS, J.P., SANTOS, M.S., Internal dosimetry and bioassay procedures for the caesium accident in Goiânia.

RAMALHO, A.T., NASCIMENTO, A.C., BRANDAO MELO, C.E., The accident in Goiânia, Brazil: cytogenetic dose estimates.

BERTELLI, L., LIPSZTEIN, J.L., Age dependent biological half-lives of caesium-137 under the effects of the administration of Prussian Blue to casualties of the accident in Goiânia.

OLIVEIRA, C.A.N., LIPSZTEIN, J.L., LOURENCO, M.C., DANTAS, B.M., LUCENA, E.A., A whole body counter installation for attending to casualties of the accident in Goiânia, Health Physics Society, 1988 Annual Meeting, July 1988, Health Phys. **54** Suppl. 1 (1988) S61/S63.

DELGADO, J.U., MENDES, L., Animals contaminated with caesium-137: a question for decision, Ciencia Hoje (May 1988).

BRANDAO MELO, C.E., FARINA, R., OLIVEIRA, A.R.,^c Short and medium term follow-up programmes for casualties of the accident in Goiânia: a proposal (to be published).

AMARAL, E.C.S., ROCHEDO, E.R., Setting derived limits for the environment.

AMARAL, E.C.S., GODOY, J.M., CAMPOS, H.J., PIRES DO RIO, M.A., The dispersion of caesium-137 in the soils of Goiânia: differences and implications of their rehabilitation (to be published).

GODOY, J.M., AMARAL, E.C.S., VIANNA, M.E.C., PIRES DO RIO, M.A., CAMPOS, H.J., OLIVEIRA, J.P., The characteristics of the soils of Goiânia and the migration of caesium-137 (to be published).

PALACIOS, E.,^j GIMENEZ, J.C.,^j El accidente de Goiânia, Boletín No. 10, Sociedad Argentina de Radioprotección (March 1988).

ALMEIDA, C.E., ROZENTAL, J.J., NAZARE ALVES, R., The radiological accident in Goiânia: an overview (Int. Congr. of Medical Physics, San Antonio, TX, 6-12 August 1988).

MENDONCA, A.H., The radiological accident in Goiânia, Brazil: preliminary report (4th Int. Symp. Radioecology of Cadarache on the Impact of Accidents of Nuclear Origin on the Environment, March 1988).

NATIONAL NUCLEAR ENERGY COMMISSION, The Radiological Accident in Goiânia: preliminary report, CNEN, Rio de Janeiro (1988).

NAZARE ALVES, R., The radiological accident in Goiânia: preliminary report, presented to the Board of Governors of the IAEA (February 1988).

ALMEIDA, C.E., The episode in Goiânia: its dimensions and the action taken (Nat'l Acad. of Medicine Mtg, 7 December 1987).

*Работы, опубликованные в специальном выпуске
Ciencia Hoje, Vol. 7, No. 40 (1988)*

NATIONAL NUCLEAR ENERGY COMMISSION, Report to the Brazilian Society of Physics: questions and answers (1988).

MOSCATI, G.,^k Radioactive disintegration.

OKUNO, E.,^k Ionizing radiation.

PASCHOA, A.S.,^l A caesium-137 source.

GOMES, R.A.,^m Biological effects.

FERRARI, I.,ⁿ Chromosomal aberration calculations.

LIPSZTEIN, J.L., RAMALHO, A.T., The search for caesium-137.

FERRAZ, E.S.B.,^p The environmental contamination.

GUIMARAES, J.R., Monitoring the contaminated city.

GOMES, R.A.,^m The radiation background.

FRANCA, E.P.,^q Radioactive waste deposit.

FIGUEIREDO, V.,^r DE QUADROS, M.P.S.,^r PEREIRA, E.B.,^r No way out of responsibilities.

FILHO, J.P.C., The lawyer for right of access to information.

PASCHOA, A.S.,^l Radiation protection.

^a ФУРНАС, Рио-де-Жанейро.

^b ДЕКС III/НКЯЭ, Рио-де-Жанейро.

^c НУКЛЕБРАЗ, Рио-де-Жанейро.

^d УНИКАМП, Сан-Паулу.

^e ИПЭН/НКЯЭ, Сан-Паулу.

^f ИЭН/НКЯЭ, Рио-де-Жанейро.

- g Факультет радиационной генетики и химического мутагенеза, Лейденский
государственный университет, Лейден, Нидерланды.
- h НУКЛЕИ, Рио-де-Жанейро.
- j Национальная комиссия по атомной энергии, Буэнос-Айрес, Аргентина.
- k Институт физики Университета Сан-Паулу.
- l Физический факультет Католического университета, Рио-де-Жанейро.
- m Институт биологии Государственного университета, Рио-де-Жанейро.
- n Факультет радиационной защиты Национального университета, Бразилия.
- p Центр по применению ядерной энергии в сельском хозяйстве, Университет
Сан-Паулу.
- q Институт биофизики Федерального университета, Рио-де-Жанейро.
- r Факультет социологии Национального университета, Бразилия.

Примечание. Остальные авторы — сотрудники Института радиационной защиты и дозиметрии (ИРД) НКЯЭ.

*Аварийные процедуры, применявшиеся в ходе
радиационной аварии в Гоянии*

- Планирование радиационной защиты населения и окружающей среды в
месте временного хранения отходов.
- Процедуры для сбора и упаковки образовавшихся радиоактивных отходов.
- Обнаружение и классификация зон радиоактивного загрязнения.
- Методология упаковки отходов, загрязненных цезием-137.
- Критерии классификации отходов, загрязненных цезием-137.
- Критерии захоронения отходов, загрязненных цезием-137.
- Определение стандартов питьевой воды по содержанию цезия-137.
- Создание системы ограничения доз и оценки доз профессиональных работни-
ков, участвовавших в ликвидации последствий аварии.
- Критерии классификации загрязненных зон и их возвращения к неогра-
ниченному использованию.
- Определение методов классификации загрязненных зон.
- Определение допустимых уровней загрязнения поверхности земли для
классификации загрязненных зон и их возвращения к неограниченному
использованию.
- Определение эффективности счета и проведение калибровки бета- и
гамма-счетчиков модели Eberline E520, оснащенных зондами модели HP210
(Pancake).
- Определение эффективности счета и проведение калибровки бета- и гамма-
счетчиков модели Eberline E120, оснащенных зондами модели HP270, серийные
№№ 20 и 23.
- Процедуры оценки уровней активности грунта.
- Процедуры нормальной эксплуатации стиральной машины SITEC
(модель SLEX-3).
- Критерии использования стиральной машины, принадлежащей ФУРНАС и
обеспечивающей загрузку 30 кг белья.

Критерии отбора одежды, для стирки или дезактивации.

Критерии хранения в больницах и удаления экскрементов пострадавших в ходе радиационной аварии в Гоянии.

Оценка количества радиоактивного материала источника.

Критерии возврата одежды, принадлежащей населению и не загрязненной цезием-137.

Критерии выписки из стационара пациентов, загрязненных цезием-137.

Процедуры сбора бочек с радиоактивными отходами из сортировочных зон.

Процедуры обращения с радиоактивными отходами в сортировочных зонах и транспортировки отходов к местам хранения.

Процедуры транспортировки собранных радиоактивных отходов.

СПИСОК УЧАСТНИКОВ

ОБЗОРНОЕ СОВЕЩАНИЕ В СВЯЗИ С ИНЦИДЕНТОМ В ГОЯНИИ

Рио-де-Жанейро
12-22 июля 1988 года

Государства-участники

Аргентина

Palacios, E.

Бразилия

de Almeida, C.E.
Barretto, P.M.C.
Bertelli Neto, L.
Brandão, C.E.
da Cunha, P.G.
Girarde, H.A.
Godoy, J.M.
Gomes, J.J.
Lipsztein, J.L.
Medeiros, J.A.
Mendonça, A.H.
Oliveira, A.R.
Pélico, J.W.
Penna Franca, E.
Ramalho, A.T.
Rozenal, J.J.
dos Santos, H.I.
da Silva Gomes, J.
Sordi, G.M.
Tahuata, L.
Tranjan Filho, A.
Valverde, N.

Франция

Nénot, J.-C.
Gongora, R.

Германия, Федеративная Республика

Drexler, G.

Япония

Katagiri, H.
Matsuo, M.
Oyama, R.

Мексика

Ortíz Magaña, R.

Нидерланды

Natarajan, A.T.

Испания

Saenz-Gancedo, R.

Союз Советских Социалистических Республик

Селидовкин Г.Д.

Соединенное Королевство

Croft, J. (IAEA consultant)
Duncan, K.

Соединенные Штаты Америки

Lushbaugh, C.
Paperiello, C.
Ricks, R.
Wrenn, E.M. (IAEA consultant)

Международные организации

Комиссия европейских сообществ

Oberhofer, M.

Международная комиссия по радиологической защите

Beninson, D.J. (Chairman of Meeting)

Всемирная организация здравоохранения

Waight, P.J.

Международное агентство по атомной энергии

González, A.J.

Kenneke, A.P.

Lederman, L.

Utting, R.

Delves, D. (редактор)

Flitton, S.P. (редактор)

Мельник О.И. (редактор)

КАК ЗАКАЗАТЬ ПУБЛИКАЦИИ МАГАТЭ

Агент с исключительным правом на продажу публикаций МАГАТЭ, которому необходимо направлять все заказы и запросы, назначен в следующую страну:

СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ UNIPUB, 4611-F Assembly Drive, Lanham, MD 20706-4391

Публикации МАГАТЭ могут быть куплены в следующих странах у агентов по продаже или в нижеперечисленных книжных магазинах, или через крупных местных книгопродавцов.

Оплата может производиться в местной валюте или в купонах ЮНЕСКО.

АВСТРАЛИЯ	Hunter Publications, 58 A Gipps Street, Collingwood, Victoria 3066
АРГЕНТИНА	Comisión Nacional de Energía Atómica, Avenida del Libertador 8250, RA-1429 Buenos Aires
БЕЛЬГИЯ	Service Courrier UNESCO, 202, Avenue du Roi, B-1060 Brussels
ВЕНГРИЯ	Kultura, Hungarian Foreign Trading Company, P.O. Box 149, H-1389 Budapest 62
ИЗРАИЛЬ	Heiliger & Co. Ltd. 23 Keren Hayesod Street, Jerusalem 94188
ИНДИЯ	Oxford Book and Stationery Co., 17, Park Street, Calcutta-700 016 Oxford Book and Stationery Co., Scindia House, New-Delhi-110 001
ИСПАНИЯ	Díaz de Santos, Lagasca 95, E-28006 Madrid Díaz de Santos, Balmes 417, E-08022 Barcelona
ИТАЛИЯ	Libreria Scientifica, Dott. Lucio de Biasio "aeiou", Via Meravigli 16, I-20123 Milan
КИТАЙ	Публикации МАГАТЭ на китайском языке: China Nuclear Energy Industry Corporation, Translation Service P.O. Box 2103, Beijing Публикации МАГАТЭ на других языках (кроме китайского): China National Publications Import & Export Corporation Deutsche Abteilung, P.O. Box 88, Beijing
ПАКИСТАН	Mirza Book Agency, 65, Shahrah Quaid-e-Azam, P.O. Box 729, Lahore-3
ПОЛЬША	Ars Polona-Ruch, Centrala Handlu Zagranicznego, Krakowskie Przedmiescie 7, PL-00-068 Warsaw
РУМЫНИЯ	Ilexim, P.O. Box 136-137, Bucarest
СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО	Her Majesty's Stationery Office, Publications Centre, Agency Section, P.O. Box 276, London SW8 5DR
СССР	Москва Г-200, Смоленская-Сенная 32-34, Международная книга
ФРАНЦИЯ	Office International de Documentation et Librairie, 48, rue Gay-Lussac, F-75240 Paris Cedex 05
ЧИЛИ	Comisión Chilena de Energía Nuclear, Venta de Publicaciones Amunategui 95, Casilla 188-D, Santiago
ЧЕХОСЛОВАКИЯ	S.N.T.L., Mikulandska 4, CS-116 86 Prague 1 Alfa, Publishers, Hurbanovo námestie 6, CS-815 89 Bratislava
ШВЕЦИЯ	AB Fritzes Kungl. Hovbokhandel, Fredsgatan 2, P.O. Box 16356, S-103 27 Stockholm
ЮГОСЛАВИЯ	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, POB. 36, YU-11001 Belgrade
ЮЖНАЯ АФРИКА	Van Schaik Bookstore (Pty) Ltd., P.O. Box 724, Pretoria 0001
ЯПОНИЯ	Maruzen Company, Ltd., P.O. Box 5050, 100-31 Tokyo International

Заказы и заявки на информацию из стран, в которых еще не назначены агенты по продаже, необходимо направлять непосредственно в Отдел публикаций МАГАТЭ по адресу:



Division of Publications
International Atomic Energy Agency
Wagramerstrasse 5, P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria

РИС. 7. План Гоянии с указанием основных районов радиоактивного загрязнения.

РИС. 8. Схематическая диаграмма распространения цезия-137 во время аварии в Гоянии.

РИС. 9. Люди, наиболее тяжело пострадавшие от загрязнения во время аварии в Гоянии.



- | | |
|---------------------------------------|---|
| A – клиника ГИР | G – дом физика W. F. |
| B – место первого демонтажа источника | H – олимпийский стадион |
| C – склад утиля I | J – центральная больница |
| D – склад утиля II | K, L – другие районы радиоактивного загрязнения |
| E – склад утиля III | M – начальный командный пункт НКЯЭ |
| F – санитарное управление; | N – нынешнее помещение управления НКЯЭ |

РИС.7. План Гоянии с указанием основных мест радиоактивного загрязнения.

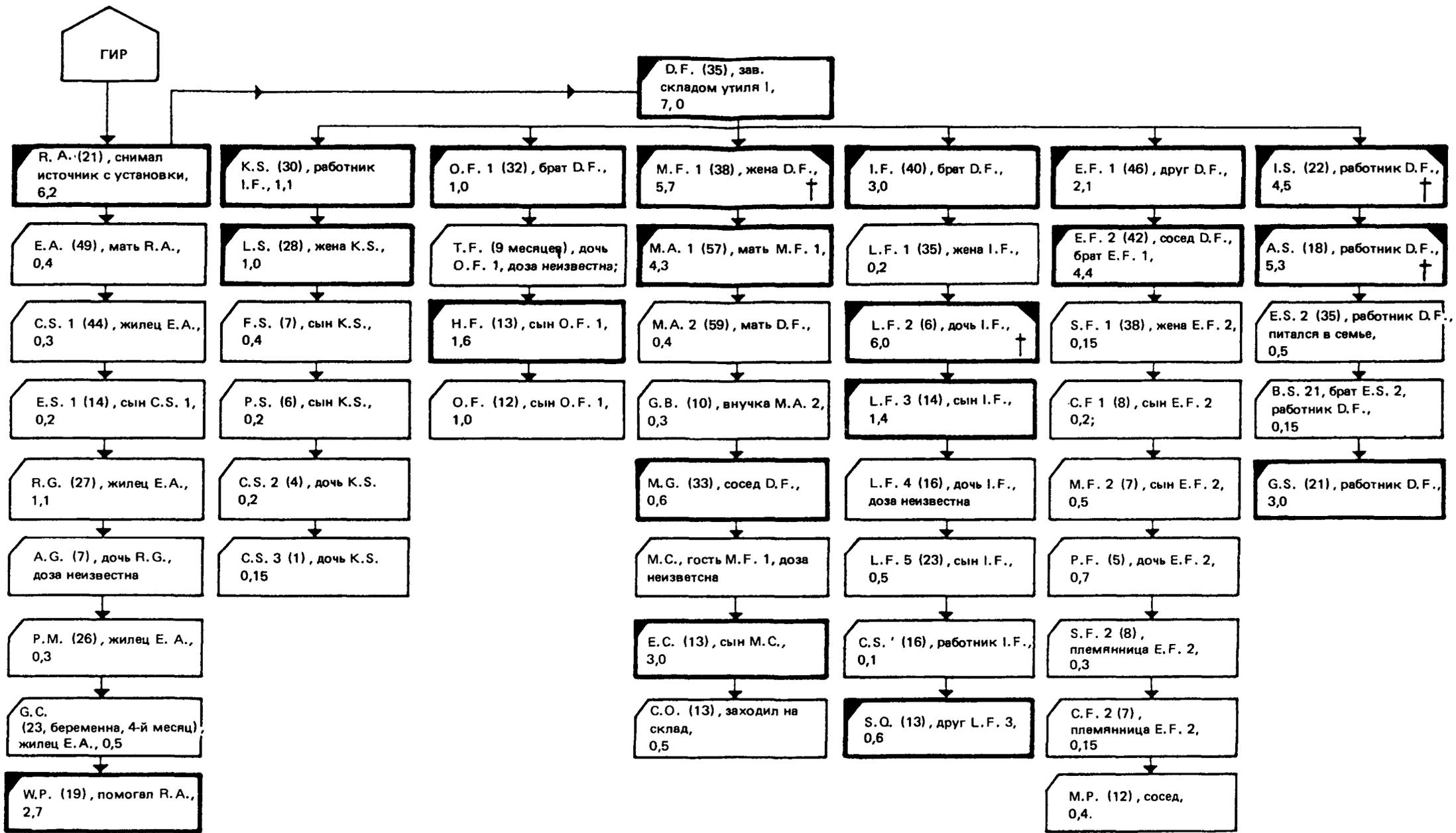


Рис.9. Схема-перечень лиц, подвергшихся наибольшему радиационному поражению в ходе аварии в Гоянии, перечислены места загрязнения радиоактивными веществами и семьи, к которым принадлежат пострадавшие. Приведены также оценки полученных доз (по данным цитогенетического анализа в Гр), информа-

ция о госпитализированных пострадавших и о четырех летальных исходах от радиационного воздействия (на схеме в черных рамках выделены госпитализированные лица; остальные лечились амбулаторно).



Сборка с источником;



Капсула источника;



Радиоактивное загрязнение цезием из источника;

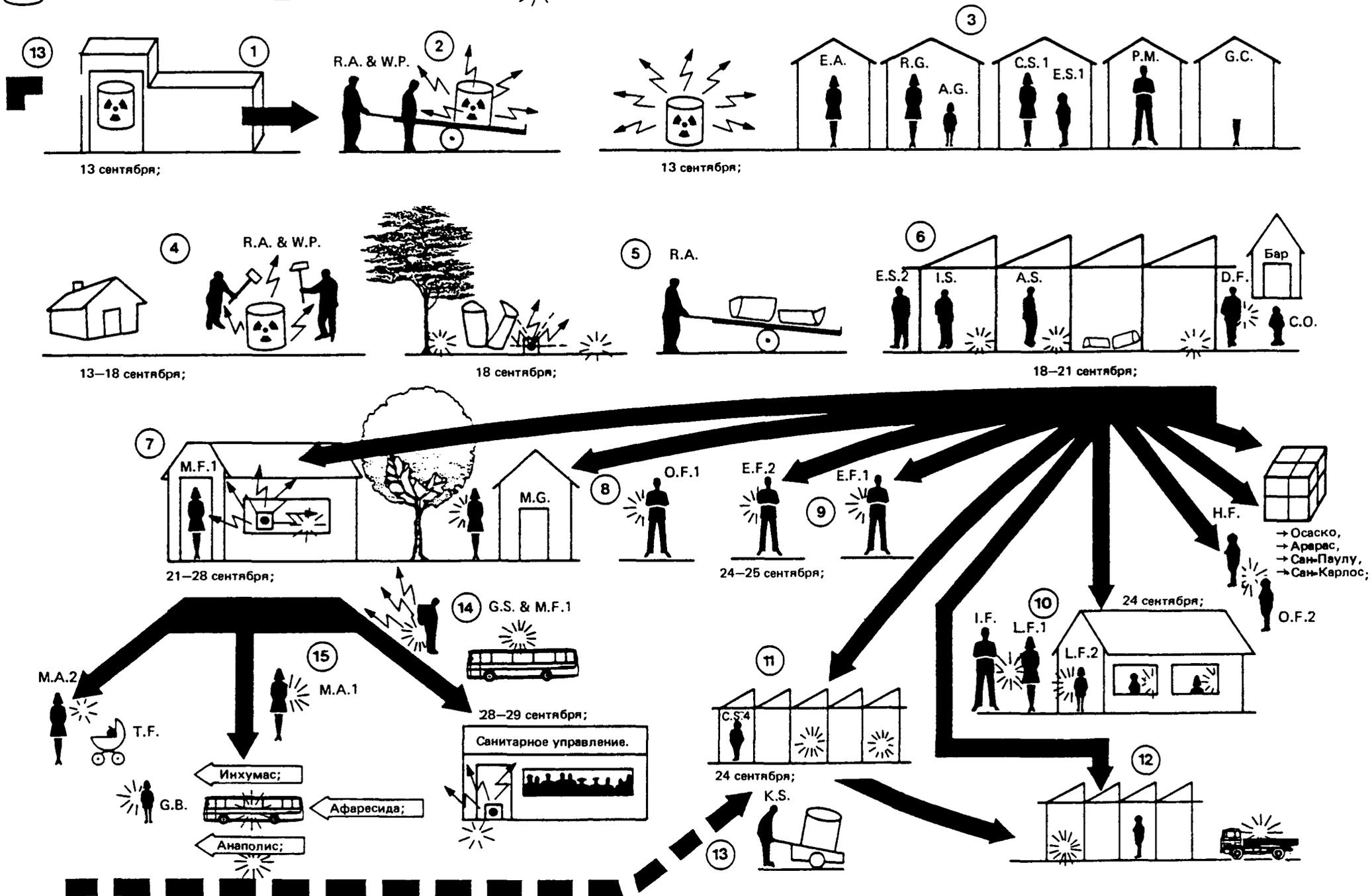


РИС. 8. Схематическая диаграмма распространения цезия-137 во время аварии в Гоянии. Диаграмма основана на рисунке, сделанном вскоре после обнаружения аварии в попытке восстановить, что именно произошло. Диаграмма воспроизведена в форме первоначального рисунка, несмотря на его отличия в небольших деталях от того, что сейчас считается наилучшим описанием событий (см. текст доклада). Ключевые обозначения: (1) брошенная клиника ГИР; (2) снятие R.A. и W.P. врачами с брошенной сборки с источником с брошенной радиотерапевтической установки; (3) сборка с источником помещена во дворе R.A. около домов, сдаваемых в аренду E.A. (матерью R.A.); (4) R.A. и W.P. разрушают сборку с источником и пробивают капсулу источника; (5) R.A. продает части сборки с

источником владельцу склада утиля I; (6) склад утиля I; хлорид цезия разбит на кусочки и разносен I.S. и A.S. по общественным местам; (7) дом D.F.: загрязнение продолжает распространяться; (8) происходит загрязнение гостей и соседей, например O.F.1.; происходит загрязнение E.F.1 и E.F.2.; (10) дом I.F.: стрелками показано распространение радиоактивности через гостей и загрязненную бумажную макулатуру, отправленную в другие города; (11) загрязнение достигает склада утиля II; (12) загрязнение достигает склада утиля III; (13) K.S. возвращается в клинику ГИР, чтобы забрать остатки радиотерапевтической установки на склад утиля II; (14) M.F.1 и G.S. отвозят остатки источника городским автобусом в Санитарное управление; (15) загрязнение перенесено в другие города через M.A.1 (диаграмму любезно предоставила НКЯЭ Бразилии).

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО
ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА, 1989