

УДК 621.039.58
© 1997

РАДИАЦИОННАЯ АВАРИЯ НА ПО “МАЯК”: ПРАКТИКА КОНТРОЛЕЙ, ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ИЗВЛЕЧЕННЫЕ УРОКИ

Г.Н. Романов
Россия, г.Озерск, ПО “Маяк”

Представлены данные о содержании и эффективности контролей 1957-1959 г.г. после аварии на ПО “Маяк”. Эти меры включали восстановление производственной деятельности предприятия, обеспечение радиационной безопасности населения г. Озерска и жителей, оказавшихся на загрязненной в результате аварии территории Челябинской и Свердловской областей. Приведена оценка целесообразности предпринятых мер и их эффективности в снижении доз облучения населения. Показано, что в начальный послеварийный период наиболее эффективной явилась экстренная эвакуация населения.^{*)}

1. ОСОБЕННОСТИ АВАРИЙНОЙ ОБСТАНОВКИ

Основные характеристики аварии и обусловленной ей радиационной ситуации (причины аварии, ее последствия для ПО “Маяк”, радионуклидный состав и уровни радиоактивного загрязнения территории, радиационные характеристики и др.) приведены в известных публикациях [1-3].

Создавшаяся аварийная обстановка характеризовалась своими особенностями, определившими последующую стратегию и содержание исправляющих действий. Такими характерными чертами последствий аварии являлись:

1. Взрыв отходов в емкости №14 комплекса хранилища отходов, включавшего 20 емкостей, не только разрушил эту емкость, но привел к остановке действия всего ком-

плекса вследствие нарушения систем водяного охлаждения, вентиляции, средств контроля и кабельных сетей. Это имело своим результатом серьезные осложнения в работе технологических линий, прежде всего связанных с обработкой жидких радиоактивных отходов.

2. Основная доля (около 90%) содержащихся в емкости $20 \cdot 10^6$ Ки по суммарной β -активности была рассеяна при взрыве на площадке предприятия на расстояние до нескольких километров, сосредоточившись преимущественно вблизи места взрыва. Интенсивное радиоактивное загрязнение этой части территории площадки предприятия, в частности, площадки строившегося завода по регенерации отработавшего ядерного топлива, тоже нарушило нормальную деятельность предприятия прежде всего из-за риска облучения персонала и разноса ра-

^{*)} - Рассматриваются только исправляющие действия, предпринятые на начальной и промежуточной фазах послеварийного периода (экстренные и неотложные меры). Не рассматриваются меры долговременного характера, присущие поздней фазе, в частности, проблемы социально-хозяйственной реабилитации загрязненной территории.

диоактивного загрязнения по всей территории площадки под воздействием производственной деятельности и перемещения автотранспорта.

3. Радиоактивному загрязнению в ближайшие дни после взрыва подверглась территория жилой зоны г. Озерска вследствие разноса загрязнения с территории площадки предприятия за счет работы автотранспорта, перемещения персонала и материалов.
4. Часть продуктов взрыва, будучи рассеянной в атмосфере (2 MKu по суммарной β -активности), осела на территории за пределами площадки предприятия, образовав Восточно-Уральский радиоактивный след протяженностью до 300 км и площадью около $20 \cdot 10^3 \text{ км}^2$. Наиболее интенсивное загрязнение территории было характерно для головной части следа на протяжении первых 20 км, где плотность загрязнения территории достигала $(1-4) \cdot 10^3 \text{ Ku } ^{90}\text{Sr}/\text{км}^2$ или $(40-150) \cdot 10^3 \text{ Ku } \Sigma\beta/\text{км}^2$.
5. Радиационная опасность для населения, преимущественно сельского, на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа была обусловлена потреблением в пищу местных загрязненных продуктов, а также внешним γ -облучением от среды обитания вследствие преобладания γ -излучающих нуклидов (почти 95% суммарной активности) в активности продуктов взрыва. По мере распада γ -излучающих нуклидов, которые распались практически полностью через 5 лет, радиационная опасность стала определяться только ^{90}Sr , что обусловило долговременное, на протяжении всей жизни человека, существование этого фактора риска.
6. Из общей численности населения в 270 тыс. человек, проживавших к моменту аварии на территории радиоактивного загрязнения с минимальным уровнем загрязнения $0,1 \text{ Ku } ^{90}\text{Sr}/\text{км}^2$, наибольшей радиационной опасности подверглось население на наиболее загрязненной территории. По последующим оценкам необходимость применения мер радиационной защиты каса-

лась населения, доля которого в общей численности этого региона не превышала 5-10%.

2. ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКШИЕ ПОСЛЕ АВАРИИ

В принципе, весь комплекс контрмер был направлен на решение двух основных проблем: восстановление нормальной производственной деятельности предприятия и обеспечение радиационной безопасности населения, включая промышленный и привлекаемый персонал предприятия.

По своему содержанию контрмеры включали мероприятия технического характера и мероприятия, относящиеся к изменению (вмешательству) нормальной жизнедеятельности населения и условий использования территории проживания.

Практически все исправляющие действия потребовали их обоснования и разработки надлежащих способов и технологии их реализации. Однако, как показало время, отдельные решения не показали впоследствии большей эффективности в снижении радиационного риска, что будет проиллюстрировано ниже.

Неожиданность и масштабы аварии привели в действие все уровни управления - государственные, ведомственные, местные. В это время отсутствовали международные и отечественные рекомендации по обращению с последствиями тяжелых радиационных аварий, а также рекомендуемые: содержание аварийных планов, контрмеры и нормативы. Для принятия решений о стратегии и содержании послеаварийных работ потребовалось объединение усилий, знаний и эрудиции значительного числа специалистов, ученых и представителей власти. Не надо забывать и о том, что вся эта деятельность проходила в условиях строгой секретности.

Послеаварийными действиями на ПО "Маяк" руководили непосредственно Министерство среднего машиностроения, его 4 Главное управление и дирекция ПО "Маяк". Про-

блемами радиационной защиты населения г. Озерска, в дополнение к ведомственному управлению со стороны Минсредмаша и ПО "Маяк", руководили органы местной власти и размещенный в г. Озерске медико-санитарный отдел №71, подчиненный 3 Главному управлению Минздрава СССР.

Особо сложной и ответственной была схема управления послеаварийными действиями на территории Восточно-Уральского следа. Общее руководство осуществлял Совет Министров СССР, реализацию значительного большинства мер проводили ПО "Маяк" и исполнительные комитеты Челябинской и Свердловской областей, разработку радиационно-гигиенических нормативов, оценку состояния и реабилитацию здоровья населения осуществляли Минздрав СССР и его 3 Главное управление с привлечением местных научных и практических санитарных и медицинских учреждений.

3. ЭКСТРЕННЫЕ И НЕОТЛОЖНЫЕ МЕРЫ

3.1. КОНТРМЕРЫ, ПРЕДПРИНЯТЫЕ НА ПО "МАЯК"

Краткое описание целей и содержания контрмер, проведенных на ПО "Маяк" и его промышленной площадке в течение начального послеаварийного периода [2, 4], приведено в табл. 1.

Следует отметить особо, что авария 1957 г. не привела к временной остановке или прекращению производственной деятельности предприятия, и хотя авария значительно осложнила эту деятельность, ликвидация последствий аварии была начата практически на следующий день и проводилась далее по специально разработанным и уточняющимся во времени программам.

При дезактивации территории промышленной площадки, дорог, зданий и сооружений в качестве руководящих дозовых нормативов для участвовавшего в послеаварийных работах персонала использовали значения принятых в то время на предприятии допустимых

уровней профессионального облучения (из расчета 15 бэр/год) и поверхностного загрязнения промышленного оборудования. Специальные повышенные аварийные дозовые нормативы для персонала не вводились.

Дезактивационные работы были выполнены специально созданными, в том числе механизированными отрядами, включавшими персонал предприятия и контингент военно-строительных частей.

Дезактивацию загрязненных участков территории проводили в основном до уровней мощности дозы γ -излучения и поверхностного загрязнения, которые были типичными для соседствующих незагрязненных в результате аварии участков.

3.2. КОНТРМЕРЫ, ОСУЩЕСТВЛЕННЫЕ В Г. ОЗЕРСКЕ

Контрмеры, предпринятые в г. Озерске для снижения уровней радиоактивного загрязнения территории жилой зоны, общественных помещений и мест сосредоточения людей (табл. 2), были начаты фактически на следующий день после аварии и поэтому могут считаться экстренными. Основной их объем был выполнен до наступления зимы 1957-1958 г.г. Эти работы были осуществлены под руководством местных органов власти, ПО "Маяк" и местных медико-санитарных органов. Основная доля работ по дезактивации была выполнена силами специальных подразделений, созданных ПО "Маяк". Контрмеры явились действенными; уровни радиоактивного загрязнения поверхностей за пределами и внутри помещений были снижены в 10^2 - 10^3 раз, что обусловило, наряду с эффектом радиоактивного распада короткоживущих нуклидов, достижение к наступлению зимы 1957-1958 г.г. достаточно благополучной, стабильной радиационной обстановки в городе. Были сняты многие ограничения, уменьшен объем радиационного контроля. В 1958 г. основной задачей дозиметрических служб оставался контроль за уровнями радиоактивного загрязнения продовольствия, поступавшего в город извне.

Таблица 1

Послеаварийные контрмеры, осуществленные на ПО "Маяк"

Основные проблемы	Задачи, подлежавшие решению	Содержание контрмер
Обеспечение нормальной производственной деятельности предприятия	1. Восстановление и реконструкция комплекса хранилищ жидких высокоактивных отходов	Восстановление охлаждения и вентиляции комплекса, реконструкция приборного комплекса средств контроля и кабельных сетей, модернизация системы охлаждения, дезактивация комплекса, ликвидация разрушенной емкости (завершено к началу 1958 г.)
	2. Строительство и пуск в эксплуатацию нового комплекса хранилищ жидких высокоактивных отходов	Консервация существовавшего комплекса хранилищ (удаление отходов, дезактивация, заполнение чистой водой). Пуск в эксплуатацию нового комплекса с надежными системами охлаждения, контроля, вентиляции (1961 г.)
	3. Упорядочение производственной деятельности	Частичное изменение размещения рабочих мест персонала и технологии. Прекращение строительства на участках с интенсивным радиоактивным загрязнением. Перемещение дислокации военно-строительной части за пределы площадки предприятия. Консервация отдельных зданий и сооружений (все - в течение первых 2-5 дней)
Радиационная защита персонала. Предотвращение распространения радиоактивного загрязнения за пределы промышленной площадки	1. Организация эффективной системы дозиметрического контроля	Увеличение численности персонала дозиметрической службы, срочное дополнительное оснащение службы дозиметрическими и радиометрическими приборами, в том числе собственного изготовления (в течение первой недели)
	2. Дезактивация загрязненных участков территории и транспортных коммуникаций	Засыпка поверхности наиболее загрязненных участков вблизи места взрыва чистым грунтом до снижения мощности дозы γ -излучения не менее чем в 10 раз. Удаление и захоронение верхнего слоя (5-10 см) грунтовых дорог и обочин асфальтобетонных дорог. Засыпка чистым гравием полотна и откосов железнодорожных путей. Удалено и захоронено всего около 320 тыс. м ³ грунта и гравия. Основной объем работ выполнен к началу 1958 г.
	3. Дезактивация автомобильного и железнодорожного транспорта, отдельных зданий и сооружений	Отмывка водой с применением щеток и дезактивирующих средств (40% -ная щелочь, K_2MnO_4 , керосин + H_2SO_4 , щавелевая кислота и т.п.)
	4. Упорядочение использования дорог и автомобильного транспорта	Модификация схемы движения автотранспорта, частичное ограничение выезда автотранспорта за пределы промышленной площадки (в течение первой недели), пуск в эксплуатацию мойки автомашин и пункта их дозиметрического контроля (январь 1958 г.)
	5. Обеспечение личной радиационной безопасности персонала	Усовершенствование и увеличение объема персонального дозиметрического и радиометрического контроля, обязательная и контролируемая послесменная санитарная обработка

3.3. КОНТРМЕРЫ ПО РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ НАСЕЛЕНИЯ

Ориентировочная оценка последствий аварии по уровням радиоактивного загрязнения территории, прилегающей к предприятию, была осуществлена фактически на следующий день. Были признаны необходимыми срочное и подробное изучение сложившейся радиационной обстановки, оценка возможности серьезных радиологических последствий для населения и принятие экстренных мер радиационной защиты населения [4].

Вследствие отсутствия научно обоснованных критериев радиационной защиты населения первоочередной задачей явилось обоснование

этих мер, что потребовало в свою очередь изучения особенностей путей формирования доз облучения. Ориентировочный прогноз и последующее широко развернутое изучение радиационной обстановки позволили прийти к выводу, что, несмотря на отсутствие критериев, экстренные и неотложные меры радиационной защиты населения должны включать эвакуацию населения, дезактивацию территории и контроль уровней радиоактивного загрязнения продовольствия с целью изъятия его из употребления при превышении допустимых уровней загрязнения [4].

Первое решение по радиационной защите населения, проживавшего в 4 населенных пунктах на удалении 12-23 км от места взры-

Таблица 2

Послеаварийные контрмеры, осуществленные в г. Озерске [4]

Задачи	Содержание контрмер
Обеспечение эффективного дозиметрического и радиометрического контроля	<ol style="list-style-type: none"> 1. Создание и техническое оснащение службы дозиметрического контроля (в течение первых 2 дней) 2. Организация постоянного радиометрического контроля продовольствия (склады, магазины, столовые, хлебозавод, молочный завод), дозиметрического и радиометрического контроля территории города, дорог, автотранспорта, общественных учреждений, школ, детских садов, отдельных жилых помещений (в течение осени 1957 г.)
Дезактивация территории	<ol style="list-style-type: none"> 1. Систематическая отмывка дорог водой с помощью передвижных и стационарных источников водоснабжения (с 1 октября 1957 г.) 2. Замена твердого покрытия на части дорожного полотна (до наступления зимы) 3. Перекопка газонов, уборка и вывозка мусора (опавшей листвы деревьев), первого выпавшего снега (до наступления зимы)
Дезактивация общественных и жилых помещений	<ol style="list-style-type: none"> 1. Дезактивация полов помещений столовых и магазинов 2. Тщательная и многократная санитарная уборка детских садов 3. Вручение рекомендаций квартиросъемщикам о целесообразности и технологии дезактивации жилых помещений (все - в течение осени 1957 г.)
Упорядочение жизнедеятельности	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ограничение маршрутов движения автотранспорта (автобусов), прибывающего с промышленной площадки (в течение 1 недели) 2. Изъятие из употребления загрязненных продовольствия, одежды, обуви (на основе радиометрического контроля) (в течение осени 1957 г.) 3. Организация работы "чистых" и "грязных" бань и прачечных (в течение первой недели)

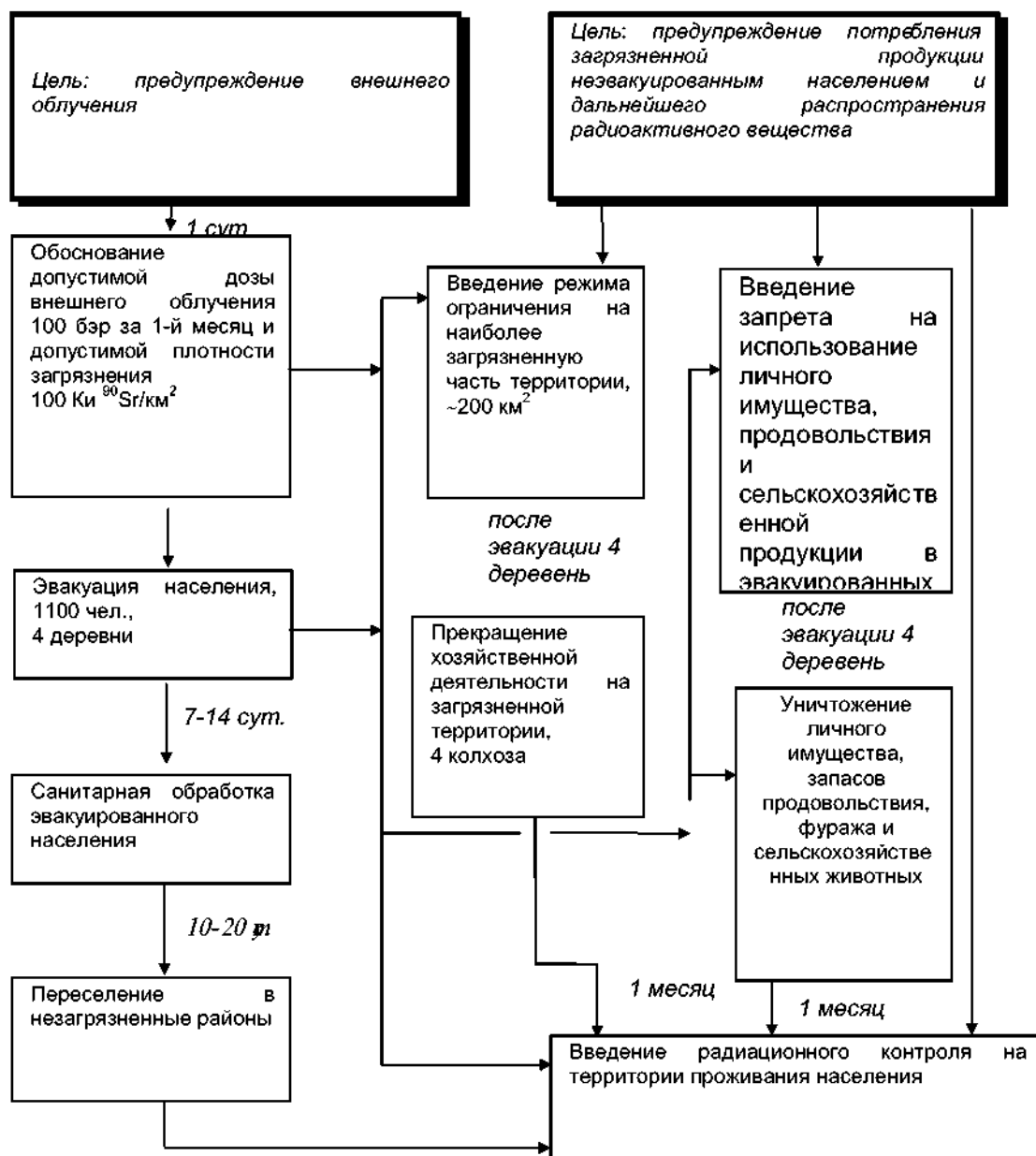


Рис. 1 Меры радиационной защиты населения в начальной фазе аварии (1 месяц)

ва (деревни Бердениш, Сатлыкова, Галикаева, Кирпичики, средняя плотность загрязнения 400-650 Ки $^{90}\text{Sr}/\text{км}^2$, 1100 чел.), было принято для предотвращения получения больших доз внешнего γ -облучения, которые, по оценкам, могли составить за первый месяц 100 бэр.

Население этих деревень было эвакуировано (фактически отселено) на 7-14 день после аварии [4].

Общее содержание мер радиационной защиты населения в начальный период приведено на рис. 1.

4. ПЛАНОВЫЕ МЕРЫ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ

Риск внешнего облучения неотселенных жителей был невысоким и сокращался во времени, однако сохранялся большой риск внутреннего облучения, преимущественно желудочно-кишечного тракта и костной ткани от поступления смеси продуктов деления и ^{90}Sr с пищевым рационом [4, 5].

Не прекращающееся постоянное изучение характеристик радиационной обстановки и оценка доз облучения населения показали уже в течение осени 1957 г. - зимы 1957-1958 г.г., что обоснование дальнейших, теперь уже плановых мер радиационной защиты населения должно включать:

1. Прогноз динамики радиационной обстановки и формирования доз облучения населения.
2. Обоснование критериев возможности проживания населения на территории следа.
3. Обоснование допустимых уровней радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды и продовольствия.
4. Выбор эффективных мер радиационной защиты населения.
5. Обоснование методов и объема медико-радиологического контроля населения [4].

В январе 1958 г. Минздрав СССР установил для населения допустимое годовое поступление ^{90}Sr с пищевым рационом в течение первого года после аварии, равное 1,4 мкКи/год (табл. 3) [4-6].

На основе этого критерия, а также данных о вкладе отдельных компонентов пищевого рациона в результирующее годовое поступление были установлены допустимые уровни содержания активности в продовольственной и сельскохозяйственной продукции (табл. 4).

Установление значений допустимых годового поступления и удельной активности продуктов показало, что в течение первого года после аварии реальное поступление ^{90}Sr с пищевым рационом могло достигать 3 нКи/сут. в расчете на начальную плотность загрязнения 1 Ки $^{90}\text{Sr}/\text{км}^2$ (население было вынуждено потреблять продукцию личных хозяйств, загрязненную в момент образования следа на протяжении примерно 9 мес.). При таком соотношении суточного поступления к плотности загрязнения территории допустимое время потребления загрязненной продукции составляло, соответственно, 1 год, 1 мес. и 3 сут. при начальной плотности загрязнения ^{90}Sr 1; 10 и 100 Ки/км² [4-6]. Это означало, что неотселенные жители при $\sigma_0 \geq 2$ Ки $^{90}\text{Sr}/\text{км}^2$, кроме уже отселенных, могли подвергнуться в течение первого года внутреннему

Таблица 3
Уровни вмешательства для населения на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа [6]

Цель вмешательства	Исходные основные или производные дозовые пределы	Установленный уровень вмешательства	Срок введения уровня вмешательства
Начальный период			
Предотвращение внешнего облучения	-	100 бэр за первый месяц	Через 3 сут.
Промежуточный период			
Снижение поступления ^{90}Sr с пищевым рационом	Допустимое содержание ^{90}Sr в скелете, 20 нКи (МАГАТЭ, 1958 г.)	Допустимое годовое поступление ^{90}Sr (установлено Минздравом СССР): 1,4 мкКи за первый год 0,18 мкКи/год	01.01.1958 01.01.1961

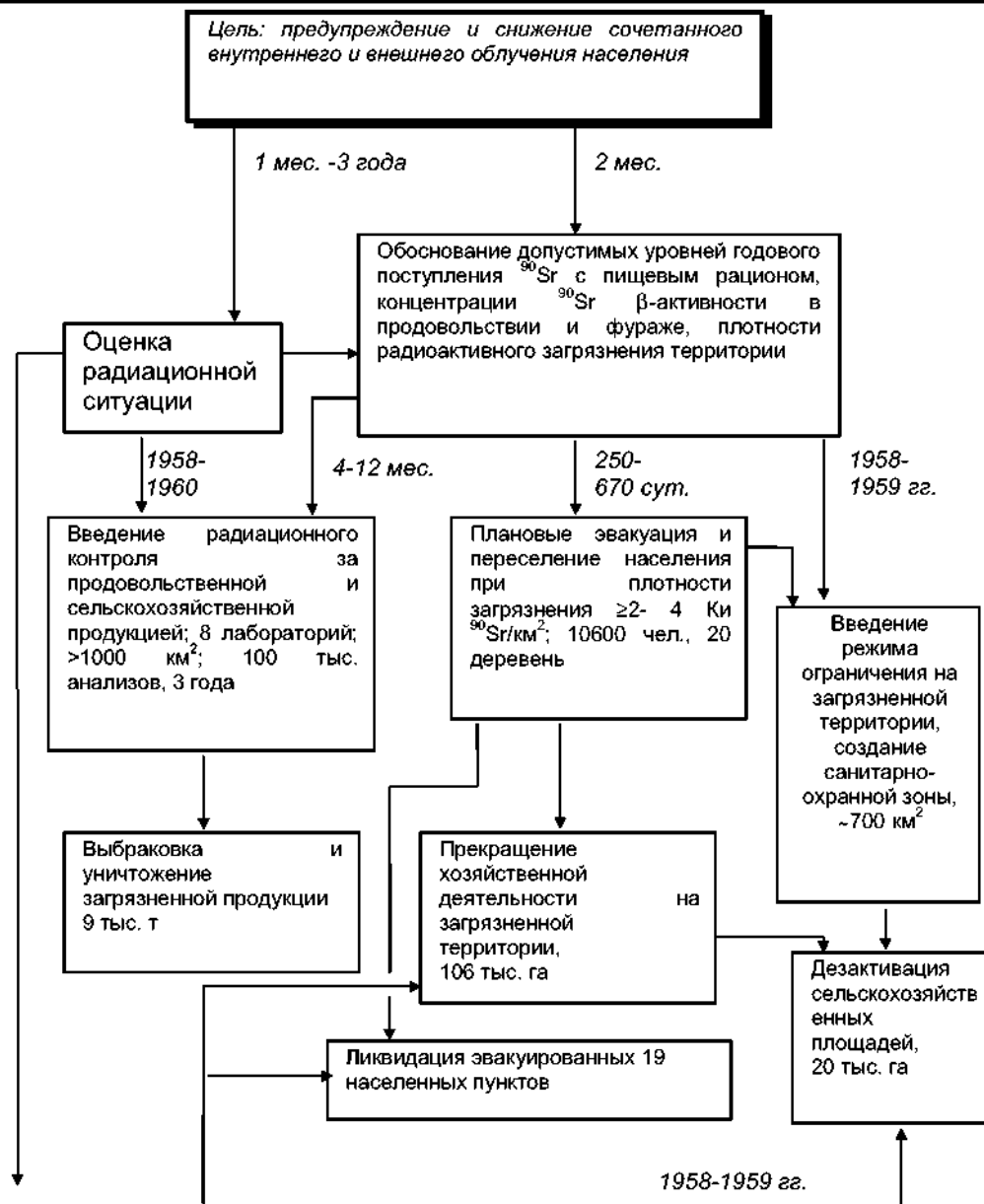


Рис. 2. Меры радиационной защиты населения в промежуточной фазе аварии (первые 2-3 года)

облучению свыше установленных пределов.

Плановые меры радиационной защиты должны были включать два основных типа мероприятий [4-6]:

- введение радиационного контроля за продовольственной и сельскохозяйственной

продукцией и изъятие из употребления продукции, загрязненной свыше установленных норм;

- плановое отселение жителей населенных пунктов при плотности загрязнения 2-4 Ки $^{90}\text{Sr}/\text{км}^2$ (рис. 2).

Для организации контроля за уровнями радиоактивного загрязнения продовольственной и сельскохозяйственной продукции была создана сеть из 8 радиологических лабораторий, которые руководствовались допустимыми уровнями загрязнения продукции, установленными через 3 мес. после аварии (табл. 4). Необходимость разработки методов контроля, технического оснащения лабораторий и обучения их персонала позволила начать работу только спустя 4 мес. после аварии, а развернуть ее в полном объеме - только через 10-12 мес. За это время значительная доля или вся загрязненная после аварии продукция была использована. Тем не менее, в течение 1957-1959 г.г. радиационный контроль осуществляли в 50 населенных пунктах на общей площади землепользования около 1000 км² до мини-

мальной плотности загрязнения 0,5-1 Ки ⁹⁰Sr/км².

За это время было забраковано и изъято из употребления 8500 т продукции, в том числе 240 т картофеля, 1300 т зерна, 61 т овощей, 104 т мяса и 67 т молока. Хотя за 2 года работы было осуществлено около 100 тыс. анализов, объем контроля явился недостаточным, так как анализу была подвергнута только часть общих запасов или объемов производства продукции, преимущественно коллективных хозяйств. Суммарный объем всей забракованной продукции был близок к годовому запасу продовольствия и фуража только 2-3 населенных пунктов. Еще одним недостатком этой меры радиационной защиты явилась социально-экономическая невозможность замены изъятой продукции личных хозяйств на чистую [4-6].

Реальная возможность значительного превышения установленного предела годового поступления ⁹⁰Sr с пищей в первый год после аварии (1,4 мкКи/год) для населения, проживавшего на территории с плотностью загрязнения более 5 Ки ⁹⁰Sr/км², а также невозможность обеспечения этого населения незагрязненным продовольствием на фоне несвоевременности и недостаточной полноты радиационного контроля продовольствия заставили Советы Министров СССР и РСФСР, Министерство среднего машиностроения СССР, Министерство здравоохранения СССР, исполнительные комитеты Челябинской и Свердловской областей принять решение о плановом отселении жителей населенных пунктов, размещенных на территории с плотностью за-

Таблица 4
Допустимые уровни содержания радионуклидов в продовольственной и сельскохозяйственной продукции, нКи/кг [6]

Продукция	Январь 1958 г.		Январь 1959 г.	
	⁹⁰ Sr	Sb	⁹⁰ Sr	Sb
Зерно	2,5	24	2,0	6,7
Картофель	2,5	24	2,0	6,7
Овощи	2,5	24	2,0	6,7
Молоко	0,75	4,0	1,0	3,1
Мясо	2,5	25	2,5	7,5

Динамика планового отселения [4]

Сроки отселения сут. после аварии	Число населенных пунктов	Расстояние от места взрыва, км	Плотность загрязнения, Ки ⁹⁰ Sr/км ²	Суммарная численность населения, чел.
250	6	24-57	8-65	2300
330	8	69-80	4-18	5200
670	6	20; 88-98	2-6	3100

Таблица 5

рязнения $\geq 2 \text{ Ки } ^{90}\text{Sr}/\text{км}^2$ в головной и средней частях и $\geq 4 \text{ Ки } ^{90}\text{Sr}/\text{км}^2$ в отдаленной части Восточно-Уральского радиоактивного следа (рис. 2) [4]. Динамика отселения приведена в табл. 5.

Проведенное отселение сопровождалось размещением людей в других населенных пунктах на незагрязненной территории и компенсацией экономического ущерба, связанного с потерей домовладений и другого имущества.

После отселения жителей оставленные населенные пункты были ликвидированы путем захоронения всех строений, а на загрязненных площадях в границах плотности загрязнения 2-4 Ки $^{90}\text{Sr}/\text{км}$ была прекращена любая хозяйственная деятельность. В этих же границах был установлен режим ограничения доступа населения, который существовал в полном объеме до 1962 г. [4].

Контроль за состоянием здоровья отселенных и неотселенных жителей на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа и оказание им медицинской помощи были организованы в течение первого года после аварии силами медико-санитарного отдела №71 г. Озерска, в последующий период (1959-1960 г.г.) эту задачу выполнял специально созданный Филиал №4 Института биофизики Министерства здравоохранения СССР.

Необходимо отметить, что этот контроль был налажен впервые только спустя 4-9 мес. после аварии, и прежде всего в применении к жителям, отселенным через 7-10 и 250 дней после аварии (2055 чел.). Через 15 мес. после аварии была обследована часть отселенных и неотселенных жителей (245 чел.), через 2 года - 236 чел. Явно выраженных симптомов радиационных эффектов у обследованного населения обнаружено не было, однако, у части наиболее облученных взрослых в первые месяцы после аварии были отмечены сдвиги в морфологическом составе периферической крови, проявившиеся в увеличении числа лейкоцитов и в тенденции к увеличению числа тромбоцитов. В последующее время такие изменения исчезли [4].

5. ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНТРОЛЕЙ И

ИЗВЛЕЧЕННЫЕ УРОКИ

Эффективность контрмер, предпринятых в начальный и промежуточный периоды, была различной. Снижение эффективности отдельных мер объясняется как их недостаточным обоснованием, так и неполнотой содержания, отступлениями от принятой тактики и невозможностью осуществления.

Адекватными и эффективными явились меры по восстановлению технологических процессов обращения с радиоактивными отходами на ПО "Маяк", а также меры по дезактивации территории, производственных зданий, транспорта и транспортных коммуникаций на ПО "Маяк", дезактивации территории жилой зоны и помещений в г. Озерске, меры по организации дозиметрического и радиационного контроля. На общем фоне существенных осложнений производственной и гражданской деятельности эти меры привели к нормализации ее уже к началу 1958 г.

Отселение (эвакуация населения) в ранние сроки, или экстренное отселение, явилось одной из самых эффективных мер, значительно сократив внешнее облучение и прекратило поступление радионуклидов в организм с пищевым рационом. Хотя в начальный период целью отселения являлось предотвращение дозы внешнего облучения, однако современные ретроспективные оценки доз облучения населения (на основе дозовых критериев МКРЗ [7-8]) на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа показали, что эта мера явилась очень эффективной для предотвращения внутреннего облучения ЖКТ короткоживущими нуклидами (преимущественно ^{144}Ce , вклад которого ранее был недооценен) (табл. 6).

Отсроченное плановое отселение характеризуется существенно меньшей предотвращенной ожидаемой дозой, так как ее основная доля была сформирована в первые месяцы после аварии преимущественно за счет короткоживущих нуклидов, а не ^{90}Sr , как полагали ранее. С современных позиций и норм радиационной защиты отселение жителей, прожи-

Таблица 6

Ожидаемые дозы сочтанного облучения критических возрастных групп населения^{*)}

Доза	Сроки отселения, сут.				
	10	250	330	670	нет отсел.
<i>1. В расчете на 1 Ки⁹⁰Sr/км². бэр</i>					
Эффективная Поглощенная:	0,18	1,7	1,9	2,6	2,9
- ЖКТ	1,0	17	19	26	27
- красный костный мозг	0,32	2,6	3,0	3,5	4,4
<i>2. Средняя для группы населения. бэр</i>					
Эффективная Поглощенная:	87(72-120)	39(9-110)	21(13-46)	12(10-140)	0,3-11
- ЖКТ	480	390	210	110	30-100
- красный костный мозг	150	60	33	16	0,4-17
<i>3. Предотвращенная отселением доза. % потенциальной</i>					
Эффективная Поглощенная:	94	41	34	10	-
- ЖКТ	96	37	30	3,7	-
- красный костный мозг	93	41	32	20	-
Внешнее облучение	92	43	35	30	-
<i>4. Вклад. % эффективной дозы</i>					
- ¹⁴⁴ Ce	80	67	65	64	62
- внешнее облучение	4,6	4,0	4,0	3,3	3,1

^{*)} - Критические возрастные группы (по ожидаемой эффективной дозе): дети возрастом 2-7 лет в момент аварии при отселении через 10 сут. и дети возрастом 1-2 года при отселении в другие сроки, а также при отсутствии отселения.

вавших при начальной плотности загрязнения 2-6 Ки ⁹⁰Sr/км², почти через 2 года после аварии, явилось малоэффективным и по критерию предотвращенной дозы, и по критерию ущерб - польза.

Сегодня оправданием отсроченного отселения, а также недостаточной эффективности некоторых других контрмер служило отсутствие в то время радиоэкологических и радиобиологических данных, необходимых для прогноза изменения радиационной обстановки и доз облучения населения. Не были известны, например, дозовые коэффициенты внешнего облучения человека от среды обитания, заг-

рязненной определенными радионуклидами, дозовые коэффициенты внутреннего облучения при поступлении радионуклидов через органы дыхания и пищеварения; не было информации о предстоящем в течение первых лет после аварии систематическом снижении уровня годового поступления ⁹⁰Sr с пищевым рационом на территории следа с периодом полужизни в 8-12 лет.

Хотя в 1957-1958 г.г. главные факторы, определяющие пути облучения человека и выбор соответствующих контрмер, не были хорошо известны, однако ведущая роль ⁹⁰Sr в облучении населения на протяжении поздне-

го периода была оценена правильно, и установление предельной плотности загрязнения территории ^{90}Sr , равной 2-4 $\text{Ки}/\text{км}^2$ и допускающей длительное и безопасное проживание населения, явилось безошибочным даже с современной точки зрения, если не учитывать дозу, полученную населением в первые месяцы после аварии.

Радиационный контроль и изъятие из употребления загрязненной продукции могли бы быть эффективными и даже соперничать по эффективности с отселением, если бы могли быть введенными самые ранние сроки после аварии. Промедление с введением этих мер существенно снизило их эффективность в снижении дозы облучения до уровня всего лишь нескольких процентов. (Почти в той же мере была неудачной выбраковка загрязненного продовольствия в зоне воздействия аварии на Чернобыльской АЭС).

Режим ограничения доступа населения на загрязненную территорию и любой хозяйственной деятельности на ней тоже мог бы быть достаточно эффективным, если бы он был введен непосредственно после образования Восточно-Уральского следа и не нарушался населением. В практике рассматриваемых послеварийных мероприятий режим ограничения вводили поэтапно, и до отселения жителей они использовали традиционно привычную территорию, примыкающую к населенным пунктам в радиусе до 5-10 км. Выпас скота, заготовка сена и дров, добыча продукции леса, охоты, рыболовства и т.п. приводили к дополнительному поступлению активности на небольшие по площади приусадебные участки, что повышало уровни загрязнения овощей и картофеля. (По оценкам 1964 г., средние уровни содержания ^{90}Sr в продукции личных хозяйств в населенных пунктах в расчете на единичную плотность загрязнения ^{90}Sr были в 2 раза выше по сравнению со средней плотностью загрязнения территории жилой зоны деревень. Около 5-10% приусадебных участков характеризовались высокими уровнями загрязнения, требовавшими вмешательства в практику хозяйствования).

Даже после установления режима ограни-

чения, соблюдение которого было возложено на милицейскую охрану, население близлежащих деревень, не обеспеченное в силу секретности информацией о природе и степени радиационной опасности, все-таки продолжало попытки использования отчужденной территории для своих нужд.

Практика установления режима ограничения после отселения жителей через 250-670 суток не могла привести к достаточной эффективности. Эффективность этой меры существенно возросла на протяжении позднего послеварийного периода, хотя предотвращаемые дозы были уже невелики.

Дезактивация территории Восточно-Уральского следа была малоэффективной. В 1958-1959 г.г. дезактивации были подвергнуты территории отселенных деревень и прилегающих к ним пахотных угодий. Целью дезактивации пахотных угодий, преимущественно в головной и промежуточной частях Восточно-Уральского радиоактивного следа в границах плотности загрязнения 2 $\text{Ки } ^{90}\text{Sr}/\text{км}^2$, являлось предотвращение дальнейшего ветрового подъема радиоактивного вещества и его переноса за пределы следа, что было обнаружено осенью 1957 г. и весной 1958 г. Дезактивацию проводили в 1958-1960 г.г. путем вспашки угодий обычными сельскохозяйственными плугами [4, 6]. Эффективность меры оценить трудно, так как она не компенсировала действие основных факторов. Можно лишь утверждать, что она была малооправданной для неотселенных жителей, так как ветровой подъем с наиболее загрязненных территорий в головной части следа и прирост уровней радиоактивного загрязнения прилегающих территорий были наиболее ощутимы только осенью 1957 г. и весной 1958 г. (Кунашакский район Челябинской области) [1, 4], а вспашка была начата после значительного ослабления интенсивности этого фактора естественной миграции радиоактивного загрязнения.

Представленный выше анализ содержания и эффективности предпринятых контрмер на протяжении начального и промежуточного послеварийных периодов, а также сопостав-

ление этого анализа с современными концепциями и стратегией обращения с последствиями радиационных аварий [9, 10], в целом свидетельствуют о достаточно успешном осуществлении основных задач по ликвидации последствий аварии.

Это проявилось прежде всего в восстановлении нормальной производственной деятельности предприятия, нормальной жизнедеятельности в г. Озерске, предотвращении проявления детерминированных радиационных эффектов у населения на загрязненной территории, хотя подобные могли иметь место у жителей населенных пунктов в головной части Восточно-Уральского радиоактивного следа.^{*)} Практика ликвидации последствий аварии представляется еще более эффективной, если принять во внимание отсутствие в то время радиозэкологических и радиобиологических научных знаний, международных и отечественных рекомендаций по обращению с радиационными авариями, аварийных нормативов и, собственно, самого практического опыта ликвидации последствий тяжелых радиационных аварий.

Основными факторами, которые определили возможности осуществления и эффективность значительной доли аварийных контрмер, явились:

- умелая организация взаимодействия центральных и местных органов власти, ведомств и подчиненных им учреждений;
- безотлагательное развертывание исследований по изучению характеристик радиационной обстановки, прогнозированию ее изменения, определению потенциальных путей и уровней доз облучения населения;
- грамотное обоснование (а также, в ряде случаев, правильная интуиция, обусловленная высокой компетентностью специалистов) большинства предпринимаемых контрмер;

- привлечение к работам высококвалифицированных специалистов и ученых Минсредмаша СССР, Минздрава СССР и других ведомств;
- организованность и высокая исполнительская дисциплина участников работ на всех уровнях взаимодействия;
- высокий авторитет властей и мнений специалистов и ученых (что было значительно хуже при ликвидации последствий Чернобыльской аварии).

Тем не менее, рассмотренная практика ликвидации последствий аварии 1957 г. преподнесла определенные уроки, которые могут быть полезными в организации подобных действий в случае вероятных аварий с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду, с учетом современных концепций и требований радиационной защиты.

Сегодня известно, исходя из современных знаний и опыта ликвидации последствий рассматриваемой Кыштымской, Уиндскейлской, Чернобыльской и др. значимых радиационных аварий, что эффективность контрмер зависит от следующих факторов [12]:

1. Направленность контрмеры на компенсацию действия основных факторов, определяющих формирование потенциальных доз внешнего и внутреннего облучения человека в течение прогнозируемого периода времени.
2. Уровень предотвращенной дозы за счет реализации контрмеры.
3. Своевременность введения контрмеры в действие.
4. Зависимость полноты реализации контрмеры от социально-экономических, технических и организационных возможностей.
5. Приоритет пользы над ущербом для населения от реализации контрмеры.

Эти требования при ликвидации и смяг-

^{*)} - Не имеется также явных доказательств повышения частоты поздних канцерогенных эффектов у всего населения, подвергшегося непродолжительному и продолжительному радиационному воздействию в результате аварии.

чении последствий аварии 1957 г. не были сформулированы, а выдвинутые практикой меры в ряде случаев не выполнялись своевременно или были неполными, что снизило их эффективность.

В частности, это было обусловлено отсутствием аварийного плана на случай радиоактивного загрязнения территории, не говоря уже об отсутствии готовности к аварии. В настоящее время каждое предприятие, имеющее в обращении радиоактивные вещества, и регион его размещения должны иметь аварийный план на случай радиационной аварии (критерии и нормативы радиационной защиты, прогнозирование ситуации, информационное обеспечение при аварии, рекомендации о содержании, эффективности и сроках введения контрмер, обеспечение организационной, методической и материально-технической готовности к аварии). Этот план должен соответствовать требованиям и рекомендациям национальных и международных руководящих документов [9-11].

Опыт показывает, что при радиационных авариях основная доля потенциальной дозы облучения населения и персонала формируется в начальный период. Исходя из принципа предотвращенной дозы, нужно как можно скорее вводить в действие наиболее эффективные меры, компенсирующие действие основных факторов облучения. Не нужно медлить с эвакуацией населения и введением ограничений на жизнедеятельность населения.

Опыт аварии 1957 г. и аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. показывает еще и неэффективность неотложных контрмер, если относятся они к существенно большей территории или большому объему работ, например, по изъятию загрязненного продовольствия. Эти меры трудно реализовать быстро и с малыми затратами. Самое разумное в такой ситуации - эвакуация или отселение при последующих разработке и реализации хорошо обоснованных и экономически доступных мер.

И последнее, в качестве полезного опыта: при планировании контрмер для начальной и промежуточной фаз послеварийного

периода полезно задуматься над мерами и для поздней фазы. В этом смысле, проявленная сразу после аварии 1957 г. озабоченность по поводу радиационной опасности ^{90}Sr , когда она еще не являлась определяющей на фоне короткоживущих нуклидов, служит хорошим примером поисков обоснования и планирования долгосрочных мер.

Краткая статья не позволяет изложить все представления о контрмерах последствий аварии 1957 г., но следует полагать, что описываемый опыт может быть предметом изучения и в дальнейшем.

Следует рекомендовать, чтобы при разработке аварийных планов обращалось внимание на основные факторы, определяющие ущерб для предприятий и облучение населения на каждой фазе аварии, и учитывались цели и содержание контрмер, которые могли быть эффективными и доступными для исполнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изучение радиэкологических, радиационно-гигиенических и социально-хозяйственных последствий массированного радиоактивного загрязнения больших площадей (1958-1984). Том 3. Радиационная обстановка и динамика поведения радионуклидов в окружающей среде. Терновский И.А., Теверовский Е.Н. - Отчет ПО "Маяк", 1984.
2. Кыштымская авария крупным планом. // Природа. 1990. №5. С.47-75
3. Романов Г.Н., Дрожко Е.Г., Никипелов Б.В. Кыштымская авария: причины, масштабы и радиационные характеристики. - Proceedings of CEC/EUR Symposium "Comparative Assessment of the Environmental Impact of Radionuclides Released during Three Major Accidents: Kyshtym, Windscale and Chernobyl", Luxembourg, 1990; CEC, EUR 13574, 1991.
4. Изучение радиэкологических, радиационно-гигиенических и социально-хозяйственных последствий массированного радиоактивного загрязнения больших площадей (1958-1984). Том 5. Обеспечение радиационной защиты

населения. Терновский И.А., Теверовский Е.Н. - Отчет ПО "Маяк", 1984.

5. Итоги изучения и опыт ликвидации последствий аварийного загрязнения территории продуктами деления урана. Под ред. А.И. Бурназяна. - М., Энергоатомиздат, 1990.

6. Романов Г.Н., Булдаков Л.А., Шведов В.Л. и др. Обоснование критериев и эффективность мер радиационной защиты населения при Кыштымской аварии. - Proceedings of an International Seminar "Intervention Levels and Countermeasures for Nuclear Accidents", Cadarache, 1991, СЕС 14469, 1992.

7. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part I. ICRP Publication 56. Pergamon Press, 1990.

8. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5. Compilation

of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients. ICRP Publication 72. Pergamon Press, 1996.

9. Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency. ICRP Publication 63. Pergamon Press, 1993.

10. Концепция радиационной, медицинской, социальной защиты и реабилитации населения Российской Федерации, подвергшегося аварийному облучению. Российская научная комиссия по радиационной защите, 1994.

11. Планирование защитных мер за пределами площадки в случае радиационных аварий на ядерных установках. Серия изданий по безопасности, №55, Вена, МАГАТЭ, 1981.

12. Романов Г.Н. Ликвидация последствий радиационных аварий. Справочное руководство. - М.: ИздАТ - 1993.