

---

---

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

---

---

УДК 621.039.586

**ОЦЕНКА УЩЕРБА РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ОБЪЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ**

© 2015 г. И.А. Стародубцев, А.П. Елохин

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва*

В статье рассматривается проблема безопасной эксплуатации существующих хранилищ радиационно-опасных отходов, строительства новых хранилищ на территории СНГ. Дается краткая классификация существующих радиоактивных отходов. Проведен обзор комплекса причин крупнейших радиационных аварий на ОИАЭ, с точки зрения технических неисправностей обслуживающих автоматических устройств автоматики. Приведена краткая характеристика радиоактивных веществ, выброшенных в атмосферу в результате радиационных аварий, особенности радиоактивного загрязнения прилегающих территорий, дозиметрический анализ местности.

*Ключевые слова:* радиационно-опасные объекты, радиационно-опасные отходы, ядерная безопасность, радиационная безопасность, радиационная авария, ущерб окружающей среды.

Поступила в редакцию 20.04.2015 г.

Одной из важнейших проблем, связанных с применением атомной энергии на объектах использования атомной энергии (ОИАЭ), является образование радиационно-опасных отходов (РАО) при штатной работе ОИАЭ и выводе их из эксплуатации. К настоящему времени, по имеющимся оценкам, во всем мире уже накоплено около 300 тыс. т отработанного ядерного топлива, а к 2030 г. этот объем возрастет до 500 тыс. т с активностью около  $10^{20}$  Бк [1].

Обращение с РАО требует развития соответствующих технологий не только переработки всех типов отходов, но и последующего хранения до момента потери ими потенциальной опасности. В связи с развитием технологии переработки радиационно-опасных отходов на всех стадиях эксплуатации радиационно-опасных объектов, остро стоит проблема снижения потенциальной возможности загрязнения окружающей среды [1].

Несоблюдение норм строительства и эксплуатации хранилищ отходов приводят к полномасштабным катастрофам с выбросами радиоактивных веществ в атмосферу. Яркими примерами могут служить аварии таких объектах, как ПО «Маяк», Сибирский химический комбинат (СХК). Причина в систематическом нарушении этих норм зачастую кроется в желании сэкономить бюджетные средства, выделенные на строительство и эксплуатацию данных объектов. Не смотря на условия абсолютной секретности вокруг этих аварий, как в СССР, так и за рубежом, государственными структурами этих стран принимались значительные усилия для снижения их медико-биологических последствий [2]. Однако, ущерб окружающей среде, стоимость комплекса мер по снижению последствий аварий несоизмеримы со средствами, сэкономленными на игнорировании существующих правил и норм строительства и эксплуатации хранилищ.

Российская федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и период до 2015 года» [3] призвана создать необходимые условия для обеспечения ядерной и радиационной безопасности на долгосрочную перспективу. Современная ситуация в области ядерной и радиационной безопасности характеризуется тремя ключевыми факторами:

- Необходимостью формирования государственной системы контроля для обеспечения ядерной и радиационной безопасности при использовании ядерной энергии.

- Наличием ядерно- и радиационно-опасных объектов, не отвечающих современным.

- Требованиям ядерной и радиационной безопасности и представляющих собой угрозу национальной безопасности.

- Необходимостью неотложного решения накопившихся проблем на государственном уровне и недопустимостью их дальнейшей отсрочки [1].

Перечисленные аспекты актуальны в странах СНГ в еще большей степени. Этот факт вызывает беспокойство, в связи с использованием на их территории АЭС, хранилища отходов, многие из которых не проходили модернизацию с момента распада СССР. Масштаб этих проблем характеризуется следующими причинами:

- Не обеспечена надежная изоляция системы долговременного хранения радиоактивных отходов в приповерхностных хранилищах от окружающей среды. Требуется приведение так называемых исторических хранилищ в безопасное состояние и создание региональных пунктов захоронения радиоактивных отходов.

- Не изолированы от окружающей среды большие объемы радиоактивных отходов (Теченский каскад водоемов, бассейны-отстойники и хвостохранилища организаций ядерного топливного цикла (ЯТЦ) и др.).

- Накоплено свыше 18,5 тыс. т ОЯТ. Близкими к критическим являются показатели заполнения хранилищ отработанного ядерного топлива (ОЯТ) на АЭС с реакторами типа РБМК и ЭГП-6 на пристанционных хранилищах радиоактивных отходов.

- Используются в более чем в 16 тыс. организациях источники ионизирующего излучения, что существенно повышает их уязвимость в отношении террористических угроз.

- Перешагнули 50-60-летний рубеж и требуют незамедлительной модернизации инженерные системы ядерно- и радиационно-опасных объектов [1].

Несмотря на описанные проблемы, некоторые страны продолжают сооружения радиационно-опасных объектов по устаревшим, заранее несовершенным проектам, игнорируя накопленный отрицательный опыт эксплуатации подобных сооружений, ради экономии бюджета. Настоящая статья преследует цель рассмотреть вопрос о самом понятии радиоактивных отходов, причинах аварий на хранилищах, рассмотреть возможности для предотвращения таких аварий.

Радиоактивные отходы – это не предназначенные для дальнейшего использования вещества в любом агрегатном состоянии, в которых содержание искусственных или естественных радионуклидов превышает уровни, установленные федеральными нормами и правилами.

В настоящее время Правительство РФ утвердило Постановление о критериях отнесения отходов к радиоактивным [4].

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях

классификации удаляемых радиоактивных отходов» были определены области применения критериев и их классификация.

Критерии отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным и удаляемым радиоактивным отходам:

1. К особым радиоактивным отходам относят радиоактивные отходы, образовавшиеся в результате выполнения государственной программы вооружения и государственного оборонного заказа. Так же учитывается использование ядерных зарядов в мирных целях или вследствие ядерной и/или радиационной аварии на объекте атомной энергии, жидкие радиоактивные отходы, размещенные в поверхностных водоемах – хранилищах радиоактивных отходов общим объемом более 25 000 м<sup>3</sup>, введенных в эксплуатацию до вступления в силу № 190-ФЗ, а также донные отложения таких водоемов-хранилищ, соответствующие следующим критериям:

– рассчитанные в соответствии с регулирующими обращение с радиоактивными отходами федеральными нормами и правилами, а также санитарными правилами в области обеспечения радиационной безопасности коллективная эффективная доза облучения за весь период потенциальной опасности радиоактивных отходов и риск потенциального облучения, связанные с удалением радиоактивных отходов, превышают коллективную эффективную дозу облучения, связанную с захоронением радиоактивных отходов в месте их нахождения;

– пункт хранения радиоактивных отходов и его санитарно-защитная зона размещены вне границ населенных пунктов, особо охраняемых природных территорий, прибрежных защитных полос и водоохранных зон водных объектов, других охранных и защитных зон, установленных в соответствии с законодательством Российской Федерации.

2. Радиоактивные отходы, не отнесенные к особым радиоактивным отходам в соответствии с пунктом 1, относятся к удаляемым радиоактивным отходам.

Согласно Постановлениям Правительства РФ радиоактивные отходы с учетом технологических особенностей обращения с ними относятся к 6 классам, каждый из которых содержит свои особенные требования к хранению и утилизации [1].

В настоящее время на предприятиях Минатома РФ в 105 пунктах хранения находится более 500 млн. м<sup>3</sup> жидких радиационных отходов (ЖРО), суммарная  $\alpha$ -активность которых составляет в  $1,9 \cdot 10^{16}$  Бк, а суммарная  $\beta$ -активность –  $7,3 \cdot 10^{19}$  Бк. Кроме того, там находится около 180 млн. т твердых радиационных отходов (ТРО) в 274 пунктах хранения. Их суммарная  $\alpha$ -активность составляет  $6 \cdot 10^{15}$  Бк,  $\beta$ -активность –  $8,1 \cdot 10^{18}$  Бк.

Основной вклад в образование РАО вносят предприятия ядерного топливного цикла.

Около 99 % РАО сосредоточено на предприятиях ПО «Маяк», Сибирском химическом комбинате и Горно-химическом комбинате. При суммарной активности ЖРО  $7,3 \cdot 10^{19}$  Бк активность разных категорий РАО составила:

- низкоактивных –  $1,9 \cdot 10^{19}$  Бк (менее 0,04 % общей активности);
- среднеактивных –  $5,9 \cdot 10^{19}$  Бк (около 81 % общей активности);
- высокоактивных –  $1,4 \cdot 10^{19}$  Бк (около 19% общей активности ЖРО).

Из 274 имеющихся в стране пунктов хранения ТРО в настоящее время действует 131 (48%), выведено из эксплуатации 110 (40%), законсервировано 33 (12%). По месту расположения эти пункты хранения распределились следующим образом: на промплощадках – 219 (80%), в санитарно-защитных зонах – 51(18%), в зонах наблюдения – 4 (2 %).

Наибольшее количество пунктов хранения ТРО расположено на предприятиях ЯТЦ – 146, АЭС – 46, горнорудных предприятиях – 31. На 21 предприятии отрасли РФ

эксплуатируют 30 установок переработки РАО. Установки цементирования, битумирования, остекловывания, кальцинации, упаривания, очистки сбросных вод, фракционирования ВАО предназначены для переработки жидких радиационных отходов (ЖРО) (20 установок), а установки сжигания, прессования, плавления – для переработки твердых радиационных отходов (ТРО) (10 установок).

Объем переработанных ЖРО за время эксплуатации установок составил 148325 тыс. м<sup>3</sup>, они распределились по типам установок (в тыс. м<sup>3</sup>) следующим образом: цементирование – 0,4, битумирование – 28,2, остекловывание – 12,5, кальцинация – 763,8, упаривание – 241,1, очистка сбросных вод – 135 019, прочие типы установок (обессоливание, фракционирование ВАО) – 12 260.

Количество переработанных низкоактивных ТРО составило 45,3 тыс. т (с активностью  $6,7 \cdot 10^{12}$  Бк), распределившихся по типам установок (в тыс. т) следующим образом: сжигание – 0,3, прессование – 3, прочие типы установок (деактивация, плавление) – 42.

Активность ЖРО и ТРО, переработанных за время эксплуатации установок, в зависимости от категории отходов составила: высокоактивные – 12,9 тыс. м<sup>3</sup>, с активностью  $1,1 \cdot 10^{19}$  Бк, среднеактивные – 242,3 тыс. м<sup>3</sup>, с активностью  $4,2 \cdot 10^{15}$  Бк, низкоактивные – 148,1 млн м<sup>3</sup>, с активностью  $3,1 \cdot 10^{15}$  Бк [1, 5].

Загрязненные радионуклидами территории (участки земель, водоемы) общей площадью 481,4 км<sup>2</sup>, имеются на 25 предприятиях отрасли, из них загрязнение земли – 377 км<sup>2</sup> (78,3%), загрязненные водоемы – 104,4 км<sup>2</sup> (21,7%). Площадь загрязненных радионуклидами территорий в зависимости от зоны, в которой они находятся, составляет: промплощадки – 63,6 км<sup>2</sup>, санитарно-защитная зона (СЗЗ) – 197,9 км<sup>2</sup>, зона наблюдения (ЗН) – 219,9 км<sup>2</sup>. Основная часть загрязненных территорий ПО «Маяк» (452 км<sup>2</sup>, или 94%) образовалась в результате деятельности комбината по получению оружейного плутония.

Вся суммарная активность РАО (99%) сосредоточена на предприятиях Росатома – около  $6 \cdot 10^{19}$  Бк (1,5 млрд. Ки).

Предстоящая утилизация большого количества судов АТО, вывод из эксплуатации устаревших блоков АЭС, удешевление строительства и эксплуатации хранилищ может привести к возникновению новых проблем обращения с РАО.

В настоящее время по объемам накопленных РАО наибольшее их количество приходится на ТРО, однако в последующем ожидается преимущественное поступление ЖРО. Суммарная активность ТРО в десятки раз выше активности ЖРО. Учитывается радиоактивность рабочих частей систем управления и защиты (СУЗ) реакторов, а на реакторных блоках (РБ) АПЛ и блоках реакторных помещений – дополнительная активность корпусов реакторов и находившихся в них высокоактивных конструктивных элементов [1,5].

#### РАДИАЦИОННАЯ АВАРИЯ НА ПО «МАЯК» 1957 г.

Радиационная авария на ПО «Маяк» с выбросом радиоактивных веществ в атмосферу произошла 29 сентября 1957 г. в 16 ч 22 мин по местному времени. По современной международной классификации радиационных инцидентов и аварий МАГАТЭ, аварии 1957г. относится к тяжелым, с последствиями, приведшими к необходимости применения мер радиационной защиты населения и локальном масштабе, и имеет индекс 6 по 7-бальной шкале [2].

Непосредственной причиной радиационной аварии 1957 г. явился химический взрыв хранившихся высокоактивных жидких радиоактивных отходов радиохимического производства. Взрыв произошел в емкости-хранилище (банке) № 14

комплекса С-3 радиохимического завода. Комплекс, запущенный в эксплуатацию в 1951, был предназначен для обработки и длительного хранения жидких отходов радиохимического производства. Он представлял собой заглубленные в грунт бетонные сооружения с установленными в два ряда 20 емкостями-хранилищами из нержавеющей стали. Эти сварные, цилиндрической формы, с плоским дном, одностенные емкости имели высоту 6 м, наружный диаметр 8 м, толщину стенок 13 мм и полный внутренний объем 300 м<sup>3</sup>. Каждая емкость располагалась в отдельном железобетонном каньоне диаметром 9 м, глубиной 7,4 м и толщиной боковых стенок 0,8-1,2 м. Сверху каждый каньон прикрывался круглой в плане железобетонной плитой толщиной 0,8 м и массой 160 т, поверх плиты сооружалась грунтовая насыпь толщиной 1-1,5 м [6].

Комплекс состоял из системы циркуляционного водяного охлаждения, вентиляции и контрольно-измерительных приборов. Контролировались уровни воды в емкости и охлаждающей воды в каньоне, а также температура отходов и воды.

Банка № 14 заполнялась отходами с 9 марта по 10 апреля 1957 г. Всего было залито 256 м<sup>3</sup> отходов. Отходы содержали радионуклиды, представленные преимущественно средне- и долгоживущими продуктами деления (табл.1, здесь и далее количественное обозначение жидкостей дано в гектолитрах (гл)). По данным заключения о причинах аварии [7,8] и последующих исследований, взрыв был обусловлен техническими неисправностями и нарушением режима охлаждения емкостей, а также спровоцированными ими последующими физико-химическими процессами.

Таблица 1. – Состав отходов химического производства, находившиеся в банке №14, [6]

Состав отходов	Количество отходов, гл <sup>-1</sup>
NaNO <sub>3</sub>	200
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	5
Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	3
NaAc	60
Cr(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·nH <sub>2</sub> O	3
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,8

Прослеживается следующая цепь явных и наиболее вероятных событий, предшествовавших взрыву:

1) неисправность приборов контроля температуры и уровня охлаждающей воды. Отсутствие надлежащего контроля работы автоматизированного оборудования и контрольно-измерительных приборов (КИП) со стороны эксплуатирующего персонала;

2) сокращение или прекращение подачи охлаждающей воды, вследствие этого значительное снижение и прекращение отвода радиационного избыточного тепла, выделявшегося в содержимом банки на уровне 70·10<sup>3</sup> ккал ч<sup>-1</sup> [6];

3) повышение температуры содержимого банки, выпаривание воды из жидких солевых растворов вплоть до образования сухого остатка солей;

4) взрыв осадка; непосредственные факторы, инициировавшие взрыв сухого остатка, точно не известны.

Комиссия, расследовавшая причины аварии, констатировала неудовлетворительную эксплуатацию емкости № 14, нарушение технологического регламента обработки и хранения радиоактивных отходов в комплексе С-3, отсутствие контроля уровня отходов в емкостях и охлаждающей воды в каньонах, выход из строя контрольно-измерительных приборов еще в первые годы эксплуатации комплекса [7, 8].

В результате взрыва 160-тонная крышка каньона № 14 была сорвана и отброшена

на расстояние 20-25 м без заметных ее повреждений. Были сдвинуты на 0,5-1 м перекрытия соседних каньонов № 7 и 13. Разорванные листы корпуса емкостей были разбросаны на расстоянии до 150 метров. На месте взрыва образовалась воронка глубиной 9-10 м и диаметром около 20 метров. Полное разрушение остекления зданий наблюдалось на расстоянии до 1000 м от эпицентра взрыва. Взрыв банки № 14 привел к прекращению работы комплекса С-3 и осложнил работу не только радиохимического завода, но и всего предприятия.

Продукты взрыва были подняты в воздух и подверглись рассеянию в атмосфере и осаждению на землю в направлении перемещения образовавшегося облака (на ССВ). По современным оценкам [6] высота верхней кромки облака взрыва к моменту стабилизации его подъема могла составлять 1000-1100 м. Поднятые в воздух продукты взрыва были представлены фрагментами сооружений, почвой, пылью, крупнодисперсным аэрозолем, которые осели непосредственно вблизи места взрыва. Остальные продукты, образовавшие перемещаемое в воздухе облако, характеризовались полидисперсным аэрозолем. Были проведены оценки [9], основанные на характеристиках пространственного распределения осевшей на землю активности. В том числе, была учтена дисперсия распределения, характеристики метеорологических условий во время прохождения облака, и подбор математических моделей рассеяния, удовлетворяющих реальному пространственному распределению радиоактивного загрязнения территории. Можно допустить, что аэрозоль перемещаемого облака был, в основном, крупнодисперсным, с преимущественным гравитационным осаждением частиц. Они имели приведенный аэродинамический медианный (по массе) диаметр (АМД), равный 200-260 мкм. Этому АМД соответствует спектр дисперсности, в котором доля респирабельных частиц (<10 мкм) могла быть незначительной. По расчетам [9] доля активности респирабельного  $^{90}\text{Sr}$  в радиоактивных выпадениях за пределами промышленной площадки предприятия составляла около  $10^{-7}$  Бк/м<sup>3</sup>, такая же доля может быть отнесена и к другим радионуклидам, так как факт фракционирования не был доказан. Даже если эта оценка обладает малой точностью, то изменения в ее пределах одного-трех порядков величины не изменяет общего практического вывода о малой доле респирабельного аэрозоля.

По оценкам [10], в сферу взрыва было вовлечено около; 740 ПБк (20 МКи) β-активности продуктов деления, из которой около 90% выпали на промышленной площадке предприятия, а остальные 74 ПБк (2 МКи) осели в прилегающем регионе, обусловив радиоактивное загрязнение части территорий Челябинской, Свердловской и Тюменской областей. Эта загрязненная территория впоследствии получила название Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС).

В соответствии с данными [10], начальный радионуклидный состав радиоактивного загрязнения территории характеризовался (табл. 1) преобладанием  $^{144}\text{Ce}$  и  $^{95}\text{Zr}$  в сумме 91% всей (β-активности) и меньшим вкладом  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Y}$  (5,4 %) и  $^{106}\text{Ru}$  (3,7%). Отношение активности  $^{137}\text{Cs}$  активности  $^{90}\text{Sr}$  составляло 0,013; доля активности  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{155}\text{Eu}$  и изотопов Pu оценивалась как незначительная. Современные оценки (2010 г.), основаны на соотношениях суммарного запаса  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и Pu в почвенном покрове наиболее загрязненной осевой части в голове Восточно-Уральского радиоактивного следа. Там не ощущается дополнительное влияние выпадений от ветрового переноса с берегов оз. Карачай в 1967 г. и кумулятивного загрязнения территории от выбросов предприятия в атмосферу. Таким образом, оценки дают несколько измененный начальный радионуклидный состав. В частности, установлено, что фактически доля активности  $^{137}\text{Cs}$  в 10 раз больше, чем оценивали раньше, а доля активности Pu составляет 0,002 %.

Таблица 2. – Начальный радионуклидный состав аварийного выброса 1957 г. и начальный запас радионуклидов на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа (за пределами площадки предприятия)

Радионуклид	Оценки 1982 г. [5]		Современные оценки [1]	
	вклад в суммарную активность, %	запас, ПБк (кКи)	вклад в суммарную активность, %	запас, ПБк (кКи)
$^{89}\text{Sr}$	Следы	–	Следы	–
$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$	5,4	2,0 (54)	5,4	2,0 (54)
$^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$	24,9	18,4 (498)	24,8	18,4 (496)
$^{106}\text{Ru} + \text{Rh}$	3,7	2,7 (74)	3,7	2,7 (74)
$^{137}\text{Cs}$	0,036	0,027 (0,72)	0,35	0,26 (7,0)
$^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$	66,0	48,8 (1320)	65,8	48,7 (1316)
$^{147}\text{Pm}$	Следы	–	Следы	–
$^{155}\text{Eu}$	Следы	–	Следы	–
Pu	Следы	–	0,002	0,0014 (0,038)

Общая картина пространственного макрораспределения начальной плотности радиоактивного загрязнения территории Восточно-Уральского радиоактивного следа, оцениваемая по  $^{90}\text{Sr}$ , приведена на рисунке 1 в виде карты радиоактивного загрязнения территории.

Это распределение характеризуется явно выраженной осью следа с максимальной плотностью загрязнения, которая плавно снижается по мере удаления от источника загрязнения и резко спадает в поперечном направлении по обе стороны от оси следа.

#### АВАРИЯ НА СИБИРСКОМ ХИМИЧЕСКОМ КОМБИНАТЕ 6 АПРЕЛЯ 1993 ГОДА

Сибирский химический комбинат (СХК) включает в себя производства ядерного топливного цикла. По своей целевой направленности он относится, в основном, к ядерному оружейному комплексу России.

СХК начал создаваться в 1949 г. Ввод в эксплуатацию первых заводов происходил в 1952-1955 гг. В августе 1953 г. была получена первая партия обогащенного урана, а 28 июня 1955 г. выпущена первая партия урана оружейной кондиции. В последующие годы было построено предприятие по производству плутония для военных целей. СХК представляет собой крупный комплекс производств по наработке плутония и урана. Площадь санитарно-защитной зоны СХК составляет 192 км<sup>2</sup> зоны наблюдения – 1560 км<sup>2</sup> [2].

Основным назначением радиохимического завода (РХЗ), введенного в эксплуатацию с 1961 г., является выделение плутония из облученных стандартных блоков урана, очистка урана и плутония от осколочных радионуклидов и стабильных примесей [2].

Принципиальная технологическая схема первого экстракционного цикла очистки основана на пурекс-процессе (PUREX - Plutonium Uranium Refining by Extraction) и приведена на рисунке 1 [11].

Облученные стандартные урановые блоки (ОСУБ) загружаются в реакторрастворитель и растворяются в концентрированной азотной кислоте.

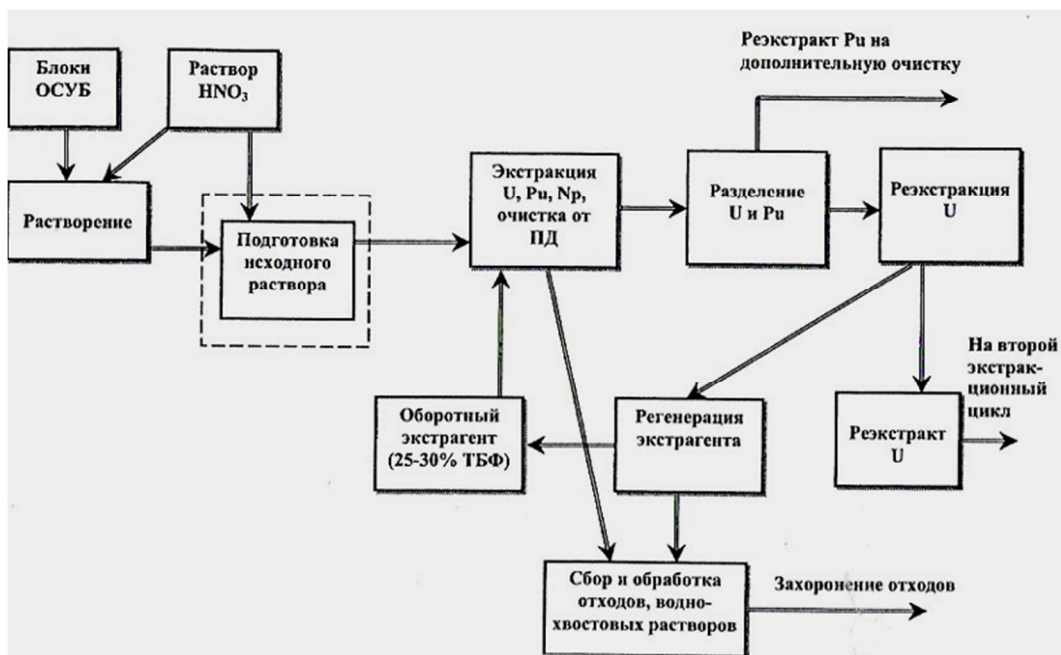


Рис. 1. – Технологическая схема первого экстракционного цикла РХЗ

Извлечение урана, плутония и нептуния из полученного азотнокислого раствора осуществляется экстракцией трибутилфосфатом (ТБФ) в легком углеводородном разбавителе РЖ-3.

Одним из недостатков ТБФ является его разложение под действием азотной кислоты и ионизирующего излучения с образованием дибутилфосфата (ДБФ), монобутилфосфата (МБФ) и фосфорной кислоты, которые снижают коэффициенты очистки, особенно от радиоактивных циркония и ниобия, и способствуют образованию коллоидных взвесей и осадков на границе раздела фаз.

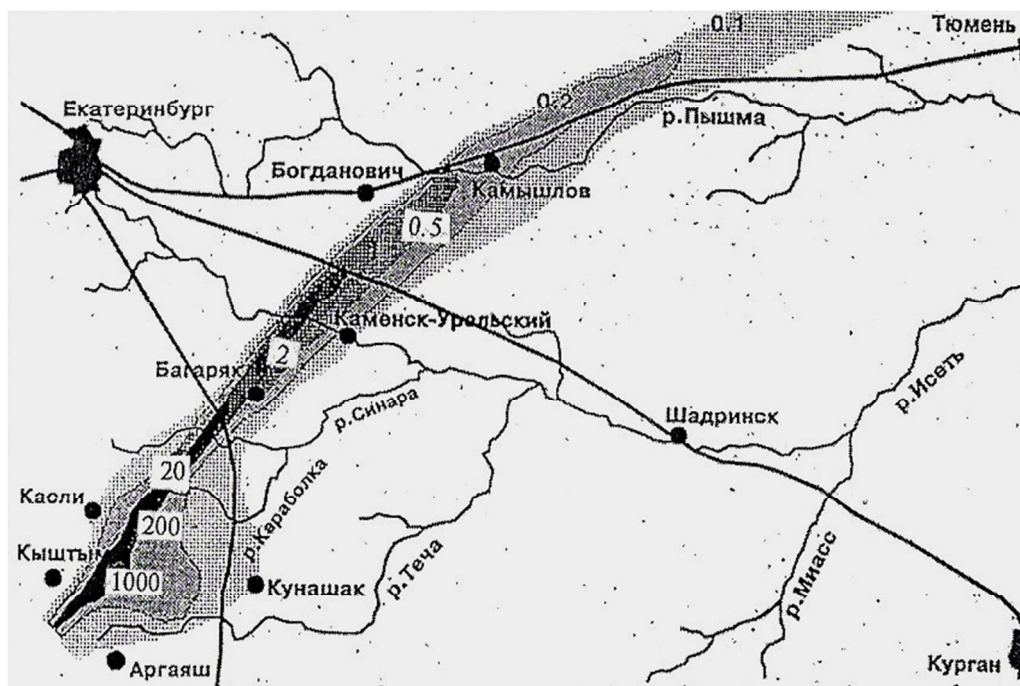


Рис. 2. – Карта-схема Восточно-Уральского радиоактивного следа. Числами обозначены изолинии начальной плотности загрязнения территории  $^{90}\text{Sr}$ , Ки/км<sup>2</sup> (1 Ки/км<sup>2</sup> = 37 кБк/м<sup>2</sup>) [1]



Для очистки от накапливающихся продуктов гидролиза и радиолитического распада экстрагент после каждого оборота должен проходить содово-щелочную промывку.

При длительной эксплуатации в органической фазе постепенно накапливаются вторичные продукты распада не только ТБФ, но и углеводородного разбавителя, которые не вымываются растворами соды и щелочи и снижают коэффициент очистки урана и плутония от радиоактивных продуктов деления, особенно рутения. В связи с этим органический раствор время от времени выводится из процесса и подлежит глубокой регенерации либо захоронению [2].

6 апреля 1993 г. в 12 ч 58 мин по местному времени на РХЗ в здании 201 цеха №1 произошло взрывное разрушение одного из аппаратов первого цикла по экстракции урана и плутония.

Аппарат АД-6102/2, на котором произошла авария, был предназначен для подготовки исходного продукта к проведению процесса экстракции. Аппарат представляет собой стальную емкость общим объемом  $34,15 \text{ м}^3$ , диаметром 2,8 м, высотой 6,3 м, толщиной оболочки 14 мм. Он размещался в каньоне диаметром 4 м и глубиной 7,7 м, стенки которого облицованы нержавеющей сталью и окружены бетонной защитой толщиной 1,2 м (рис. 3) [2].

Согласно технологическому регламенту основные требования к безопасному проведению процессов заполнения и подготовки растворов в аппарате АД-6102/2 предусматривали, кроме общих требований безопасности, следующие мероприятия:

- подготовку исходного раствора регламентной концентрации по азотной кислоте, ( $90,0 \text{ гл}^{-1}$ );
- контроль над накоплением органики в отстойниках водных растворов;
- перемешивание раствора сжатым воздухом с расходом  $50 \text{ м}^3/\text{ч}$  для выравнивания концентрации азотной кислоты и температуры ( $40\text{--}45^\circ\text{C}$ ) по всему объему;
- постоянный барботаж воздуха с расходом не менее  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$  для разбавления газообразных продуктов;
- периодическое полное освобождение аппарата для удаления накопленной органики.

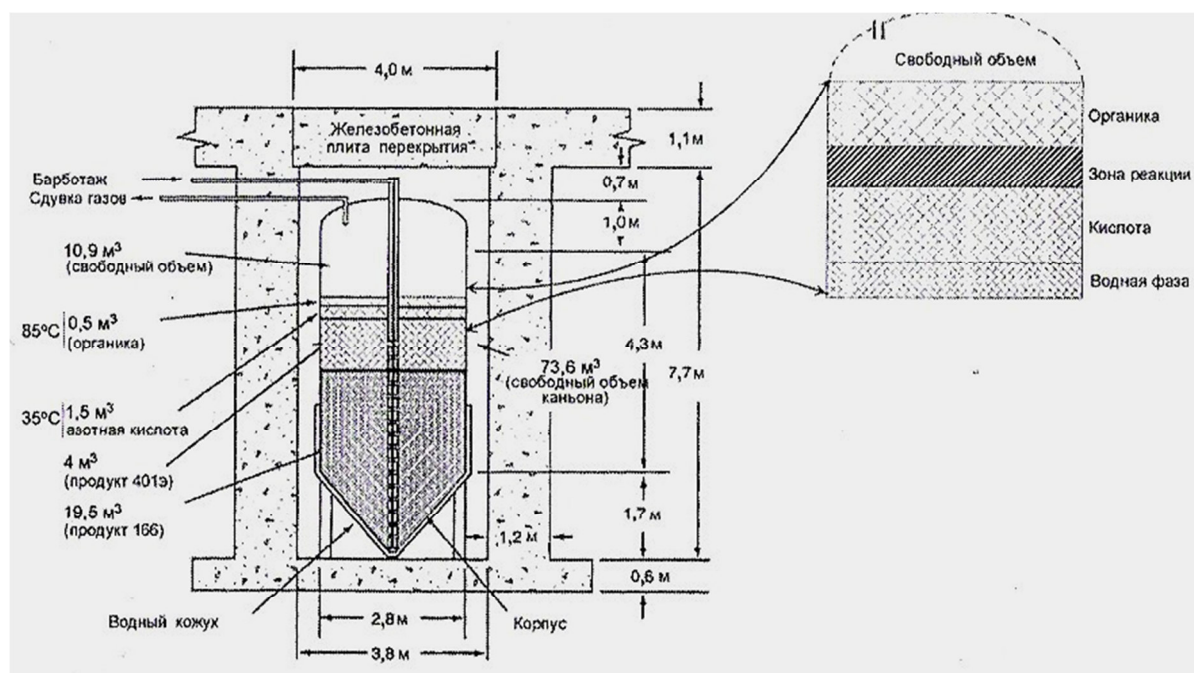


Рис. 3. – Схема аппарата АД-6102/2 и структура коллоидной дисперсии к моменту аварии

Последнее полное освобождение аппарата было проведено 1 апреля 1993 г. [12]. Общее количество продуктов, прошедших подготовку в аппарате за период с 1 по 6 апреля, составило 115 м<sup>3</sup>. В день разрушения аппарата в нем находились остатки продукта 401э (азотнокислотный раствор от рекстракции плутония, урана и нептуния после экстракционной переработки высокоактивных продуктов, см. табл. 3) объемом 4 м<sup>3</sup>. К нему были добавлены две порции продукта 166 (упаренный азотнокислотный концентрат урана после экстракционной переработки на первом цикле) общим объемом 19,5 м<sup>3</sup>: первая порция (12 м<sup>3</sup>) – в 5 ч 30 минут. Вторая порция (7,5 м<sup>3</sup>) – в 9 ч 30 мин и порция концентрированной азотной кислоты объемом 1,5 м<sup>3</sup> – 10 ч 30 мин. Все операции производились в автоматическом режиме при помощи устройств КИП и автоматизированных механизмов.

В аппарате находилось 449 г плутония и 8757 кг урана, что соответствовало активности плутония 10<sup>12</sup> Бк и урана – 1,1·10<sup>11</sup> Бк, а также β-γ-излучающие радионуклиды суммарной активностью 1,2·10<sup>14</sup> Бк (табл. 3). Послеаварийный анализ показаний приборов контроля свидетельствовал об отсутствии перемешивания или о барботаже, недостаточном для перемешивания раствора в полном объеме по причине отказа устройств автоматики. Расследование данного обстоятельства не проведено по сей день. По показаниям датчика давления в 12 часов в аппарате АД-6102/2 начался рост давления.

Таблица 3. – Структура раствора в АД-6102/2 [12]

Тип продукта	Объем, м <sup>3</sup>	Концентрация гл <sup>-1</sup>					Суммарная* объемная активность β-γ-излучающих радионуклидов, Бк/л
		Pu	U	HNO <sub>3</sub>	Th	Np	
401э (см.стр.10)	4	0,0166	37,4	94,5	0,0355	0,062	2,8·10 <sup>10</sup>
166	12,0	0,0196	441,1	30			2,5·10 <sup>8</sup>
HNO <sub>3</sub>	1,5			896			
* согласно первичной рабочей документации в аппарате находилось 2·10 <sup>23</sup> Бк β-излучающих радионуклидов по результатам контроля методом бета-радиометрии с калибровочным препаратом <sup>90</sup> Sr + <sup>90</sup> Y. В таблице дана оценка суммарной активности с учетом перекалибровки для реальной смеси радионуклидов							

В период с 12 ч 40 мин до 13 ч 00 мин проводилась сдача и принятие смены другой бригадой. Примерно в 12 ч 50 мин операторы сообщили дежурному инженеру-технологу, что в аппарате АД-6102/2 поднимается давление. После проверки было отмечено, что давление достигло 2,0 атм. и продолжало увеличиваться. Инженер-технолог отдал распоряжение сбросить давление через смежные аппараты по технологическим линиям, но эта операция не дала заметного результата [2].

К 12 ч 55 мин давление внутри аппарата возросло до 5,0 атм. и продолжало повышаться. В 12 ч 58 мин произошло его разрушение, а через несколько секунд последовал взрыв, который сопровождался пламенем, замеченным над крышей здания.

Очаги пожара на крыше и в аппаратном зале были ликвидированы в течение 10 мин, прибывшей к месту аварии через 1-2 мин после разрушения аппарата пожарной командой. Визуальный осмотр вблизи места происшествия (доступ непосредственно к каньону был невозможен из-за аварийного состояния перекрытий потолка аппаратного зала и повышенной активности) показал, что, во-первых, были сдвинуты плиты перекрытия каньона; во-вторых, частично разрушено потолочное перекрытие аппаратного зала непосредственно над местом расположения каньона; в-третьих, произошло обгорание и пузырение краски стен аппаратного зала, свидетельствующие о том, что в нескольких метрах от места расположения аппарата имел место объемный взрыв парогазовой смеси. Кроме этого были разрушены подводящие коммуникации и

электроарматура приборов и освещения, разрушена система отопления, выбиты шлакоблоки и оконные проемы в нескольких местах аппаратного зала, в том числе, и в противоположном от места взрыва конце аппаратного зала [2].

Основными причинами разрушения аппарата были признаны следующие обстоятельства:

- накопление в аппарате в период с 1 по 6 апреля 1993 г. органики в объеме около 150 л;

- грубое нарушение оператором технического регламента: содержимое аппарата не перемешивалось перед добавлением азотной кислоты и в течение последующих двух часов; проходное сечение сдувки было уменьшено;

- наличие в аппарате деградированного растворителя (в результате его радиолитического и химического разложения) с большим содержанием циклических парафинов, которое привело к накоплению химических соединений, более активно реагирующих с азотной кислотой;

- температура в верхней части аппарата была существенно выше чем в нижней – необратимый характер реакции был бы невозможен при температуре ниже 70°C, как это предусмотрено технологией.

Все эти обстоятельства способствовали развитию неуправляемой экзотермической реакции окисления и нитрования органики азотной кислотой [2].

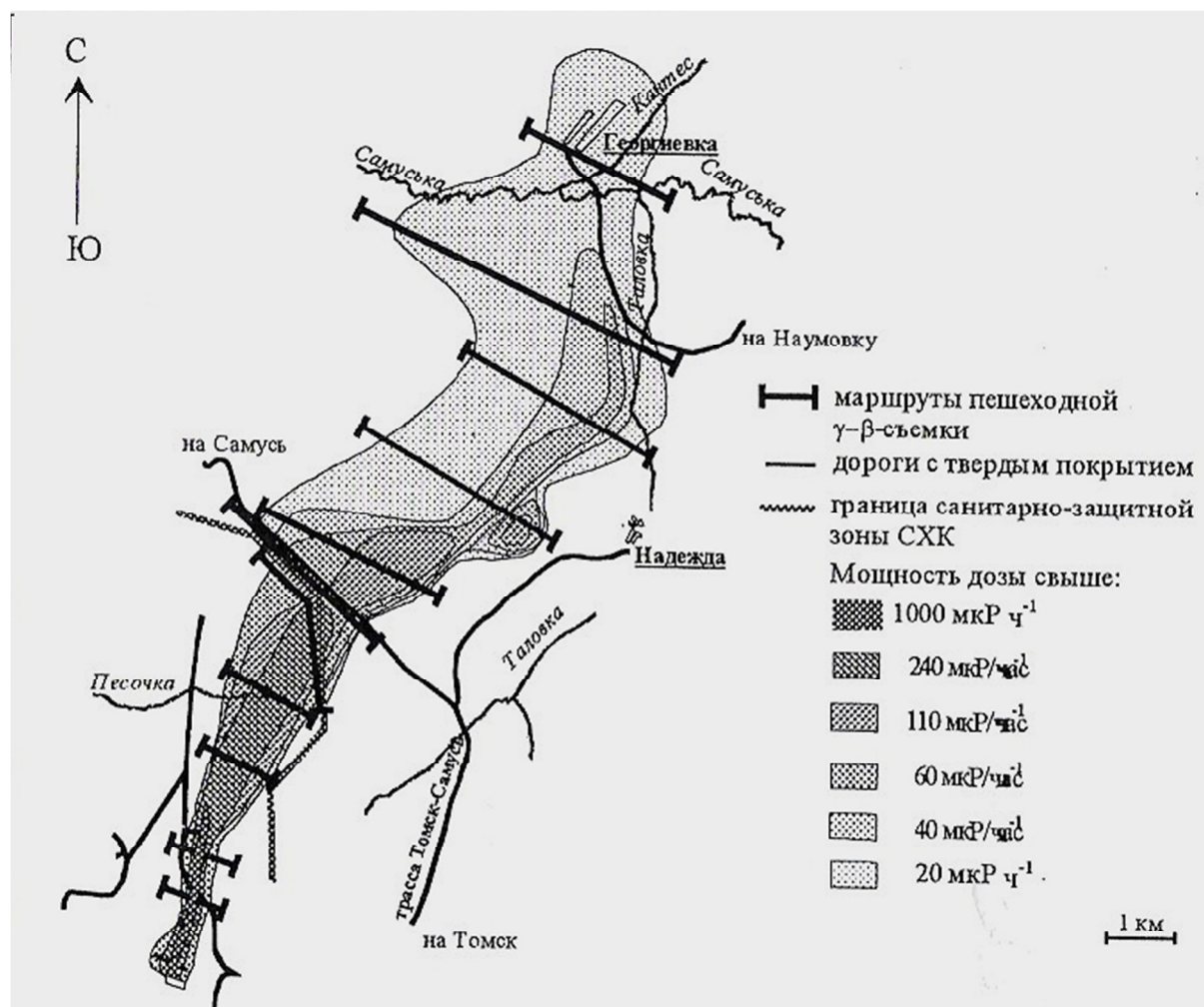


Рис. 4. – Изолинии мощности дозы-излучения на следе (по состоянию на 13.05.1993 г.) [1]

Радиоактивный след от аварийного выброса формировался при устойчивом юго-западном ветре (190-210°) со скоростью 8-13 м/с. Выпадения радиоактивных веществ происходили на устойчивый снеговой покров, достигавший местами метровой толщины, который полностью сошел к середине мая. Схема радиоактивного следа, полученная по данным наземной радиационной разведки вдоль профильных маршрутов, приведена на рисунке 4. Видно, что след протянулся в северо-восточном направлении от СХК; на расстоянии около 7 км он заметно отклонился к востоку, а перед деревней Георгиевка – к северу. Юго-западнее населенного пункта Надежда и к северу от Георгиевки образовалось два “пятна” площадью примерно 1 км<sup>2</sup> с повышенными уровнями МЭД – более 1 и 0,5 мкЗв/ч соответственно. На остальной территории следа имелись локальные пятна площадью 100-150 м<sup>2</sup> с МЭД и плотностью потока β-частиц в 5-7 раз выше средних значений.

Особенностью загрязнения территории являлась ее неоднородность даже на небольших площадях (менее 1 м<sup>2</sup>), что связано с наличием “горячих” частиц активностью до 105 Бк. Например, вблизи деревни Георгиевка плотность таких частиц оценивалась равной 400 м<sup>2</sup> [13]. Результаты отдельного спектрометрического анализа взвешенной и растворимой фракций в пробах снега показали, что около 90% активных веществ находилось во взвеси [13, 14].

В поперечных сечениях следа на расстояниях 3,5-7 км отчетливо прослеживались два максимума в распределении МЭД и плотности загрязнения радионуклидами (рис. 5). Это объясняется наложением двух следов, образованных от выпадений из двух источников с высотой подъема радиоактивного облака 30 и 150 м при различных направлениях ветра в приземном слое воздуха (азимут 190°) и на высоте 100-200 м (азимут 210°).

За полгода, прошедших с момента аварии, на территории радиоактивного следа различными организациями и службами было отобрано и проанализировано на содержание радионуклидов свыше 300 проб почвы и снега. Было установлено, что относительный нуклидный состав практически не изменялся с расстоянием, за исключением <sup>239</sup>Pu (относительный вклад <sup>239</sup>Pu до 2 раз увеличивался с приближением к источнику выброса). Обобщенные сведения по площади радиоактивного загрязнения вне территории СХК и радионуклидному составу выпадений в пределах следа приведены в таблицах 4 и 5 [2].

Таблица 4. – Площадь радиоактивного загрязнения на различное время после аварии [14]

Диапазон МЭД, мкЗв <sup>-1</sup> *	Площадь, км <sup>2</sup>				
	6.04.1993г.	13.05.1993 г.**	15.07.1993 г.	12.10.1993 г.	18.05.1994 г.
Свыше 0,2*	43,4	33,0	28,5	13,1	–
От 0,2 до 0,4	21,0	23,0	20,0	10,7	Отсутствует
От 0,4 до 0,6	10,5	5,0	6,3	2,2	То же **
От 0,6 до 1,1	7,4	3,0	1,6	0,2	То же
Свыше 1,1	4,5	2,0	0,6	Отсутствует	То же

\* Начальная площадь радиоактивного следа по съемке Росгидромета, ограниченная изолинией 0,15 мЗв ч<sup>-1</sup>, была равна 89 км<sup>2</sup>.

\*\* Расчетная оценка по результатам съемки 13.05.1993 г.

Следует подчеркнуть, что внешняя граница радиоактивного следа 20 была установлена, исключительно исходя из требования достоверного выделения загрязненной территории (в сравнении с естественным фоном 0,06-0,15 мкЗв/ч по данным метеостанции Томской области). Значение дозы γ-излучения на открытой местности за первый год на этой внешней границе составляло 0,2 мГр (за вычетом

естественного радиационного фона). Это соответствует эффективной дозе, существенно меньшей, чем рекомендуемые отечественные и международные критерии вмешательства при радиационных авариях [15, 16]. На рисунке 4 видно, что изолиния 2,4 мкЗв/ч (на 13 мая 1993 г.), которая примерно соответствует изолинии годовой мощности дозы на открытой местности 5 мЗв/год, полностью находится внутри санитарно-защитной зоны СХК. Тем не менее, при планировании мер радиационной защиты населения и фактически вся территория следа вне охранной зоны. СХК рассматривалась как объект аварийного вмешательства.

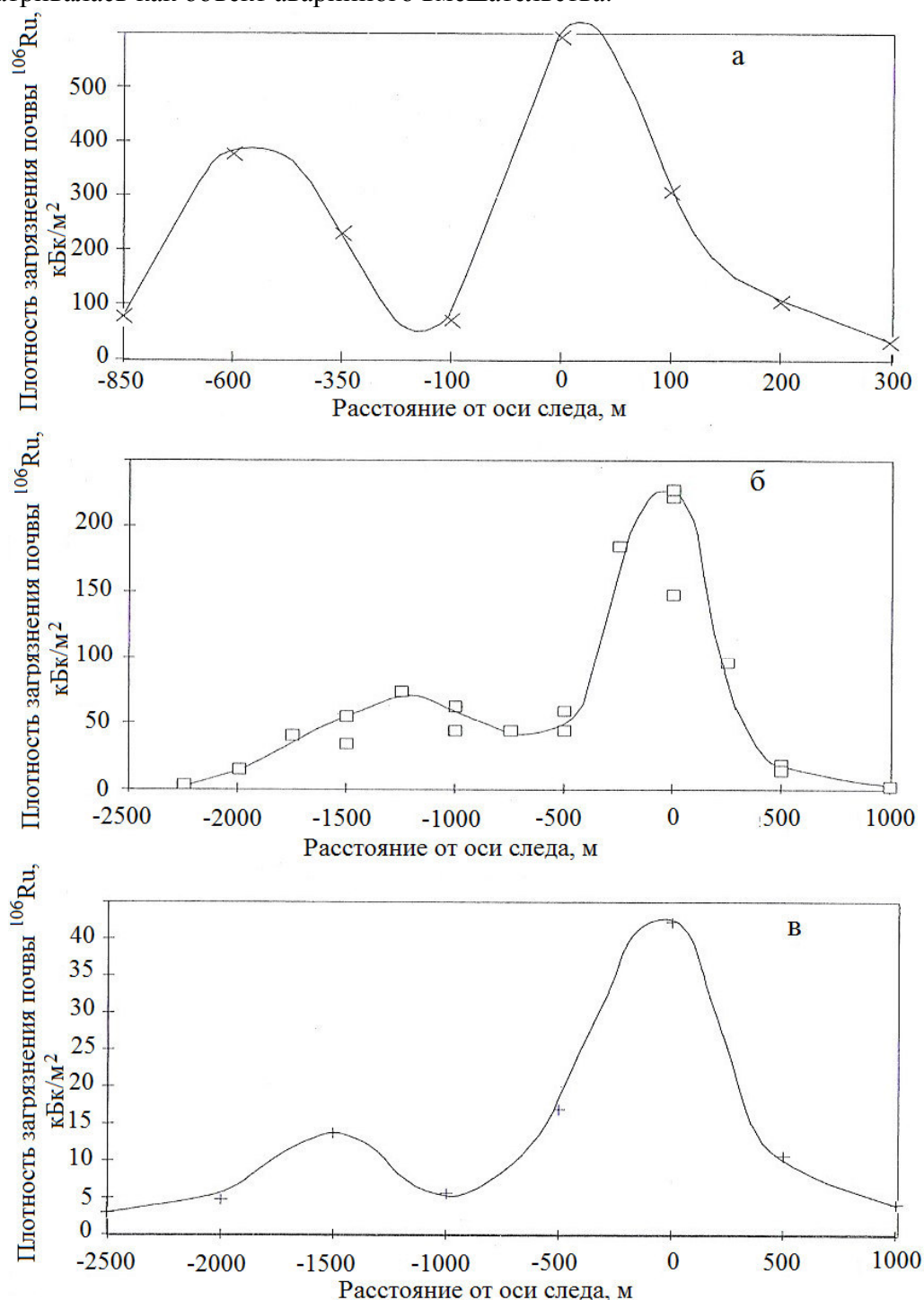


Рис. 5. – Плотность загрязнения почвы  $^{106}\text{Ru}$ , в поперечных сечениях следа на расстояниях 4,5 км (а), 7,0 км (б) и 12,0 км (в) от РХЗ (на 6.04.1993г.) [2]

Рассмотренные аварии произошли, главным образом, по причине несовершенства технологической базы, недостаточной проработки технических проектов и, возможно, за счет человеческого фактора.

Таблица 5. – Относительный нуклидный состав выпадений на следе аварийного выброса на 6.04.1993г. [17]

Радионуклид	<sup>95</sup> Zr	<sup>95</sup> Nb	<sup>103</sup> Ru	<sup>106</sup> Ru	<sup>125</sup> Sb	<sup>141</sup> Ce	<sup>144</sup> Ce	<sup>239</sup> Pu
Относительный радионуклидный состав выпадений, %	20,4	44,0	1,4	31,4	0,4	1,5	0,9	0,01

В отчетах комиссий, исследовавших причины аварий «вскользь» упоминается о неисправностях узлов автоматики и контрольно-измерительного оборудования. [2, 6, 8]. На этом факте практически не акцентируется внимание, однако, именно это оборудование играет ключевую роль при выполнении большинства технологических операций. Соответственно, отказ такого оборудования (АСУ ТП) ведет за собой сбой всего технологического процесса. На основе отчетов комиссий по расследованию аварий, из анализа событий, которые привели к аварии, можно полагать о том, что это являлось одной из ключевых причин аварии на СХК. На сегодняшний день дополнительных исследований в этой области сделано не было, поэтому полное представление о причинах произошедших катастроф остается недоступным.

Спустя несколько десятилетий после аварий, подобные объекты продолжают эксплуатироваться при тех же условиях на аналогичном оборудовании, т.е. без существенной его модернизации, что вызывает риск возникновения новых аварий подобного рода. Более того, все чаще сообщают СМИ о планах стран СНГ (такие страны как Украина, Казахстан, Таджикистан, Белоруссия, РФ) [18–24] создавать новые объекты по аналогичным проектам, по причине экономии бюджетных средств. Однако, в случае повторения подобных аварий, ликвидация их последствий несет еще большие моральные и материальные затраты, чем строительство подобных объектов по более совершенным технологиям.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Защита окружающей среды при эксплуатации и выводе из эксплуатации радиационно-опасных объектов [Текст] / И.П. Коренков, Н.К. Шандала, Т.Н. Лащенко, А.И. Соболев; Под ред. И.П. Коренкова, К.В. Котейко. – М.: Издательство БИНОМ, 2014. – 440 с.: ил.
2. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры [Текст] / Р.М. Алексахин, Л.А. Булдаков, В.А. Губанов [и др.]; Под ред. Л. А. Ильина, В. А. Губанова : монография. – М. : Издат, 2001. – 751 с. : ил., табл.; 25 см.
3. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7 – ФЗ «Об охране окружающей среды» [Текст].
4. Постановление правительства РФ от 19.10.2012 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов» [Текст].
5. Агапов, А.М. Отходы МинАтома [Текст] / А.М. Агапов // Барьер безопасности. – 2003. – С. 44–48.
6. Авария 1957. Оценка параметров взрыва и анализ характеристик радиоактивного загрязнения территории [Текст] / М.И. Авраменко, А.Н. Аверин, Б.Г. Лобойко и др. // Вопросы радиационной безопасности. – 1997. – №3 – С. 18–29.
7. Приказ по МСМ от 11.10.57 о расследовании причин взрыва на комбинате 817 [Текст] // Архив ПО «Маяк». Ф. 1. Оп. 28. Д. 1.
8. Акт комиссии МСМ от 25.11.57 о расследовании причин взрыва на объекте 25 [Текст] // Архив ПО «Маяк». Ф. 1. Оп. 30. Д. 75.
9. Расчетное моделирование формирования Восточно-Уральского радиоактивного следа: Отчет о НИР [Текст] / Науч. рук. М.Н. Авраменко. – РФЯЦ–ВНИИТФ, 1998.

10. Изучение радиозоологических, радиационно-гигиенических и социально-хозяйственных последствий массированного радиоактивного загрязнения больших площадей (1958–1984 гг.). Том III. Радиационная обстановка и динамика поведения радионуклидов в окружающей среде: Отчет о НИР [Текст] / Науч. рук. И.А. Терновский, Е.Н. Теверовский // Фонд ПО "Маяк". Инв. №ОН–2165. 1984.
11. Атомная наука и техника в СССР [Текст]. – М.: Атомиздат, 1977.
12. Акт Межведомственной комиссии по расследованию причин и разработки мероприятий по ликвидации последствий аварии на радиохимическом заводе Сибирского химического комбината (№02-07/ 329 от 14.04.93. Утв. Министром МАЭ РФ В.Н. Михайловым) [Текст].
13. Анализ и прогноз радиационной обстановки в районе аварии на Сибирском химическом комбинате [Текст] / В.А. Питкевич, В.М. Шершаков, В.В. Дуба // Радиация и риск. – 1993. – Вып. 3. – Приложение 2. – С. 3–48.
14. Инцидент на Сибирском химическом комбинате в 1993 г. (Томск-7): причины, последствия и контрмеры [Текст] / Л.А. Ильин, О.А. Кочетков, М.Н. Савкин и др. // МАГАТЭ, TECDOC 7955/RB. – Вена, 1995.
15. ICRP Publication 60. Recommendations of International Commission on Radiological Protection // Ann. ICRP. Vol. 21. №1-3. Pergamon Press, Oxford, UK, 1991.
16. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99) СП-2.6.1.758-99 [Текст]. – М.: Минздрав России, 1999.
17. Савкин, М.Н. и др. Анализ радиационной обстановки на следе аварийного выброса радиохимического завода Сибирского химического комбината [Текст] / М.Н. Савкин, А.В. Титов // Медицина катастроф. – 1995. – №1–2. – С. 76–84.
18. В зоне отчуждения Чернобыльской АЭС началось строительство хранилища отработанного ядерного топлива [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://www.1tv.ru/news/techno/266489> – 10.04.2015.
19. Украина может начать закупать ядерное топливо для АЭС у США [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://www.1tv.ru/news/techno/274981> – 10.04.2015.
20. Новое временное хранилище радиоактивных отходов построят близ Казани [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: [http://www.bellona.ru/articles\\_ru/articles\\_2014/Kazan-RAO-OVOS](http://www.bellona.ru/articles_ru/articles_2014/Kazan-RAO-OVOS) – 10.04.2015.
21. Сооружение 103 [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: [http://www.radon.ru/line\\_activity/rao/storage/](http://www.radon.ru/line_activity/rao/storage/) – 10.04.2015.
22. Строительство хранилища радиоактивных отходов в Ростовской области начнется в 2015 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://www.atomic-energy.ru/news/2014/10/20/52344> – 10.04.2015.
23. Строительство хранилища радиоактивных отходов в Ростовской области начнется в 2015 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: [http://rostov.rbc.ru/rostov\\_topnews/16/10/2014/953372.shtml](http://rostov.rbc.ru/rostov_topnews/16/10/2014/953372.shtml) – 10.04.2015.
24. ЕС даст Душанбе денег на урановые могильники [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: [http://www.bbc.com/russian/international/2012/12/121218\\_tajikistan\\_uranium](http://www.bbc.com/russian/international/2012/12/121218_tajikistan_uranium) – 10.04.2015.

## REFERENCES

- [1] Korenkov I.P., Shandala N.K., Lashhenkova T.N., Sobolev A.I. Zashhita okruzhayushhej sredy pri ekspluatatsii i vyvode iz ekspluatatsii radiacionno-opasnyh obektov [Environment protection at operation and a conclusion from operation of radiation-hazardous objects] / Pod red. I.P. Korenkova, K.V. Kotejko [Edited by I.P. Korenkova, K.V. Kotejko]. M. Pub. Izdatelstvo BINOM [Publishing house BINOM], 2014, ISBN 978-5-9518-0586-7, 440 p. (in Russian)
- [2] Krupnye radiacionnye avarii: posledstviya i zashhitnye mery [Major radiation accidents: consequences and protective measures] / Aleksaxin R.M., Buldakov L.A., Gubanov V.A. etc.; Pod red. L.A. Ilina, V.A. Gubanov [Edited by L. A. Ilyin, V. A. Gubanov], Monographia [monograph]. M. Pub. Izdat [Publish], 2001, ISBN 5-86656-113-1, 751 p. (in Russian)
- [3] Federalnyj zakon ot 10 yanvarya 2002 g. №7 – FZ «Ob ohrane okruzhayushhej sredy» [The federal law of January 10, 2002 №. 7 – Federal Law "About Environmental Protection"]. (in Russian)
- [4] Postanovlenie pravitelstva RF ot 19.10.2012 «O kriteriyah otneseniya tverdyh, zhidkih i gazoobraznyh othodov» [The resolution of the Government of the Russian Federation of 19.10.2012 "About criteria of reference of solid, liquid and gaseous waste"]. (in Russian)
- [5] Agapov A.M. Othody MinAtoma [Waste of Ministry of Atomic Energy]. Barjer bezopasnosti [Safety barrier], 2003, p. 44–48. (in Russian)

- [6] Avramenko M.I., Averin A.N., Lobjko B.G. etc. Avariya 1957. Ocenka parametrov vzryva i analiz karakteristik radioaktivnogo zagryazneniya territorii [Accident 1957. Assessment of parameters of explosion and analysis of characteristics of radioactive pollution of the territory. Voprosy radiacionnoj bezopasnosti [Questions of radiation safety], 1997, №3, C. 18–29. (in Russian)
- [7] Prikaz po Ministerstvu srednego mashinostroeniya ot 11.10.57 o rassledovanii prichin vzryva na kombinatе 817 [The order on MCM of 11.10.57 about investigation of causes of explosions at combine 81]. Arhiv proizvodstvenogo objedineniya «Mayak» [Mayak production association archive], Fond [Fund] 1, Opis [Inventory list] 28, Delo [Matter] 1. (in Russian)
- [8] Akt komissii Ministerstva srednego mashinostroeniya ot 25.11.57 o rassledovanii prichin vzryva na objekte 25 [The act of the commission of MCM of 25.11.57 about investigation of causes of explosions on object 25]. Arhiv proizvodstvenogo objedineniya «Mayak» [Mayak production association archive], Fond [Fund] 1, Opis [Inventory list] 30, Delo [Matter] 75. (in Russian)
- [9] Raschetnoe modelirovanie formirovaniya Vostochno-Uralskogo radioaktivnogo sleda: Otchet o NIR [Settlement modeling of formation of the East Ural radioactive trace: Report on NIR] / Nauchnyj rukovoditel M.N. Avramenko [Research supervisor M. N. Avramenko]. RFYaC–VNIITF [Russian Federal Nuclear Center – VNIITF], 1998. (in Russian)
- [10] Izuchenie radioekologicheskikh, radiacionno-gigienicheskikh i socialno-hozyajstvennykh posledstvij massirovannogo radioaktivnogo zagryazneniya bolshix ploshhadej (1958–1984 gg.) [Studying of radio ecological, radiation and hygienic and socioeconomic consequences of massive radioactive pollution of big squares (1958-1984)]. Vol. III. Radiacionnaya obstanovka i dinamika povedeniya radionuklidov v okruzhayushhej srede: Otchet o NIR [Volume III. A radiation situation and dynamics of behavior of radionuclides in environment: Report on NIR] / Nauchnye rukovoditeli I.A. Ternovskij, E.N. Teverovskij [Research supervisors I.A. Ternovsky, E.N. Teverovsky]. Fond proizvodstvenogo objedineniya «Mayak» [Fund Mayak production association], Inventarnyi nomer OH–2165, 1984. (in Russian)
- [11] Atomnaya nauka i tehnika v SSSR [Nuclear science and equipment in the USSR]. M. Pub. Atomizdat [Atomizdat], 1977. (in Russian)
- [12] Akt Mezhdvedomstvennoj komissii po rassledovaniyu prichin i razrabotki meropriyatij po likvidacii posledstvij avarii na radioximicheskom zavode Sibirskogo ximicheskogo kombinata (№02-07/ 329 ot 14.04.93. Utverzhdenyj Ministrom ministerstva atomnoj energetiki RF V.N. Mixajlovym) [The act of the Interdepartmental commission on investigation of the reasons and development of actions for elimination of consequences of accident at radiochemical plant of Siberian Chemical Plant (No. 02-07/329 of 14.04.93. УТВ. Minister of MAHE of the Russian Federation V. N. Mikhaylov)]. (in Russian)
- [13] Pitkevich V.A., Shershakov V.M., Duba V.V. Analiz i prognoz radiacionnoj obstanovki v rajone avarii na Sibirskom ximicheskom kombinatе [The analysis and the forecast of a radiation situation around accident on Siberian Chemical Plant]. Radiaciya i risk, 1993, Vypusk [Radiation and risk]. 3, Prilozhenie 2 [Appendix 2], ISSN 0131-3878, p. 3–48. (in Russian)
- [14] Iljin L.A., Kochetkov O.A., Savkin M.N. etc. Incident na Sibirskom himicheskom kombinatе v 1993 g. (Tomsk-7): prichiny, posledstviya i kontrmery [Incident on Siberian Chemical Plant in 1993 (Tomsk-7): reasons, consequences and counter-measures]. Wien. Pub. IAEA, TECDOC 7955/RB, 1995. (in English)
- [15] ICRP Publication 60. Recommendations of International Commission on Radiological Protection // Ann. ICRP. Vol. 21. №1-3. Pergamon Press, Oxford, UK, 1991. (in English)
- [16] Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99) SP-2.6.1.758-99 [Standards of radiation safety (NRB-99) SP-2.6.1.758-99]. M. Pub. Minzdrav Rossii [Russian Ministry of Health], 1999. (in Russian)
- [17] Savkin M.N., Titov A.V. Analiz radiacionnoj obstanovki na slede avariynogo vybrosa radiohimicheskogo zavoda Sibirskogo himicheskogo kombinata [The analysis of a radiation situation on a trace of emergency emission of radiochemical plant of Siberian Chemical Plant]. Medicina katastrof Medicine of accidents, [Medicine of accidents] 1995, №1–2, ISSN 2070-1004, p. 76–84. (in Russian)
- [18] V zone otchuzhdeniya Chernobylskoj AES nachalos stroitelstvo hranilishha otrabotannogo yadernogo topliva [In an exclusion zone of the Chernobyl NPP construction of storage of the fulfilled nuclear fuel began]. Available at: <http://www.1tv.ru/news/techno/266489> (in Russian)
- [19] Ukraina mozhет nachat zakupat yadernoe toplivo dlya AES u SShA [Ukraine can start buying nuclear fuel for the NPP from the USA]. Available at: <http://www.1tv.ru/news/techno/274981> (in Russian)
- [20] Novoe vremennoe hranilishhe radioaktivnyh othodov postroyat bliz Kazani [The new temporary storage of radioactive waste will be constructed near Kazan]. Available at: [http://www.bellona.ru/articles\\_ru/articles\\_2014/Kazan-RAO-OVOS](http://www.bellona.ru/articles_ru/articles_2014/Kazan-RAO-OVOS) (in Russian)



- [21] Sooruzhenie 103 [Construction 103]. Available at: [http://www.radon.ru/line\\_activity/rao/storage/](http://www.radon.ru/line_activity/rao/storage/) (in Russian)
- [22] Stroitelstvo hranilishha radioaktivnyh othodov v Rostovskoj oblasti nachnetsya v 2015 g. [Construction of storage of radioactive waste in the Rostov region will begin in 2015.]. Available at: <http://www.atomic-energy.ru/news/2014/10/20/52344> (in Russian)
- [23] Stroitelstvo xranilishha radioaktivnyh othodov v Rostovskoj oblasti nachnetsya v 2015 g. [Construction of storage of radioactive waste in the Rostov region will begin in 2015.]. Available at: [http://rostov.rbc.ru/rostov\\_topnews/16/10/2014/953372.shtml](http://rostov.rbc.ru/rostov_topnews/16/10/2014/953372.shtml) (in Russian)
- [24] ES dast Dushanbe deneg na uranovye mogilniki [The EU will give Dushanbe money for uranium burial grounds]. Available at: [http://www.bbc.com/russian/international/2012/12/121218\\_tajikistan\\_uranium](http://www.bbc.com/russian/international/2012/12/121218_tajikistan_uranium) (in Russian)

## Damage Assessment of Environmental Radioactive Contamination at Nuclear Facilities during Radiation Accident

I.A. Starodubtcev \*, A.P. Elokhin \*\*

*National Research Nuclear University «MEPhI»,  
Moscow, Russia 115409*

*\* e-mail: 81-720@mail.ru ; \*\* e-mail: elokhin@yandex.ru*

**Abstract** – In article the problem of safe operation of the existing radiation-hazardous waste storages, new storages constructions in the CIS territory is considered.

A brief classification of the existing radioactive waste is given. The review of a complex of the reasons of the largest radiation accidents at nuclear facilities is carried out from the point of view of technical faults of the serving automatic devices of automatic equipment.

The short characteristic of the radioactive materials released into the atmosphere as a result of radiation accidents, features of radioactive pollution of adjacent territories, the dosimetric analysis of the district is provided.

*Keywords:* radiation-hazardous objects, radiation-hazardous waste, nuclear safety, radiation safety, radiation accident, environmental damage.