

## **Оценка воздействия на окружающую среду комплексной утилизации АПЛ и методологические подходы к определению приоритетных направлений работ**

*Академик А.А. Саркисов, ИБРАЭ, Российская Федерация*

Прежде чем перейти к рассмотрению несомненно актуальных, но в то же время конкретных проблем, которым будут посвящены последующие сообщения, мне представляется целесообразным дать интегральную оценку воздействия комплексной утилизации АПЛ на окружающую среду и определить относительный вклад этого воздействия по сравнению с другими источниками загрязнения Арктического региона. Оценивая этот вклад, необходимо при этом отдельно рассматривать уже фактически реализуемое воздействие на окружающую среду и потенциальные риски такого воздействия, связанные с объектами и технологиями комплексной утилизации.

Одной из наиболее важных стратегических целей планирования и организации работ по утилизации является устранение реальных источников загрязнения окружающей среды и минимизация существующих потенциальных рисков.

Эффективное достижение этой стратегической цели возможно лишь путем концентрации использования располагаемых средств и ресурсов на решение наиболее приоритетных направлений работ. На методологических подходах к определению этих приоритетных направлений я как раз и остановлюсь во второй части своего сообщения.

Мы хорошо понимаем, что заинтересованность, проявляемая другими странами, в скорейшем завершении работ по утилизации российских АПЛ, продиктована, прежде всего, их заботой о сохранении экологической безопасности Арктического региона.

Особое внимание, которое уделяется международным сообществом к экологическим проблемам Арктического бассейна, более чем оправдано, по крайней мере, по следующим фундаментальным причинам:

1. Постоянно возрастающая экономическая роль Арктики как богатейшего источника сырьевых ресурсов, прежде всего углеводородов, а также как богатейшего источника биоресурсов.
2. Возрастающее значение Арктического региона в реализации внутренних и мировых транспортных коммуникаций.
3. Уникальная роль Арктического бассейна в формировании глобальных климатических и гидрологических процессов в Мировом океане и на планете в целом, исключительная чувствительность экологических параметров планеты к изменениям в этом регионе.

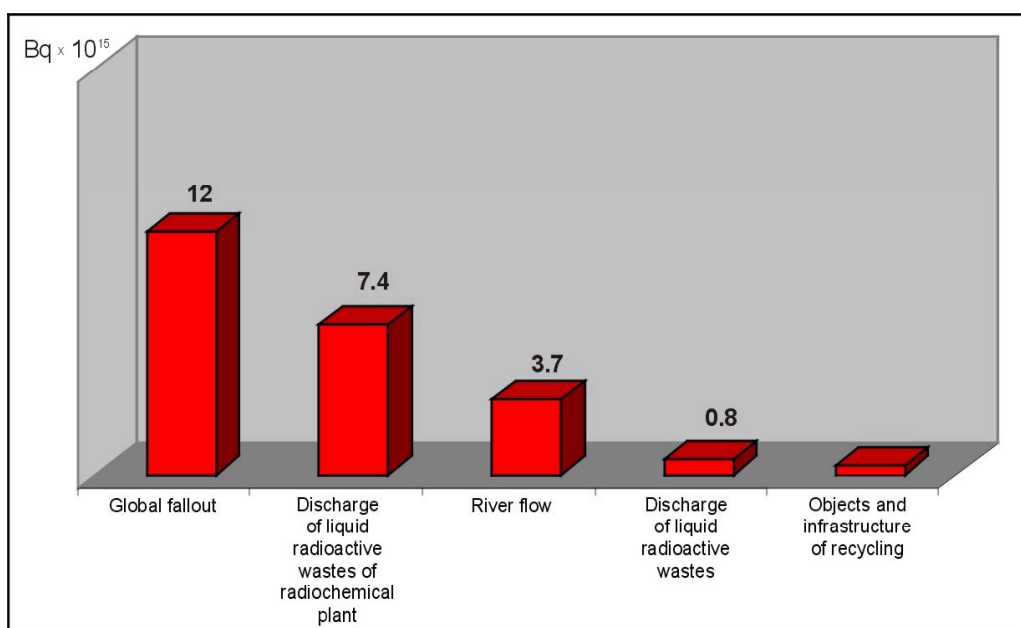
Сложившаяся к настоящему времени радиоэкологическая обстановка в регионе и возникшие в связи с этим проблемы являются прямым наследием «холодной войны».

Основными причинами и источниками радиоэкологического загрязнения Арктического региона являются:

- Масштабные испытания ядерного (атомного и водородного) оружия в атмосфере.

- Сбросы в воды Северных морей от работы радиохимических комбинатов.
- Более 40 лет строительства и интенсивной эксплуатации атомного флота с обслуживающей его инфраструктурой.
- Неподготовленный к началу утилизации массовый вывод из эксплуатации большого числа АПЛ и, как следствие, скопление у причалов реакторных блоков, судов АТО и АПЛ со значительным радиационным потенциалом.
- Радиоэкологическое загрязнение территорий и акваторий, обусловленное плохим техническим состоянием отдельных объектов обслуживающей инфраструктуры.
- Затопление вблизи Новой Земли ряда радиационно-опасных объектов.
- Аварийное затопление нескольких АПЛ («Комсомолец», «Курск», «К-159»).

На Рис.1 представлены количественные параметры реальных источников техногенных радионуклидов в Арктическом регионе. Как видно из приведенных данных, наибольший вклад в фактическое загрязнение региона внесли глобальные выпадения в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере.



**Рис. 1. Реальные источники техногенных радионуклидов в Арктическом регионе**

Вторым по интенсивности источником загрязнения являются сбросы жидких радиоактивных отходов радиохимического комбината в Селлафилде (Великобритания). Далее идут сбросы в Северные моря сибирских рек. Значительно меньший вклад в ухудшение радиоэкологической обстановки внесли сбросы ЖРО, которые

производились до присоединения России к соглашениям 1993 г. о полном запрещении сбросов в моря радиоактивных отходов.

Результаты наблюдений за содержанием радионуклидов в воде и донных отложениях Белого, Баренцева и Карского морей, проведенные в 60-х и 70-х годах, показали, что даже в период наиболее интенсивных ядерных испытаний радиоактивность  $^{90}\text{Sr}$  имела всего лишь несколько десятков Бк/л. Такое содержание существенно меньше допустимых норм для человека, и тем более, гидробионтов, и не представляет опасности с радиозэкологической точки зрения ни для населения ни для обитателей моря.

Обследование радиоактивности акваторий Норвежского и Баренцева морей, проведенное Гидрографическим институтом ФРГ в 1972 г., показало, что в пределах узкой полосы вдоль Норвежского побережья и в южной части Баренцева моря наблюдаются более высокие концентрации  $^{137}\text{Cs}$ , чем в открытой Атлантике и в северной части Баренцева моря. Этот факт был объяснен поступлением водных масс, загрязненных радиоактивными отходами завода по переработке отработавшего ядерного топлива в Уиндскейле (ныне Селлафилд, Великобритания).

Результаты исследований 1982 г. показали, что отходы Селлафилда распространяются и за пределы обследованных акваторий - в Северный Ледовитый океан и Белое море. К настоящему времени объем сброса  $^{137}\text{Cs}$  заводом в Селлафилде снижен в десятки раз по сравнению с максимумом, наблюдавшимся в 1975-78 гг. и, соответственно, в десятки раз уменьшилось содержание  $^{137}\text{Cs}$ , а также других техногенных радионуклидов в морской среде Арктического региона.

Улучшение состояния радиозэкологической обстановки в целом в регионе хорошо прослеживается в результате анализа данных приведенных в Табл. 1 за 1991-98 гг., из которых видно, что в настоящее время в открытых районах Арктических морей отмечается относительно низкая концентрация  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в поверхностных водах, донных отложениях и биоте. Однако по сравнению с Тихоокеанским регионом эти значения остаются еще в 1,5-3 раза выше, но не превышают 0,01 предельно допустимых концентраций (ПДК) в соответствии с принятыми российскими нормами радиационной безопасности.

В то же время необходимо учитывать, что в местах отстоя, утилизации и ремонта АПЛ возможно локальное радиоактивное загрязнение донных отложений (Табл. 2).

Из результатов, приведенных в Таблице 2, следует, что искусственная радиоактивность донных отложений в целом по изученному району невелика (менее 0,01 ПДК), однако в некоторых местах наблюдается выход небольших количеств радионуклидов в морскую среду, что подтверждается наличием  $^{60}\text{Co}$  в пробах.

**Таблица 1**

**Концентрации искусственных радионуклидов в поверхностных водах,  
донных отложениях и биоте Арктических морей (1991-1998 гг.)**

Море	Вода, Бк/м <sup>3</sup>		Грунт, Бк/кг		Рыба, Бк/кг	
	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs
Северное	4,2±1,6	6,3±2,9	-	6±3	-	0,2±0,1
Норвежское	3,0±0,8	5,2±2,8	3,5±1,3	26±18	-	0,5±0,2
Гренландское	2,0±0,2	3,4±1,0	-	13±5	-	0,3±0,1
Баренцево	4,0±1,0	5,8±1,5	0,3±0,2	8±3	0,02±0,01	0,8±0,6
Белое	6,8±2,5*	10,0±2,0*	-	10+2**	0,14±0,04	0,6±0,2
Карское	5,1±2,0	6,2±1,6	1,5±1,3	15±6	0,03±0,01	0,6±0,5
Лаптевых	5,2±1,5	5,0±4,0	-	-	-	-
Чукотское	2,1±1,0	2,5±0,6	-	-	-	-
Берингово	1,8±0,8	1,6±0,5	-	-	-	-

Примечание:

\* - повышенное содержание связано с последствиями поступления водных масс, загрязненных заводом по переработке отработавшего ядерного топлива в г. Уиндскейле (ныне Селлафилд, Великобритания).

\*\* - Двинской залив.

**Таблица 2**

**Концентрация <sup>137</sup>Cs и <sup>60</sup>Co в донных отложениях отдельных районов  
Кольского залива**

Район	Объекты	<sup>137</sup> Cs		<sup>60</sup> Co	
		Среднее	Максимум	Среднее	Максимум
Баренцево море	фон	8	14	-	< 1
Открытая часть залива	фон	13	24	-	< 1
Район РТП «Атомфлот»	НК с ЯЭУ	18	43	1	27
Губа Ура	Отстой АПЛ	12	20		23
Губа Оленья	СРЗ, утилизация	7	14	4	12
г. Полярный	СРЗ, утилизация	13	15	13	24
Губа Сайда	3-х отсечн. блоки	10	34	3	12

Вместе с тем за пределами предприятий по утилизации АПЛ концентрация техногенных радионуклидов в донных отложениях не превышает фон. В частности, в г. Северодвинске, где расположены производственные объединения (ПО) «Звездочка» и «Севмашпредприятие» (СМП). Первое из них является одним из основных центров России по утилизации атомных подводных лодок. Результаты мониторинга показывают, что изменения средней концентрации  $^{137}\text{Cs}$  за весь период наблюдения не произошло. Полученные значения характерны для глобального радиационного фона, присущего данному региону (Рис. 2, Табл. 3).



**Рис. 2. Расположение точек отбора проб донных отложений в Двинском заливе Белого моря**

Таблица 3

Изменение концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в поверхностном слое донных отложениях Двинского залива Белого моря в районе г. Северодвинск, Бк/кг сухого веса

Год	Дата отбора	$^{137}\text{Cs}$
1975	24.09	9,3
1976	10.11	7,4
1977	20.08	10,4
1978	26.08	12,2
	Среднее	10
1994	25.07.	12,3
1995	22.10.	11,2
1996	15.07.	9,2
	Среднее	11
1998	13.10.	10,9
1999	16.10.	8,0
2000	22.08.	8,6
	Среднее	9

В целом пока еще благополучную в среднем картину иллюстрирует также Таблица 4, где представлен относительный вклад различных источников в суммарную величину ионизирующего облучения населения на Северо-западе России. Как видим, вклад глобальных выпадений в это облучение составляет менее 1%, а вклад за счет объектов и предприятий в сфере обращения с АПЛ, ОЯТ и РАО ~ около 0,1 %.

Таким образом, по результатам ряда выполненных исследований и экспертным оценкам общий вклад в радиоэкологическое загрязнение региона, связанный с утилизацией АПЛ, по сравнению с другими реальными источниками, незначителен.

Таблица 4

**Относительный вклад различных источников ионизирующего облучения населения в Северо-западном регионе России**

Факторы облучения населения	% от среднего суммарного
Природный	Более 70
Медицинский	Около 29
За счет глобальных выпадений	Не более 0,63
За счет объектов и предприятий в сфере обращения с АПЛ, ОЯТ и РАО.	Не более 0,14

Однако, оценивая вклад, обусловленный утилизацией, нельзя оперировать только средними цифрами. Дело в том, что атомные подводные лодки и объекты обслуживающей их инфраструктуры сконцентрированы в отдельных акваториях и регионах, так что наряду с осредненной, в целом благополучной картиной имеют место довольно значительные локальные отклонения. Примером такого отклонения являются, в частности, береговые технические базы в б. Андреева и п. Гремиха. Так, в отдельных местах в б. Андреева (Табл. 5) мощности дозы  $\gamma$ -излучения и удельные концентрации  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  превосходят фоновые значения в десятки, сотни, тысячи и десятки тысяч раз.

Таблица 5

**Радиационная обстановка на береговой технической базе в гб. Андреева**

	$P_\gamma$ , мкЗв/ч	$N_\beta$ , расп/см <sup>2</sup> мин	$^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	$^{90}\text{Sr}$ , Бк/кг
Хранилище ОТВС (снаружи)	0,5 ÷ 10000	<20 ÷ 100000	$7,0 \cdot 10^2 \div 4,3 \cdot 10^6$	<100 ÷ $3,2 \cdot 10^5$
Ручей (от базы до залива)	0,8 ÷ 510	<20 ÷ 7400	$3,4 \cdot 10^3 \div 1,4 \cdot 10^7$	<100 ÷ $1,3 \cdot 10^6$
Площадка ТРО (вдоль внутреннего ограждения)	0,9 ÷ 250	<20 ÷ 11000	$9,0 \cdot 10^2 \div 1,2 \cdot 10^6$	<100 ÷ $1,1 \cdot 10^6$

Фоновые значения:  $P_\gamma = 0,08 - 0,10$  мкЗв/ч;

$N_\beta < 20$  расп/см<sup>2</sup>мин;

$^{137}\text{Cs}, ^{90}\text{Sr} = <100$  Бк/кг

Столь же неблагоприятная радиоэкологическая обстановка наблюдается на некоторых объектах береговой технической базы в п. Гремиха (Табл. 6).

**Таблица 6**

**Радиационная обстановка на береговой технической базе в п. Гремиха**

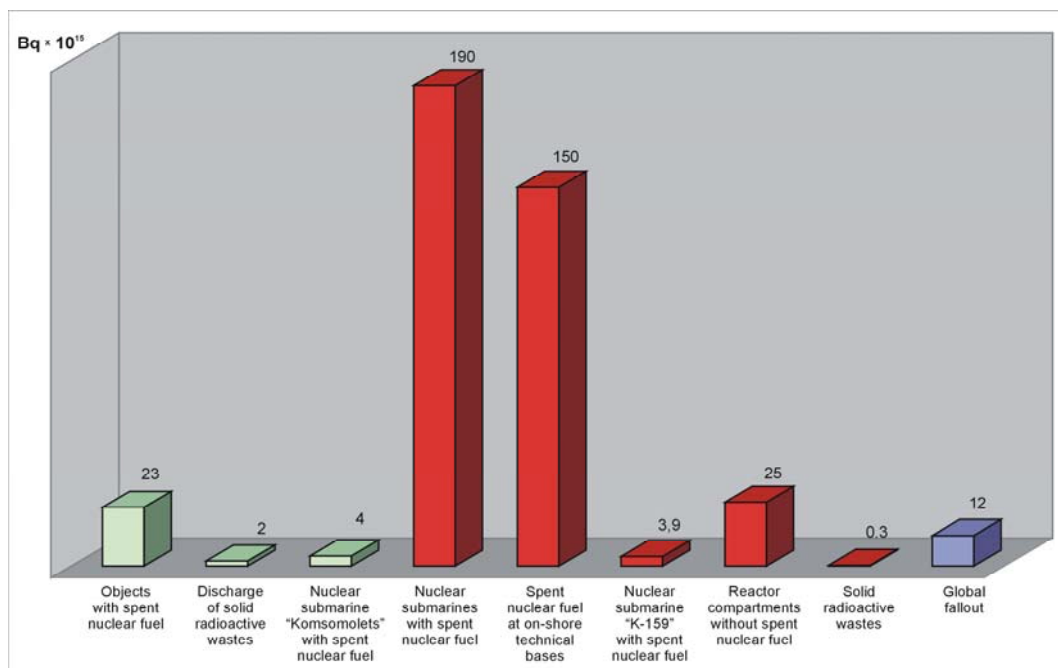
	$P_{\gamma}$ , мкЗв/ч	$N_{\beta}$ , расп/см <sup>2</sup> мин	Cs, Бк/кг	Sr, Бк/кг
Хранилище ОТВС (снаружи)	0,2 ÷ 26	<20 ÷ 6500	$1,3 \cdot 10^3 \div 5,0 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^2 \div 6,5 \cdot 10^5$
Здание перезарядки АПЛ с ЖМТ (снаружи)	0,2 ÷ 8,5	<20 ÷ 100	$1,1 \cdot 10^4 \div 3,1 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^3 \div 6,0 \cdot 10^4$
Площадка временного хранения ТРО (вдоль внутреннего ограждения)	2,6 ÷ 870	<20 ÷ 50000	$1,6 \cdot 10^3 \div 4,5 \cdot 10^7$	<100 ÷ $5,7 \cdot 10^6$
Площадка временного хранения ТРО (вдоль внешнего ограждения)	3 ÷ 9,8	<20 ÷ 2500	$1,6 \cdot 10^3 \div 1,5 \cdot 10^5$	<100 ÷ $3,4 \cdot 10^5$
Площадка ЖРО (пробы грунта)	0,45 ÷ 3,6	-	400 ÷ 20000	<60 ÷ 6000

Фоновые значения:  $P_{\gamma} = 0,08 - 0,10$  мкЗв/ч;  
 $N_{\beta} < 20$  расп/см<sup>2</sup>мин;  
 $^{137}\text{Cs}, ^{90}\text{Sr} = < 100$  Бк/кг

Положение дел на береговых базах усугубляется тем, что из-за срока давности и смены ведомственной принадлежности в настоящее время нет исчерпывающей достоверной информации об их радиационном и техническом состоянии.

Как уже отмечалось, полная оценка воздействия утилизационных объектов и технологий на окружающую среду должна учитывать не только реальные источники радиоэкологического загрязнения, но и связанные с ними потенциальные риски. При переходе к потенциальным рискам относительная роль отдельных источников радиоэкологической угрозы меняется кардинальным образом (Рис. 3).

Доминирующая роль потенциальной опасности, связанной с объектами утилизации, в этом случае становится очевидной. Здесь для сравнения отдельным столбиком показана самая существенная компонента реального загрязнения – радиоактивные выпадения в результате испытания ядерного оружия.



**Рис. 3. Потенциальные источники техногенных радионуклидов в Арктическом регионе России**

Основной вклад в радиационный потенциал объектов утилизации связан с отработавшим ядерным топливом, сосредоточенным на АПЛ и на береговых технических базах (БТБ). Уместно обратить внимание на то, что количество ОЯТ на БТБ при существующих темпах его выгрузки приближается к количеству еще остающегося топлива в активных зонах.

На этом же рисунке слева приведены радиационные потенциалы не являющихся объектами утилизации АПЛ «Комсомолец» и контейнеров с ОЯТ и ТРО, затопленных в Карском Море вблизи о. Новая Земля.

Обобщенные данные по накопленной на объектах утилизации в Северном регионе активности приведены в Таблице 7. При этом важно отметить, что вся эта огромная активность сосредоточена практически в трех местах – в районе Мурманска, в Северодвинске и в пос. Гремиха (Рис. 4).

Более детальное распределение активности по отдельным базам Мурманского региона показано на этом же рисунке, на части более крупномасштабной карты.

Таблица 7

Обобщенные данные по накопленной активности на объектах утилизации в регионах

Р е г и о н	ОЯТ Бк	ЖРО Бк	ТРО Бк
Мурманская область	$3,1 \cdot 10^{17}$	$8,2 \cdot 10^{11}$	$2,5 \cdot 10^{16}$
Архангельская область	$3,8 \cdot 10^{16}$	$8,3 \cdot 10^{11}$	$8,8 \cdot 10^{14}$
Σ Сев.-Зап. регион	$3,5 \cdot 10^{17}$	$1,65 \cdot 10^{12}$	$2,6 \cdot 10^{16}$

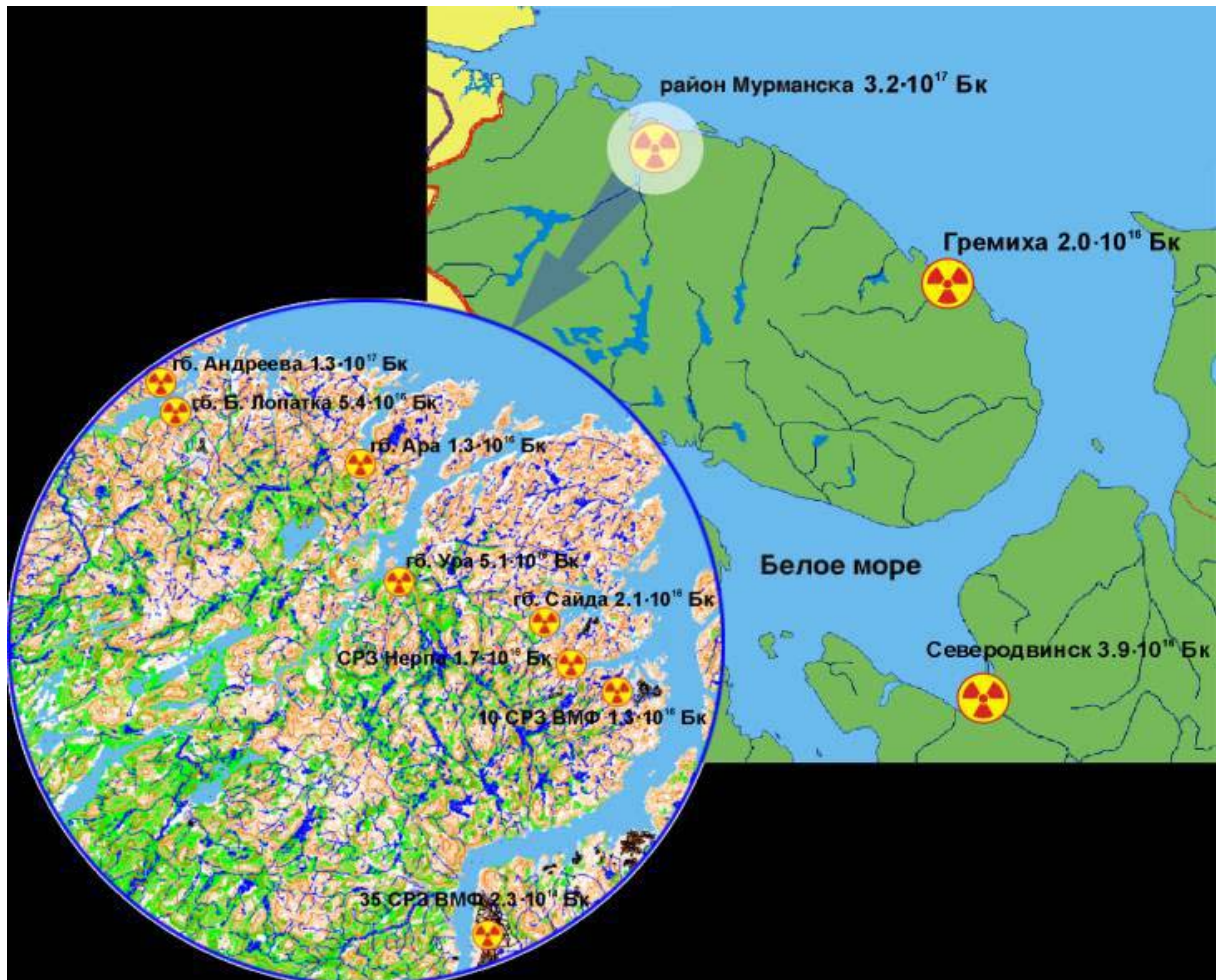


Рис. 4. Распределение радиационного потенциала объектов утилизации в Северо-Западном регионе России

В Таблице 8 приведены данные по количеству топлива, находящегося на АПЛ, БТБ гб. Андреева, БТБ п. Гремиха, плавучих технических базах и береговом комплексе выгрузки в Северодвинске. Данные по распределению накопленных в Северном регионе твердых и жидких радиоактивных отходов приводятся в Таблице 9.

**Таблица 8**

**Обобщенные данные по наличию и размещению ОЯТ  
на объектах Северо-западного региона**

Объекты	Количество активных зон	Радиационный потенциал, Бк
АПЛ	61	$1,9 \cdot 10^{17}$
БТБ гб. Андреева	80	$1,3 \cdot 10^{17}$
БТБ п. Гремиха	8	$1,8 \cdot 10^{16}$
ПТБ	6	$1,3 \cdot 10^{16}$
БКВ	2	$3,1 \cdot 10^{15}$
<b>ВСЕГО</b>	<b>165</b>	<b><math>3,5 \cdot 10^{17}</math></b>

**Таблица 9**

**Наличие РАО на объектах Северо-западного региона**

Объекты	ТРО		ЖРО	
	Количество, т	Радиационный потенциал, Бк	Количество, т	Радиационный потенциал, Бк
АПЛ	16800	$5,8 \cdot 10^{15}$	210	$2,2 \cdot 10^{10}$
РБ	18600	$1,9 \cdot 10^{16}$	-	-
БТБ гб. Андреева	16824	$2,6 \cdot 10^{14}$	3042	$8,1 \cdot 10^{11}$
БТБ п. Гремиха	734	$1,2 \cdot 10^{13}$	-	-
СРЗ	6900	$8,8 \cdot 10^{12}$	-	-
Суда АТО	120	$2,2 \cdot 10^{11}$	1415	$1,7 \cdot 10^{12}$
<b>Всего</b>		<b><math>2,5 \cdot 10^{16}</math></b>	<b>4667</b>	<b><math>2,5 \cdot 10^{12}</math></b>

Комплексная утилизация атомного флота является сложной многоплановой проблемой, требующей совокупного рассмотрения многих взаимосвязанных объектов, технологий и проектов.

На Рис. 5 в обобщенном виде представлены основные объекты и направления работ по комплексной утилизации АПЛ. В нижней части этого рисунка перечислены наиболее актуальные системные проблемы, своевременное решение которых позволит эффективно реализовывать весь комплекс намечаемых мероприятий.



**Рис. 5. Актуальные направления работ по комплексной утилизации АПЛ**

Приведенные на рисунке многочисленные объекты утилизации, актуальные направления работ, а также связанные с ними задачи и проекты на этапах комплексной утилизации АПЛ рождают два связанных между собой сложных проблемных вопроса:

1. Каково воздействие существующих ныне радиационно-опасных объектов и планируемых к реализации проектов на персонал, население и окружающую среду? Каковы риски?
2. В какой последовательности целесообразно осуществлять реализацию проектов в ходе комплексной утилизации АПЛ, т.е. куда вкладывать деньги, поскольку одновременно реализовывать все проекты сразу ни экономически, ни технически невозможно?

Наш семинар ориентирован, прежде всего, на рассмотрение, в основном, первого вопроса. И то, только частично. Однако, учитывая органичную связь рисков

при реализации проектов, рисков от радиационно-опасных объектов и обоснование приоритетов в ходе комплексной утилизации, полагаю уместным их совместное рассмотрение.

Что касается оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), то применительно к конкретным проектам это будет предметом рассмотрения нескольких российских докладов. Здесь же необходимо отметить, что ОВОС является одной из важнейших составных частей любого проекта, касающегося обращения с радиационно-опасным объектом. ОВОС выполняется в соответствии с требованиями нормативных документов и основывается на положениях НРБ-99. Целью ОВОС является расчет индивидуальных эффективных доз для населения за год, оценка воздействия на окружающую среду и население региона, города, поселка, расположенных вблизи рассматриваемого радиационно-опасного объекта. При этом необходимо рассматривать как безаварийный технологический процесс, так и экологические последствия различных аварийных ситуаций. При разработке ОВОС рассматриваются не только предложенные схемы и технологии обращения с радиационно-опасными материалами, но, что очень важно, обосновываются требования по корректировке проектных документов, если это необходимо по требованиям безопасности.

Правильно организованная работа по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) помогает не только учесть экологические факторы, но и оказать содействие в оптимальном решении экономических и социальных вопросов. Объективные материалы ОВОС помогают уменьшить обеспокоенность населения и региональных руководителей проведением радиационно-опасных работ, наличием на их территории опасных объектов. И, наконец, ОВОС в отношении конкретных объектов и технологий, задействованных в комплексной утилизации АПЛ, лежит в основе обоснования приоритетов при выборе первоочередных направлений, задач и проектов.

Ниже я остановлюсь на одном из возможных подходов к определению приоритетных направлений работ и проектов, в основу которого положено фундаментальное требование ОВОС о необходимости обеспечения в первую очередь безопасности для персонала, населения и окружающей среды.

Обоснование приоритетных объектов и работ по комплексной утилизации АПЛ безусловно должно базироваться на учете всей совокупности определяющих факторов. Однако различная природа и сложная взаимозависимость этих факторов не позволяют даже приблизиться к возможности их одновременного учета в рамках единого аналитического подхода.

Поэтому на первом этапе исследований предлагается обоснование приоритетов произвести по доминирующему в ряду других факторов критерию – радиоэкологической безопасности, рассматривая в качестве главного итога процесса комплексной утилизации максимально эффективное повышение ядерной и радиационной безопасности для персонала, населения и окружающей среды. Такой подход может быть обоснован следующими соображениями:

1. Специфика исследуемых объектов такова, что именно радиоэкологические последствия являются основной потенциальной опасностью, связанной с утилизацией как самих АПЛ, так и обслуживающей их инфраструктуры.
2. Фактический ущерб, вызываемый теми или иными аварийными ситуациями или инцидентами при выполнении утилизационных мероприятий,

определяется, главным образом, их радиозэкологическими последствиями. При этом подлежащие компенсации размеры ущербов, как показывает опыт других радиационных аварий, из-за воздействия многих косвенных факторов многократно превосходят их реальные уровни.

3. Связанная с утилизацией реальная и потенциальная радиозэкологическая опасность массовым сознанием воспринимается гипертрофированно, что приводит к обостренному и настороженному отношению общественности и региональных властей к проблеме утилизации в целом.
4. Международная помощь в проведении работ по утилизации выведенных из боевого состава атомных кораблей и объектов обслуживающей инфраструктуры в значительной мере стимулируется стремлением снизить потенциальную угрозу трансграничного радиозэкологического воздействия на территории и акватории стран-доноров.

Несмотря на доминирующую роль фактора безопасности, определение приоритетов по этому критерию является лишь первым этапом исследования. На последующих этапах полученные результаты корректируются и уточняются с учетом анализа других определяющих факторов. Аналитические подходы возможны частично и при решении отдельных задач на этих этапах, но все же здесь преобладающими будут экспертные оценки.

Применительно к ядерно-опасным объектам такой подход давно является общепризнанным не только со стороны научного сообщества, но и со стороны государственных надзорных органов, ответственных за обеспечение ядерной и радиационной безопасности.

Придание фактору безопасности наивысшей важности позволило разработать порядок определения приоритетных объектов утилизации, основанный на анализе аварийных ситуаций, тяжести возможных последствий (ущербов) и корректирующих действий по снижению риска. При этом риск - **R** определяется как произведение вероятности аварийного события – **P** на величину прогнозируемого ущерба – **U** (измеряемого, например, в денежных единицах):  $R = P \cdot U$  и является мерой безопасности.

Предлагаемый методологический подход основывается также и на предположении о том, что целенаправленная деятельность, в том числе превентивные корректирующие действия, связанные с материальными и временными затратами, позволят снизить риск наступления аварийных ситуаций.

Практическая реализация предлагаемого методологического подхода к определению приоритетных объектов комплексной утилизации АПЛ заключается в осуществлении следующей методической последовательности действий:

1. Составление перечня направлений работ по утилизации АПЛ.
2. Детализация направлений работ в части состава объектов утилизации и технологических операций, требующих анализа безопасности (Рис. 6).
3. Составление перечней аварийных ситуаций для каждого типа объектов и технологических операций (Табл. 10). При этом должны рассматриваться ситуации, связанные с длительным непринятием действий по уменьшению рисков на объектах утилизации.

В соответствии с определенным перечнем обосновываются сценарии и осуществляется численное моделирование аварийных ситуаций.



4	Разлив ЖРО; Выброс газа из системы ГВД; Затопление АНК в пункте базирования; Пожар в реакторном отсеке
5	Пожар на ПТБ; Затопление ПТБ с ОЯТ; Падение летательного аппарата на ПТБ; Разлив ЖРО
6, 7	Затопление ТНТ, ПЕ; Разлив ЖРО
8	Затопление РБ в пункте базирования или при транспортировке
9	Затопление РБ в пункте базирования или при транспортировке; СЦР при выгрузке ОЯТ; Пожар в реакторном отсеке
10	Повреждение ОТВС при выгрузке; Падение транспортного контейнера; Падение летательного аппарата при выгрузке ОЯТ
11	Падение транспортного контейнера; Падение летательного аппарата
12	Опрокидывания вагона-контейнера
13	Падение летательного аппарата (ракеты); Взрыв (терракт); Пожар на объекте
14	Падение летательного аппарата (ракеты); Взрыв (терракт); Разрушение ОЯТ при перегрузке
15	Падение летательного аппарата (ракеты)
16	Разлив ЖРО
17	Падение летательного аппарата (ракеты); Взрыв (терракт); Пожар на объекте
18	Падение летательного аппарата (ракеты); Взрыв (терракт); СЦР; Пожар на объекте
19	Падение летательного аппарата (ракеты) Разрушение ОТВС при перегрузке
20, 21, 22, 23, 24	Падение летательного аппарата (ракеты) Взрыв (терракт)

4. Использование методов экспертных оценок, а также заимствование данных-аналогов из отечественных и зарубежных работ для определения вероятностей (или диапазонов вероятностей) аварийных событий – **Р**.
5. Определение уровней тяжести возможных последствий аварийных ситуаций с использованием адаптированной к проблеме утилизации АПЛ международной шкалы ядерных событий (ИНЕС) и прогноз соответствующих ущербов – **U** (Табл. 11, 12).

Таблица 11

## Шкала последствий возможных событий (аварий) в процессах утилизации АПЛ

УРОВНИ.	ВОЗДЕЙСТВИЕ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ	ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПЛОЩАДКЕ	УХУДШЕНИЕ ЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ
7 КРУПНАЯ АВАРИЯ	КРУПНЫЙ ВЫБРОС: КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДОРОВЬЕ И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ/		
6 СЕРЬЕЗНАЯ АВАРИЯ	ЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ ВЫБРОС. трансграничный перенос: ТРЕБУЕТСЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ полного комплекса защитных мер		
5 АВАРИЯ С РИСКОМ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ	ОГРАНИЧЕННЫЙ ВЫБРОС: ВЕРОЯТНО, ТРЕБУЕТСЯ ЧАСТИЧНОЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ защитных мер	ТЯЖЕЛОЕ ПОВРЕЖДЕНИЕ ОБЪЕКТА комплексной утилизации АПЛ/ РАДИОЛОГИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ	
4 АВАРИЯ БЕЗ ЗНАЧИТЕЛЬН ОГО РИСКА ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ	НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ ВЫБРОС: ОБЛУЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ НА УРОВНЕ ВЕЛИЧИН, СРАВНИМЫХ С УСТАНОВЛЕННЫМИ ПРЕДЕЛАМИ	ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ ПОВРЕЖДЕНИЕ объекта / защитных БАРЬЕРОВ /существенное усложнение дальнейших работ/ гибель ПЕРСОНАЛА	
3 СЕРЬЕЗНЫЙ ИНЦИДЕНТ	ОЧЕНЬ МАЛЫЙ ВЫБРОС: ОБЛУЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ НА УРОВНЕ ДОЛЕЙ УСТАНОВЛЕННЫХ ПРЕДЕЛОВ	ОБШИРНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ / ОСТРЫЕ ЛУЧЕВЫЕ ПОРАЖЕНИЯ ПЕРСОНАЛА	СОБЫТИЕ БЛИЗКО К АВАРИИ – УРОВНЕЙ (ЭШЕЛОНОВ) ЗАЩИТЫ НЕ ОСТАЛОСЬ/не существует
2 ИНЦИДЕНТ		ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ / ПЕРЕОБЛУЧЕНИЕ ПЕРСОНАЛА	СОБЫТИЯ СО ЗНАЧИТЕЛЬНЫМИ НАРУШЕНИЯМИ МЕР ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
1 АНОМАЛИЯ			Несоответствие режима эксплуатации установленным требованиям обеспечения безопасности

Таблица 12

Шкала соответствия тяжести последствий возможных аварий прогнозируемому ущербу в процессах утилизации АПЛ

Тяжесть последствий, уровни	Крупная авария	Серьезная авария	Авария с риском за пределами площадки	Авария без значительного риска за пределами площадки	Серьезный инцидент	Инцидент	Аномалия
	7	6	5	4	3	2	1
Прогнозируемый ущерб, долл. США	$>10^9$	$>10^8$	$>10^7$	$>10^6$	$>10^5$	$>10^4$	$>10^3$

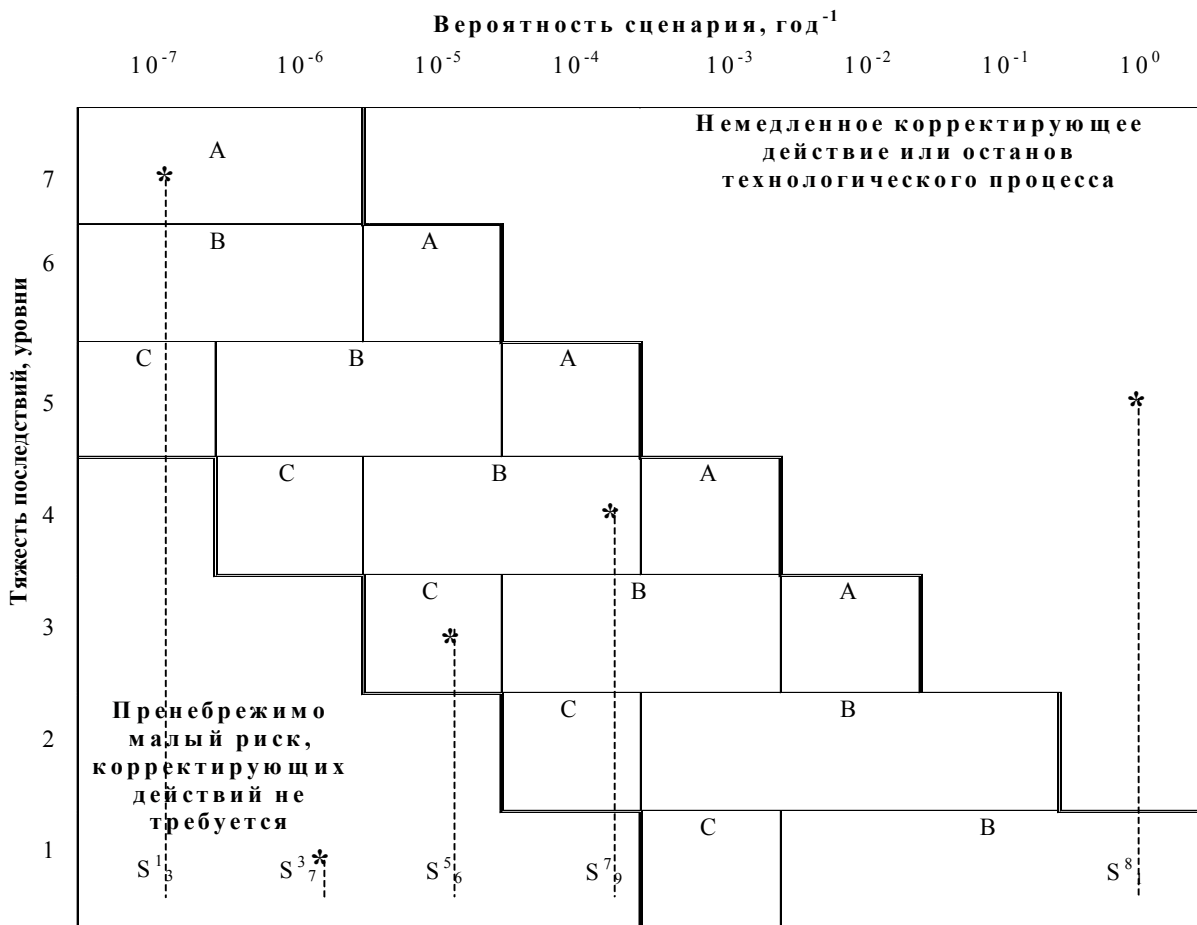


Рис. 7. Матрица риска для объектов комплексной утилизации АПЛ

6. Категорирование аварийных ситуаций с использованием разработанной матрицы рисков («вероятность события – тяжесть последствий») Рис. 7.

Матрица рисков строится в указанных координатах с использованием опыта экспертов по рассматриваемой тематике. Вначале устанавливаются диапазоны вероятностей аварийных сценариев и уровней тяжести последствий. В пределах этих диапазонов выделяется область, ограниченная двойной линией, которая обозначает коридор рисков. Эта область расположена вокруг условной линии одинаковых (приемлемых) рисков при любом сочетании событий и их вероятностей. Более строгое обоснование этого положения возможно в дальнейшей работе. Область ниже ограничительной линии представляет собой область пренебрежимо малого риска, где дополнительные меры излишни. Область выше ограничительной линии, представляет собой область недопустимо высоких рисков, где требуется проведение немедленных мер по обеспечению безопасности или остановка работы объекта, запрещение использования технологического процесса.

При этом указанную двойную ограничительную линию не следует воспринимать как четкий раздел областей, а как некоторую «размытую» границу. Степень ее «размытости» определяется согласованностью мнений экспертов, наличием достаточного объема информации для принятия решений. По мере дальнейшего преимущественного использования в процессе построения матрицы математических моделей аварийных ситуаций степень «размытости» этих границ будет уменьшаться и очертания коридора рисков будут уточняться.

Коридор рисков, где необходимы корректирующие действия, разделяется на различные зоны А, В, С, определяющие критичность сценариев и оперативность выполнения соответствующих действий. Каждой зоне соответствует определенный поддиапазон вероятностей сценариев и уровень тяжести последствий. Разграничительные линии между зонами А, В и С также имеют «размытый» характер.

Входами в матрицу являются значения вероятностей **Р** и уровни тяжести последствий. В зависимости от попадания события в зону А (очень высокого приоритета), В (высокого приоритета) или С (среднего приоритета) делаются предварительные выводы относительно уровня приоритетности того или иного объекта утилизации. Попадание в зону, требующую немедленных корректирующих действий означает чрезвычайную ситуацию, требующую экстренных мер (в дальнейшем события этого типа не рассматриваются). Попадание в зону пренебрежимо малого риска означает, что подобные события не требуют каких либо корректирующих действий по их предотвращению. Объекты и технологические операции, аварийные ситуации на которых находятся исключительно в данной зоне, в дальнейшем нами не рассматриваются. Это означает, что утилизация объектов, не имеющих значимых рисков, не относится к приоритетным, а технологические операции могут реализовываться без дополнительных мер по повышению их безопасности. Таким образом, для всех объектов (или однотипных групп объектов) и технологических операций (или их типовых групп) будет получен перечень событий, предотвращение которых категорировано по приоритетности. Распределение событий, относящихся к зонам А, В и С для каждого объекта (технологической операции) будет неравномерным (пример формы представления результатов оценки приоритетности приведена в Табл. 13).

Таблица 13

## Форма представления результатов оценки приоритетности

№№ объектов	Наименование аварийной ситуации	Принадлежность ситуации к зонам					Итоговая оценка приоритетности объектов, ранг объекта
		A	B	C	Немедленных корректирующих действий	Пренебрежимо малого риска	
1	Разлив ЖРО						
	Выброс газа из системы ГВД						
	Затопление АПЛ в пункте базирования или при транспортировке						
	СЦР при выгрузке ОЯТ						
	Пожар в реакторном отсеке						
2	Разлив ЖРО						
	...						

Здесь необходимо остановиться на некоторых инцидентах, как будто бы не вписывающихся напрямую в представляемую схему. Эти исключения касаются тех случаев, когда реальные радиоэкологические последствия практически отсутствуют и, в то же время инцидент, несмотря на это, характеризуется высоким уровнем интегрального ущерба, так как компенсация возникающих при этом последствий требует значительных материальных затрат.

Типичным исключением такого рода является затопление АПЛ при ее транспортировке к месту утилизации. Сильный общественный резонанс стимулирует необходимость принятия срочных мер по подъему затонувшей АПЛ, что сопряжено с очень большими расходами средств, неадекватными реально возникающей экологической угрозе.

7. Формирование перечней объектов (технологических операций), имеющих в своем составе категории событий: «очень высокого приоритета и ниже», «высокого приоритета и ниже» и «среднего приоритета». В связи с возможными неопределенностями, сопровождающими процесс категорирования,

первоочередной задачей является проведение углубленной оценки событий с высокими приоритетами. По результатам углубленных оценок перечни могут быть скорректированы.

8. Реализация процедуры выбора объектов внутри перечней очень высокого и высокого приоритета может осуществляться различным образом:

- Объекты (технологические операции), имеющие наибольшее число событий, относящихся к зонам А, подлежат первоочередной утилизации (модернизации или исключения).
- В отношении объектов (технологических операций), имеющих незначительное число событий, относящихся к зонам А, могут быть реализованы корректирующие действия, которые позволят вывести их из перечня высшего приоритета.

Таким образом, на данном этапе появляется возможность определить объекты и технологические операции, подлежащие первоочередной утилизации (модернизации), а также составить перечень других объектов, предназначенных к утилизации во 2-ю, 3-ю и т.д. очереди.

Вполне возможно возникновение ситуации, при которой перечень мероприятий отнесенных к одной категории будет настолько обширен, что потребуются дополнительное установление приоритетности объектов. В этом случае потребуются более детальное исследование материальных и временных затрат, обеспечивающих снижение рисков. Предлагается следующий алгоритм дальнейших действий:

1. Определение прогнозируемых материальных и временных затрат основанных на расчете затрат -  $Z_{ij}$  по снижению уровня риска ( $i$  – индекс объекта,  $j$  – индекс аварийного сценария) и затрат времени -  $\tau_{ij}$ .

2. В рамках каждого отдельного типового объекта рассчитываются значения суммарных материальных затрат  $Z_j = \sum_i Z_{ij}$  и затрат времени  $\tau_j = \max_i \tau_{ij}$ .

3. Далее, для каждого отдельного типового объекта определяются индивидуальные значения рисков:

$$R_j = \sum_i P_{ij} \cdot U_{ij},$$

а для однотипных групп объектов (№№ 1-24 на Рис. 6) вычисляются соответствующие интегральные риски.

4. Определение приоритетных мероприятий (ранжирование) осуществляется исходя из условий:  $R_j \rightarrow \min$  при соблюдении ограничений  $Z_j \leq Z^{\text{зад}}$  и  $\tau_j \leq T^{\text{зад}}$ .

5. Для окончательного определения приоритетов кроме фактора безопасности ( $R_j$ ), имеющего решающее значение, в рассмотрение вовлекаются и другие факторы: требования нормативно-правовой документации, возможности инфраструктуры, ведомственные и региональные интересы, интересы мирового сообщества и стран-инвесторов - в основном в виде системы ограничений.

6. Возможно управление значениями  $R$ ,  $Z$  и  $\tau$  изменением состава технологических операций.

Наличие перечней приоритетных мероприятий по объектам и технологическим операциям позволит определить оптимальное соотношение ресурсов, необходимых для реализации основных направлений работ по комплексной утилизации.

В качестве основных инструментов решения поставленной задачи будут использоваться математическое моделирование, методы экспертного оценивания, а также предложенные шкала последствий возможных аварий в процессах утилизации и матрица рисков для объектов и технологических операций утилизации АПЛ. Окончательное решение будет принимать соответствующее должностное лицо – лицо, принимающее решение (ЛПР), основываясь на результатах применения предлагаемого методологического подхода, а также на системе собственных предпочтений.

Было бы несправедливым считать, что принимавшиеся до сих пор решения по планированию работ в области утилизации АПЛ, основывались лишь на качественных экспертных соображениях. При составлении планов, в частности, при разработке плана комплексной утилизации, утвержденного Минатомом РФ, проводились расчеты экономической оптимизации работ по оценке радиоэкологических факторов, связанных с отдельными объектами и технологиями. Однако из-за отсутствия единого методологического подхода отдельные решения принимались под чрезмерным влиянием конъюнктурных ведомственных интересов. В этой связи предлагаемый подход позволяет, базируясь на единой методологической основе, более строго, обоснованно и объективно решать поставленную задачу определения приоритетных объектов для их первоочередной реализации в процессе комплексной утилизации АПЛ.

Очевидными достоинствами предлагаемого подхода является то, что он:

- Представляет собой реальную структурированную систему поддержки решений ЛПР в сложных условиях многомерности исходной информации и отсутствия каких-либо формализованных подходов.
- Обеспечивает анализ большого числа вариантов ситуаций единым подходом, доступным большому кругу специалистов.
- Обладает относительной простотой и наглядностью.
- Дает возможность прогнозирования различных ситуаций.
- Имеет возможность для дальнейшего развития и совершенствования, в частности, по увеличению точности и достоверности получаемых оценок за счет математического моделирования аварийных ситуаций, привлечения к рассмотрению кроме безопасности других важных факторов.
- С усложнением математических моделей аварийных ситуаций или проведением других дополнительных мероприятий собственно методический подход, в особенности, на этапе принятия решений, концептуально не изменяется.
- Дает возможности оптимизировать затраты на корректирующие действия по снижению рисков, а также оптимальным образом распределять выделяемые средства между направлениями работ по комплексной утилизации АПЛ.
- Предоставляет ЛПР независимую возможность проведения анализа и экспертизы направлений комплексной утилизации АПЛ с учетом достаточно противоречивых интересов заказчиков, инвесторов и производителей работ.