

## **4.3.6. Радиоактивное загрязнение**

### **СОДЕРЖАНИЕ**

#### **4.3.6.1. Введение**

- 4.3.6.1.1. Природные уровни воздействия ионизирующих излучений на человека
- 4.3.6.1.2. Российские нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)

#### **4.3.6.2. Глобальные, региональные и местные источники радионуклидов**

- 4.3.6.2.1. Ядерные испытания 1945 – 1990 гг.
- 4.3.6.2.2. Чернобыльская авария 1986 г.
- 4.3.6.2.3. Западноевропейские радиохимические заводы по переработке ядерного топлива
- 4.3.6.2.4. Радиохимические предприятия России
- 4.3.6.2.5. Атомный флот России (включая инфраструктуру обслуживания)
- 4.3.6.2.6. Кольская и Билибинская атомные электрические станции
- 4.3.6.2.7. Радиоизотопные термоэлектрические генераторы
- 4.3.6.2.8. Подземные ядерные взрывы в народнохозяйственных целях
- 4.3.6.2.9. Повышенные уровни природных радионуклидов при добыче нефти и газа на шельфе

#### **4.3.6.3. Пути переноса радионуклидов, уровни концентраций и дозы в Арктике**

- 4.3.6.3.1. Воздушные пути переноса, перенос морскими течениями, речной перенос.
- 4.3.6.3.2. Морские пищевые цепочки и уровни доз за счет них у человека
- 4.3.6.3.3. Пищевая цепочка «лишайник-олень-человек»

#### **4.3.6.4. Риск потенциального облучения в Арктике**

- 4.3.6.4.1. Потенциальное облучение при возникновении аварийных ситуаций
- 4.3.6.4.2. Потенциальное облучение при снятии с эксплуатации объектов атомного флота и элементов его инфраструктуры
- 4.3.6.4.3. Выделение приоритетных задач

#### **4.3.6.5. Контроль за радиационной обстановкой в России**

#### **4.3.6.6. Литература к разделу**

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

**Перечень сокращений**

АМЕС	Программа военно-экологического сотрудничества в Арктике
NDEP	Фонд экологического партнерства "Северное измерение"
АПЛ	Атомная подводная лодка
АСКРО	Автоматизированная система контроля радиационной обстановки
АТО	Атомное технологическое обслуживание
АЭС	Атомная электрическая станция
Бк	Беккерель – единица активности (1 распад в секунду)
БТБ	Береговая техническая база
ВВР	Водо-водяной реактор
ВМФ	Военно-Морской Флот Российской Федерации
ВНИИТФА	Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики и автоматики
Гр	Грей – единица поглощенной дозы
ЕБРР	Европейский банк реконструкции и развития
ЕС	Европейский союз
ЖМТ	Жидкометаллический теплоноситель
ЖРО	Жидкие радиоактивные отходы
Зв	Зиверт – единица эффективной дозы ( $13\text{в}=1\text{Гр}=1\text{Дж/кг}$ )
МАГАТЭ	Международное агентство по атомной энергии
МКРЗ	Международная комиссия по радиационной защите
МНТЦ	Международный научно-технический центр (в Москве)
МНЭПР	Многосторонняя Ядерная Экологическая Программа в Российской Федерации
НКДАР ООН	Научный комитет ООН по действию атомной радиации
НРБ-99/2009	Нормы радиационной безопасности 2009 года
ОВОС	Оценка воздействия на окружающую среду
ОВЧ	Отработавшая выемная часть
ОСПАР	Конвенция по защите морской среды Северо-восточной Атлантики
ОТВС	Отработавшая тепловыделяющая сборка
ОЯТ	Отработавшее ядерное топливо
ПВХ	Пункт временного хранения
ПДХ	Пункт долговременного хранения

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

ПКДС	Плавающая контрольно-дозиметрическая станция
ПМ	Плавающая мастерская
ПТБ	Плавающая техническая база
РАН	Российская академия наук
РАО	Радиоактивные отходы
РБ	Реакторный блок
РВ	Радиоактивные вещества
РО	Реакторный отсек
РХЗ	Радиохимические заводы
РИТЭГ	Радиоизотопный термоэлектрический генератор
СЗЗ	Санитарно-защитная зона
СМП	Стратегический "Мастер-план"
СРЗ	Судоремонтный завод
СУЗ	Система управления и защиты ядерного реактора
СУУ	Соглашение об уменьшении угрозы (между Российской Федерацией и США)
СФ	Северный Флот
СЦР	Самоподдерживающаяся цепная реакция
ТВЭЛ	Тепловыделяющий элемент
ТЗ	Техническое задание
ТНТ	Технический наливной танкер
ТРО	Твердые радиоактивные отходы
ТУК	Транспортный упаковочный контейнер
ТЭИ	Технико-экономические исследования
Чел.-Зв	Человекозиверт – единица коллективной дозы
ЯМ	Ядерные материалы
ЯРБ	Ядерная и радиационная безопасность
ЯЭУ	Ядерная энергетическая установка

#### **4.3.6.1. Введение**

Российская Арктика, как и все остальные регионы планеты, испытала воздействие глобальных антропогенных источников радионуклидов, возникших после освоения атомной энергии. Основной из этих источников, который оказывает свое воздействие поныне и будет, в определенной степени, проявлять его на протяжении последующих сотен и тысяч лет (при распаде долгоживущих радионуклидов), - это испытания ядерного оружия проводившиеся США, СССР, Китаем, Великобританией и Францией в период 1945 – 1990 гг. Из двух испытательных ядерных полигонов СССР (Семипалатинский и Новая Земля) один находился в Арктике (Ядерные взрывы 1992, Михайлов В.Н. 1996).

Использование ядерного деления для получения энергии также привело к глобальным выбросам (в атмосферу) и сбросам (в водную среду) радиоактивных изотопов, в особенности, в результате крупномасштабных аварий. Здесь особое место занимает Чернобыльская авария в апреле-мае 1986 г. Часть радионуклидных выпадений от аварии в Чернобыле пришлось на районы Арктики и районы, непосредственно примыкающие к ней. За полярным кругом в России работают две атомных электростанции – Кольская АЭС и Билибинская АЭС.

Использование атомной энергии на кораблях и судах военного и гражданского флота также коснулось Российской Арктики в очень крупных масштабах. Размещение атомного флота и структуры по его обслуживанию (инфраструктуры) пришлось, в первую очередь на заливы Кольского полуострова и гавань-верфь Северодвинск на Белом море. Нынешние проблемы по снятию с эксплуатации атомного флота и его инфраструктуры выходят на одно из первых мест при обеспечении радиационной безопасности северо-запада России.

В радионуклидном загрязнении морских вод Баренцевого и Карского моря особую роль сыграли европейские радиохимические заводы в Селлафилде (Великобритания) и на мысе Ла Аг (Франция). После того, как в конце шестидесятых, семидесятых годах, радиоактивность от ядерных испытаний в морской воде пошла на убыль, определяющим фактором для арктических морей (Норвежского, Баренцева, Карского) стали сбросы этих предприятий. В последние годы вызывают опасения сбросы этими заводами

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

долгоживущих радиоактивных изотопов технеция и йода. Российские радиохимические заводы (НПО «Маяк» вблизи Челябинска, Сибирский химический комбинат вблизи Томска и Горный химический комбинат вблизи Красноярска) потенциально обладают большими запасами радиоактивных отходов в водосборных бассейнах великих сибирских рек Оби и Енисея. Тем не менее, их воздействие на моря Северного Ледовитого океана оказалось не столь очевидным, как воздействие европейских РХЗ. Далее будет приведен краткий анализ этих и других источников радионуклидного загрязнения Российской Арктики. Кроме того, будут рассмотрены основные пути переноса радионуклидов в экосистемах и, далее, к человеку и приведены дозовые оценки для радиационных воздействий в Арктике, как фактических, так и потенциальных.

Тема радиоактивного загрязнения Арктики, в особенности Российской Арктики, оказалась крайне злободневной в начале 90-х годов прошлого века. Множество международных и отечественных конференций прошло по этой теме, и был издан целый ряд обзоров. В рамках Арктического совета, в рабочей группе АМАП, была создана база данных по радиоактивности Арктики. В два развернутых общедоступных доклада АМАП по загрязнению Арктики (АМАР 1997, АМАР 2002), были включены специальные главы по радиоактивности. В научных докладах по радиоактивности Арктики эта тема была представлена с достаточной полнотой и строгостью (АМАР 1998, АМАР 2004) и часть материалов из этих источников будут использованы в настоящем кратком обзоре. В РФ была издана «Белая книга – 2000» (Белая книга – 2000), полностью посвященная радиационному загрязнению морей, включая арктические, омывающих Россию. Радиационный фон (в т.ч. в Арктике) регулярно освещается в Ежегодниках по радиационной обстановке (Радиационная обстановка 2008).

Непосредственным толчком к всестороннему ускоренному изучению радиоактивности Арктики на новом этапе послужила публикация «Белой книги РФ» (Белая книга РФ 1993), где впервые сообщалось о морских захоронениях в Баренцевом и Карском морях, и морях Тихого океана твердых и жидких радиоактивных отходов, а также о захоронениях в Карском море и его заливах отработавшего ядерного топлива, реакторных отсеков АПЛ, а также АПЛ целиком. Весь этот круг вопросов оказался в центре международных дискуссий, которые прошли на конференциях, которые состоялись в том же 1993 г. в США (WAC 1993; RES 1993) и послужили началом для принятия МАГАТЭ решения о

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

выполнении проекта IASAP (International Arctic Seas Assessment Project) (IAEA 1999,). Результаты выполнения этого проекта МАГАТЭ и выводы из него будут далее кратко рассмотрены. Много полезной информации можно найти в «Экологическом атласе Арктики» (K.Crane 1999), где также подводятся некоторые итоги американской программы ANWAP (ANWAP 1995).

Радиоактивность окружающей среды в Арктике после 1993 г. стала темой регулярных международных научных конференций, проводившихся Норвежской службой радиационной безопасности и Международным союзом радиэкологов, и труды этих конференций являются важнейшим источником сведений по этой теме (ERA 1993, 1995, 1997, 1999, 2002, 2005). США инициировали выполнение международной научной программы «Оценка радиоактивных отходов в Арктике» (ANWAP 1995), одной из задач которой было определение возможного распространения и воздействия радионуклидов на экосистемы в районе Аляски. В результате координированных усилий международного научного сообщества к концу 90-х годов удалось получить достаточно хорошо обоснованную картину радионуклидного загрязнения Арктики и выделить те направления работ, где приложенные усилия будут наиболее оправданными с точки зрения снижения радиационного риска в результате целенаправленного вмешательства. Выявление таких направлений работ для Российской Арктики в связи с идентифицированными угрозами радиационных воздействий и их разграничение между различными национальными и международными программами должно быть одним из результатов настоящего обзора. Однако, прежде чем перейти к решению этих задач, необходимо иметь определенное представление о шкале радиационных воздействий. Поэтому далее в сжатой форме приведены уровни эффективных доз от природных источников излучения (UNSCEAR 2000), а также даны необходимые сведения о системе радиационной безопасности, принятой в настоящее время в Российской Федерации (НРБ-99/2009).

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

**4.3.6.1.1. Природные уровни воздействия ионизирующих излучений на человека**

Природные уровни эффективной дозы облучения для людей от естественных источников ионизирующего излучения по данным НКДАР ООН (UNSCEAR, 2000) приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

Источник излучения	Годовая эффективная доза в мЗв	
	Средняя	Характерный диапазон
Космическое излучение		
• Непосредственно ионизирующая и фотонная компоненты	0,28	
• Нейтронная компонента	0,10	
Космогенные радионуклиды	0,01	
Всего	0,39	0,3 – 1,0
Внешнее облучение от земных пород		
• Вне помещений	0,07	
• Внутри помещений	0,41	
Всего	0,48	0,3 – 0,6
Ингаляционное облучение		
• Урановое и ториевое сеп.	0,006	
• Радон (Rn 222)	1,15	
• Торон (Rn 220)	0,10	
Всего	1,26	0,2 - 10
Иное внутреннее облучение		
• К 40	0,17	
• Урановое и ториевое сеп.	0,12	
Всего	0,29	0,2 – 0,8
<b>Полное природное облучение</b>	<b>2,4</b>	<b>1 - 10</b>

#### **4.3.6.1.2. Российские нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)**

НРБ-99 с июля 1999 являются главным нормативным документом по радиационной безопасности в Российской Федерации. Эти нормы разработаны на основании Закона РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 19.04.91 и «Положения о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании» от 05.06.94, Международных Основных Норм Безопасности от ионизирующих излучений, принятых Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН, МАГАТЭ, Международной организацией труда, Организацией экономического сотрудничества и развития, Всемирной организацией здравоохранения в 1994 году, а также на основе 30, 38, 50-52, 55, 59, 60, 62, 62, 63, 65, 66 и 68 Публикаций МКРЗ, 115 публикации МАГАТЭ. Документ соответствует международным требованиям и обязательствам РФ в части обеспечения радиационной безопасности. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 года утверждены санитарные правила СанПин 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)». Новое издание Норм радиационной безопасности, продиктовано публикацией новых рекомендаций МКРЗ, ВОЗ, стандартов МАГАТЭ и истечением 10-летнего периода действия НРБ-99. Кроме того, в 1999 году вступил в силу новый закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (№ 52-ФЗ от 30.03.99.). За 10-летний период в Российской Федерации принят ряд новых нормативных документов, в практическом использовании Норм выявлены некоторые противоречия. При разработке новых НРБ-99/2009 было принято решение по возможности сохранить преемственность и структуру НРБ-99, что не создаст трудностей при внедрении их в практику. Следует отметить, что основные нормативы показателей радиационной безопасности не изменились, так как они установлены Федеральным законом «О радиационной безопасности населения». Не вносились существенные изменения в раздел по ограничению облучения населения в условиях радиационной аварии.

Требования и нормативы НРБ-99/2009 обязательны для всех юридических лиц и применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения. НРБ-99/2009 - основополагающий документ, регламентирующий требования закона РФ «О радиационной безопасности населения» в



Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

форме основных дозовых пределов, допустимых уровней воздействия ионизирующего излучения и с помощью других способов ограничения облучения человека.

Никакие частные нормативные и методические документы не должны противоречить НРБ-99/2009. В соответствии с требованиями НРБ-99/2009 радиационному контролю подлежат:

- радиационные характеристики выбросов в атмосферу, жидких и твердых отходов
- радиационные факторы на рабочих местах и в окружающей среде
- радиационные факторы на загрязненных территориях и в зданиях с повышенным радиационным фоном
- уровни облучения персонала и населения.

Основными контролируруемыми согласно НРБ-99/2009 параметрами являются:

- годовая эффективная доза
- годовая эквивалентная доза
- поступление радионуклидов в организм и их содержание в организме для оценки их поступления
- объемная или удельная активность радионуклидов в объектах внешней для человека среды
- мощность дозы внешнего излучения
- плотность потока частиц и фотонов.

Основные пределы доз по НРБ-99/2009 приведены в таблице 2

**Таблица 2**

Нормируемые величины *	Пределы доз	
	Персонал (группа А <sup>**</sup> )	Население
Эффективная доза	20 мЗв в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год		
в хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
коже	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

\* Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам

\*\* Основные пределы доз, как и все остальные уровни облучения персонала группы Б, равны  $\frac{1}{4}$  значений для персонала группы А. Персонал – лица, работающие с техногенными источниками излучения (группа А), или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б).

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

При нормальной эксплуатации источников излучения соблюдаются следующие принципы:

- соблюдение основных пределов доз облучения (принцип нормирования)
- польза для человека и общества от практики, связанной с облучением, превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением (принцип обоснования)
- поддержание на возможно более низком достижимом уровне, с учетом экономических и социальных факторов, индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения (принцип оптимизации)

При радиационной аварии или для предотвращения потенциальных радиационных воздействий ограничение облучения осуществляется путем «вмешательства» (защитных мероприятий), применяемого к окружающей среде и/или человеку. Вмешательство может приводить к нарушению нормальной жизнедеятельности населения, хозяйственного и социального функционирования территории, то-есть приносить экономический и другие виды ущерба. Поэтому при принятии решений о вмешательстве следует руководствоваться следующими принципами:

- предлагаемое вмешательство должно принести обществу и прежде всего облучаемым лицам больше пользы, чем вреда, то-есть уменьшение ущерба в результате снижения дозы должно быть достаточным, чтобы оправдать вред и стоимость вмешательства, включая его социальную стоимость (принцип обоснования вмешательства);
- формы, масштаб и длительность вмешательства должны быть оптимизированы таким образом, чтобы чистая польза от снижения дозы, то есть польза от снижения радиационного ущерба за вычетом ущерба, связанного с вмешательством, была бы максимальной (принцип оптимизации вмешательства).

В случае крупной радиационной аварии, приводящей к загрязнению территории, когда решения должны приниматься в сжатые сроки, защита населения должна осуществляться на основе сравнения доз, предотвращенных контрмерами, с величинами дозовых уровней «А» и «Б», приведенными **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Критерии для принятия решений при радиационной аварии приведены в таблице 3

**Таблица 3**

Меры защиты	Предотвращаемая доза,	Уровень А	Уровень Б
Укрытие	За первые 10 сут. на все тело, мГр	5	50
Укрытие	За первые 10 сут. на щитовидную железу, легкие, кожу, мГр	50	500

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

Йодная профилактика	За первые 10 сут на щитовидную железу взрослых, мГр	250	2500
Йодная профилактика	За первые 10 сут. на щитовидную железу детей, мГр	100	1000
Эвакуация	За первые 10 сут. на все тело, мГр	50	500
Эвакуация	За первые 10 сут. на щитовидную железу, легкие, кожу, мГр	500	5000
Отселение	За первый год/За все время, мЗв	50/1000	500/1000
Ограничение потребления	За первый год, мЗв	5	50
Ограничение потребления	За следующие годы, мЗв/год	1	10

Если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием, не превосходит уровень «А», нет необходимости в выполнении соответствующих мер защиты, так как выгоды от их применения оказываются ниже экономической и социальной стоимости самих мер. Если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием, превосходит уровень «А», но ниже уровня «Б», решение о выполнении мер защиты принимается по принципам минимизации полного ущерба, который является функцией радиационной дозы, цены, приемлемого риска и социальных последствий. Меры защиты должны учитывать конкретную обстановку и местные условия. Если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием, превосходит уровень «Б», меры защиты необходимы, даже если они связаны с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, хозяйственного или социального функционирования территории.

Защитные меры совершенно необходимы, если достигнуты уровни облучения, характеризующиеся поглощенной за двое суток дозой в 1 Гр на все тело, 2 Гр на хрусталик или гонады, 3 Гр на кожу, 5 Гр на щитовидную железу и 6 Гр на легкие.

#### **4.3.6.2. Глобальные, региональные и местные источники радионуклидов**

##### **4.3.6.2.1. Ядерные испытания 1945 – 1990 гг.**

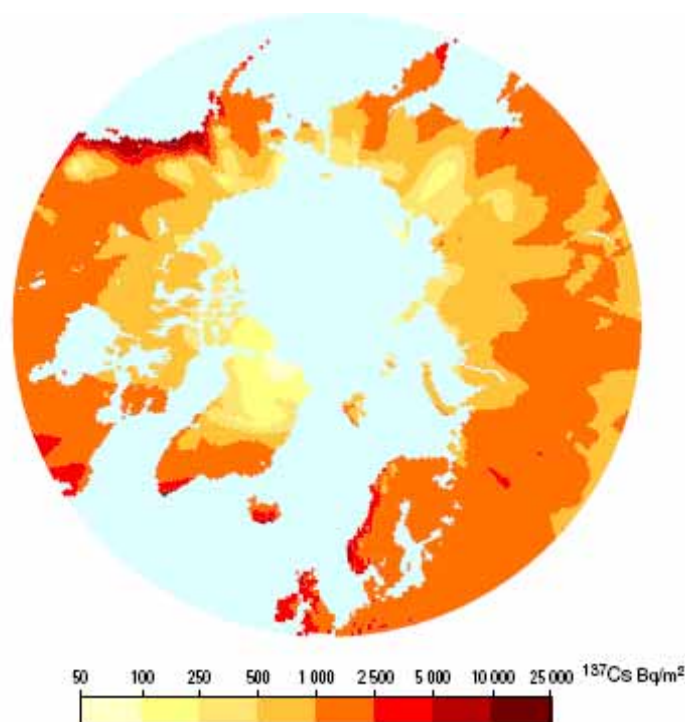
Согласно данным НКДАР ООН (UNSCEAR 2000) после 1945 г. было проведено 2419 ядерных взрывов с суммарным выходом эквивалентным 530 Мт ТНТ. Основной суммарный выход (440 Мт) был связан, прежде всего, с 543 атмосферными ядерными взрывами в то время, как 1876 подземных ядерных взрывов дали лишь 17% от общего выхода (90 Мт). 25 самых мощных атмосферных ядерных взрывов (превосходивших по мощности 4 Мт) отвечают почти за 66% общего выхода. Самым крупным ядерным испытанием в атмосфере был взрыв с мощностью 50 Мт, проведенный 30 октября 1961 г. на Новой Земле (ЯВ 1992, МИ 1996). Крупнейший подземный взрыв на Новой Земле (от 1,5 до 10 Мт) был проведен 27 октября 1973 г. На острове Амчитка (Аляска) США провели подземный взрыв мощностью 5 Мт 6 ноября 1971 г. Позднее в СССР, в том числе в Арктике, были проведены подземные мирные ядерные взрывы (ПЯВ) для решения различных народнохозяйственных задач (Ядерные взрывы 1993, Михайлов В.Н. 1996).

Основные радионуклиды, попавшие в окружающую среду в результате атмосферных ядерных испытаний, это, в первую очередь, продукты деления (ориентировочный суммарный выход продуктов деления около 220 Мт (Eisenbud M. 1997)), такие как цезий-137 и стронций-90. В результате нейтронной активации образуются углерод-14 и кобальт-60. Освобождаются также неиспользованные элементы атомного оружия такие как уран, плутоний или тритий.

Из 130 взрывов, проведенных на Новой Земле, 85 были атмосферными, 3 – подводными, 2 – у поверхности воды, 1 – на поверхности земли, и 39 – подземных. Примерно 12% радиоактивных продуктов взрывов на Новой Земле выпали неподалеку от мест испытаний, 10% выпадений попали в концентрическое циркумполярное кольцо на широте Новой Земли, а 78% в виде мелкодисперсных продуктов пополнили глобальный фонд стратосферных радионуклидов, из которого и происходили дальнейшие радиоактивные выпадения (АМАР 1998). В целом, количество осадков и географическая широта определяли уровень глобальных радиоактивных выпадений (UNSCEAR 2000). Основные выпадения радиоактивного цезия и стронция из атмосферы пришлось на период с 1955 по 1966 гг. Группа АМАП (АМАР 1998) по оценке радиоактивности разработала

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

оригинальный метод учета вариаций в выпадении цезия-137 в Арктике с использованием географических информационных систем. С помощью этого метода была построена карта плотности выпадений цезия-137, приведенная к уровню распада 1995 г., и определены общие количества выпавшего на сушу глобального цезия-137 и стронция-90 (по соотношению цезий/стронций, равному 1,6). Суммарная активность цезия-137, выпавшего на сушу севернее  $60^{\circ}\text{N}$ , составила 35 ПБк и, соответственно, 21,9 ПБк для стронция-90. Эти оценки неплохо совпадают с независимыми оценками НКДАР ООН, выполненными по иной методологии. Соответствующая карта приведена на рисунке 1 (АМАР 1998).



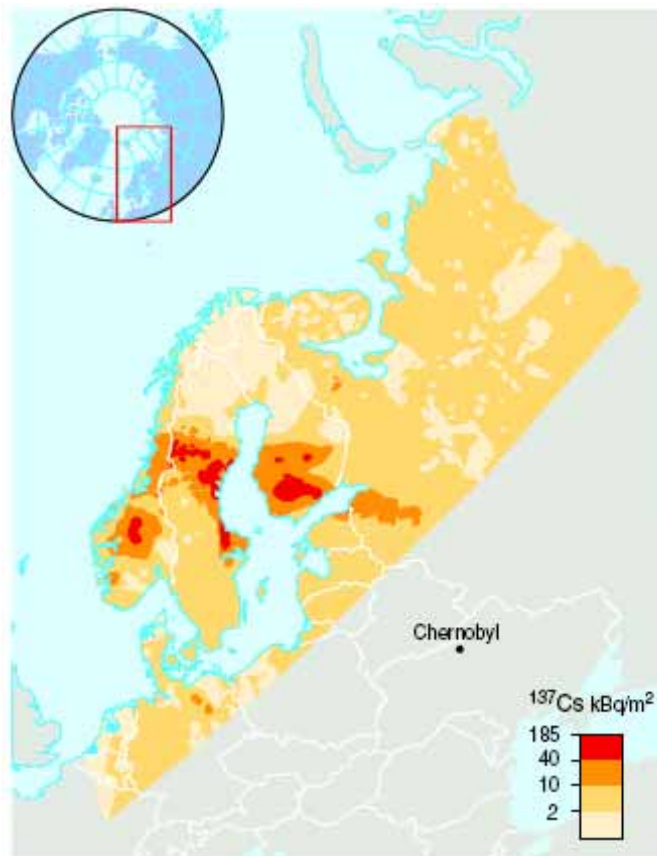
**Рис.1.** Карта плотности выпадений в Арктике радиоактивного цезия-137 от ядерных испытаний, приведенная к уровню активности 1995 г. (АМАР 1998)

#### **4.3.6.2.2. Чернобыльская авария 1986 г.**

После вступления в силу Московского договора 1963 г. о прекращении ядерных испытаний в трех средах ведущие ядерные державы (СССР, США и Великобритания) прекратили испытания в атмосфере, воде и космосе. Концентрации радиоактивных цезия и стронция в окружающей среде и биоте стали неуклонно снижаться, и многие программы мониторинга радионуклидов были свернуты. Однако, 26 апреля 1986 г. случилась авария на Чернобыльской АЭС и последовавший за ней пожар. В течение десяти дней, вплоть до 6 мая, продолжались интенсивные выбросы накопленных в реакторе радионуклидов и их подъем и распространение воздушными потоками. В первые дни преобладали юго-восточные ветры и, соответственно, распространение радионуклидов происходило в сторону Скандинавии. Уже на севере эти потоки поворачивали в восточном направлении. Полный выброс в окружающую среду самых значимых летучих радионуклидов иода-131, цезия-137 и цезия-134 оценивается в 1500, 85 и 46 ПБк соответственно. Примерно 8 ПБк стронция-90 и 0,1 ПБк альфа-излучающих изотопов плутония были выброшены и осели, в основном, рядом с Чернобылем. Подробный анализ ситуации после Чернобыля, эффективности принятых контрмер и биологических последствий облучения в результате Чернобыльской аварии можно найти в публикациях НКДАР ООН (UNSCEAR 2000). Здесь нас будет интересовать прежде всего загрязнение радиоцезием Скандинавии и запада Европейской территории России (ЕТР). Сведения о таком загрязнении долгоживущим цезием-137, нормализованные на 10 мая 1986 г., приведены на следующем рис 2. К июню 1986 г. концентрация цезия в воздухе Арктики снизилась вдвое и продолжала снижаться в последующие месяцы. В последующие годы концентрация цезия-137 в атмосфере северной ЕТР экспоненциально снижалась, но скорость этого снижения была в 1,5 – 2 раза медленнее, чем в средних широтах, где время полувыведения из окружающей среды было около 17 месяцев. В 1986 г. в мае-июне за счет ветрового ресуспендирования и миграции пылевых частиц сравнительно высокие уровни выпадений цезия-137 наблюдались в Мурманской области, а в азиатской части Российской Арктики они были небольшими. Поэтому наибольший интерес представляло изучение движения цезия по пищевым цепочкам после Чернобыльской аварии именно для Кольского полуострова и, в меньшей степени, для Ненецкого автономного округа (НАО). Более подробное картирование цезиевого загрязнения, выполненное Росгидрометом (Израэль Ю.А. 1990), выявило некоторые районы на побережье Белого и Печорского морей с уровнями загрязнения

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

между 4 и 18 кБк/м<sup>2</sup>. Карта загрязнения цезием-137 арктических побережий приведена на рисунке 2 (АМАР 1998).



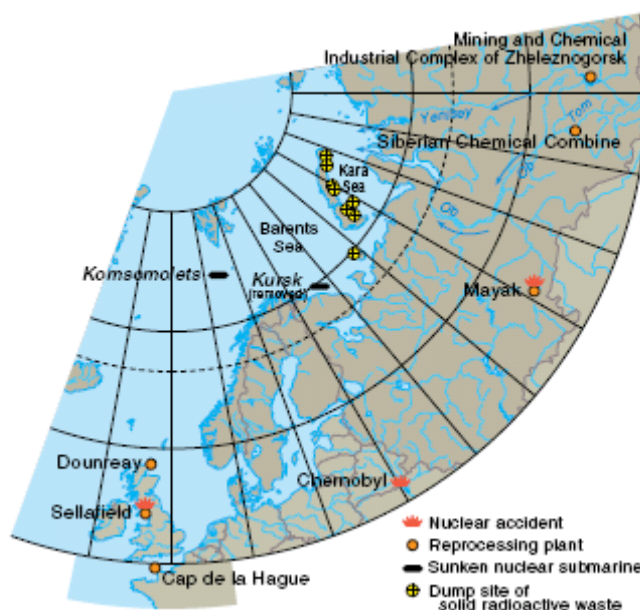
**Рис. 2.** Загрязнение цезием-137 Скандинавии и северо-запада России в результате Чернобыльской аварии на 10 мая 1986 г.

Из сравнения рисунков 1 и 2 видно, что вклад Чернобыльской катастрофы в загрязнение Арктики цезием-137, как минимум, на два порядка меньше, чем от испытаний ядерного оружия.

#### 4.3.6.2.3. Западноевропейские радиохимические заводы по переработке ядерного топлива

На радиохимических заводах (РХЗ) из отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) выделяют для повторного использования уран и плутоний, что сопровождается образованием большого количества разнообразных радиоактивных отходов (UNSCEAR 2000). Наиболее мощные и действующие поныне РХЗ в Западной Европе – это Селлафилд (Великобритания) и Ла Аг (Франция). Сбросы Селлафилда по трубам попадают в Ирландское море, а сбросы РХЗ на мысе Ла Аг в пролив Ла-Манш. Методы очистки отходов, формы их выбросов и сбросов в окружающую среду, формы хранения оставшейся части отходов не оставались постоянными, но менялись со временем.

На рис.3 (АМАР 2000) показано размещение РХЗ в Селлафилде, на мысе Ла Аг, ныне закрытого РХЗ в Дунрее (Великобритания), а также трех российских РХЗ – НПО «Маяк» на Урале, Сибирского химического комбината (СХК) вблизи Томска, и Горнохимического комбината (ГХК) вблизи Красноярска,

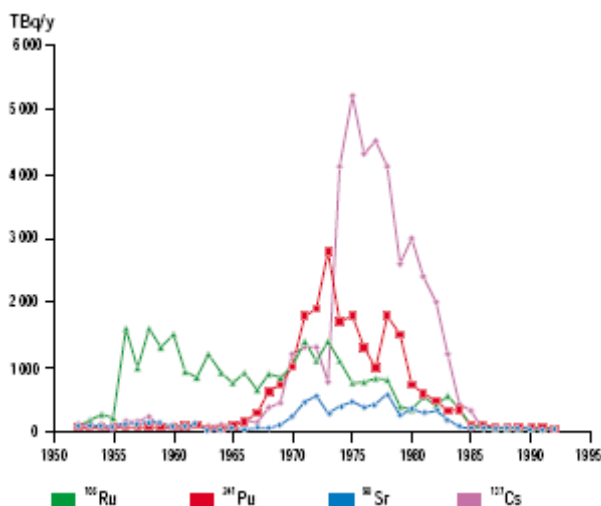


**Рис.3.** Размещение некоторых РХЗ в Западной Европе и Российской Федерации, а также места затопления радиационных объектов и двух атомных подводных лодок

Изменения в технологии очистки и хранения отходов существенно меняли величину сбросов конкретных радионуклидов. На рис.4 (АМАР 1998) показаны изменения активности сбросов в Селлафилде по четырем важнейшим радионуклидам с 50-х по 90-е годы.

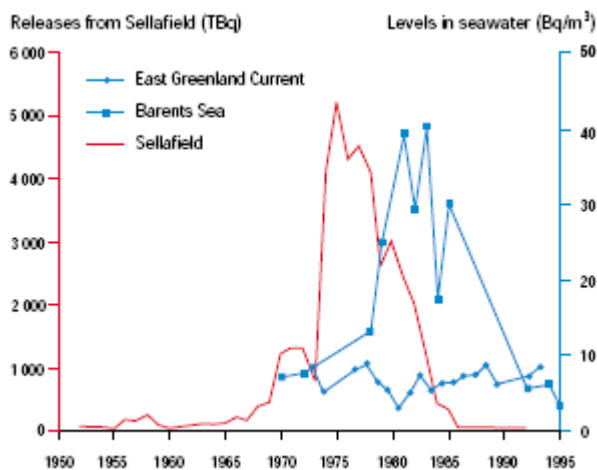


Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра



**Рис. 4.** Сбросы с РХЗ в Селлафилде (Великобритания) во второй половине XX века четырех радионуклидов (в ТБк/год): цезия-137, стронция-90, плутония-241, рутения-106

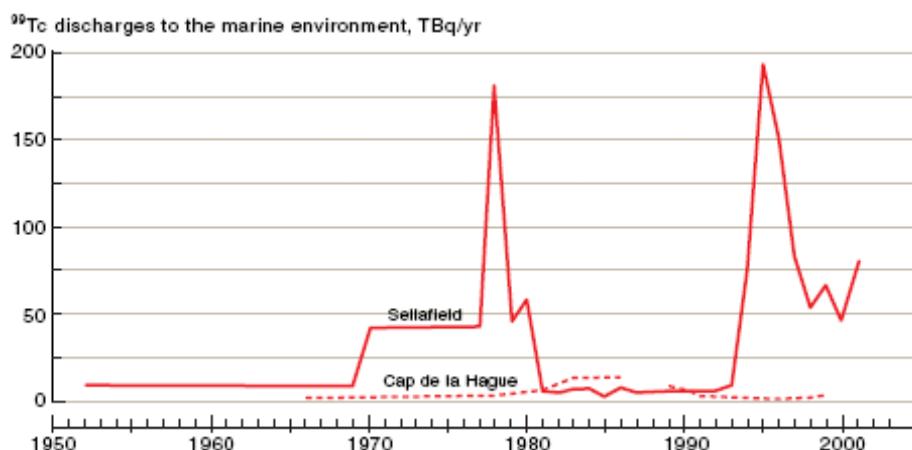
Обращает на себя внимание резкий максимум сбросов цезия-137 в середине 70-х годов и, обусловленное новой технологией, снижение сбросов в 80-х и 90-х. Суммарные сбросы цезия-137 из Селлафилда после 1952 г. (время пуска РХЗ) составили около 40 ПБк. Динамика сбросов цезия-137 позволила объяснить динамику концентраций радионуклидов в морской воде в этот период. Например, в Баренцевом море концентрация цезия-137, постоянно снижавшаяся с середины 60-х годов после прекращения ядерных испытаний в атмосфере, с середины 70-х годов стала расти, и к началу 80-х достигла мак-



**Рис.5.** Сбросы цезия-137 с РХЗ в Селлафилде и его концентрация в водах Баренцева и Гренландского морей

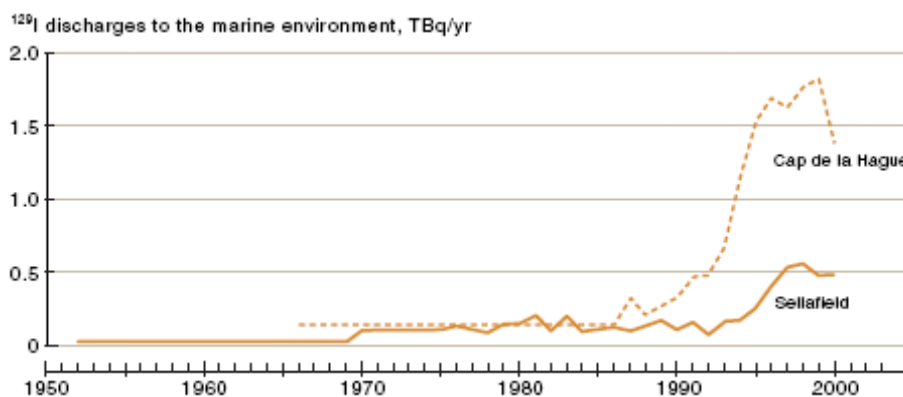
симума в 40 Бк/м<sup>3</sup>. Сдвиг на рис.5 (АМАР 1998) между максимумом сбросов цезия и его концентрацией в воде Баренцева моря позволяет определить время переноса водных масс из Ирландского моря в Баренцево (4-5 лет). В настоящее время концентрация цезия в водах Баренцева и Карского морей оказывается на уровне 2-7 Бк/м<sup>3</sup>.

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра



**Рис.6.** Сбросы в морскую среду технеция-99 (в ТБк/год) с РХЗ в Селлафилде и на мысе Ла Аг

Продолжение радиационного мониторинга в морских водах арктических морей позволило в 90-х годах обнаружить появление новых критических радионуклидов. Это были технеций-99 (период полураспада 220 тыс. лет) и иод-129 (период полураспада 16 млн. лет). Причиной роста сбросов технеция в Селлафилде стала переработка дополнительных партий отходов на новой установке по очистке от актинидов.



**Рис.7.** Сбросы в морскую среду иода-129 (в ТБк/год) в Селлафилде и на мысе Ла Аг

На французском РХЗ ввод в строй нового цеха в 1990 г. привел к росту иодных сбросов. Так же как для цезия, для технеция и иода удалось проследить за ростом их концентраций в морской воде по пути переноса водных масс (рис. 6 и 7 (АМАР 2002)) и за ростом концентраций в морской биоте. Если для иода-129 содержание в биоте оказывается пренебрежимо малым, то этого нельзя сказать о содержании технеция. В некоторых разновидностях употребляемых в Европе морских продуктов оно оказалось выше уровней вмешательства ЕС, принятых для детского питания, и весьма близким к уровню вмешательства для пищевых продуктов для взрослых. На заседании Арктического совета

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

в 2000 г. в Барроу Великобритании было предложено рассмотреть меры по снижению сбросов технеция от Селлафилда в морскую среду путем использования соответствующих технологий.

Еще одна проблема, определившаяся в последние годы и связанная с деятельностью Селлафилда, состоит в том, что за время работы РХЗ большие количества плутония и цезия-137 накопились в осадках Ирландского моря и становятся вторичным источником радионуклидов, а затем переносятся и в арктические моря. После 1952 г. с Селлафилда было сброшено в Ирландское море около 700 ТБк альфа-излучающих изотопов плутония. Большая их часть оказалась связанной осадками Ирландского моря. Но теперь, когда сбросы плутония прекратились, происходит освобождение плутония из этих осадков и, в результате, через северный канал Ирландского моря ежегодно выносится около 1 ТБк плутония. В меньшей степени это относится к цезию-137, который по большей части оставался хорошо растворимым. Однако и для цезия по некоторым оценкам освобождение из осадков Ирландского моря возможно на уровне около 50 ТБк/год, что превышает первичные сбросы из Селлафилда в те же 90-е годы. Поэтому даже полное прекращение сбросов РХЗ не приводит сразу к «нулевому» поступлению радионуклидов для арктических морей (АМАР 2004).

Из отходов Селлафилда в западную Арктику из Ирландского моря, согласно расчетам (Белая книга – 2000), поступило цезия-137 – 7,4 ПБк и стронция-90 – 1,7 ПБк.

Согласно расчетам АМАР, ожидаемая коллективная доза для Арктики от европейских заводов по переработке радиоактивных материалов составляет 50 чел.-Зв. Это указывает на вероятность дополнительных случаев одной или двух смертей от рака в пределах границ Арктики (АМАР 1998).

#### **4.3.6.2.4. Радиохимические комбинаты России**

На рис.3 показаны крупнейшие радиохимические комбинаты России, расположенные в водосборных бассейнах великих сибирских рек – Оби («Маяк» и СХК) и Енисея (ГХК). Очевидно, что огромные объемы накопленных на комбинатах радионуклидов могут оказать потенциальное влияние и на арктические моря (прежде всего, Карское). Достаточно полный обзор деятельности этих комбинатов и кадастры запасов накопленных там радиоактивных отходов приведены в (The Radiation Legacy 2000, Крышев И. 2000).

В настоящее время действует пять заводов Росатома ядерно-топливного цикла, которые могут оказывать влияние на водную среду арктических морей (Радиационная обстановка 2008). Основные это комбинат «Маяк» в Челябинской области (бассейн Оби), Сибирский химический комбинат – Томск-7 в Томской области (бассейн Оби), Красноярский горно-химический комбинат в Красноярском крае (бассейн Енисея) (АМАР 1998). Оценить влияние этих производств на радиационную обстановку в Арктике очень сложно, достоверных данных практически нет. Имеется обстоятельная монография Владислава Ларина «Комбинат «Маяк» - проблема на века», однако она описывает последствия катастроф: - 1949 – 1951 г.г., связанную со сбросом жидких радиоактивных отходов непосредственно в речку Течу (бассейн Оби), - 29 сентября 1957 г., вызванную взрывом емкости с жидкими высокоактивными отходами и – 15 мая 1967 г., связанную с ветровым разносом радиоактивной пыли с берегов озера Карачай, служащего хранилищем жидких высокоактивных отходов; только на локальном уровне. Ориентировочные расчеты показывают, что реки перенесли в Карское море  $1,4 \times 10^{15}$  Бк  $^{90}\text{Sr}$  (АМАР 1998).

По данным 2008 года (Радиационная обстановка 2008) среднегодовая концентрация  $^{90}\text{Sr}$  в реке Теча в 78 км от источника составляла 9,3 – 11,0 Бк/л. Это в два раза выше уровня вмешательства для  $^{90}\text{Sr}$  в питьевой воде по НРБ-99/2009 и более чем в 2000 раз выше фонового уровня для рек России. Сведений по низовьям Оби и юго-западной части Карского моря по активности  $^{90}\text{Sr}$  не имеется. Однако составляющая «Маяка» при таких начальных концентрациях существенной быть не может.

Сбросы Красноярского горно-химического комбината в открытую гидрографическую сеть загрязнены, в основном, короткоживущими изотопами:  $^{24}\text{Na}$  (T=15 час.),  $^{32}\text{P}$  (T=14 сут.).

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

Из долгоживущих изотопов присутствуют:  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  и  $^{152}\text{Eu}$ . Загрязнение от горно-химического комбината можно зарегистрировать в Арктике на расстоянии 2000 км вниз по течению Енисея. На таком значительном расстоянии концентрации радиоактивности в тысячи раз ниже, чем в непосредственной близости от источника, но все-таки они поддаются определению. Такая радиоактивность антропогенного происхождения оказывать влияния на экосистему Карского моря практически не может (АМАР 2002).

Сибирский химический комбинат (СХК) расположен в 15 км к северу от Томска неподалеку от места впадения в Обь реки Томь. Жидкие радиоактивные отходы через седиментационный водоем и сбросной канал попадают в реку Ромашка, а затем в реку Томь в районе Чернильщикова и далее в систему р. Обь. Часть жидких радиоактивных отходов с суммарной активностью 15 Эбк закачана в глубокие подземные горизонты. Часть отходов с суммарной активностью 4,6 Эбк находится в открытых водоемах (Крышев И. 2000). Таким образом, здесь также имеется потенциальная возможность сбросов в Карское море. Расстояние между устьем р. Томь и устьем р. Обь составляет 2665 км. В 1977 г. во время работы СХК на полную мощность прохождение радионуклидных сбросов было прослежено вплоть до устья Оби (Vakulovsky S.M. 1993). Было подробно исследовано взаимодействие радионуклидов с осадками и показано, что для большей части изотопов в растворенном виде остается лишь незначительная доля. Поток радионуклидов, переносимых в виде суспензии, в зависимости от расстояния снижался практически экспоненциально с двухкратным уменьшением на расстоянии в 250-300 км. Поэтому в нижнем течении Оби или ее устье радионуклиды, обязанные своим происхождением СХК, практически не обнаруживаются. Это согласуется и с экспериментальными результатами (ERA 1995, ANWAP 1995).

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

**4.3.6.2.5. Атомный флот России (включая инфраструктуру обслуживания)**

В годы холодной войны и гонки вооружений СССР создал самый большой атомный флот мира. Всего было построено атомных подводных лодок – 248, надводных атомных кораблей – 5, атомных ледоколов – 8, атомный лихтеровоз – 1. Общее число установленных на этих объектах ядерных реакторов превышало 450, а их суммарная мощность сопоставима с установленной мощностью всех атомных электростанций страны (Strategic 2004). Строительство и развертывание атомного флота и инфраструктуры по его обслуживанию, в основном, осуществлялось с конца 50-х годов на побережье Баренцева и Белого морей. Тихоокеанский атомный флот России сформировался в более поздний период и был разветнут в меньших масштабах.

Основной верфью и ремонтной базой атомных подводных лодок (АПЛ) служил г. Северодвинск, вблизи устья Северной Двины недалеко от Архангельска. На рис. 8 показаны основные базы атомного флота на северо-западе России и, одновременно, приведены приблизительные оценки накопленного на этих базах радиационного потенциала. На этих же базах и верфях (СРЗ) ведется в настоящее время работы по снятию с эксплуатации атомного флота и обеспечивающей его деятельности инфраструктуры.



**Рис.8.** Базы и верфи на побережье Баренцева и Белого морей на которых ведутся работы по снятию с эксплуатации атомного флота и его инфраструктуры (АМАР 2004)

Проблема снятия с эксплуатации атомного флота и его инфраструктуры встала во весь рост в 80-е годы после завершения холодной войны и достигнутых между СССР (и Россией,

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

как его правопреемником) и Западом соглашений о разоружении. Среди них особую роль сыграло соглашение о программе по совместному уменьшению угрозы (СУУ), в соответствии с которым США профинансировали уничтожение и снятие с эксплуатации некоторых АПЛ. При этом СУУ распространялось на сравнительно новые классы АПЛ, а АПЛ первого поколения, требовавшие снятия с эксплуатации в первую очередь в силу физического износа, оставались на листе ожидания.

Приведем оценку из (Strategic approaches 2004): «Сложившееся к настоящему времени положение дел в сфере комплексной утилизации характеризуется следующими данными:

- Ни одна из 117 выведенных из эксплуатации в северо-западном регионе АПЛ не утилизирована в полном объеме до формирования реакторного отсека с установкой его на длительное и контролируемое береговое хранение. Площадки для такого хранения еще не созданы.
- Находящиеся на плаву в ожидании утилизации 56 АПЛ и 62 реакторных блока требуют постоянного контроля плавучести в условиях постоянно ухудшающегося технического состояния.
- Две бывшие береговые технические базы Северного флота в губе Андреева и пос. Гремиха содержат большое количество ОЯТ и РАО, истинное состояние которых не вполне ясно. Территория этих БТБ требует масштабной реабилитации.
- Остаются нерешенными задачи утилизации большого количества (23) судов АТО и одного надводного корабля с АЭУ, стоящего у причальной стенки в г. Северодвинске.
- Требуется специальных решений и технологий проблема обращения с ОЯТ жидкометаллических реакторов, а также с дефектным (некондиционным) ОЯТ водяных реакторов.
- Не приняты решения по выбору региональных мест захоронения ТРО и строительству соответствующих сооружений.»

Наиболее свежие данные о состоянии АПЛ, выведенных из ВМФ России, приведены в таблице 4. (Росатом 2009)

**Таблица 4**

<b>Сведения о состоянии АПЛ, выведенных из состава ВМФ на 1 февраля 2009 года</b>			
<b>АПЛ, единиц</b>	<b>всего</b>	<b>Северный флот</b>	<b>Тихоокеанский флот</b>
Выведено из состава ВМФ	199	121	78
Утилизировано	173	108	65
В стадии утилизации	11	6	5
В отстое (ждут утилизации)	12	6	6
Особое решение (аварийные АПЛ)	3	1	2

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

В целом, проблемы обращения с ОЯТ и твердыми радиоактивными отходами (ТРО) атомного флота, как в северо-западном, так и в Дальневосточном регионах России требуют безотлагательного решения. В 60-х годах на северо-западе начинала формироваться определенная инфраструктура по обращению с РАО, однако строительство соответствующих зданий и установок было свернуто в начале 70-х годов (Белая книга РФ 1993), так как победил «простой» подход к решению проблемы – затопление жидких и твердых РАО (ЖРО и ТРО) в морях. Разумеется, это давало огромную экономию в немедленных расходах, но позднее привело к нарушению обязательств СССР по Лондонской конвенции (LDC 1972) и к несоответствию радиоактивных захоронений требованиям МАГАТЭ (IAEA 1978).

Подробную информацию по захоронению РАО в северных морях можно найти в (Белая книга РФ 1993, Белая книга-2000). Согласно этим источникам в северные моря (с учетом также аварийных сбросов) попало около 900 ТБк ЖРО. Еще более условны оценки активности затопленных ТРО, определявшиеся по так называемому «стронциевому эквиваленту» - около 600 ТБк. Однако, наибольший интерес вызвали оценки активности затопленных в Карском море объектов, содержащих ОЯТ, реакторных отсеков с выгруженным топливом, и целой АПЛ №601 с двумя реакторами, содержащими топливо. Эта оценка составила 85 ПБк. (Белая книга РФ 1993). Дальнейшие исследования (IAEA 1999, Белая книга-2000) показали, что эта оценка существенно завышена. В период с 1993 по 1996 гг. МАГАТЭ осуществило Международный проект по оценке арктических морей. В результате этих исследований, а также работ, проведенных в Москве (Труды международного семинара 1998, Белая книга-2000) удалось показать, что содержание радионуклидов в объектах, затопленных в Карском море, составляло на конец 90-х годов (далее приводятся цифры по докладу МАГАТЭ и Белой книги-2000):

- для продуктов деления – 4,1 ПБк (цезий-137 около 1 ПБк и стронций-90 около 0,9 ПБк);
  - для продуктов активации – 0,5 ПБк (никель-63, 0,3 ПБк и кобальт-60, 0,1 ПБк);
  - для актинидов – 0,1 ПБк (основной вклад за счет плутония-241, 0,08 ПБк);
- Суммарно: 4,7 ПБк.

При этом предполагается, что наибольшая активность затоплена в заливе Цивольки – 2,2 ПБк, в заливе Абросимова – 1,4 ПБк, в заливе Степового – 0,8 ПБк (оба залива - у Новой Земли в Карском море), в Новоземельской впадине – 0,3 ПБк и меньше всего в заливе



Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

Течений – 0,005 ПБк. Однако, в отношении самого крупного по уровню активности объекта – контейнера с ОЯТ ледокола «Ленин» - существует неопределенность, так как в заливе Цивольки этот объект не был обнаружен, и даже специальная экспедиция по его поиску, снаряженная МНТЦ в 2002 г. не дала результатов.

Инфраструктура по обслуживанию атомного флота включает береговые технические базы (БТБ), а также плавучие технические базы (ПТБ), мастерские (ПМ), контрольно-дозиметрические станции (ПКДС), технические наливные танкеры (ТНТ), иногда объединяемые в одну категорию: суда атомно-технологического обслуживания (АТО). Анализ рисков при эксплуатации и снятии с эксплуатации всех этих объектов и, в первую очередь, АПЛ с невыгруженным топливом (Lystsov V.N. 1996) показывает, что наивысших уровней они достигают именно для объектов, содержащих отработавшее ядерное топливо (ОЯТ).

Сведения по радиационному потенциалу и местам хранения объектов, содержащих ОЯТ (Strategic 2004) по состоянию на 01.01.2004 г., представлены в нижеследующей таблице 4. Число ОТВС, хранящихся на БТБ в настоящее время почти вдвое больше, чем на борту ожидающих утилизации АПЛ. И хотя общий радиационный потенциал ОЯТ на АПЛ несколько выше, он представляет меньшую потенциальную опасность, поскольку защищен несколькими барьерами безопасности (легкий корпус, прочный корпус, реакторный отсек, корпус реактора), которые отсутствуют в хранилищах ОЯТ на БТБ.

Основной вклад в радиационный потенциал ОЯТ вносят продукты деления, главным образом, цезий-137 и стронций-90, в то время как вклад актиноидов составляет лишь доли процента (например, для реакторов с ЖМТ - 0,1%). Однако со временем этот вклад увеличивается из-за больших, чем у осколков деления, периодов полураспада актиноидов.

**Перечень мест хранения и радиационный потенциал ОЯТ.**

**Таблица 5**

№ п/п	Место нахождения ОЯТ	Количество ОТВС, шт., (ОВЧ), ед.	Время выдержки, лет	Суммарная активность, ПБк
1	Реакторы 31-ой АПЛ с ВВР	ок. 12000	От 6 до 24 лет	170

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

№ п/п	Место нахождения ОЯТ	Количество ОТВС, шт., (ОВЧ), ед.	Время выдержки, лет	Суммарная активность, ПБк
2	Реакторы 2-х АПЛ с ЖМТ (ОВЧ)	2	12 и 7	10
3	Реакторы 2-х РБ с ЖМТ (ОВЧ)	2	Более 20	5
4	БТБ Гремиха: в контейнерах  ОВЧ	ок. 800	Более 25	5
		6	От 40 до 11	13
5	БТБ губа Андреева: в хранилищах 2а,2б,3а	ок. 22000	Более 25	130
6	Накопительная площадка МП «Звёздочка»	ок. 450	Оперативное хранение до передачи в эшелон	5
7	Суда АТО ВМФ	Ок. 2300	Оперативное хранение	24
8	Атомный крейсер «Адмирал Ушаков»	ок. 700	10	*
9	Суда АТО гражданского атомного флота	4950	Оперативное хранение	144
	<b>Всего</b>	<b>ок. 44000</b>		<b>510</b>

Активность находящихся на хранении ТРО и ЖРО много ниже и составляет по оценке (Strategic approaches 2004) 27 ПБк для ТРО и 9,4 ТБк для ЖРО. Однако низкие потенциалы активности еще не обеспечивают радиационной безопасности, так как защитные барьеры при хранении РАО могут быть повреждены или вообще отсутствовать. В целом, по оценке (Strategic 2004), радиационный потенциал различных снимаемых с эксплуатации объектов составляет (см. таблицу 6):

**Радиационный потенциал объектов снимаемых с эксплуатации**

**Таблица 6**

Объекты	Суммарный радиационный потенциал, ПБк
АПЛ с невыгруженным ОЯТ	180
АПЛ с выгруженным ОЯТ	5
Реакторные блоки	30
Береговые объекты	155
Суда АТО	20
ФГУП «Атомфлот»	170
<b>Всего</b>	<b>560</b>

Нетрудно видеть, что этот радиационный потенциал определяется в первую очередь запасами ОЯТ на тех или иных структурных объектах и, лишь затем, уровнем активности

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

накопленных ТРО. ЖРО, оказавшиеся в центре внимания в начале 90-х годов в результате слива Тихоокеанским флотом осенью 1993 г. 14 ГБк активности в Японское море сейчас не представляют серьезной проблемы. За прошедшие годы в России при широком международном участии были введены в строй эффективные установки по переработке и очистке ЖРО. В результате, Россия в мае 2005 г. присоединилась к протоколу Лондонской конвенции, который запрещает любой сброс в море радиоактивных отходов. Этот протокол теперь принят всеми участниками Лондонской конвенции.

Помимо радиационного потенциала объектов атомного флота, снимаемых с эксплуатации, необходимо принимать во внимание также вероятность и размер событий, ведущих к выходу радиоактивности через защитные барьеры и ее распространению в окружающей среде. Различные последовательности событий, ведущих к радиационной аварии, принято называть сценариями. Каждый сценарий характеризуется определенной вероятностью своей реализации. Например, с определенной вероятностью может произойти самоподдерживающаяся цепная реакция при перегрузке ОЯТ. Выброс радионуклидов в атмосферу или сброс в водную среду происходит в определенных метеорологических или гидрологических условиях, которые, в конечном счете, определяют величину переноса радионуклидов к объектам-мишеням. Для гипотетических (потенциальных) событий приходится вводить представление о вероятности тех или иных состояний окружающей среды, тех или иных путей переноса. Дозы в мишенях зависят от физических и биологических характеристик цепочек переноса. Уровни доз позволяют судить о возможных эффектах в биоте или у человека. Помимо индивидуальных доз для человека возможно оценивать коллективные дозы, характеризующие воздействие на популяцию в целом. Такая оценка потенциального риска радионуклидных воздействий позволяет также решать вопросы управления радиационным риском различных реальных и потенциальных источников ионизирующего излучения.

Первый очевидный подход к ограничению возможного риска состоит в увеличении числа и качества защитных барьеров. Например, вместо изношенных устаревших хранилищ для ОЯТ следует использовать новые более совершенные технологически хранилища, располагающиеся на новых более безопасных площадках. Другой подход состоит в повышении готовности к случайным выбросам и сбросам и к проведению укрытия людей, эвакуации и других контрмер в духе тех, которые предусматриваются в НРБ-99/2009. Все

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

эти меры или отсутствие принятия подобных мер необходимо учитывать при проведении оценки возможных последствий радиационных аварий.

#### **4.3.6.2.6. Кольская и Билибинская атомные электрические станции**

За полярным кругом в России на западе и на востоке находятся две АЭС – Кольская и Билибинская. Кольская АЭС состоит из 4 блоков ВВЭР-440. Каждый блок имеет тепловую мощность 1375 МВт и электрическую 411 МВт. Используется схема водородного реактора под давлением. Для двух блоков первоначальные сроки эксплуатации уже истекли, но продлены благодаря специально предпринятым техническим мерам.

В Билибино на Чукотке используются легководные реакторы с графитовым замедлителем. Каждый из блоков ЭГП-6 имеет тепловую мощность 62 МВт и электрическую 12 МВт. Таким образом, суммарная электрическая мощность АЭС составляет 48 МВт. Первоначальные сроки эксплуатации блоков также уже истекли, и их продление стало возможным только после принятия специальных технических мер.

Сравнительно небольшая мощность Билибинской АЭС (меньше Кольской более чем в двадцать раз) и ее удаленность от густонаселенных районов делают оценки потенциального риска для нее не столь актуальными. Наоборот, для Кольской АЭС эти оценки в высшей степени актуальны и проводились как российскими, так и зарубежными специалистами. Частоту возможных аварий принято оценивать с помощью вероятностного анализа безопасности (ВАБ). За максимальное аварийное событие принимали расплавление активной зоны. Суммирование вероятностей цепочек событий, ведущих к этому событию, принимали за частоту расплавления активной зоны (ЧРАЗ). Считается, что для современных энергетических реакторов эта величина должна лежать между  $10^{-4}$  и  $10^{-5}$  за год. Предварительная оценка МАГАТЭ для блока Кольской АЭС дала величину ЧРАЗ  $5,5 \times 10^{-3}$  за год. Далее оценивается содержание накопленных радионуклидов в активной зоне и доля их выхода в окружающую среду. Затем моделируются пути их возможного переноса и выпадений, после чего можно перейти к моделированию внешнего облучения и переноса по пищевым цепочкам к человеку.

Моделирование воздушных путей переноса после аварии на Кольской АЭС было предпринято (АМАП 2004) для четырех географических регионов – Скандинавии, Европы, центра бывшего СССР и Таймырского полуострова.

#### **4.3.6.2.7. Радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГи)**

Особый источник возможного радиационного воздействия на арктическом побережье представляют собой, так называемые радиоизотопные термоэлектрические генераторы. РИТЭГи используются для длительного автономного электрического питания маяков и светящихся навигационных знаков. Тепловая энергия радиоактивного распада в РИТЭГах преобразуется в электрическую. Электрическая мощность в российских моделях РИТЭГов (ЭфирМА, ИЭУ-1, ИЭУ-2, Бета-М, Гонг, Горн, ИЭУ-2М, Сеностав, ИЭУ-1М) варьирует от 10 Вт до 180 Вт. При этом радиоизотопные источники тепла РИТ-90 обеспечивают тепловые мощности от 230 Вт до 3300 Вт. В капсулах РИТ-90 стронций-90 содержится в виде керамического титаната стронция,  $\text{SrTiO}_3$ , который по данным проектной организации (ВНИИТФА в Москве) достаточно устойчив к механическим внешним воздействиям и не растворим в воде. Рабочие температуры в корпусе РИТЭГов достигают  $600^{\circ}\text{C}$ , а активность находящегося в капсулах РИТ-90 стронция варьирует от 0,3 до 3,7 ПБк. Капсулы защищены от внешних воздействий толстой оболочкой РИТЭГ, сделанной из нержавеющей стали, алюминия и свинца. Биологическая защита сделана такой, чтобы на поверхности РИТЭГа мощность дозы не превышала 200 мР/час, а на расстоянии метра 10 мР/час (Рылов М.И. 2003). Мощность дозы РИТ-90 самого по себе без корпуса и биологической защиты достигает 400-800 Р/час на расстоянии 0,5 м и 100-200 Р/час на расстоянии 1 м. Потенциальная опасность таких источников очевидна. По классификации МАГАТЭ РИТЭГи относятся к 1 классу опасности (мощнейшие источники излучения).

Всего в России, в основном по побережью Северного Ледовитого океана, было размещено около 1000 РИТЭГов. Период их производства (завод «Балтиец», г. Нарва, ныне Эстонская Республика) продолжался с 1976 по 1990 гг. Срок службы всех типов РИТЭГов составляет 10 лет. В настоящее время для всех РИТЭГов сроки эксплуатации завершены, но для большей части утилизация или захоронение так и не были выполнены.

В настоящее время на балансе организаций Минобороны России, Росморречфлота, Минтранса России, Росгидромета, Госкорпорации «Росатом» насчитывается 697 РИТЭГ. Из них: размещены на временное хранение в организациях Госкорпорации «Росатом» (ФГУП «ДальРАО», ФГУП «РосРАО») 139 РИТЭГ; находятся в эксплуатации и в местах промежуточного хранения 558 РИТЭГ (активность порядка  $9,16 \cdot 10^{17}$  Бк). (Росатом 2009)

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

В целях снижения потенциальной радиационной опасности, связанной с РИТЭГ, предприятиями, находящимися в ведении Госкорпорации «Росатом», проводятся работы по утилизации и долговременному хранению РИТЭГ. В 2001-2008 годах предприятиями утилизировано 336 РИТЭГ.

В 2008 году за счет средств международной технической помощи проведены работы:

- демонтированы и перевезены на долговременное хранение в ФГУП «ДальРАО» 51 РИТЭГ Минобороны России;
- демонтированы и направлены на разборку в ОАО «НИИТФА» 10 РИТЭГ Росморречфлота, 45 РИТЭГ Минобороны России, из последних — 39 разобраны и направлены на долговременное хранение в ФГУП «ПО «Маяк».

В рамках выполнения ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности в 2008 году и на период до 2015 года» демонтированы и направлены на разборку в ОАО «НИИТФА» 10 РИТЭГ Росморречфлота.

Вывод из эксплуатации РИТЭГ является одним из примеров достижения положительных результатов совместных усилий международного сообщества по снижению потенциальной радиационной опасности, связанной с источниками ионизирующего излучения на территории Российской Федерации.

В августе 2008 г. (Bellona 2009) из Кандалакшского морского торгового порта отправлены последние 5 радиоизотопных термоэлектрических генераторов (РИТЭГ) по российско-норвежскому проекту в рамках радиационно-экологического сотрудничества между правительством Мурманской области и провинцией Финнмарк Королевства Норвегия.

Проект под названием «Замена РИТЭГов на альтернативные источники электропитания на маяках Гидрографической службы Северного флота на побережье Баренцева и Белого морей на территориях Мурманской и Архангельской областей» успешно реализуется с 2000 года. За это время с побережья Баренцева и Белого морей было вывезено 153 РИТЭГа, в том числе 85 – с территории Мурманской области, 68 – с территории Архангельской области.

Как сообщает управление по информационной политике и взаимодействию со средствами массовой информации правительства Мурманской области, в вывезенных РИТЭГах содержалось около 20 млн. Кюри радиоактивных веществ. Все они доставлены во Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики и автоматизации (ВНИИТФА), где происходит разборка и извлечение радиоизотопных источников тепла, с

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

последующим их размещением на долгосрочное безопасное хранение на ПО «Маяк» Челябинской области.

Таким образом, на территории Мурманской и Архангельской областей РИТЭГов, представляющих серьезную опасность для окружающей среды и человека, больше нет.

Последние радиоизотопные электрогенераторы вывозят и с Чукотки. Гидрографическое судно "Иван Киреев" вывезло с территории Чукотского автономного округа десять радиоизотопных термоэлектрических генераторов (РИТЭГ), работавших на ядерном топливе и применявшихся в советское время в качестве источников электропитания в пунктах навигационного обеспечения мореплавания вдоль трассы Северного морского пути, - сообщил специалист информационной политики ЧАО Никита Шалагинов. (РИА Север ДВ 2010)

Полностью выработавшие свой срок РИТЭГи доставят из порта Провидения в Мурманск для их последующей утилизации.

С учетом радиоизотопных генераторов, погруженных на "Ивана Киреева", с Чукотки в 2010 году вывезли 34 из 77 РИТЭГов, находящихся в пределах региона.

Активная работа по эвакуации радиоизотопных генераторов с территории Чукотского автономного округа начата в 2010 году. В апреле межведомственная комиссия с участием представителей Росатома и Министерства транспорта Российской Федерации приняла участие в обследовании 45 генераторов, размещенных на арктическом побережье в пунктах средств навигационного обеспечения мореплавания.

В период с 27 мая по 29 июня 2010 года ЗАО "Тихоокеанская строительно-производственная компания" вела практические работы по эвакуации РИТЭГов наземного базирования с пунктов средств навигационного оборудования, контролируемых Провиденской гидрографической базой и Певекским лоцмейстерско-гидрографическим отрядом. За это время специалистами компании снято 34 РИТЭГа: 29 Провиденской гидробазы и 5 Певекского отряда.

21 июля 2010 года 24 радиоизотопных генератора, демонтированных с мест эксплуатации, вывезли чартерным рейсом ООО "Авиакомпания "Волга-Днепр" из аэропорта "Анадырь" в центральные районы страны. 10 РИТЭГов до подхода "Ивана Киреева" находились на временном хранении в районе аэропорта Провидения.

Оставшиеся 43 РИТЭГа планируется вывезти с Чукотки в течение 2011 года.



Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

Аварии РИТЭГов уже имеют более чем двадцатилетнюю историю. Имелись случаи утери РИТЭГов при транспортировке на вертолетах и, что наиболее опасно, случаи их преднамеренной разборки охотниками за цветными металлами. Печально известные случаи такой охоты уже есть. В мае 2001 года были похищены три радиоизотопных источника с маяков Минобороны РФ, расположенных на острове в Белом море в районе Кандалакшского заповедника в Мурманской области, являющегося одним из центров экологического туризма. Два охотника за цветными металлами получили сильные дозы радиации, а похищенные РИТЭГи были найдены и в июне 2001 года отправлены во ВНИИТФА. Оттуда их перевезли на комбинат «Маяк» в Челябинской области. Работы финансировались администрацией норвежской провинции Финнмарк по соглашению с администрацией Мурманской области по программе утилизации РИТЭГов и установки на маяках солнечных панелей. В 1998 году в поселке Ванкарем на Чукотке умерла от лейкемии двухлетняя девочка. Ещё двое детей лежали в районной больнице для подтверждения этого же диагноза. Причиной облучения стал заброшенный РИТЭГ, который валялся недалеко от поселка.

В непосредственном контакте с РИТЭГаами при поврежденной защите человек может получить смертельные дозы облучения или дозы, обуславливающие такие радиационные эффекты, как лучевая болезнь и рак. Такие последствия становятся тем более вероятными, что не была создана и не функционировала единая система учета и контроля РИТЭГов, и попытки ее создания намечаются только в последние годы после широкого международного обсуждения этой проблемы. Гарантировать отсутствие неучтенных и бесхозных РИТЭГов в настоящее время невозможно.

В 2010 г. при поддержке Проекта ЮНЕП/ГЭФ «Российская Федерация – Поддержка Национального плана действий по защите арктической морской среды» (Проекта НПД-Арктика) реализован проект: «Определение местонахождения и извлечение из термокарстовой воронки двух радиоизотопных термоэлектрических генераторов типа «ГОНГ» на объекте «Кондратьев». Из-за разрушения берегового склона около 10 лет назад оба РИТЭГа, находившихся на радиомаяке «Кондратьев» на территории Республики Саха (Якутия), погрузились в толщу многолетнемерзлой породы и были утеряны. В ходе реализации проекта РИТЭГи были обнаружены геофизическими методами и затем извлечены с глубины 6,5 и 8,5 метров.

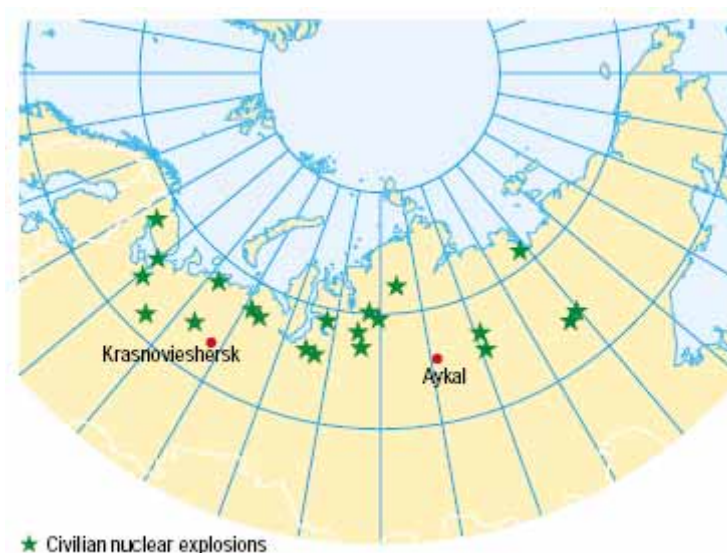
Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

Известно также, что в 2003 году штормами был разрушен маяк на побережье бухты Роджерс (о-в Врангеля), в результате чего установленный на нем РИТЭГ упал в воду, затем замыт галькой, и в настоящее время его местонахождения неизвестно.

Проблема РИТЭГов приобрела новый аспект в последние годы, когда столь острым стало осознание террористической опасности. Значительные активности в РИТ-90 на уровне ПБк и более стронция-90 (период полураспада 29 лет) позволяют использовать такие источники для изготовления «грязной бомбы». Реальные случаи демонтажа РИТЭГов охотниками за цветными металлами в заливах Белого моря, в Кольском заливе делают подобные сценарии вполне вероятными. Таким образом, обеспечение радиационной безопасности на арктическом побережье и антитеррористической готовности требует решения проблемы утилизации и замены РИТЭГов.

#### 4.3.6.2.8. Подземные ядерные взрывы в народохозяйственных целях

В период с 1965 по 1988 гг СССР осуществлял обширную программу подземных ядерных взрывов в народохозяйственных целях. Всего было проведено 116 взрывов. В основном решались задачи горной, нефтегазодобывающей и строительной промышленности. Подземные ядерные взрывы (ПЯВ) успешно использовали для гашения нефтегазовых фонтанов, создания подземных хранилищ, дробления горных пород, сейсморазведки и других подобных задач. Вблизи Полярного круга с 1971 по 1988 год было проведено 17 взрывов. В частности – два взрыва в Мурманской области, четыре в Архангельской области, один в Республике Коми, два в Тюменской области, четыре в Красноярском крае, четыре в Республике Саха (Якутия) (Михайлов В.Н. 1996).



**Рис 9.** Подземные ядерные взрывы в народохозяйственных целях на севере России

Глубины проведения ПЯВ значительно варьировали от 100 м до 3 км. Существенные вариации характеризовали и мощность взрывов (от 0,5 до 40 кт эквивалента тринитротолуола).

При глубоких взрывах выход радионуклидов в атмосферу возможен только через трещины в породах и занимает сравнительно большое время. Освобождаются прежде всего инертные газы (в особенности, изотопы ксенона) и некоторые высоколетучие элементы, такие как галогены. При неглубоких взрывах свидетельством выхода в

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

атмосферу радионуклидов служит, прежде всего, присутствие изотопов иода. В подавляющем большинстве случаев существенного радионуклидного загрязнения на поверхности вблизи места взрыва не наблюдалось.

**4.3.6.2.9. Повышенные уровни природных радионуклидов при добыче нефти и газа на шельфе**

Природными источниками излучения являются источники излучения природного происхождения, включая космическое излучение, а также земные источники излучения, присутствующие в жилищах, на шахтах, в источниках минеральных вод и т. д. Природные радионуклиды могут концентрироваться и в этом случае необходимо обеспечить выполнение норм радиационной безопасности НРБ-99/2009. Требования НРБ-99/2009 не распространяются на космическое излучение на поверхности Земли и на внутреннее облучение человека, создаваемое природным калием. Характерные значения содержания наиболее важных естественных радионуклидов в гидросфере, биосфере воздухе и почве приведены в таблице 6 (Козлов В.Ф. 1991).

Внешнее  $\gamma$ -излучение от естественных радионуклидов в основном связано с  $\gamma$ -излучающими радионуклидами уранорадиевого и ториевого рядов, а также  $^{40}\text{K}$ . Мощность поглощенной дозы в воздухе (на высоте 1 м) колеблется в пределах от 3,7 до  $9,4 \cdot 10^{-8}$  Гр/ч (Козлов В.Ф. 1991).

**Содержание некоторых естественных радионуклидов в гидросфере (г), биосфере (б), воздухе (в) и почве (п).**

**Таблица 7**

Радионуклид	Объемная или удельная активность	
	Диапазон значений	Среднее значение
$^3\text{H}$	200-900 Бк/м <sup>3</sup> (г)	400 Бк/м <sup>3</sup> (г)
$^7\text{Be}$	$3 \cdot 10^{-3}$ Бк/м <sup>3</sup> (в) $0,7 \cdot 10^{-3}$ Бк/м <sup>3</sup> (г)	
$^{14}\text{C}$	227 Бк/кг (б)	
$^{40}\text{K}$	60 Бк/кг (б) 100-700 Бк/кг (п)	370 Бк/кг (п)
$^{87}\text{Rb}$	629 Бк/кг (г) 948 Бк/кг (п)	
$^{226}\text{Ra}$	0,1-2,7 Бк/кг (г) 3,7-48 Бк/кг (п)	38 Бк/кг (п)
$^{222}\text{Rn}$	0,1-10 Бк/м <sup>3</sup> (в) вне здания	3 Бк/м <sup>3</sup> (в)

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

	5-25 Бк/м <sup>3</sup> (в) в зданиях	
<sup>238</sup> U	1,2 мк Бк/м <sup>3</sup> (в) 0,24 м Бк/кг - 2,6 Бк/кг (г) 10-50 Бк/кг (п)	25 Бк/кг (п)
<sup>232</sup> Th	7-50 Бк/кг (п)	25 Бк/кг (п)

Природные радионуклиды (ПРН) входят в состав многих полезных ископаемых как органического, так и неорганического происхождения. К этим ПРН относятся природные <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th и дочерние продукты их радиоактивного распада. В природный газ, газовый конденсат, попутные среды и получаемую продукцию радиоактивные элементы из земной поверхности попадают в виде твердых микропримесей или жидких растворов. Разработка нефти и газа на морском шельфе открывает новые пути для технологически повышенных уровней поступления природных радионуклидов в морскую среду. На этапе эксплуатации месторождений появляется такой вид отходов, как пластовые воды. По объему они намного превосходят все остальные виды отходов, и их сброс в море с промысловых платформ относится к наиболее масштабному и распространенному типу воздействия на морскую среду при добыче углеводородов на шельфе. Для химического состава пластовых вод характерна высокая минерализация, которая часто превышает соленость морской воды и может достигать 300 г/л. Кроме того, в состав пластовых вод обычно входят природные радионуклиды. Дозообразующими ПРН являются продукты распада <sup>238</sup>U - <sup>226</sup>Ra, <sup>222</sup>Rn и <sup>232</sup>Th - <sup>228</sup>Ra и <sup>220</sup>Rn (Концепция 2002). Образуются как растворимые, так и нерастворимые соли радия. Нерастворимые соединения солей радия отлагаются на поверхности труб, клапанов и даже резервуаров, создавая локальный повышенный радиационный фон. При их удалении они потребуют такого же обращения с ними, как и с другими радиоактивными отходами.

В существенно меньшей степени радиоактивность природных материалов определяется реликтовым радионуклидом калий-40 и ПРН семейства урана-235. Остальные ПРН космогенного (<sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C, <sup>7</sup>Be и др.) или реликтового происхождения (<sup>87</sup>Rb, <sup>115</sup>In, <sup>48</sup>Ca и др.) вклада в образование загрязнения природными радиоактивными материалами при добыче газа практически не вносят.

По сведениям из доклада (Rudjord A.L. 2005) в 2003 году с норвежских нефтяных платформ в Северном море было сброшено около 440 ГБк радия-226 и 380 ГБк радия-228.

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

Ранее подобные сбросы не подлежали нормативному контролю, но сейчас ситуация меняется, и в соответствии с требованиями конвенции ОСПАР теперь предусматривается минимизация радиоактивных сбросов. С начала 2006 г операторы добывающих платформ на норвежском континентальном шельфе будут обязаны проводить оценку и давать сведения о радиоактивных сбросах радия-226, 228 в морскую среду вместе с пластовыми водами. Обязательным также становится мониторинг морской среды на радиоактивность вблизи платформ. В будущем предполагается, что все пластовые воды будут собираться и вновь захораниваться. Однако, при этом нельзя исключить возможности аварий и соответственно сбросов в морскую среду повышенной природной радиоактивности.

Масштабы предполагаемой нефте/газо добычи на российском арктическом шельфе весьма велики, и поэтому будет весьма своевременно поставить на рассмотрение вопрос о готовности российских операторов контролировать сбросы повышенных уровней природной радиоактивности вблизи добывающих платформ.

#### **4.3.6.3. Пути переноса радионуклидов, уровни концентраций и дозы в Арктике**

##### **4.3.6.3.1. Воздушные пути переноса, перенос морскими течениями, речной перенос**

Основные пути воздушного переноса радионуклидов после ядерных испытаний в атмосфере обсуждались в разделе 2.1. Прежде всего, имели место локальные выпадения вблизи точки проведения испытаний, затем выпадения в широтной полосе взрыва, и, наконец, выпадения активности, рассеянной в стратосфере в течение значительных промежутков времени. Прямые измерения радиоактивности приземного слоя воздуха позволяют обнаруживать недавние выбросы радионуклидов. Например, за последние годы в АЗРФ не были обнаружены никакие существенные радионуклидные выбросы. Среднегодовые концентрации в приповерхностном слое воздуха цезия-137 составили менее  $1 \text{ мкБк/м}^3$  и  $0,2 \text{ мкБк/ м}^3$  для стронция-90. Для сравнения, в начале шестидесятых годов эта концентрация для цезия-137 могла достигать нескольких тысяч  $\text{мкБк/ м}^3$ . Особенно подробные измерения концентраций атмосферного цезия-137 за последние сорок лет были проведены в Финляндии, и они наглядно демонстрируют плавное снижение концентраций до 1986 г., а затем новый подъем (Чернобыльская авария) почти до уровня 60-х годов и плавное снижение к настоящему времени. Интегральная картина радиоактивных выпадений, суммированных по времени, отражена в уровнях поверхностного загрязнения Арктики, которые наблюдаются сегодня при учете процессов физического и экологического снижения концентраций радионуклидов в природных экосистемах.

Перенос радионуклидов морскими течениями от источников в Селлафилде (Великобритания) и на мысе Ла Аг (Франция) обсуждался в разделе 2.3. В настоящее время хорошим индикатором переноса из Ирландского моря в арктические моря служит распределение концентраций технеция-99. Для Баренцева моря моделирование процессов переноса технеция из Ирландского моря дает неплохое совпадение с наблюдаемыми экспериментальными данными. Значительные количества радионуклидов (прежде всего цезия-137 и плутония), сброшенных в Селлафилде, накапливались в донных осадках Ирландского моря. Сейчас, когда первичные сбросы радиохимического завода в Селлафилде существенно уменьшились, эти осадки сами становятся вторичным



Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

источником радионуклидов, которые по существующим путям переноса с морскими течениями попадают в арктические моря.

Специфический механизм транспорта радионуклидов в полярных районах, частично не зависящий от переноса водных масс, это перенос радиоактивности вместе с движением льдов. Так, в программе (ANWAP 1995) и позднее анализировали возможные пути переноса вместе со льдом из бассейна Карского моря (устье Оби) в пролив Фрама. Перенос со льдами оказывался более быстрым, чем перенос с водными массами. При этом перенос со льдами был тем более существенным, чем выше было связывание радионуклидов с частицами седимента. Однако отсутствие существенных радионуклидных источников как в самом Карском море, так и в устье Оби или Енисея исключает существенное практическое значение такого пути переноса.

Как уже отмечалось в разделе 2.4, нынешний перенос радионуклидов сибирскими реками в Северный Ледовитый океан не велик. Только в начале 60-х годов в водах Оби можно было обнаружить концентрации стронция-90, превышавшие 100 Бк/м<sup>3</sup>. После этого периода для всех сибирских рек характерно уменьшение концентрации радионуклидов и в настоящее время низкие концентрации характерны для всех районов АЗРФ.

#### **4.3.6.3.2. Морские пищевые цепочки и уровни доз за счет них у человека**

Показательными примерами для дозовых нагрузок, получаемых населением по морским пищевым цепочкам, могут быть результаты проекта МАГАТЭ (IAEA 2003), где оценивались прогностические дозы для населения и военного персонала в период 2000 – 3000 гг. от затопленных в СССР радиоактивных объектов в заливах и на акватории Карского моря (IAEA 1999). Были рассмотрены три критических группы: 1 – рыбаки в устье Оби-Енисея, на Ямале и Таймыре; 2- военный персонал, несущий патруль в заливах Новой Земли; 3 – основное российское население в Арктике, в частности, на Кольском полуострове. Наиболее высокими оказались прогностические дозы для военного персонала –  $2 \cdot 10^{-5}$  Зв/год в период 2100 – 2300 гг (допустимая медицинская доза облучения, согласно закону «О радиационной безопасности населения» составляет  $15 \cdot 10^{-3}$  Зв/год, т.е. в 700! раз больше), хотя само по себе патрулирование заливов Новой Земли выглядит достаточно гипотетичным. Предполагалось, что основная группа населения, 3-я, потребляет за год 50 кг рыбы, 1 кг ракообразных и 0,5 кг моллюсков. Тогда основным путем переноса оказывается потребление рыбы, а основными радионуклидами, создающими дозу, цезий-137 и плутоний-239. Сама максимальная доза от совокупности рассматриваемых источников оказывается порядка  $5 \cdot 10^{-12}$  Зв/год, что пренебрежимо мало не только по сравнению с природным радиационным фоном (UNSCEAR 2000), но и с дозой, создаваемой у человека только за счет присутствия в морских организмах обычного природного радионуклида полония-210 и равной  $1 \cdot 10^{-4}$  Зв/год. Хотя коэффициенты накопления радионуклидов в рыбе, например цезия-137, могут достигать 100, тем не менее, его концентрация в больших объемах морской воды достаточно мала и, соответственно, не велики дозовые нагрузки. В пресных водах могут наблюдаться более высокие концентрации (особенно в озерах) и соответственно более высокие дозовые нагрузки. Так, для потребляемой на Кольском полуострове морской рыбы характерные концентрации цезия-137 составили 0,5 Бк/кг сырого веса, а там же для пресноводных рыб получена величина в 60 раз большая - около 30 Бк/кг сырого веса (Borghuis A.M. 2002). Но наиболее высокие дозы радионуклидного облучения в Арктике получают олениводы по пищевой цепочке «лишайник-олень-человек».

#### 4.3.6.3.3. Пищевая цепочка «лишайник-олень-человек»

Северные олени (карибу) питаются травянистыми растениями летом и переходят на лишайники в зимнее время. Многолетние лишайники с высокой удельной поверхностью на единицу веса в больших количествах накапливают цезий-137. Концентрации цезия-137 в мясе северных оленей достигли наивысших значений в середине 60-х годов.

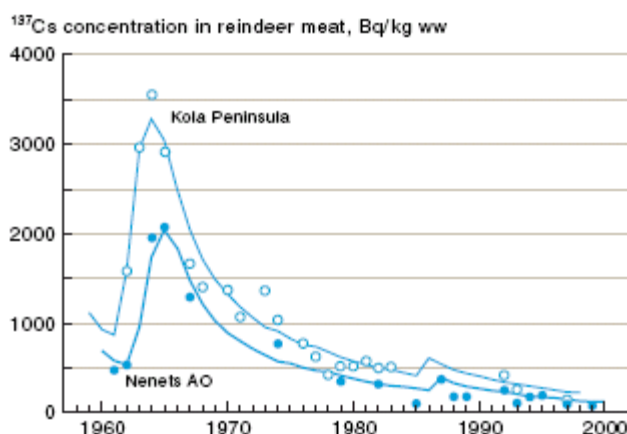


Рис. 10. Концентрация цезия-137 в мясе северного оленя в период 1957 – 2000 гг для Кольского полуострова и Ненецкого автономного округа (АМАР 2004)

После этого концентрации снизились, и только для 1986 г (Чернобыльская авария) отмечается небольшой подъем. В настоящее время (для 1998 – 2001 гг) концентрации цезия-137 в оленье мясе для Кольского полуострова составили около 70 Бк/кг сырого веса летом и 140 Бк/кг сырого веса зимой (Borghuis А.М. 2002). Те же концентрации для Ненецкого автономного округа составили соответственно 30 и 60 Бк/кг сырого веса. Различия, очевидно, обусловлены разной плотностью выпадений от Чернобыльской аварии на этих двух территориях. Вторым по значимости радионуклидом для населения Арктики является стронций-90. Его нынешние концентрации в оленье мясе Кольского полуострова и Ненецкого автономного округа (Borghuis А.М. 2002) составляют около 0,4 Бк/кг сырого веса. Помимо оленье мясе, те же группы населения могут употреблять в пищу и другие продукты с повышенным содержанием радионуклидов. Это дикорастущие ягоды и грибы, а также рыба из пресноводных водоемов. В целом это приводит к тому, что содержание радионуклидов в организме и ожидаемые дозы для популяций оленеводов, прежде всего, достаточно высоки,

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра



**Рис. 11.** Соотношение между плотностью выпадений цезия-137, его концентрациями в лишайнике и мясе северного оленя, а также содержанием радиоцезия в теле человека в период 1960 – 1995 гг (АМАР 1998).

Для радионуклидов искусственного происхождения, таких как цезий-137, принято рассчитывать «ожидаемую дозу» с 1950 г и до бесконечности. Такая индивидуальная ожидаемая доза для общины, где потребляется мясо северного оленя около 1 кг/день составит 150 мЗв. Наибольшая часть этой ожидаемой суммарной дозы определяется радиоактивными выпадениями, которые переносились в организм людей в период с 1960 по 1994 гг. Таким образом, для членов общины, получавших радиоцезий по цепочке «лишайник-олень-человек», характерны заметно более высокие дозы облучения, чем для остального населения страны.

#### **4.3.6.4. Риск потенциального облучения в Арктике**

##### **4.3.6.4.1. Потенциальное облучение при возникновении аварийных ситуаций**

По определению, потенциальным называют такое облучение, которое может произойти (или не произойти) с определенной вероятностью в результате аварии. Сама авария может возникнуть в результате осуществления цепочки событий, для каждого из которых характерна собственная вероятность возникновения. Среди возможных радиационных аварий к наиболее тяжелым последствиям и наиболее высоким дозам потенциального облучения могут приводить такие, в основе которых лежит самоподдерживающаяся цепная реакция деления (СЦР). СЦР возникает лишь в том случае, если образовалась «критическая масса» делящихся нуклидов – урана-235, плутония-239 и т.д. Прежде всего, опасность СЦР существует в энергетических ядерных реакторах, где основной процесс выделения энергии связан с использованием управляемой цепной реакции деления. Потеря контроля за управляемостью может приводить к таким авариям, как Чернобыльская. Возникновение СЦР возможно и в результате случайного образования критической массы во время операций с делящимися материалами, такими как, например, отработавшее ядерное топливо. Разумеется, предпосылки аварий в обеих ситуациях совершенно различны и их радиационные последствия будут зависеть от целого ряда условий.

Среди перечисленных в разделе 2 источников радионуклидов источниками существенного потенциального облучения (с возникновением СЦР) могут оказаться следующие типы объектов:

- АЭС в Арктике
- АЭС в пределах 1000 км от Арктики (предложено в (АМАР 2004))
- Корабли и суда в Арктике с ядерными реакторами
- Выведенные из эксплуатации корабли и суда с ядерными реакторами
- Отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) при хранении в ненадлежащих условиях

По сути дела, к этому списку можно было бы добавить и объекты, на которых находится ядерное оружие, но, во-первых, уже более чем 60-летняя история показывает, что даже при авариях с ядерным оружием (например, потеря ядерной бомбы в Туле, Гренландия, затопление АПЛ «Комсомолец» с ядерными торпедами на борту) случаев СЦР не наблюдалось, а во-вторых, вопросы оценки безопасности различных видов ядерного оружия являются закрытой информацией.

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

Оценки риска, оценки потенциального облучения обычно проводятся с целью выявления потенциально наиболее опасных объектов и принятия решений о мерах по снижению риска на них. Такие меры принято обозначать, как «вмешательство». Любое вмешательство до того, как оно приведет к уменьшению риска, может на начальном этапе работ привести к увеличению риска потенциального облучения. Например, выемка ОЯТ из ненадежных хранилищ, выемка из контейнеров и перенос в новые более надежные контейнеры связаны вначале с увеличением радиационного риска, а затем с его снижением. Такая операция становится оправданной только в том случае, если суммарное снижение риска заметно превышает его повышение на начальных этапах вмешательства. Таким образом, принятие решения о вмешательстве всегда является результатом решения оптимизационной задачи в координатах «риск, затраты, выгоды».

Повышение безопасности АЭС (при принятых АМАП предпосылках можно говорить о Кольской, Билибинской и Ленинградской АЭС) стало предметом целого ряда внутренних российских программ и международных соглашений. С целью повышения безопасности был введен целый ряд технических усовершенствований. Одновременно были выполнены программы по повышению квалификации персонала. Эта работа продолжается и в настоящее время. Однако, вся эта деятельность выходит за рамки основных проблем, рассматриваемых и решаемых в проекте ГЭФ. Поэтому из приведенных выше пяти пунктов для нас актуальными остаются три последних с явным преобладанием проблем, связанных со снятием с эксплуатации атомного флота (военного и гражданского) и элементов его инфраструктуры.

**4.3.6.4.2. Потенциальное облучение при снятии с эксплуатации объектов атомного флота и элементов его инфраструктуры**

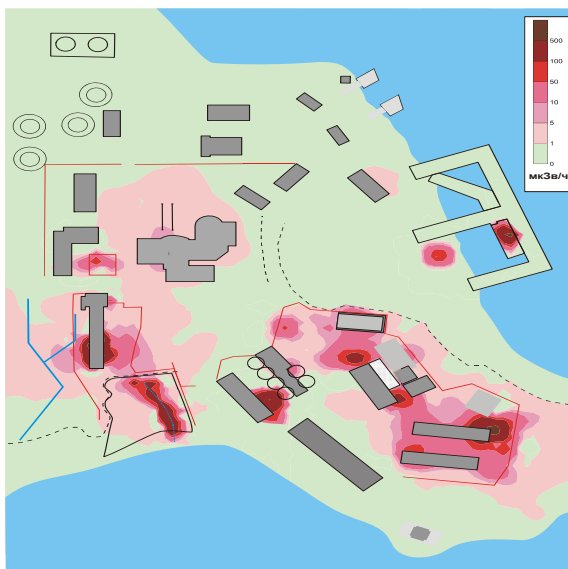
Первый очевидный источник опасности – это операции по выгрузке ОЯТ из выведенных из эксплуатации АПЛ. Так, в 1985 г., во время перегрузки топлива АПЛ в бухте Чажма на Дальнем Востоке произошла крупнейшая авария с возникновением СЦР (Белая книга 2000). Согласно таблице 4 в разделе 2.5 на Северо-Западе России на 1 января 2004 г. не было выгружено топливо из 31 АПЛ с водо-водяными реакторами, причем возраст невыгруженного ОЯТ составляет от 6 до 24 лет. В общей сложности в реакторах этих АПЛ хранится около 12000 отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) с суммарной активностью около 170 ПБк. Среди причин, обусловивших эту ситуацию, прежде всего следует назвать отсутствие достаточных приемных емкостей в местах временного хранения ОЯТ, ограничения инфраструктуры выгрузки топлива и его дальнейшей отправки на НПО «Маяк».

При сохранении ОЯТ на борту выведенных из эксплуатации АПЛ, несмотря на значительное число барьеров между топливом и окружающей средой, остается возможным целый ряд сценариев, при которых возможен выход радиоактивности. Прежде всего, легкий и прочный корпуса АПЛ имеют более тысячи отверстий, связывающих внутреннее и внешнее пространства. Поэтому всегда возможно поступление забортной воды внутрь АПЛ и, в конечном счете, затопление. Неразгруженное ОЯТ тогда в результате коррозии будет поступать в морскую воду и окажется источником радиационной опасности. В действительности, по тем или иным причинам произошло несколько затоплений АПЛ у пирса. Поддержание плавучести выведенных из эксплуатации АПЛ оказывается одной из неотложных задач. Для этого может производиться продувка балластных цистерн, а в ряде случаев цистерны заполняются пенополистиролом. Тем не менее, в 2003 г. произошла авария с затоплением АПЛ «К-159» перед входом в Кольский залив на глубине порядка 200 м (Тарас А.Е. 2006). АПЛ для выгрузки топлива и других работ по снятию с эксплуатации буксировали с береговой технической базы (БТБ) в Гремихе на судоремонтный завод «Нерпа». АПЛ поддерживали на плаву 4 понтона, и в балластные цистерны был закачан пенополистирол. Во время шторма вода проникла в прочный корпус и АПЛ затонула, хотя выход радиоактивности из АПЛ до настоящего момента не зафиксирован.

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

Помимо затопления, для АПЛ с невыгруженным ОЯТ опасность представляют пожары, взрывы случайного характера или как результат спланированных диверсионных атак. Все это говорит об острой необходимости скорейшей выгрузки ОЯТ для всех выведенных из эксплуатации АПЛ.

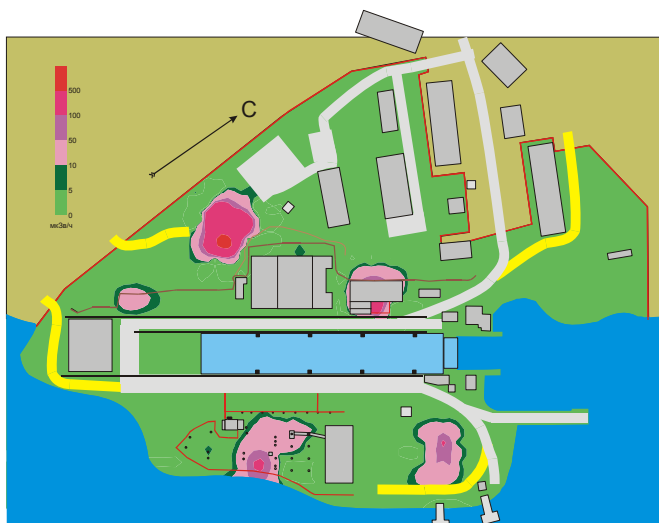
Как уже отмечалось в разделе 2.5 (таблица 4), число ОТВС, хранящихся на береговых базах в губе Андреева и Гремихе примерно вдвое превышает число ОТВС на борту АПЛ отстоя. Ранее БТБ на протяжении десятилетий активно использовали для обслуживания действующих АПЛ. На них имелись различных видов хранилища ОЯТ, ТРО, ЖРО и другие объекты инфраструктуры. В настоящее время подавляющее большинство объектов БТБ находятся в неудовлетворительном состоянии. В настоящее время наблюдается частичное разрушение сооружений. Среди причин этого – длительные сроки эксплуатации, непроведение своевременных ремонтов и тяжелые климатические условия (Strategic 2004).



**Рис. 12.** Мощность дозы гамма-излучения (на высоте 0,1 м) на территории БТБ «Губа Андреева» (Strategic 2004)



Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра



**Рис. 13.** Мощность дозы гамма-излучения (на высоте 0,1 м) на территории БТБ «Гремиха» (Strategic 2004)

Положение дел на БТБ усугубляется тем, что из-за срока давности и смены ведомственной принадлежности (в 2001 г. базы переданы из ведения ВМФ Минатому России) в настоящее время нет исчерпывающей информации об их радиационном и техническом состоянии. Особенно это касается хранящегося на базах ОЯТ. Ограниченные обследования топлива, выполненные в последние годы, показали, что его состояние крайне неудовлетворительное. Отмечено наличие поврежденных чехлов и ОТВС. Измеренные значения удельной активности воды, находящейся в отдельных ячейках хранилища, свидетельствуют о разрушении оболочек ТВЭЛов и, вероятно, начавшейся деградации топлива. Извлечение такого топлива из мест хранения представляет собой сложную инженерную задачу. Детальное обследование этого топлива затруднено из-за сложной радиационной обстановки в хранилищах (Strategic 2004).

Цели экологической реабилитации БТБ в губе Андреева и пос. Гремиха формулируются следующим образом (Strategic 2004):

- подготовка к вывозу и вывоз ОЯТ с территорий БТБ;
- сбор и переработка накопленных и образующихся в процессе реабилитации РАО с их последующим размещением в пунктах временного хранения и захоронения;
- приведение в экологически безопасное состояние объектов инфраструктуры и превращение территорий баз в безопасные для прилегающих территорий и акваторий объекты ограниченного использования (дальнейшая эксплуатация БТБ по приему ОЯТ и РАО от действующих кораблей ВМФ не предусматривается).

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

При этом ограничивающими факторами на пути достижения целей экологической реабилитации БТБ являются:

- недостаток информации по количеству, составу и состоянию ОЯТ и РАО, хранящихся на объектах;
- недостаточность информации по инженерному состоянию зданий и сооружений, гидрогеологическому состоянию объектов;
- отсутствие проектно-технологической документации и, как следствие, необходимого оборудования для обращения с ОЯТ и РАО, отвечающего современным требованиям по безопасности;

К этому перечню (Strategic 2004) следует добавить, что до сих пор никем не сформулированы целевые показатели качества окружающей среды для реабилитированных территорий, учитывающие не только требования радиационной безопасности персонала и населения, но и сохранности экосистем, флоры и фауны, входящих в ее состав.

Нельзя исключать из рассмотрения и такие объекты, как реакторные отсеки (РО), вырезанные из корпуса при утилизации АПЛ. Радиоактивность реакторных отсеков определяется в первую очередь наведенной активностью конструкционных материалов, а именно такими радионуклидами, как железо-55, кобальт-60, никель-63. Ввиду короткого периода полураспада для железа-55 (2,6 года) через 30 лет выдержки активность РО, в основном, будет определяться никелем-63 и кобальтом-60. Некоторый вклад будут вносить отложения продуктов деления в первичном контуре – цезий-137 и стронций-90. Из корпуса АПЛ реакторный отсек вырезают со смежными двумя и более отсеками или к вырезанному реакторному отсеку присоединяют специально изготовленные ёмкости для обеспечения плавучести. Такую конструкцию называют «реакторным блоком». Всего на Северо-Западе на предприятиях и в пунктах отстоя АПЛ хранится 62 реакторных блока, из которых 2 блока АПЛ класса «Альфа» с реакторами ЖМТ продолжают оставаться с невыгруженным ОЯТ. Большинство блоков 3-х отсечные (42 РБ). Суммарный радиационный потенциал реакторных блоков оценивается в 30 ПБк. Хранение РБ, в основном, осуществляется на плаву в ПВХ «Сайда» (50 РБ). Блоки ошвартованы у 5-ти плавучих причалов. Свободная емкость причального фронта ПВХ «Сайда» по состоянию на 01.01.2004 года отсутствует (Strategic 2004). Остальные реакторные блоки находятся на предприятиях и БТБ. Согласно принятой сейчас концепции в губе «Сайда» будет организован наземный пункт длительного хранения (ПДХ) реакторных отсеков. Предполагается, что РО будут вырезаны из реакторных блоков и помещены в этот ПДХ. О

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

финансовой поддержке этой программы организации ПДХ для РО в Сайда-губе заявила Германия.



**Рис. 14.** Общий вид ПВХ реакторных блоков в губе Сайда (SA 2004)

Среди возможных потенциальных источников облучения определенная роль принадлежит и радиоактивным отходам ввиду их распространенности по всем объектам и значительного суммарного объема (более 30000 м<sup>3</sup>). По оценке (Strategic 2004), на долю ТРО приходится около 27 ПБк и ЖРО около 10 ТБк активности. В скором времени проблема ЖРО должна быть снята благодаря работе передвижных установок по очистке от радионуклидов и цементированию осадков. Сложнее решить проблемы, связанные с ТРО, так как для этого необходимы значительные мощности по компактизации отходов. Одновременно должна решаться проблема вывоза ТРО для захоронения. В частности, существует проект создания хранилища низко- и среднеактивных ТРО на Новой Земле. Хранилище проектируется для зоны вечной мерзлоты. Однако, в связи с климатическим сдвигом, который особенно силен в Арктике, могут потребоваться дополнительные обоснования проекта. Общая стоимость создания хранилища оценивается от 70 до 90 миллионов долларов США (АМАР 2004).

#### **4.3.6.4.3. Выделение приоритетных задач**

Выделению приоритетных задач при снятии с эксплуатации объектов атомного флота и элементов его инфраструктуры посвящено специальное аналитическое исследование трех ведущих институтов России (Strategic 2004). Не вдаваясь в предпосылки и технические подробности анализа, приведем лишь список выделенных в этом исследовании наиболее актуальных задач:

1. Безопасное хранение АПЛ в базах отстоя
2. Доставка АПЛ из мест базирования на заводы
3. Выгрузка ОЯТ из АПЛ
4. Временное хранение и вывоз ОЯТ из региона
5. Формирование РБ
6. Сбор и изоляция РАО
7. Обращение с токсическими отходами
8. Обращение с АПЛ (РБ) проекта «Альфа» (ЖМТ)
9. Формирование РО и постановка их в ПДХ
10. Хранение судов АТО
11. Конвертирование и утилизация судов АТО
12. Обращение с ОЯТ и утилизация ПТБ «Лепсе»
13. Обращение с ОЯТ на БТБ «Губа Андреева»
14. Обращение с ОЯТ на БТБ «Гремиха»
15. Обеспечение физической защиты в местах хранения ОЯТ и РАО
16. Реабилитация зданий, сооружений и территорий на БТБ
17. Создание системы радиэкологического мониторинга объектов утилизации северо-западного региона.

Поставленные задачи должны решаться в первую очередь, через выполнение внутренних российских программ и на средства федерального бюджета. Но учитывая трансграничный характер проблем и особую чувствительность общественного мнения к вопросам радиоактивного загрязнения, значительную роль могут сыграть и программы международного научно-технического сотрудничества. Направленность этих международных программ можно рассматривать как практический выбор приоритетов. Поэтому кратко рассмотрим основные направления международного сотрудничества.

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

В 1996 г. правительства США, Норвегии и России на уровне министров обороны заключили Соглашение об экологическом сотрудничестве в военной сфере в Арктике (Arctic Military Environmental Cooperation - АМЕС) и к настоящему времени выполнили целый ряд проектов. Среди них – создание контейнеров для сухого хранения и перевозки ОЯТ, обращение с РАО, обеспечение радиационной безопасности и создание систем радиационного мониторинга. Страны Европейского Союза в конце 90-х годов образовали специальное Экологическое партнерство «северного измерения» (Northern Dimension Environmental Partnership - NDEP), с одной из центральных задач содействовать экологически безопасной комплексной утилизации российского атомного флота. В июле 2002 г. был учрежден специальный фонд под управлением Европейского банка реконструкции и развития (ЕБРР). В конце 2003 г. этот фонд и Минатом России начали разработку «Стратегического плана (мастер-плана) утилизации выведенных из эксплуатации атомных подводных лодок, надводных кораблей с ядерными энергетическими установками, судов атомно-технологического обслуживания и экологической реабилитации береговых объектов обслуживающей инфраструктуры на северо-западе России» (Strategic 2004). Среди направлений работ, подлежащих финансированию за счет средств международных партнеров следует назвать:

- повышение безопасности хранения АПЛ наплаву
- разгрузка и временное хранение ОЯТ
- разделка корпусов АПЛ с вырезанием РО
- обращение с РАО, образующимися при утилизации АПЛ
- обеспечение безопасности персонала при работах на БТБ
- планирование операций с ОЯТ на БТБ
- реабилитация зданий и сооружений на БТБ.

В июне 2002 г. страны Большой Восмерки объявили о новом Глобальном партнерстве Большой Восмерки против распространения оружия и материалов массового поражения по формуле 10 + 10 за 10 лет. В виду имеется выделение на провозглашенные цели 10 миллиардов долларов от Великобритании, Германии, Италии, Канады, Франции, Японии и России плюс 10 миллиардов долларов от США в течение 10 лет. Утилизация АПЛ и сохранность делящихся материалов оказались в числе первоочередных задач Глобального партнерства. В связи с этим большую реалистичность приобрели ранее обсуждавшиеся проекты. Например, затраты на создание ПДХ для 120 реакторных отсеков в Сайда-губе, по оценкам Минатома, нужны были около 100 млн. долларов. Правительство Германии в рамках Глобального партнерства заявило о выделении на эти цели 360 млн. долларов.

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

Возможно, что на эти средства, помимо ПДХ в губе Сайда будет также сооружен ПДХ для Дальнего Востока.

Большим прорывом в сфере международного сотрудничества стало успешное завершение длительных переговоров по многосторонней ядерно-экологической программе в Российской Федерации (MNEPR - МНЭПР). В Стокгольме 21 мая 2003 г. состоялось подписание «Рамочного соглашения о многосторонней ядерно-экологической программе в Российской Федерации». Его подписали Бельгия, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Нидерланды, Норвегия, Великобритания, США, ЕС, Россия и Евратом. Составной частью соглашения явился «Протокол по вопросам претензий, судебных разбирательств и освобождения от материальной ответственности» к соглашению МНЭПР. Потребность в соглашении была настолько велика, что на временной основе было решено, что оно вступает в действие сразу после подписания.

Соглашение МНЭПР охватывает три основных сферы деятельности:

- безопасное обращение с радиоактивными отходами
- безопасное обращение с отработавшим ядерным топливом
- обеспечение безопасности при работе ядерных реакторов, и, прежде всего, промышленных ядерных энергетических реакторов Кольской и Ленинградской АЭС.

Для всех этих сфер деятельности в соответствии с соглашением МНЭПР предусматривается:

- свободный доступ представителей донорской стороны на объекты, где производятся работы в соответствии с программой;
- освобождение от налогообложения средств, поступающих от доноров и направляемых для выполнения согласованных работ (в том числе освобождение от налога на добавленную стоимость);
- освобождение доноров от правовой ответственности перед третьей стороной при радиационных авариях и происшествиях.

В результате вступления МНЭПР в действие многие сложности в оказании научно-технической помощи, в том числе, в области утилизации АПЛ, были устранены. Таким образом, на правовую основу поставлено взаимодействие государственного предприятия «СевРАО», ответственного на северо-западе России за комплексную утилизацию атомного флота и подчиненного Росатому (Федеральному агентству по атомной энергии), с организациями, представляющими международных доноров.

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

Безусловно, проблемы комплексной утилизации атомного флота по своей остроте и значимости являются ведущими для северо-запада России. Тем не менее, ими не исчерпывается список проблем радиационной безопасности региона. В настоящее время следует уделять внимание вопросам, связанным с существованием остальных источников излучения, приведенных в разделе 2 настоящего документа. Коротко остановимся на каждом из них.

**Ядерные испытания 1945 – 1990 гг.** На Новой Земле, на территориях и акваториях непосредственно примыкающих к площадкам проведения ядерных испытаний, до сих пор остаются участки с повышенной радиоактивностью грунта. Возможное возвращение этих территорий и акваторий в хозяйственный обиход (например, строительство регионального хранилища РАО, деятельность по разведке и добыче нефти и газа, рыболовство, туризм и пр.) потребуют детальных обследований радиационной обстановки на местности.

**Чернобыльская авария 1986 г.** Загрязнение российской части Арктики от Чернобыльской аварии оказалось не столь значительным, и сейчас его роль фактически становится убывающе малой.

**Западноевропейские заводы по переработке ядерного топлива.** Необходимо продолжать контрольные наблюдения за выбросами этих заводов, и в соответствии с принятой Лондонской конвенцией политикой нулевых выбросов радиоактивности в морскую среду добиваться в будущем полного их прекращения.

**Радиохимические предприятия России.** Продолжать контрольные наблюдения в местах хранения РАО в открытых водоемах, в бассейнах рек Оби и Енисея. Хотя заметных поступлений от этих источников в Северный Ледовитый океан не ожидается, готовность к проведению необходимых контрмер следует поддерживать.

**Кольская и Билибинская атомные электрические станции.** В соответствии с подходом МАП к этому списку следовало бы добавить и Ленинградскую АЭС. Крупномасштабные меры по повышению безопасности АЭС и продлению сроков их деятельности (для ряда блоков истек запланированный 30-летний период работы) осуществляются Росатомом и другими организациями. Однако в этой сфере

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

целесообразно продолжить работы с населением и работы по повышению готовности к крупным радиационным авариям.

**Радиоизотопные термоэлектрические генераторы.** Необходима поддержка работ по замене РИТЭГов на другие источники питания. Необходимо также довести до конца инвентаризацию РИТЭГ на местах, убедиться в их сохранности и отправить на утилизацию и захоронение. Осуществить поиск, извлечение, транспортировку к месту временного хранения и последующую утилизацию РИТЭГ, утраченных вследствие разрушения навигационного оборудования в Республике Саха (Якутия) и на острове Врангеля.

**Подземные ядерные взрывы.** Как уже отмечалось в 4.3.6.2.8 при проведении некоторых подземных ядерных взрывов происходил прорыв радиоактивных газов и загрязнение прилегающих к площадке территорий. Следовало бы повторно рассмотреть имеющуюся информацию и провести измерения на местности там, где это представляется необходимым. О результатах такого анализа должна быть проинформирована общественность этих территорий.

**Повышенные уровни природных радионуклидов при добыче нефти и газа на шельфе.** Размеры опасности в этом случае будут существенно зависеть от уровней природных радионуклидов (прежде всего радия) в пластовых водах. Сбор соответствующей информации следует начинать уже при проведении разведочных работ на нефть и газ.



#### **4.3.6.5. Контроль за радиационной обстановкой в России**

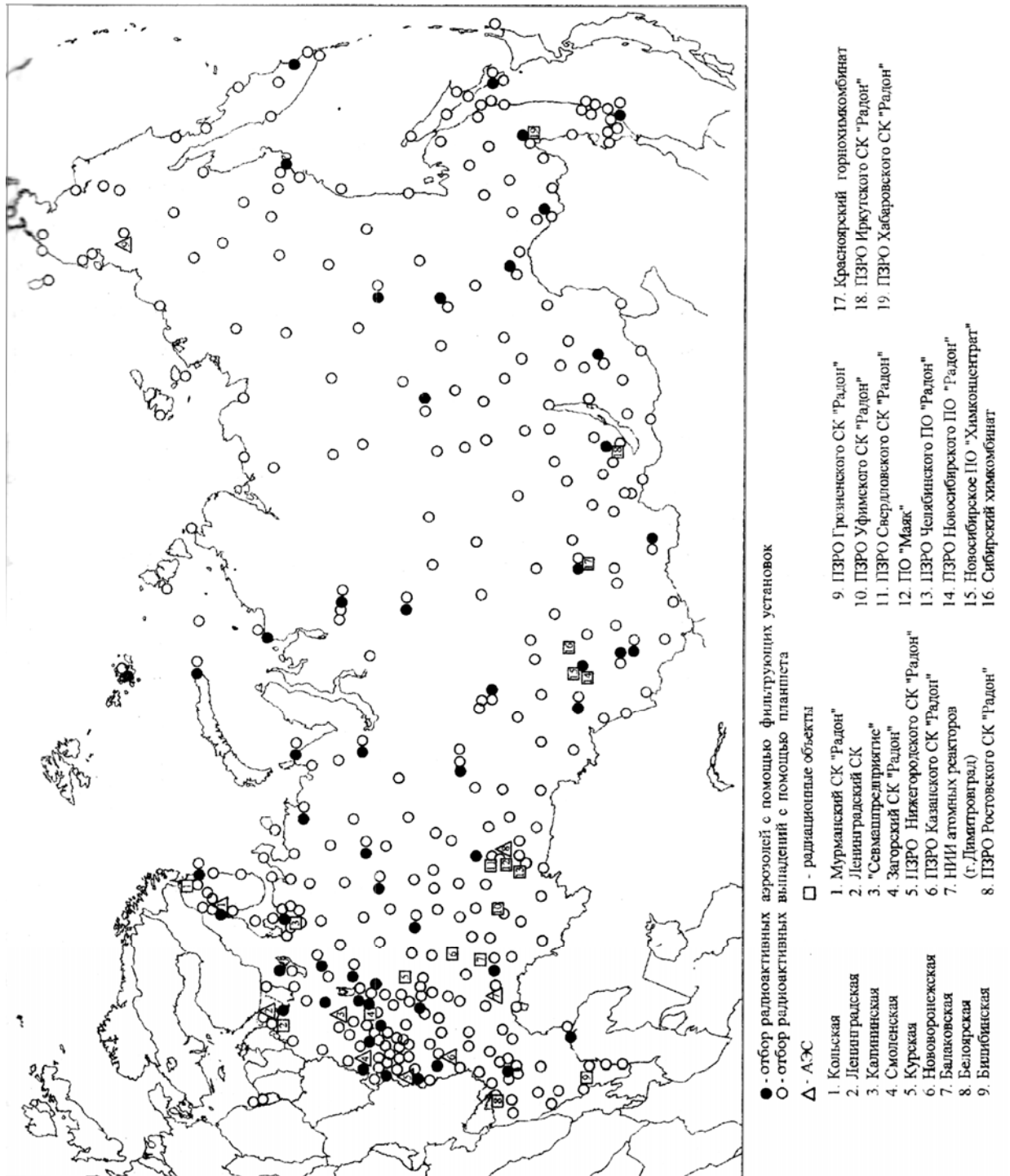
Осуществление контроля радиационной обстановки в России предусмотрено законами «О радиационной безопасности населения» (№ 3-ФЗ от 09 января 1996 года с изменениями от 22.08.2004, от 23.07.2008) и «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (№ 52-ФЗ от 30.03.99. с изменениями 2001 – 2008 гг.). Согласно Федеральному закону «О гидрометеорологической службе» № 113 от 19 июля 1998 года (с изменениями №122-ФЗ от 22.08.2004; №57-ФЗ от 03.07.2005; №19-ФЗ от 02.02.2006; №160-ФЗ от 23.07.2009) и Положением о Государственной наблюдательной сети (РД 52.04.567-2003), мониторинг радиационной обстановки осуществляют сетевые учреждения Росгидромета под методическим руководством и при непосредственным участием ГУ «НПО «Тайфун». Радиационный контроль осуществляется согласно требованиям и нормативам НРБ-99/2009. Карта-схема Государственной наблюдательной сети радиационного контроля представлена на рисунке 15 (Радиационная обстановка 2008).

Мониторинг радиоактивного загрязнения окружающей среды на территории Российской Федерации осуществляется стационарными пунктами радиационного контроля (гидрометеорологическими станциями и постами наблюдений) территориальных УГМС и ЦГМС Росгидромета, входящими в систему радиационного мониторинга (СРМ) Росгидромета. СРМ обеспечивает надежный и оперативный контроль радиационной обстановки как в обычных условиях, так и в случаях радиационных инцидентов и аварий.

Контроль радиационной обстановки, осуществляемый на Государственной наблюдательной сети, является частью Государственного экологического мониторинга. Согласно требованиям закона «Об охране окружающей среды» (№7-ФЗ от 10.01.2002), статья 67 (с изменениями №193-ФЗ от 31.12.2005) хозяйствующие субъекты, до начала строительства и в его процессе, осуществляют производственный экологический контроль. В некоторых случаях (недропользование, крупное строительство и пр.) при проведении производственного экологического контроля осуществляется и радиационный контроль. Проведение производственного радиационного контроля регламентируется различными нормативными документами, прежде всего, НРБ-99/2009, а также СП 11-102-97 (Свод правил. Инженерно-экологические изыскания для строительства), ведомственными нормативами и другими актами. В качестве примера ведомственного документа можно привести стандарт ОАО «Газпром» – «Методические указания по

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

организации и проведению производственно-экологического мониторинга линейной части магистральных газопроводов».



**Рис. 15.** Схема радиационно-опасных объектов и пунктов радиационного контроля Росгидромета

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

Нефтегазовые компании России при разведке и обоструйстве месторождений углеводородного сырья в Арктике в обязательном порядке осуществляют радиационный контроль.

На большинстве радиационно опасных объектах (РОО), к которым относятся предприятия ядерно-топливного цикла (радиохимические заводы и др.), АЭС, базы атомного флота, предприятия по утилизации атомных реакторов и ядерных отходов, пункты захоронения ядерных отходов и другие, в РФ организованы автоматизированные системы контроля радиационной обстановки (АСКРО).

В настоящее время наиболее развитые АСКРО имеют Росгидромет, Росатом, Минобороны России, Минздравсоцразвития России и Минсельхоз России. Дальнейшие сведения о ведомственных системах контроля радиационной обстановки взяты из соответствующего отчёта. (Отчет о НИР 2003)

Радиационный контроль в системе Росатома осуществляется объектовыми системами контроля, функционирующими на всех радиационно-опасных объектах отрасли. Основными задачами этих систем являются обнаружение возможных утечек радиоактивных продуктов в звеньях технологического цикла, контроль дозовых уровней в рабочих помещениях, информационное обеспечение мероприятий по соблюдению норм радиационной безопасности, контроль сбросов и выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду. Функционируют объектовые службы внешней дозиметрии, осуществляющие регулярные наблюдения за уровнями радиоактивного загрязнения объектов природной среды на территориях санитарно-защитных зон и зон наблюдения РОО. На ряде объектов оборудованы автоматизированные системы контроля мощности дозы, функционирующие в непрерывном режиме, проводятся работы по их совершенствованию.

Контроль радиационной обстановки на объектах Минобороны России осуществляется специально подготовленными подразделениями, оснащенными необходимыми техническими средствами радиационной разведки. Измерения проводятся в автоматизированном и неавтоматизированном режиме. Ведутся работы по созданию автоматизированной системы "Верёя". Система «Верёя» состоит из подсистем видов

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

Вооруженных Сил и подсистем военных округов (флотов). В каждой из территориальных зон ответственности в пределах округа действует сеть лабораторного контроля, обеспечивающая своевременную доставку проб от средств разведки в специальные лаборатории и их анализ. Информация от всех объектов в пределах военного округа в установленном порядке передается в пункты управления соответствующих зон ответственности и по подчиненности. В этих пунктах информация обобщается, после чего передается непосредственно на пункт управления подсистемы военных округов, а затем в оперативно-координационный центр системы.

В Минздравсоцразвития России контроль радиационного благополучия населения осуществляют около 230 радиологических подразделений территориальных центров службы Госсанэпиднадзора, оснащенных лабораторным оборудованием для проведения радиометрических, дозиметрических и спектрометрических исследований. Ежегодно производится несколько сотен тысяч таких исследований. Контролируется содержание радиоактивных веществ в продуктах питания, питьевой воде и среде обитания человека. Осуществляется контроль сохранности и безопасного использования источников ионизирующих излучений, а также выборочный контроль и оценка доз облучения персонала объектов и населения. На особо радиационно-опасных объектах и прилегающих к ним территориях контроль облучения обеспечивается силами специальной службы медико-санитарного обеспечения, находящейся в ведении Федерального управления медико-биологических и экстремальных проблем при Минздравсоцразвития России. В состав этой службы входит около 100 медико-санитарных частей и санитарно-эпидемиологических станций, которые функционируют и осуществляют контроль облучения населения в районах размещения РОО.

Служба радиологического контроля Минсельха России включает в себя государственные агрохимическую и ветеринарную службы. Первая силами радиологических отделов свыше 100 центров и станций агрохимслужбы и 7 центров агрохимрадиологии осуществляет радиационный контроль почв сельскохозяйственных угодий, продукции растениеводства, кормов и удобрений. Вторая силами более 80 радиологических отделов ветеринарных лабораторий субъектов Российской Федерации, 1200 районных и межрайонных лабораторий, 1500 лабораторий ветсанэкспертизы на рынках, а также производственных ветеринарных лабораторий перерабатывающих предприятий

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

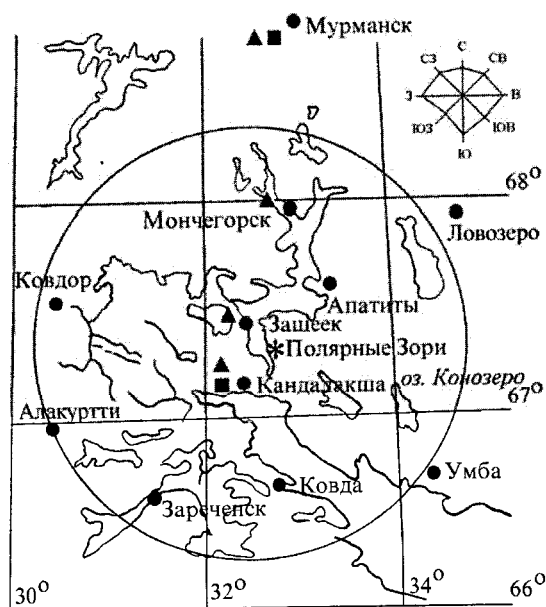
осуществляет надзор за соблюдением ветеринарно-санитарных правил при производстве, переработке, хранении, транспортировке животноводческой продукции и при продаже сельхозпродукции на рынках. В течение многих лет на более чем 1700 контрольных участках и 400 контрольных пунктах, распределенных по всей территории России, проводятся систематические радиологические измерения. Ежегодно проводится свыше 1 млн. радиометрических, спектрометрических и радиохимических исследований и свыше 4 млн. измерений уровней гамма-фона.

На всей территории страны действует сеть наблюдения и лабораторного контроля, руководимая МЧС России. В чрезвычайных ситуациях в нее включаются подразделения контроля радиационной обстановки вышеперечисленных и некоторых других министерств и ведомств (Минприроды России, Рослесхоз и др.). В целом она насчитывает свыше 40 специализированных научно-исследовательских организаций и около 1000 лабораторий местного уровня различной ведомственной принадлежности. Поступающая из этой сети информация используется для принятия решений органами управления МЧС России, в рамках которого действует Автоматизированная информационно-управляющая система для обеспечения деятельности Российской системы предупреждения и действий в чрезвычайных ситуациях (АИУС РСЧС).

Основными недостатками действующих систем и служб контроля радиационной обстановки являются низкая оперативность получения, обобщения информации о параметрах радиационной обстановки, отсутствие необходимой координации в функционировании этих систем, методическая и метрологическая разобщенность, а также информационные барьеры, препятствующие комплексной оценке всей совокупности данных измерений. Существующая в настоящее время система контроля радиационной обстановки на территории Российской Федерации не является единым целым ни в организационном, ни в техническом, ни в методических планах. Данные, получаемые различными системами и службами, нередко дублируют друг друга и обычно трудно сопоставимы. Слабо проработаны вопросы автоматизации процедур принятия решений в области управления радиационной безопасностью, из-за чего получаемая информация о реальной и прогнозируемой радиационной обстановке используется с опозданием и неэффективно.

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

В качестве примера функционирования АСКРО, на рисунке 16 приведена схема расположения пунктов контроля радиационной обстановки в 100 км зоне вокруг Кольской АЭС.



. Расположение пунктов радиационного мониторинга в 100-км зоне вокруг КоАЭС:

- \* – АЭС;
- – наблюдения за  $\gamma$ -фоном;
- ▲ – отбор проб атмосферных выпадений;
- – отбор проб атмосферных аэрозолей.

**Рис. 16.**

В последние годы, исходя из требований законов («О радиационной безопасности населения» и «Об использовании атомной энергии») и нормативных актов о повышении радиационной безопасности населения, проживающих вблизи радиационно-опасных объектов, в России создается Единая государственная автоматизированная система контроля радиационной обстановки. ЕГАСКРО создается путем интеграции существующих государственных и ведомственных систем радиационного контроля путем повышения уровня автоматизации процессов их функционирования, совершенствования и унификации измерительной и методической базы.

Система радиационного мониторинга Росгидромета рассматривается в рамках ЕГАСКРО и как измерительная система и как основа для построения функциональной подсистемы ЕГАСКРО, ответственной за информационное объединение ведомственных подсистем, осуществляющих наблюдение за состоянием загрязнения окружающей природной среды

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

на единых научно-методических подходах, и территориальных подсистем субъектов Российской Федерации по контролю радиоактивного загрязнения окружающей природной среды.

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

**4.3.6.6. Литература к разделу**

Белая книга РФ, «Факты и проблемы, связанные с захоронением радиоактивных отходов в морях, омывающих территорию Российской Федерации» / А.В. Яблоков и группа авторов/ Администрация Президента Российской Федерации, Москва, апрель 1993 г.

«Белая книга – 2000», Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. Радиозоологические последствия удаления радиоактивных отходов в арктические и дальневосточные моря/Ю.В. Сивинцев и группа авторов/Москва, ИздАТ, 2005 г.

Израэль Ю.А. и сотр., Чернобыль: радиоактивное загрязнение окружающей среды, Ленинград, ГМИ, 1990 г.

Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1991.

Концепция обеспечения радиационной безопасности в дочерних обществах и организациях ОАО «Газпром». М., 2002

Крышев И. и Рязанцев Е., Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России, М., ИздАТ, 2000 г.

Михайлов В.Н. и соавт., Испытания ядерного оружия и ядерные взрывы в мирных целях в СССР, 1949 – 1990 гг., РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, 1996 г.

Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009), СанПин 2.6.1.2523-09 М., Минздрав России, 2009 г.

Отчет о НИР «Программа работ по созданию системы мониторинга радиационной обстановки на предприятиях ОАО «Газпром» и в зоне их влияния» Договор № 03/А-02 от 25.04.2003

Отчёт по итогам оценки деятельности Министерства охраны природы Республики Саха (Якутия) по реализации задач и осуществлению функций согласно Положениям о Министерстве охраны природы Республики Саха (Якутия) и его коллегии 2008.

Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2008 г. Ежегодник. Росгидромет, Обнинск 2008 г.

Госкорпорация «Росатом», 2009 Отчёт по безопасности

Рылов М.И. и М.Н. Тихонов, Проблемы радиационной безопасности при обращении с радиоизотопными термоэлектрическими генераторами, Атомная стратегия, № 1 (6), Санкт Петербург, 2003

Тарас А.Е. Атомный подводный флот 1955-2005 М.: АСТ, Мн.: Харвест, 2006



Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

Труды международного семинара “Послесловие к Белой книге”, Лазурит, Н. Новгород, январь 1998 г.

Ядерные взрывы в СССР, вып.1 и вып. 2, Северный испытательный полигон, Справочная информация, М., 1992

Ядерные взрывы в СССР, вып.3, Семипалатинский испытательный полигон, Справочная информация, М., 1993

ANWAP, Arctic Nuclear Waste Assessment Program Workshop, Woods Hole, 1995

AMAP, Arctic Pollution Issues: A State of the Arctic Environment Report. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 1997

AMAP, Assessment Report: Arctic Pollution Issues. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 1998

AMAP, Arctic Pollution 2002, AMAP, Oslo, Norway, 2002

AMAP Radioactivity in the Arctic, AMAP Assessment Report, Oslo, Norway, 2004

Bellona 24.042009

Borghuis A.M., A.Liland and P.Strand (eds.), Arctic vulnerability to radioactive contamination, NRPA, Oesteras, 2002

K.Crane, J.Galasso, Arctic Environmental Atlas, ONR, NRL, Hunter College, 1999

ERA, First International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic, NRPA, Norway, Kirkenes, 23-27 August 1993

ERA, Second International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic, NRPA, Norway, Oslo, 21-25 August 1995

ERA, Third International Symposium on Environmental Radioactivity in the Arctic, NRPA, Norway, Tromsø, 2-6 June 1997

ERA, Fourth International Symposium on Environmental Radioactivity in the Arctic, NRPA, Scotland, Edinburgh, 20-23 September 1999

ERA, Fifth International Symposium on Environmental Radioactivity in the Arctic&Antarctic, NRPA, Russia, St.Petersburg, 16-20 June 2002

ERA, Sixth International Symposium on Environmental Radioactivity in the Arctic&Antarctic, NRPA, France, Nice, 2-6 October 2005

Eisenbud M. and T.Gesell, Environmental Radioactivity from Natural, Industrial and Military Sources, Acad.Press, CA, 1997

IAEA, Safety Series 78, Sea dumping requirements for RW, 1978

Глава 4. Состояние загрязнения окружающей среды на территориях и акваториях, полностью или частично входящих в АЗРФ, а также Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра

IAEA, IAEA-TECDOC-1075, Radioactivity in the Arctic Seas, 1999

IAEA 2003, IAEA-TECDOC-1330, Modelling of the Radionuclide Impact of Radioactive Waste Dumping in the Arctic Seas, IAEA 2003

LDC 1972, Лондонская конвенция по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов 1972 г. (ратифицирована СССР 15.12.1979г.- Сб. действующих договоров, соглашений и конвенций М., 1978, вып.32)

Lystsov V.N. and Khlopkin N.S., Current radioactive contamination issues in the Arctic North and operation and infrastructure of the Russian nuclear fleet, In: Decommissioned Submarines in the Russian Northwest, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 1996

NRPA, Standring W. et al., Assessment of environmental, health and safety consequences of decommissioning radioisotopic thermal generators (RTGs) in North West Russia, Report 4, NRPA, 2005

RES, Radioactivity and Environmental Security in the Oceans: New research and policy priorities in the Arctic and North Atlantic, Woods Hole, 1993

Rudjord A.L., T. Gafvert, T. Bergan, Enhanced levels of naturally occurring radioactivity in the oil and gas industry, AMAP Symposium on Oil/Gas Assessment, SPb, September 2005

Strategic approaches in solving decommissioning problems of retired Russian nuclear fleet in the North-West region, Ed: A.A.Sarkisov, Moscow, 2004

The Radiation Legacy of the Soviet Nuclear Complex (An analytical overview). Eds.: N.Egorov, V.Novikov, F.Parker, V.Popov, IASA, Earthscan, London, 2000

UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation, v. I-II, UN, 2000

Vakulovsky S.M., Transport of Artificial Radioactivity by the Ob to the Arctic seas, In: ERA 1993, First International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic, NRPA, Norway, Kirkenes, 23-27 August 1993

Vakulovsky S.M. et al., Radioactive contamination of the Yenisei River, Journal of Environmental Radioactivity, v.29(3),pp. 225-236, 1995

WAC, Workshop on Arctic Contamination, US IARPC, Anchorage, May 2-7, 1993