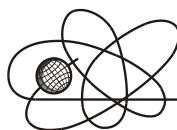




*Российская Академия Наук*

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ  
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ  
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**



**ИБРАЭ**

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**NUCLEAR SAFETY  
INSTITUTE**

Препринт ИБРАЭ № IBRAE-2001-12

Preprint IBRAE-2001-12

**Данилян В.А., Высоцкий В.Л., Никитин В.С., Сеницкая Е.А.,  
Стоянова Д.А., Харитонов Е.И., Хребтова И.В., Шепурев А.М.**

**ВЛИЯНИЕ УТИЛИЗАЦИИ АТОМНЫХ  
ПОДВОДНЫХ ЛОДОК НА ЭКОЛОГИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ЦЕНТРА АТОМНОГО  
СУДОСТРОЕНИЯ РОССИИ**

Москва  
2001

Moscow  
2001

УДК 504.054

Данилян В.А., Высоцкий В.Л., Никитин В.С., Сеницкая Е.А., Стоянова Д.А., Харитонов Е.И., Хребтова И.В., Шепурев А.М. ВЛИЯНИЕ УТИЛИЗАЦИИ АТОМНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК НА ЭКОЛОГИЮ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЦЕНТРА АТОМНОГО СУДОСТРОЕНИЯ РОССИИ. Препринт ИБРАЭ-2001-12. Москва: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2001. 36 с. — Библиогр.: 24 назв.

#### Аннотация

В работе, на основе данных многолетних наблюдений, проведен сравнительный анализ влияния на экологическую обстановку г. Северодвинска, ремонта и утилизации атомных подводных лодок на ГРЦАС. Дана оценка действующей системе экологического контроля объектов окружающей природной среды в динамике увеличения производственных мощностей ГРЦАС. Даны рекомендации по совершенствованию системы радиоэкологического мониторинга, ее методологического и методологического обеспечения для всесторонней оценки радиационных рисков.

©ИБРАЭ РАН, 2001

Danilyan V.A., Vysotskiy V.L., Nikitin V.S., Sinitskaya E.A., Stoyanova D.A., Kharitonov E.I., Khrebetova I.V., Shepurev A.M. IMPACTS OF NUCLEAR SUBMARINE DISMANTELMENT AND SALVAGING ON THE ECOLOGICAL STATE OF THE SITE OF THE RUSSIAN STATECENTER OF NUCLEA SHIPBUILDING (In Russian). Preprint IBRAE-2001-12. Moscow: Nuclear Safety Institute RAS, June 2001. 36 p. — Refs.: 24 items.

#### Abstract

The report presented is dealing with the impact of repair, dismantlement and salvaging of nuclear submarines carrying out in Russian State Center of Nuclear Shipbuilding (RSCNS) on the ecological situation of Severodvinsk-town. The research is based on comparative analysis of the data obtained in the course of long-term observations. An estimate of the existent system of the ecological monitoring over different components of the environment in the context of RSCNS increasing productive capacities is presented. Recommendations concerning improvements of the radioecological monitoring system and of its strategic baselines in order to estimate radiation risks from different points of view are given.

©Nuclear Safety Institute, 2001

# ВЛИЯНИЕ УТИЛИЗАЦИИ АТОМНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК НА ЭКОЛОГИЮ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЦЕНТРА АТОМНОГО СУДОСТРОЕНИЯ РОССИИ

*Данилян В.А. \*, Высоцкий В.Л., \*\* Никитин В.С. \*\*\*, Сеницкая Е.А., \*\*\*\*  
Стоянова Д.А. \*\*\*\*\*, Харитонов Е.И. \*\*\*\*\*, Хребтова И.В. \*\*\*\*\*, Шенурев А.М. \*\*\*\*\**

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ  
113191, Москва, ул. Б. Тульская, 52  
тел.: (095) 955-22-61, факс: (095) 958-11-51, эл. почта: [valdan@ibrae.ac.ru](mailto:valdan@ibrae.ac.ru)

\* - Институт Проблем Безопасного Развития Атомной Энергетики  
\*\* - ВМФ Российской Федерации  
\*\*\* - ГУП НИПТБ "Онега"  
\*\*\*\* - ФГУП "ГМП "Звездочка"  
\*\*\*\*\* - ГУП "ПО Севмаш"

## Содержание

Введение .....	4
1. Основные этапы разделки АПЛ и образование химических отходов .....	6
2. Влияние химических отходов на экологию Никольского устья .....	8
3. Поступление техногенных радионуклидов в окружающую среду при утилизации, ремонте АПЛ и радиационных авариях АЭУ .....	9
3.1. Содержание техногенных радионуклидов в аэрозолях при утилизации АПЛ .....	9
3.2. Содержание техногенных радионуклидов в аэрозолях при ремонте АПЛ и судов технологического обслуживания .....	12
3.3. Состояние радиоэкологической обстановки на акватории Никольского устья при утилизации и ремонте АПЛ .....	14
3.4. Последствия для окружающей среды радиационной аварии, произошедшей при перезарядке активной зоны реактора .....	21
4. Прогноз изменения экологической обстановки при увеличении объемов утилизации АПЛ и возникновении радиационных аварий на АЭУ .....	23
4.1. Ожидаемое изменение загрязнения окружающей среды химическими веществами .....	23
4.2. Ожидаемое изменение загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами .....	25
4.3. Радиоактивное загрязнение окружающей среды и дозовые нагрузки, возникающие при проектных и запроектных авариях АЭУ .....	26
5. Радиоэкологическая опасность утилизации атомных подводных лодок .....	30
5.1. Методические подходы оценки радиационных рисков .....	30
5.2. Оценка радиоэкологической опасности утилизации АПЛ .....	32
Выводы и заключение .....	34
Литература .....	35

## Введение

Постановлением правительства от 26 марта 1992 года г. Северодвинску присвоен статус Государственного центра атомного судостроения России. Тем самым официально признан выдающийся вклад города в создание ядерных подводных сил Военно-Морского Флота. Именно здесь в 1957 году был спущен на воду первенец атомного флота АПЛ “Ленинский комсомолец”, а в начале восьмидесятых – самая большая в мире атомная подводная лодка “Тайфун”, которая внесена в книгу рекордов Гиннесса.

В настоящее время Государственный центр атомного судостроения, включающий ФГУП “ГМП “Звездочка” и ГУП “ПО Севмаш”, продолжая строительство АПЛ, основное внимание уделяет утилизации кораблей с атомными энергетическими установками. Утилизация – завершающий этап жизненного цикла любой военной техники, а АПЛ – одно из самых сложных ее инженерных конструкций.

В мире построено около 500 АПЛ, из которых 300 выведено из боевого состава. В России из 249 АПЛ более 180 уже почти 10 лет ожидают своей очереди на утилизацию, а 150 из них пройдут (44 прошли) через заводские цеха Государственного центра атомного судостроения. При утилизации решаются две главных задачи – разделка нерадиоактивных оконечностей АПЛ и подготовка к длительному хранению реакторных отсеков с атомными энергетическими установками (АЭУ).

Существующие и перспективные технологии не позволяют преодолевать эти этапы без частичного загрязнения окружающей природной среды (ОПС) химическими и радиоактивными веществами. Вопросы заключаются в том, в какой мере это влияние негативно отражается на человеке и ОПС в настоящее время, и в какой степени оно проявит себя в будущем.

Для получения ответов на данные вопросы, регулирования и ограничения до минимума загрязнения ОПС, предупреждения неблагоприятного воздействия химических и радиационных факторов на человека, а также сокращения сроков утилизации АПЛ на ФГУП “ГМП “Звездочка” и ГУП “ПО Севмаш” проводятся химический и радиационный мониторинги. Используются новые безопасные технологии, применяется современное высокопроизводительное оборудование и ведутся научно-исследовательские работы.

В частности, в обеспечение безопасности проведения самого опасного этапа утилизации АПЛ – разделки АЭУ, в 2001 г. на ФГУП “ГМП “Звездочка” вводится в эксплуатацию современный береговой комплекс по выгрузке отработавшего ядерного топлива (ОЯТ, рис. 1). Ожидается, что темпы выгрузки возрастут и составят в 2002 г.г. – 4 АПЛ, в 2003-04 г.г. – по 6 АПЛ, а в 2005-10 г.г. – по 10 АПЛ в год.

По сравнению с прошедшими годами технологическая нагрузка увеличится в 1,5-3 раза. Справится ли с ней существующая система экологического контроля, хватит резерва заводских мощностей и компенсирующих возможностей региона для защиты человека и ОПС от воздействия вредных химических и радиоактивных веществ – это тот круг вопросов, которые и предстоит обсудить в настоящей работе.



## 1. Основные этапы разделки АПЛ и образование химических отходов

В настоящее время разделка АПЛ производится тепловым и механическим методами и состоит из четырех этапов. На первом - снимаются конструкции расположенные выше ватерлинии и внутри корпуса у пирса на плаву (применяется ацетилено-кислородная резка). На втором - ликвидируются пусковые установки баллистических ракет (ацетилено-кислородная и газо-кислородная резки). Третий этап включает демонтаж крупногабаритных секций после выполнения доковой операции (ацетилено-кислородная резка). Четвертый - более насыщенный различными видами работ. Он включает разделку секций, демонтаж корпусных покрытий, сортировку по маркам металлолома и подготовку товарных блоков (газо-кислородная, механическая резки). При этом все работы, включая 1-3 этапы, ведутся параллельно (рис. 2 [1]).

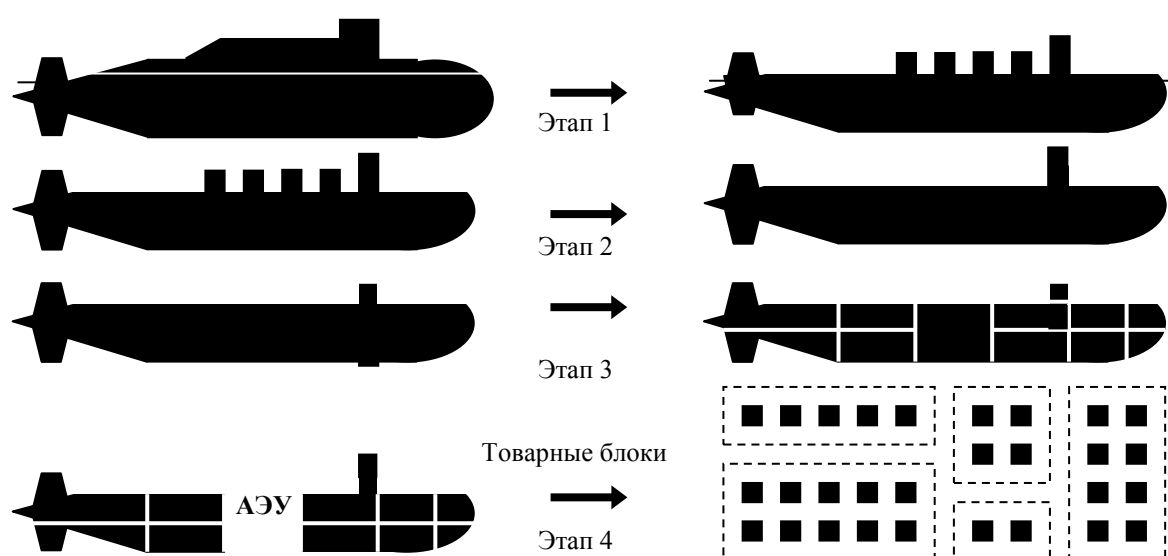


Рис.2. Этапы утилизации корпусных конструкций АПЛ

Кислородно-ацетиленовая резка является основным и традиционным видом разделки корпусных конструкций. Кислородно-газовая (пропан-бутан, природный газ) применяется при обработке крупногабаритных секций. Она заменяет ацетиленовую технологию, но с точки зрения воздействия на окружающую среду они не отличаются друг от друга. Плазменная резка используется только при разделке цветных металлов и сплавов.

Вредные химические вещества выделяются в виде аэрозолей. Они состоят из окислов и ингредиентов, обрабатываемых материалов. Проникая через органы дыхания и слизистую оболочку проявляют себя как токсические (марганец, окись хрома, окись углерода, фтористый водород, пары хладонов, кислот, щелочей, масла и др), раздражающие (окислы хрома, азота, фтористый водород и др.), аллергические (окислы хрома, формальдегид и др.) и фиброгенные (асбест, цемент, стекловолокно, пробка и др.) компоненты.

Одновременно, выделяющиеся газы, вызывают раздражение, удушье и могут привести к общему отравлению человека. Пыль имеет высокую степень дисперсности и способна глубоко проникать в дыхательные пути. Она особенно опасна при обработке хромистых, хромоникелевых и марганцевых сталей. Характерными компонентами вредных выделений при механической резке являются смеси твердых частиц разрезаемого материала и режущего инструмента.

Перед проведением газорезательных работ линия реза зачищается от существующих покрытий, чтобы предупредить их возгорание, а также образование большого количества токсичных веществ и газов. Неметаллические отходы имеют сложный состав и включают: резиновое, лакокрасочные покрытия, тепло-

вую изоляцию, линолиум, пластик, герметик и пр. Демонтаж ведется механическим способом, в результате чего постоянно образуется пыль (рис. 3).

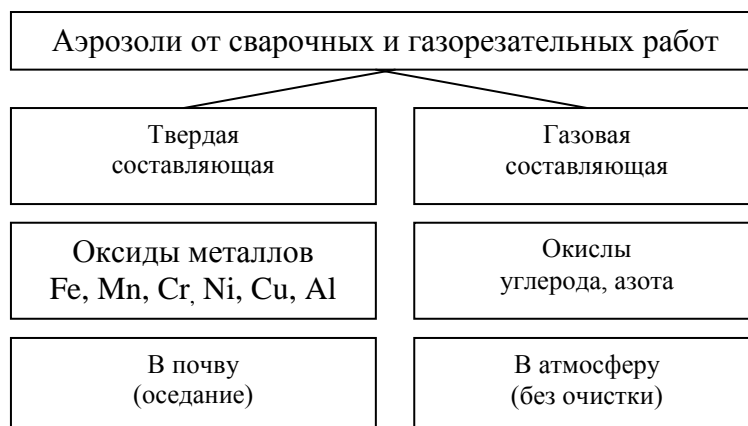


Рис. 3. Схема образования и распространения летучих отходов в окружающей среде при утилизации АПЛ

В течение года на предприятиях образуется от 35 до 45 тонн аэрозолей оксидов металлов, из которых не менее 99 % улавливается и оседает на их территориях, а остальная часть рассеивается в приземном слое атмосферы, захватывая г. Северодвинск и прилегающие населенные пункты. Наибольшее количество загрязняющих веществ приходится на пыль и окислы углерода. Однако их содержание уже в санитарно-защитной зоне (500 м) не превышает предельно допустимых концентраций (ПДК), не говоря о других соединениях, которых остается в десятки и сотни раз ниже норм (табл. 1).

Таблица 1. Концентрации химических отходов в воздухе г. Северодвинска, образующиеся при утилизации АПЛ и кратность превышения ими ПДК

Вредные химические вещества	Концентрация, мг/м <sup>3</sup>		Кратность превышения ПДК
	Средняя	Максимальная	
Пыль	0,1	0,15	0,2-0,3
Двуокись азота	≤ 0,00085	-	≤ 0,01
Хромовый ангидрид	≤ 0,000015	-	≤ 0,01
Оксид марганца	≤ 0,0001	-	≤ 0,01
Сернистый ангидрид	≤ 0,005	-	≤ 0,01
Оксиды углерода	0,38	0,44	0,7-0,9
Оксид никеля	≤ 0,00001	-	≤ 0,01
Оксид железа	≤ 0,0004	-	≤ 0,01

**Примечание.** В таблице приведены данные за 1997 г. осредненные по 204 измерениям для каждого вещества. Пост расположен в центре города на удалении 800 м от ГУП “ПО Севмаш” (пересечение улиц Профсоюзной и Первомайской). Отбор проб производился при ветрах северного и северо-западного направлений.

Основная масса отходов, содержащих вредные химические вещества, собирается в специальные контейнеры и хранится на территории предприятий. При утилизации 2-3 АПЛ в год накапливается 3000-5000 тонн таких веществ (табл. 2).

Таблица 2. Оценочное количество различных видов отходов, образующихся на предприятиях, при утилизации АПЛ, тонн/год

Тип отходов	Наименование	Количество
Газообразные Твердые	Оксиды металлов	35 – 45
	Люминесцентные лампы (штук в год)	11000 – 13000
	Резина	2300 – 2700
	Изоляция с оболочкой электрокабеля	500 – 900
	Изоляционные материалы	150 – 170

Тип отходов	Наименование	Количество
Жидкие	Теплоизоляция	150 – 170
	Асбестосодержащие вещества	100 – 120
	Пластик	90 – 120
	Полимерные материалы	50 – 70
	Отвержденные лакокрасочные материалы, смолы, герметики, компаунды	25 – 35
	Нефтепродукты	180 – 220
	Нефтесодержащие воды	30 – 50
	Гидравлические жидкости	30 – 50
	Электролит	30 – 40
	Хладоны	3 – 5

## 2. Влияние химических отходов на экологию Никольского устья

По технологии после предварительной очистки, часть жидких отходов совместно с канализационными водами сбрасывается на акваторию Никольского устья, которое является внутренним проточным водоемом для ФГУП "ГМП "Звездочка" и ГУП "ПО Севмаш" и выносятся в Двинской залив (табл. 3).

**Таблица 3. Концентрации загрязняющих веществ, сбрасываемые ГУП "ПО Севмаш", в Никольское устье с канализационными водами, мг/л**

Вредные хим. в-ва	Номера выпусков ливневой канализации											ПДК*
	3а	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	
БПК полное	4,02	3,33	2,64	4,34	3,21	3,84	3,45	3,64	4,66	4,20	3,76	6,00
Взвешенные вещества	19,9	10,7	30,5	9,30	24,9	12,7	10,8	19,5	18,2	31,6	18,7	13,6
Нефтепродукты	0,52	0,76	0,80	1,01	0,90	1,28	0,47	1,37	0,91	1,00	1,34	0,30
Азот аммонийный	1,38	0,42	0,23	0,52	0,26	0,41	0,52	0,28	0,81	0,59	0,86	2,00
Азот нитратов	0,42	0,11	0,07	0,13	0,05	0,11	0,18	0,10	0,25	0,13	0,13	10,2
Азот нитритов	0,09	0,03	0,02	0,03	0,04	0,02	0,10	0,01	0,08	0,07	0,03	0,50
Фосфаты	0,27	0,28	0,08	0,07	0,06	0,18	0,30	0,21	1,02	0,91	1,08	3,50
Хром 6+	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,01	0,05
Железо	1,65	0,73	0,87	1,66	1,31	0,72	0,67	0,82	0,70	1,28	0,61	0,30
Цинк	0,14	0,17	0,12	0,14	0,19	0,13	0,12	0,15	0,13	0,11	0,16	1,00
Никель	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,1
Медь	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	1,00
Свинец	0,003	0,006	0,001	0,008	0,001	0,001	0,003	0,006	0,035	0,037	0,003	0,015
Кадмий	0,001	≤ 0,001	0,001	≤ 0,001	≤ 0,001	0,001	0,001	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,001	0,001	0,001

**Примечание.** ПДК – предельно допустимая концентрация для водоемов культурно-бытового назначения [2]. В таблице приведены осредненные данные за 1997 г., замеры проводились по каждому выпуску два раза в месяц. Погрешность измерений 10%.

Из данных, приведенных в табл. 3, видно, что в воду Никольского устья из ливневой канализации, в концентрациях превышающих ПДК, поступают взвешенные вещества, нефтепродукты и соединения железа. Принимая во внимание высокие сорбционные свойства взвесей и железа, можно ожидать повышенное содержание выбрасываемых металлов в донных отложениях непосредственно вблизи мест слива данных отходов, а также в воде на взвесах, мелкодисперсная составляющая которых легко переносится на большие расстояния.

В тоже время азотсодержащие соединения хорошо растворимы в воде и не представляют большой угрозы для человека и ОПС. Нефтепродукты в зависимости от интенсивности переноса способны вызывать загрязнение прибрежной полосы, а их высокомолекулярные соединения - оседать на дно, губительно влияя на гидробионты и растительность.



Контроль за состоянием загрязненности Никольского устья свидетельствует, что отмеченные выше вещества постоянно обнаруживаются в воде, а отдельные (нефтепродукты, железо, взвешенные вещества) - в концентрациях превышающие ПДК. При этом их наибольшее количество наблюдается в центральной части устья и на выходе, что связано с преобладающим направлением выноса водных масс в Двинской залив (табл. 4).

**Таблица 4. Концентрации химических веществ в воде Никольского устья и кратность превышения ими допустимых норм, мг/л, ПДК**

Вредные химические вещества	Выход из устья		Центральная часть*		Всасывающая насосная		Мост о-ва Ягры (вход)	
	Конц.	ПДК	Конц.	ПДК	Конц.	ПДК	Конц.	ПДК
БПК полное	2,05	0,3	0,83	0,1	1,40	0,2	2,70	0,5
Взвешенные вещества	5,00	0,4	6,66	0,5	13,7	1,0	13,0	0,9
Нефтепродукты	1,31	4,3	0,12	0,4	0,26	0,9	0,42	1,4
Азот аммонийный	0,28	0,1	0,22	0,1	0,19	0,1	0,18	0,1
Азот нитратов	0,08	0,008	≤ 0,5	≤ 0,05	0,05	0,005	0,07	0,007
Азот нитритов	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,01	≤ 0,002	0,01	0,02	0,04	0,08
Фосфаты	0,15	0,04	≤ 0,05	≤ 0,01	0,06	0,02	0,12	0,03
Хром 6-валентный	≤ 0,001	≤ 0,02	≤ 0,001	≤ 0,02	≤ 0,001	≤ 0,02	≤ 0,001	≤ 0,02
Железо общее	0,44	1,5	2,6	8,7	0,88	2,9	0,39	1,3
Цинк	0,08	0,08	0,14	0,1	0,12	0,1	0,10	0,1
Никель	0,01	0,1	0,015	0,2	0,02	0,2	0,01	0,1
Медь	0,02	0,02	0,019	0,02	0,06	0,06	0,03	0,03
Свинец	≤ 0,001	≤ 0,01	≤ 0,001	≤ 0,01	≤ 0,001	≤ 0,01	≤ 0,001	≤ 0,01
Кадмий	≤ 0,001	≤ 1	≤ 0,001	≤ 1	0,001	1,0	≤ 0,001	≤ 1

**Примечание.** В таблице приведены данные за 1997 г., \* - отбор проб воды производился на акватории Никольского устья у набережной.

Принимая во внимание, что концентрации основных загрязняющих веществ таких как нефтепродукты, азотсодержащие элементы и металлы, кроме хрома, свинца и кадмия, всего лишь в 1,5-3 раза меньше чем в сливах, можно сделать заключение, что естественные возможности Никольского устья по самоочищению крайне ограничены, а по нефтепродуктам, взвесям и железу исчерпали свои возможности. Низкое содержание в воде хрома, свинца и кадмия объясняется их быстрым осаждением на дно.

Таким образом, уже в настоящее время Никольское устье функционирует на пределе своих возможностей, а в ближайшей перспективе с учетом увеличения с 2002 г. количества утилизируемых АПЛ, станет основным источником химического загрязнения прибрежных вод Двинского залива и потеряет свои защитные функции в отношении береговой черты г. Северодвинска.

### **3. Поступление техногенных радионуклидов в окружающую среду при утилизации, ремонте АПЛ и радиационных авариях АЭУ**

#### **3.1. Содержание техногенных радионуклидов в аэрозолях при утилизации АПЛ**

При существующей технологии утилизации АПЛ, загрязнение ОПС техногенными радиоактивными веществами также будет увеличиваться. Предполагается, что в уже в 2002 г. будет образовываться в 1,3-1,5 больше газообразных, жидких и твердых радиоактивных отходов (ГРО, ЖРО, ТРО). По проекту в 2002 г. количество ЖРО достигнет 1000 м<sup>3</sup>, а ТРО 150 м<sup>3</sup>, в 2003-04 г.г. – ЖРО 1500 м<sup>3</sup>, ТРО - 200 м<sup>3</sup> в год, в 2005-10 г.г. – ЖРО 2000 м<sup>3</sup> и ТРО - 250 м<sup>3</sup> в год.

Газообразные радиоактивные отходы образуются при проведении работ с АЭУ и в процессе технологических операций с открытыми источниками ионизирующего излучения. К ним относятся воздух помещений зон строгого режима, баллонов вакуумирования и газ системы высокого давления, в которых присутствуют радиоактивные аэрозоли и радиоактивные благородные газы. После предварительной очистки от аэрозолей ГРО удаляются в атмосферу (Архангельским отделом по защите окружающей среды разрешен выброс ГРО в атмосферу суммарной активностью до 180 МБк/год [3, 4]).

**Таблица 5. Радиационная обстановка на территории Государственного центра атомного судостроения в различные годы**

Объекты контроля	Показатели	Годы							
		1991	1995	1996	1997	1998*	1999*	2000	Ср.
Предприятия	Активность аэрозолей, $10^{-5}$ Бк/м <sup>3</sup>	13	11	28	25	23	23	20	20
	Плотность выпадений, Бк/м <sup>2</sup> ·месяц	14	9	10	8	11	10	9	10
	Мощность дозы, мкР/ч	8-20	8-19	10-18	8-20	10-19	10-18	10-19	9-19
г.Северодвинск	Активность аэрозолей, Бк/м <sup>3</sup>	12	10	34	24	32	34	26	24
	Плотность выпадений, Бк/м <sup>2</sup> ·месяц	8	7	9	7	11	10	8	9
	Активность питьевой воды, Бк/м <sup>3</sup>	112	127	116	122	111	110	115	116
	Мощность дозы, мкР/ч	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15
Территория России**	Активность аэрозолей, Бк/м <sup>3</sup>	-	20	18	18	18	19	19	19
	Плотность выпадений, Бк/м <sup>2</sup> ·месяц	-	48	45	45	42	45	42	44

**Примечание.** Плотность альфа-бета-частиц на предприятиях и в городе соответствует фону.

В 1990-01 г.г. фон по аэрозолям составлял  $(22 \pm 7) \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, выпадениями -  $10 \pm 2$  Бк/м<sup>2</sup>·месяц (для сравнения фон в Дальневосточном регионе -  $(22 \pm 6) \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>,  $41 \pm 5$  Бк/м<sup>2</sup>·месяц [6]). Погрешность измерений 30%.

\* - В 100 км зоне вокруг г. Северодвинска  $\Sigma\beta$ -активность аэрозолей в 1998 г. (г. Архангельск) составляла  $(21 \pm 7) \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, в 1999 г. -  $(45 \pm 10) \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>,

\*\* - радиоактивное загрязнение ОПС на территории России в 1998 г. [7].

**Таблица 6. Среднемесячное содержание радиоактивных веществ в приземном слое атмосферы на территории предприятий, в г. Северодвинске и фоновых районах**

Территория	Месяц												Ср.	Интерв.
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
<b>Предприятия</b> Аэрозоли, $10^{-5}$ Бк/м <sup>3</sup> 1993 г. 1994 г. Выпадения, Бк/м <sup>2</sup> ·месяц 1993 г. 1994 г.	4,4	7,4	6,3	7,0	5,9	7,8	7,0	7,4	8,1	7,0	6,3	8,0	6,9	4-8
	8,5	13,7	8,9	9,6	7,8	6,3	6,7	5,9	5,2	9,6	7,7	6,9	8,1	5-14
	2,4	1,6	2,5	6,9	1,4	5,4	7,4	3,3	8,4	3,5	2,2	3,3	4,0	1-8
	1,4	2,3	2,3	5,4	23,1	9,8	11,1	5,9	32,1	11,3	7,8	5,3	9,8	1-32
<b>г.Северодвинск</b> Аэрозоли, $10^{-5}$ Бк/м <sup>3</sup> 1993 г. 1994 г. Выпадения, Бк/м <sup>2</sup> ·месяц 1993 г. 1994 г.	8,9	13,0	13,7	12,6	7,8	9,6	8,9	10,0	6,3	9,6	13,0	12,2	10,5	6-14
	16,6	27,8	24,0	14,1	9,2	9,2	7,0	9,6	7,8	10,4	8,4	9,9	12,8	7-24
	1,4	1,4	1,0	5,4	2,7	11,7	4,9	4,9	9,7	19,9	2,6	6,4	6,0	1-20
	1,0	2,4	1,8	4,3	7,0	14,1	6,1	4,1	28,4	9,4	3,2	4,1	7,2	1-28
<b>Фон, 100 км зона г. Архангельск</b> Аэрозоли, $10^{-5}$ Бк/м <sup>3</sup> Выпадения, Бк/м <sup>2</sup> ·месяц <b>г. Онега</b> Выпадения, Бк/м <sup>2</sup> ·месяц	7,7	8,4	5,0	4,7	4,4	6,7	6,4	4,5	4,8	5,3	4,5	3,9	5,5*	4-8
	96	54	63	102	63	18	24	21	27	30	33	24	45*	21-102
	45	48	39	54	27	9	9	6	9	21	12	18	24*	6-54
<b>Фон, Сев. Рег.</b> Аэрозоли, ** $10^{-5}$ Бк/м <sup>3</sup> Выпадения, ** Бк/м <sup>2</sup> ·месяц	10,2	13,9	6,4	6,6	5,2	8,3	7,4	6,2	6,6	5,8	11,0	5,1	7,2	6-11
	54	54	42	54	36	18	18	24	21	24	27	24	33	18-54

**Примечание.** Приведены данные долгоживущей составляющей объемной активности аэрозолей и плотности выпадений. Погрешность измерений 30%.

\* - 1999 г. В 1998 г. средние уровни составляли  $5,4 \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, 21 и 15 Бк/м<sup>2</sup>·месяц соответственно,

\*\* - данные за 1999 г. [8]. Сев. Рег. – северные регионы подконтрольные наблюдениям УГМС РФ.

Объемы ГРО, образующиеся при утилизации АПЛ класса “Дельта”, составляют 1500-2000 м<sup>3</sup>, класса “Тайфун” и “Оскар” – до 3000 м<sup>3</sup>. Преобладают радионуклиды <sup>60</sup>Со, <sup>90</sup>Сг, <sup>137</sup>Сs и <sup>85</sup>Кг. Объемная  $\Sigma\beta$ -активность изменяется в диапазоне от 0,04 до 400 кБк/м<sup>3</sup>. Однако подобные количества техногенных ГРО на больших пространствах предприятий практически не влияют на изменение радиационной обстановки в приземном слое атмосферы, в состав которых входят природные (пыль - <sup>40</sup>К, продукты распада U-Th рядов) и искусственные радионуклиды (глобальные выпадения - <sup>90</sup>Сг, <sup>137</sup>Сs). Наблюдения показывают, что при утилизации содержание искусственных и техногенных радионуклидов не превышает 0,0001 среднегодовой активности допустимой для населения [5] (табл. 5, 6).

Практическое равенство средних значений объемной  $\Sigma\beta$ -активности и плотности радиоактивных выпадений при высоких значениях коэффициентов взаимной корреляции (0,7-0,9, см. табл. 5, 6) на территориях предприятий, занимающихся утилизацией АПЛ и в г. Северодвинске свидетельствует о наличии общего преобладающего источника радиоактивного загрязнения равной интенсивности. Кроме этого средние показатели на предприятиях и в г. Северодвинске сопоставимы с подобными радиационными характеристиками на Европейской и Дальневосточной территориях России, что переводит их в категорию глобальных.

Это положение подтверждается результатами исследований за изменением содержания искусственных и техногенных радионуклидов в атмосфере. За последнее десятилетие средняя концентрация <sup>60</sup>Со в аэрозолях на ГУП “ПО Севмаш” остается на постоянно низком уровне (< 0,0001 ПДК) и соответствует  $\leq (0,3\pm 0,4)\cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, <sup>90</sup>Сг -  $\leq (0,3\pm 0,5)\cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, <sup>137</sup>Сs -  $\leq (0,2\pm 0,2)\cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, <sup>144</sup>Сe -  $\leq (0,2\pm 0,2)\cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, что в отдельные годы в 1,5-3 раза превосходило их содержание в г. Северодвинске - <sup>60</sup>Со -  $\leq (0,1\pm 0,1)\cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, <sup>90</sup>Сг -  $\leq (0,2\pm 0,2)\cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, <sup>137</sup>Сs -  $(0,2\pm 0,2)\cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup> и <sup>144</sup>Сe -  $\leq (0,1\pm 0,1)\cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, но для которого такое загрязнение не превышает 0,00001 ПДК (табл. 7).

**Таблица 7. Объемная активность искусственных радионуклидов в аэрозолях и атмосферных выпадениях на ГУП “ПО Севмаш” и г. Северодвинске в различные годы**

Год	Аэрозоли, 10 <sup>-5</sup> Бк/м <sup>3</sup>								Выпадения, Бк/м <sup>2</sup> -месяц								
	ГУП “ПО Севмаш”				г. Северодвинск				ГУП “ПО Севмаш”				г. Северодвинск				
	<sup>60</sup> Со	<sup>90</sup> Сг	<sup>137</sup> Сs	<sup>144</sup> Сe	<sup>60</sup> Со	<sup>90</sup> Сг	<sup>137</sup> Сs	<sup>144</sup> Сe	<sup>60</sup> Со	<sup>90</sup> Сг	<sup>137</sup> Сs	<sup>144</sup> Сe	<sup>60</sup> Со	<sup>90</sup> Сг	<sup>137</sup> Сs	<sup>144</sup> Сe	
1991	I	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	0,1	нд	нд	нд
	II	0,3	нд	нд	нд	нд	нд	0,1	нд	нд	0,3	нд	нд	нд	0,2	нд	нд
1992	I	нд	нд	0,2	нд	нд	нд	0,3	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	0,2	0,2
	II	0,8	0,2	нд	нд	нд	0,2	нд	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	I	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,1	0,5	0,4	0,1	0,1	0,4	0,2
	II	0,1	нд	нд	нд	0,1	0,1	0,1	нд	-	0,2	0,1	0,4	-	0,1	0,2	0,2
1994	I	0,1	нд	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
	II	нд	0,2	нд	нд	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	I	0,6	нд	нд	0,2	нд	нд	нд	0,1	0,4	0,1	0,3	нд	0,1	0,1	0,2	0,2
	II	нд	нд	нд	0,2	нд	нд	нд	0,1	0,8	1,1	0,4	0,2	0,2	0,1	нд	0,4
1996	I	нд	0,4	нд	нд	нд	0,1	нд	нд	1,4	0,3	нд	0,3	нд	нд	нд	нд
	II	нд	0,2	0,1	0,4	нд	0,4	0,1	0,1	0,1	0,2	11,0	-	0,2	0,1	0,1	-
1997	I	0,1	1,0	нд	-	нд	0,2	нд	-	нд	0,1	нд	-	нд	0,1	0,2	-
	II	нд	0,1	нд	-	нд	нд	нд	-	нд	0,2	нд	-	нд	0,2	нд	-
1998	I	0,2	нд	0,2	-	нд	0,2	0,2	-	нд	0,5	нд	-	нд	0,1	нд	-
	II	нд	0,1	0,4	-	нд	нд	нд	-	0,1	0,6	0,3	-	0,2	0,3	0,2	-
1999	I	нд	нд	нд	-	нд	0,1	нд	-	нд	0,1	2,4	-	нд	0,10,	нд	-
	II	нд	нд	нд	-	нд	нд	нд	-	нд	0,2	нд	-	нд	1	нд	-
2000	I	нд	1,0	нд	-	нд	нд	нд	-	нд	1,8	нд	-	нд	0,1	нд	-
	II	нд	0,1	нд	-	нд	нд	нд	-	нд	0,2	нд	-	нд	0,2	нд	-
Сред нее		0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,5	0,4	2,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2

**Примечание.** нд – ниже порога детектирования.

Анализируя значения концентраций искусственных радионуклидов, приведенных в табл. 7, необходимо обратить внимание на одно важное обстоятельство - при выборочном рассмотрении результатов, можно прийти к необоснованному заключению, что в процессе утилизации АПЛ ГУП “ПО Севмаш” существенно загрязняет город техногенными радионуклидами (см. графа Выпадения, г. Северодвинск, <sup>90</sup>Сг, <sup>137</sup>Сs). Выделяются значения по <sup>137</sup>Сs в г. Северодвинске за 1993 г. и <sup>90</sup>Сг в 1998 г., а также <sup>90</sup>Сг в аэрозолях в 1996 г., которые сопоставимы с данными на предприятии, но в 5-10 раз превышают фон на территории России (по данным [7] за период 1993-2000 г.г. содержание <sup>90</sup>Сг в аэрозолях соответствует  $(0,015\pm 0,002)\cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, <sup>137</sup>Сs -  $(0,056\pm 0,002)\cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, а <sup>137</sup>Сs в выпадениях - 0,08 Бк/м<sup>2</sup>-месяц).

Причин такого положения несколько. Одна из них состоит в том, что в действительности предприятия подобные ФГУП "ГМП "Звездочка" и ГУП "ПО Севмаш" на Севере и ДВЗ "Звезда" на Дальнем Востоке [6] по объективным обстоятельствам вынуждены загрязнять атмосферу техногенными радионуклидами. Подобное наблюдается и в 100 км зоне вокруг Красноярского ГКХ, в городах Курчатове, Обнинске, на ПО "Маяк" и других местах, где проводятся радиационно-опасные работы. Однако везде концентрации техногенных радионуклидов в воздухе находятся на 5-6 порядков ниже допустимых норм для населения [7].

В рассматриваемой ситуации существует и иная трудность в интерпретации результатов, приведенных в табл. 7, которая состоит в том, что используются методы идентификации техногенных радионуклидов с порогом чувствительности достаточным для определения их содержания на уровне 0,00001 ПДК. Однако его не хватает для контроля за вариациями глобальных выпадений, т.е. локальным фоном. Известно, что определение сверхнизких концентраций радиоактивных веществ на пределе чувствительности методов анализа сопровождается увеличением погрешности измерений до 60-120% и не исключает грубых ошибок, которые приводят к расхождению результатов единичных наблюдений в 2-5 раз [9].

Несмотря на это, отсутствие значимых различий между данными, полученными в течение последних десяти лет на территории ГУП "ПО Севмаш" и г. Северодвинске, свидетельствует о преобладающем влиянии на радиоактивное загрязнение ОПС глобальных выпадений.

### 3.2. Содержание техногенных радионуклидов в аэрозолях при ремонте АПЛ и судов технологического обслуживания

Пятикратное увеличение объемов утилизации АПЛ, запланированное к 2001 г., непременно скажется и на состоянии радиационной обстановки в приземном слое атмосферы. Как это проявится, рассмотрим на примере, проводившихся в 1975-78 г.г., радиационно-опасных работ, когда реально имели место повышенные выбросы в атмосферу техногенных радионуклидов с территории ГУП "ПО Севмаш" с плавучих мастерских. В настоящее время на них, как и в прошлые годы, возложена основная технологическая нагрузка по выгрузке ОЯТ при утилизации АПЛ (см. рис. 1, табл. 8,9).

**Таблица 8. Изменение среднемесячной объемной  $\Sigma\beta$ -активности аэрозолей и плотности радиоактивных выпадений на ГУП "ПО Севмаш" в районе стоянки плавучих мастерских при проведении радиационно-опасных работ и в г. Северодвинске**

Месяц, 1975-78 г.г.	Аэрозоли, $10^{-5}$ Бк/м <sup>3</sup>						Выпадения, Бк/м <sup>2</sup> ·месяц					
	ПМ-124	Город	ПМ-50	Город	ПМ-50	Город	ПМ-124	Город	ПМ-50	Город	ПМ-50	Город
Январь	133	104	-	63	366	67	3	8	-	1	17	2
Февраль	189	96	6604	70	973	92	13	5	148	2	41	1
Март	455	100	6693	-	784	170	10	4	211	3	36	14
Апрель	481	126	6227	95	2072	181	21	6	92	1	31	5
Май	422	152	3226	178	3142	192	58	11	343	12	518	4
Июнь	218	148	1018	215	11248	270	10	5	107	16	2220	17
Июль	681	96	1621	240	6053	163	19	14	166	24	6882	13
Август	303	78	2002	122	9243	163	4	4	27	10	703	11
Сентябрь	155	74	-	130	1006	59	132	2	81	20	355	10
Октябрь	115	63	684	104	-	-	42	4	63	20	-	-
Ноябрь	444	41	189	70	-	-	27	1	63	2	-	-
Декабрь	810	22	755	78	-	-	-	3	-	4	-	-
Среднее	331	92	2902	124	3876	151	31	6	130	9	1200	9

**Примечание.** Приведенный к 1975-78 г.г. уровень фона по аэрозолям соответствовал  $(45 \pm 12) \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>. Погрешность измерений 30%.

**Таблица 9. Кратность значимого (P=0,95) превышения над фоном объемной  $\Sigma\beta$ -активности аэрозолей в районе расположения плавучих мастерских при проведении радиационно-опасных работ, в г. Северодвинске и ее относительное уменьшение за пределами санитарно защитной зоны**

Месяц 1975-78 г.г.	Кратность превышения						Кратность уменьшения				
	ПМ-124	Город	ПМ-50	Город	ПМ-50	Город	ПМ-50/Город	P=0,5	P=0,7	P=0,95	
Январь	1,8	1,4	-	0,9	5,1	1,0	-	5	1/-	1/0	0/0
Февраль	2,6	1,3	91,7	1,0	13,5	1,3	92	10	1/1	1/1	0/1
Март	6,3	1,4	92,9	-	10,9	2,4	-	4	1/-	1/0	0/0
Апрель	6,7	1,8	86,5	1,3	28,8	2,5	66	12	1/1	1/1	0/0
Май	5,8	2,1	44,8	2,4	43,6	2,6	19	17	2/0	0/0	0/0
Июнь	3,0	2,0	14,1	3,0	156,2	3,7	5	42	1/1	1/1	0/0
Июль	9,4	1,4	22,5	3,4	84,1	2,2	7	38	1/1	1/1	0/0
Август	4,2	1,1	27,8	1,7	128,4	2,2	16	58	1/1	0/1	0/0
Сентябрь	2,2	1,0	-	1,8	13,9	0,8	-	15	1/-	0/0	0/0
Октябрь	1,6	0,9	9,5	1,4	-	-	7	-	1/-	1/0	0/0
Ноябрь	6,2	0,6	2,6	1,0	-	-	3	-	1/-	1/0	1/0
Декабрь	11,2	0,3	10,5	1,1	-	-	10	-	1/-	1/0	0/0
Среднее	4,6	1,3	40,3	1,7	52,9	2,1	24	25	13/5	9/5	1/1

**Примечание.** Верхний уровень фона по состоянию на 1975-78 г.г. с  $P \geq 0,95$  принят  $70 \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>. Погрешность 30%. P – вероятность (числитель – левостороннее распределение, знаменатель – правостороннее).

Из данных, приведенных в табл. 8, 9, следует, что поступление радиоактивных веществ в атмосферу на предприятиях и в г. Северодвинске происходило в течение всего года, однако с марта по октябрь интенсивность возрастала, а в мае-июле достигала максимума. Концентрация аэрозолей и плотность радиоактивных выпадений в районе работ повышались по сравнению с фоном в 10-160 раз (0,01-0,3 ПДК), а на границе санитарно-защитная зона – город - в 2-4 раза (0,001-0,00001 ПДК [5]).

Санитарно защитная зона (СЗЗ) в среднем в  $25 \pm 12$  раз снижает количество, поступающих в город радиоактивных веществ. Анализ коэффициентов разбавления в течение года свидетельствует, что 70% перемещений радиоактивных веществ ориентировано в направлении г. Северодвинска, а 10-20% из них относятся к неблагоприятным, т. к. снижение концентраций происходит с минимальной интенсивностью в 5-10 раз (при левосторонней асимметрии распределения наиболее вероятное среднее значение коэффициента рассеяния соответствует 20-22).

Практика показывает, что из общего состава радиоактивных веществ, поступающих в атмосферу при ремонте АПЛ, от 1 до 10% приходится на долгоживущие и 90-99% - короткоживущие радионуклиды [10]. Последние не оказывают существенного влияния на формирование дозовых нагрузок населения и радиоэкологическую обстановку в целом и при утилизации АПЛ не образуются. По этой причине основное внимание уделяется контролю за радиоэкологически опасными - <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs. В рассматриваемом случае аэрозоли включали: <sup>60</sup>Co -  $16 \pm 5\%$ , <sup>90</sup>Sr -  $21 \pm 7\%$ , <sup>137</sup>Cs -  $51 \pm 15\%$  и <sup>144</sup>Ce -  $13 \pm 5\%$ , а атмосферные выпадения: <sup>60</sup>Co -  $8 \pm 3\%$ , <sup>90</sup>Sr -  $57 \pm 15\%$ , <sup>137</sup>Cs -  $21 \pm 7\%$ , <sup>144</sup>Ce -  $14 \pm 5\%$ . Их содержание значимо отличалось друг от друга на территории предприятия и в г. Северодвинске (табл. 10,11).

**Таблица 10. Объемная  $\Sigma\beta$ -активность техногенных радионуклидов в районе стоянки плавучих мастерских во время радиационно-опасных работ на СМП.**

Радионуклиды, Период	Аэрозоли, $10^{-5}$ Бк/м <sup>3</sup>								Выпадения, Бк/м <sup>2</sup> -месяц			
	ПМ-127	Город	ПМ-124	Город	ПМ-50	Город	ПМ-50	Город	ПМ-50	Город	ПМ-50	Город
<b>I полугодие</b>												
Кобальт-60	1406	0,9	2	0,2	170	1,6	52	2,2	2	0,05	9	0,3
Стронций-90	366	0,4	32	0,7	518	20,4	851	36,3	14	-	67	0,07
Цезий-137	370	0,7	352	3,0	703	14,8	1147	5,2	22	0,7	4	0,02
Церий-144	-	-	-	-	126	20,7	31	19,6	2	1,0	1	-
<b>II полугодие</b>												
Кобальт-60	48	0,7	11	0,2	36	0,2	170	1,8	1	0,3	13	0,3
Стронций-90	137	0,5	100	0,8	70	3,7	444	3,7	7	0,03	100	0,3
Цезий-137	44	0,4	59	5,2	1221	6,3	2257	10,0	2	0,1	41	0,3
Церий-144	-	-	-	-	29	18,1	8	5,6	1	0,4	8	0,4

**Примечание.** Фоновое содержание <sup>60</sup>Co в аэрозолях по состоянию на 1975-78 г.г. соответствовало  $< 0,1 \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, <sup>90</sup>Sr -  $(0,1 \pm 0,05) \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, <sup>137</sup>Cs -  $(0,17 \pm 0,08) \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, <sup>144</sup>Ce -  $15 \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>. Атмосферные выпадения в районе стоянки ПМ-127 (радиус до 50 м) привели к увеличению содержания <sup>60</sup>Co в снеге над фоном в 35 раз, <sup>90</sup>Sr – в 60 раз и

$^{137}\text{Cs}$  – в 20 раз. Возле ПМ-124 концентрация  $^{90}\text{Sr}$  в почве повысилась в 5 и  $^{137}\text{Cs}$  в 3 раза. В соответствии с [5, 11] загрязнение снега не превышает 0,1, почвы–0,01 ПДК.

**Таблица 11. Кратность значимых ( $P = 0,95$ ) превышений над фоном и разбавлений объемной  $\Sigma\beta$ -активности техногенных радионуклидов в аэрозолях при проведении радиационно-опасных работ на плавучих мастерских и в г. Северодвинске**

Радионуклиды, Период	Кратность превышения								Кратность уменьшения	
	ПМ-127	Город	ПМ-124	Город	ПМ-50	Город	ПМ-50	Город	ПМ/Город	Интервал
<b>I полугодие</b>										
Кобальт-60	14060	9	20	2	1700	16	520	22	425	10 – 1600
Стронций-90	1830	2	160	4	2590	102	4212	182	252	20 – 900
Цезий-137	1088	2	1035	9	2068	44	3374	15	233	20 – 550
Церий-144	-	-	-	-	8,0	1,4	2,1	1,3	-*	-*
<b>II полугодие</b>										
Кобальт-60	480	7	110	2	360	2	1700	18	100	50 – 200
Стронций-90	685	2	500	4	350	185	2222	18	133	20 – 270
Цезий-137	129	1	174	15	3591	18	6638	29	134	10 – 230
Церий-144	-	-	-	-	2,0	1,2	0,5	0,4	-*	-*

**Примечание.** Верхний уровень фона по состоянию на 1975-78 г.г. с  $P \geq 0,95$  по  $^{60}\text{Co}$  принят  $0,1 \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  -  $0,2 \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>,  $^{137}\text{Cs}$  -  $0,34 \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>,  $^{144}\text{Ce}$  -  $15 \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>. \* - в связи с неопределенностью содержания  $^{144}\text{Ce}$  в фоне и малом количестве на ПМ оценки не правомочны. Погрешность 30%.

Анализ данных, приведенных в табл. 10, 11 позволяет прийти к заключению, что при проведении радиационно-опасных работ в атмосфере города постоянно присутствовали техногенные радионуклиды. Санитарно защитная зона, выполняя свои функции на расстоянии 600-800 м от источника загрязнения, понижала их содержание по  $^{60}\text{Co}$  в  $260 \pm 150$ ,  $^{90}\text{Sr}$  – в  $190 \pm 80$ ,  $^{137}\text{Cs}$  – в  $180 \pm 80$  раз.

Ранее отмечалось, что для общей массы радиоактивных веществ (природных, техногенных), поступающих за пределы предприятий, средний коэффициент рассеяния соответствовал  $25 \pm 12$ , однако для долгоживущих техногенных радионуклидов он оказался значительно выше. Отличие в значениях коэффициентов между  $^{60}\text{Co}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  характеризует различие, а равенство у  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  - об идентичности в их поведении.

Высокие средние значения коэффициентов рассеяния также не исключали наличия для г. Северодвинска ситуаций, когда при определенных метеорологических условиях они снижались до 10-50. В результате этого наблюдалось локальное повышение концентраций радионуклидов, в прилегающих кварталах, во 100-200 раз по сравнению с фоном (в центре и на окраине города концентрации были ниже в десятки-сотни раз). Выявлена и полугодовая изменчивость, которая приводит к различиям в коэффициентах рассеяния в 2-4 раза. Несмотря на это в местах постоянного проживания населения содержание техногенных радионуклидов в атмосфере сохранялась в пределах 0,001-0,0001 ПДК.

Обобщенный анализ результатов многолетних наблюдений за радиационной обстановкой на территории Государственного центра атомного судостроения свидетельствует, что, несмотря на периодически производимые выбросы ФГУП "ГМП "Звездочка" и ГУП "ПО Севмаш" в атмосферу ГРО, их деятельность не привела к изменению плотности альфа-бета-частиц, мощности экспозиционной дозы гамма-излучения и удельной активности питьевой воды на прилегающих к предприятиям территориях, которые сохраняются в пределах фона.

### 3.3. Состояние радиозоологической обстановки на акватории Никольского устья при утилизации и ремонте АПЛ

На акватории Никольского устья в течение многих лет радиационной обстановкой менялась неоднократно. В период ремонта АПЛ (до 1990 г.) в морскую среду поступали техногенные радионуклиды. Концентрации  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в воде практически постоянно в 2-8 раз превышали их содержание в открытых районах Белого моря и составляли 0,001-0,002 ПДК [11]. С переходом предприятий на утилиза-

цию (1991 г.) положение изменилось к лучшему, хотя удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  по прежнему остается в 1,5-2 раза выше фона, а  $^{60}\text{Co}$  - сопоставима с ним (менее 0,001 ПДК, рис 4, табл. 12).

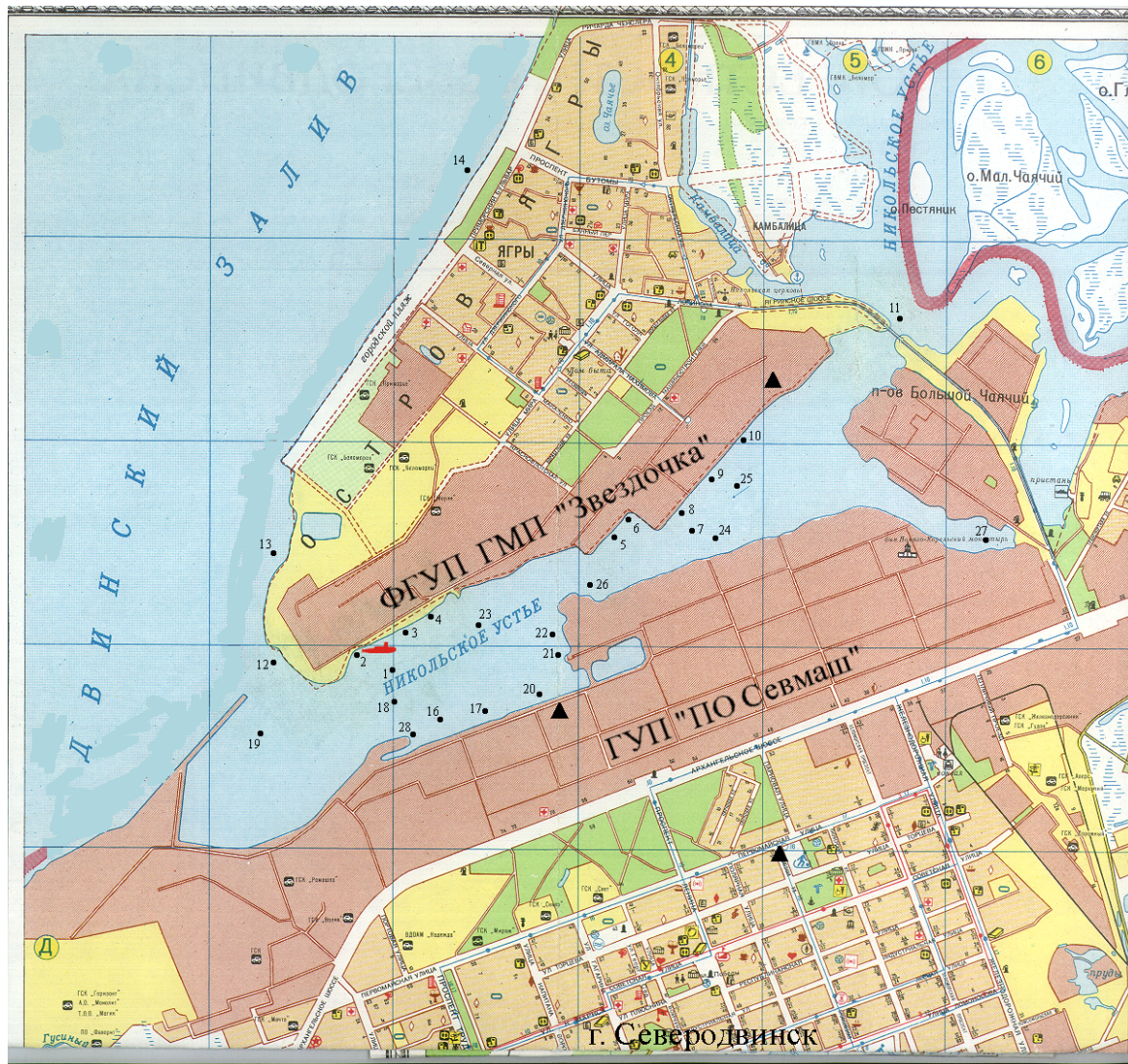


Рис. 4. Места отбора проб донных отложений в Никольском устье и Двинском заливе (●), аэрозолей и атмосферных выпадений (▲), стоянки АПЛ с аварийной ЯЭУ в 1965 г. (■).

Таблица 12. Удельная активность искусственных радионуклидов в воде Никольского устья и фоновых районах, Бк/м<sup>3</sup>

Год	Место отбора проб	Радионуклид		
		$^{60}\text{Co}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$
1989 г. Никольское устье	Выход из Никольского устья	7,7±2,2	10,0±3,0	14±3
	Глубоководная набережная	1,0±0,2	8,0±2,7	46±12
	Глубоководная набережная	1,7±0,3	7,5±2,2	44±11
	Спецнабережная	4,0±1,0	6,4±2,0	50±14
1998 г. Никольское устье	Пирс глубоководной набережной	< 0,8	6,0±2,0	-
	Спецнабережная	< 0,2	11,0±3,3	-
1999 г. Никольское устье	Глубоководная набережная	< 0,2	6,0±2,0	-
	Порт	< 0,2	6,0±2,0	8,6±2,6
	Акватория у моста	< 0,2	8,0±2,7	-
	Точка № 16 (01.09.1999 г.)	< 0,2	6,0±2,0	-
	Точка № 19 (01.09.1999 г.)	< 0,2	6,0±2,0	8,3±2,8

Год	Место отбора проб	Радионуклид		
		<sup>60</sup> Co	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs
	Точка № 28 (01.09.1999 г.)	< 0,2	8,0±2,7	-
2000 г. Никольское устье, т. № 29–вход, т. № 30– выход	Точка № 29 (15.08.2000 г.)	< 0,2	9,2±3,1	-
	Точка № 29 (12.09.2000 г.)	< 0,8	5,4±1,8	-
	Точка № 29 (24.10.2000 г.)	< 0,8	8,4±2,8	-
	Точка № 30 (15.08.2000 г.)	< 0,9	6,8±2,2	9,4±3,2
	Точка № 30 (12.09.2000 г.)	< 0,9	7,2±2,4	-
	Точка № 30 (24.10.2000 г.)	< 0,9	5,6±1,8	-
ФОН Двинской залив Белое море	Район Уйма (30.08.1999 г.)	< 0,2	7,9±2,6	-
	Район Уйма (30.10.2000 г.)	< 1,0	8,7±2,9	-
	Губа Большая Пирья	< 0,7	7,6±2,5	-
	Губа Оленица	< 0,7	5,4±1,7	8,8±2,9
	Открытое море	< 0,7	1,5±0,4	2,4±0,6
ФОН* 100 км зона вокруг ПО “Севмаш”	р. Северная Двина (п. Соломбала)	< 0,2	8,5	-
	р. Онега (п. Порог), 1999 г.	< 0,2	3,9	-
ФОН Территория России 1999 г.	Среднее в Европейской части (реки)*	< 0,2	6,2±2,1	-
	Среднее в Азиатской части (реки)**	< 0,2	6,1±2,1	-
	Среднее по Дальнему Востоку**			
	- реки;	< 0,2	3,0±1,2	4,8±2,0
	- озера;	< 0,2	27,0±8,2	43,2±12,2
- моря.	< 0,2	1,7±0,6	2,7±1,1	

**Примечание.** \* - данные работы [8], \*\* - [6].

Анализ технологий ремонта и утилизации АПЛ свидетельствует, что выгрузка ОЯТ и обращение с радиоактивными отходами (РАО) являются основными причинами радиоактивного загрязнения Никольского устья. Постоянно образуются ЖРО и ТРО, сбор которых во время радиационно-опасных работ на плаву сложен и не исключает их частичного попадания на акваторию (табл. 13, 14 [1]).

**Таблица 13. Общий объем жидких радиоактивных отходов, образующийся при утилизации одной АПЛ, м<sup>3</sup>**

Наименование радиоактивных отходов	Класс АПЛ			Уд. активность, Бк/л
	“Дельта”	“Оскар”	“Тайфун”	
Теплоноситель первого и технологические воды третьего контуров	80±2	95±2	95±2	(1-5)·10 <sup>3-7</sup>
Дезактивирующие растворы из реакторного отсека и технологической оснастки	4±0,5	20±1	20±1	(1-5)·10 <sup>2-4</sup>
Технологические воды из цистерн грязной воды и трюмов	2±0,5	10±1	10±1	(1-5)·10 <sup>2-4</sup>
Технологические воды из цистерн биологической защиты	170±3	280±5	350±5	(1-5)·10 <sup>2-4</sup>

**Примечание.** ЖРО содержит: <sup>54</sup>Mn - 3-5%, <sup>60</sup>Co - 5-10%, <sup>90</sup>Sr - 10-12%, <sup>134</sup>Cs - 5-10%, <sup>137</sup>Cs - 50-70%.



**Таблица 14. Общий объем твердых радиоактивных отходов, образующийся при утилизации одной АПЛ, м<sup>3</sup>**

Наименование радиоактивных отходов	Класс АПЛ			Плотность, $\beta/\text{см}^2 \cdot \text{мин}$	Уд. активность, Бк/кг
	“Дельта”	“Оскар”	“Тайфун”		
Оборудование ЯЭУ	8±1	10±1	10±1	> 50	> 7·10 <sup>4</sup>
Изолирующие покрытия	2±0,5	5±0,5	5±0,5	< 50	> 7·10 <sup>4</sup>
Вспомогательные материалы	20±2	20±2	20±2	< 50	> 7·10 <sup>4</sup>

**Примечание.** ТРО содержит: <sup>54</sup>Mn – 3-5%, <sup>60</sup>Co – 10-15%, <sup>90</sup>Sr – 10-12%, <sup>134</sup>Cs-134 – 3-5%, <sup>137</sup>Cs – 60-70%.

Несанкционированное поступление в воду ЖРО, как правило, не велико (единицы-десятки литров) и не представляет радиэкологической опасности в связи с тем, что под воздействием турбулентной диффузии концентрация радионуклидов в течение нескольких часов понижается до допустимых норм. Неприятности доставляют, находящийся в них твердый радиоактивный осадок, а также малоразмерные ТРО, которые, случайно попадая на дно, в дальнейшем не извлекаются. Исследования [10], а также наблюдения в Никольском устье свидетельствуют, что именно они становятся источниками длительного радиоактивного загрязнения морской среды в местах утилизации АПЛ (см. рис. 4, табл. 15, 16).

**Таблица 15. Удельная активность радионуклидов в донных отложениях Никольского устья в зоне ответственности ФГУП “ГМП “Звездочка” и Двинском заливе, Бк/кг**

Т. №	Р/нуклид	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
1*	Ауд	535	510	600	667	518	522	654	478	513	580	470	560
	Cs-137	27	29	27	21	14	23	14	17	8	18	10	12
	Co-60	20	нд	нд	нд	нд	нд	-	нд	нд	2	нд	нд
2*	Ауд	320	580	690	420	503	555	613	637	526	510	350	540
	Cs-137	10	39	59	45	22	41	28	40	30	30	12	12
	Co-60	нд	15	19	нд	нд	нд	3	3	6	4	2	3
3*	Ауд	630	750	704	772	725	633	614	624	626	670	460	650
	Cs-137	60	61	73	51	47	25	29	52	25	47	19	42
	Co-60	14	нд	24	нд	82	14	3	4	нд	25	нд	нд
4*	Ауд	7104	530	540	-	613	604	566	558	731	460	580	590
	Cs-137	26	23	25	-	46	24	24	43	34	9	24	22
	Co-60	нд	нд	нд	-	154	10	3	3	7	1	нд	3
5**	Ауд	470	660	615	504	652	617	455	522	414	570	540	560
	Cs-137	25	40	32	62	29	30	15	30	22	33	27	30
	Co-60	21	18	нд	нд	нд	8	3	2	нд	2	2	нд
6**	Ауд	570	500	493	490	570	607	574	687	539	620	540	560
	Cs-137	52	56	45	48	48	21	32	32	22	26	44	37
	Co-60	50	25	47	15	19	33	4	3	1	1	3	1
7***	Ауд	610	444	600	450	558	-	589	430	422	-	520	440
	Cs-137	32	15	30	15	5	-	8	9	10	-	11	5
	Co-60	21	нд	12	нд	нд	-	1	1	нд	-	нд	1
8***	Ауд	760	540	800	558	622	555	574	478	574	670	530	580
	Cs-137	56	33	60	42	22	89	21	25	34	37	16	38
	Co-60	91	14	23	12	нд	6	2	1	3	3	нд	4
9***	Ауд	-	-	-	-	-	629	535	640	626	700	520	600
	Cs-137	-	-	-	-	-	36	18	29	22	46	11	19
	Co-60	-	-	-	-	-	нд	нд	нд	нд	6	нд	нд
10****	Ауд	635	7806	630	590	422	370	650	625	580	615	540	690
	Cs-137	53	81	115	35	17	41	24	33	31	28	21	32
	Co-60	нд	нд	330	14	нд	нд	10	3	нд	1	нд	3
11****	Ауд	520	620	359	458	-	330	410	482	473	-	250	460
	Cs-137	30	45	нд	27	-	нд	13	15	12	-	1	10
	Co-60	16	58	нд	нд	-	нд	нд	3	нд	-	нд	нд
12****	Ауд	370	210	460	445	288	518	417	410	-	320	350	230
	Cs-137	14	5	7	7	38	2	2	29	-	1	3	6
	Co-60	нд	нд	нд	нд	нд	нд	-	нд	-	нд	нд	нд
13****	Ауд	-	-	-	500	-	-	378	-	-	300	330	370
	Cs-137	-	-	-	7	-	-	7	-	-	1	1	2
	Co-60	-	-	-	нд	-	-	-	-	-	нд	нд	нд
14****	Ауд	330	240	320	230	302	346	304	367	343	270	375	250
	Cs-137	7	нд	нд	нд	нд	2	нд	нд	2	2	1	2
	Co-60	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд

Т. №	Р/нуклид	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
15*****	Ауд Cs-137 Co-60	- 10 нд	- - нд	- - нд	- - нд	- - нд	- 12 нд	- 11 нд	- 9 нд	- - нд	- 11 нд	- 8 нд	- 9 нд

**Примечание.** РН – радионуклид, нд – ниже порога детектирования, \* - спецнабережная для выгрузки ОЯТ, приема и передачи ЖРО, ТРО, \*\* - глубоководная набережная, обращение с РАО, \*\*\* - отстой АПЛ после вывода из эксплуатации, \*\*\*\* - т. 11 вход в Никольское устье, т. 12 – выход из Никольского устья и вход в Двинской залив, т. 13, 14 – Двинской залив (городской пляж) – фон, \*\*\*\*\* - Двинской залив Белое море, 15 км от г. Северодвинска (приведены осредненные данные по 10 точкам [8]). Погрешность измерений 30%.

**Таблица 16. Удельная активность радионуклидов в донных отложениях Никольского устья в зоне ответственности ГУП “ПО Севмаш”, Бк/кг**

Т. №	Р/нуклид	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
16	Ауд Cs-137 Co-60 Sr-90 Ce-144	814 16 нд 2 -	777 - - - -	666 11 нд нд 3	629 - - - -	629 10 нд 4 6	603 4 нд 1 6	527 18 нд нд -	592 12 нд нд -	655 9 - нд -	666 5 - нд -
17	Ауд Cs-137 Co-60 Sr-90 Ce-144	703 14 4 2 -	740 - - - -	666 13 нд нд 2	666 20 нд нд 6	666 12 3 11 нд	629 3 нд 1 нд	518 4 - 4 -	810 18 нд 1 -	605 28 - 3 -	803 7 - нд -
18	Ауд Cs-137 Co-60 Sr-90 Ce-144	481 12 нд 0,3 -	851 - - - -	370 21 нд нд 7	592 3 нд нд нд	370 5 нд нд 2	629 16 нд 1 5	481 - 2 нд 1	- - - - -	- - - - -	665 13 - 1 -
19*	Ауд Cs-137 Co-60 Sr-90 Ce-144	777 9 нд 0,4 -	777 - - - -	666 нд нд нд 4	629 13 нд 1 нд	629 58 нд 1 5	640 4 нд 1 16	703 18 нд нд 8	742 30 нд нд -	723 35 - нд -	- - - - -
20	Ауд Cs-137 Co-60 Sr-90 Ce-144	666 - - - -	925 - - - -	666 20 2 нд 10	703 16 нд нд 22	703 1 нд нд 4	629 11 нд 1 6	653 12 10 нд -	748 14 нд нд -	- - - - -	703 9 - нд -
21	Ауд Cs-137 Co-60 Sr-90 Ce-144	555 - - - -	444 - - - -	666 9 1 нд 2	777 - - - -	- - - - -	740 27 нд нд 5	539 2 5 нд нд	- - - - -	- - - - -	666 - - 3 -
22	Ауд Cs-137 Co-60 Sr-90 Ce-144	666 - - - -	814 - - - -	- - - - -	703 5 нд нд 4	740 - - - -	777 15 нд 1 9	640 13 нд нд 5	710 16 нд 1 -	629 11 - нд -	745 26 - нд -
23	Ауд Cs-137 Co-60 Sr-90 Ce-144	666 - - - -	- - - - -	740 13 1 - 11	703 13 нд нд 6	703 3 нд нд 2	666 нд нд нд 24	703 4 нд нд 6	- - - - -	683 10 нд нд -	684 17 - нд -
24	Ауд Cs-137 Co-60 Sr-90 Ce-144	629 - - - -	- - - - -	777 14 нд нд 3	518 12 нд нд нд	484 11 нд нд 4	666 27 нд 5 5	684 11 1 нд 5	703 11 нд 1 -	- - - - -	700 6 - нд -
25	Ауд Cs-137 Co-60 Sr-90 Ce-144	630 - - - -	- - - - -	- - - - -	518 59 нд 4 3	666 1 нд нд 5	- - - - -	481 8 нд нд 1	629 - 1 4 -	- - - - -	592 3 - нд -
26	Ауд Cs-137 Co-60	740 - -	- - -	814 27 нд	629 15 нд	- - -	703 - -	740 12 нд	610 23 нд	666 14 нд	670 - -

Т. №	Р/нуклид	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
	Sr-90	-	-	нд	нд	-	-	нд	нд	нд	1
	Ce-144	-	-	6	3	-	-	4	-	-	-
27	Ауд	-	-	-	-	-	-	-	632	592	814
	Cs-137	-	-	-	-	-	-	-	40	21	37
	Co-60	-	-	-	-	-	-	-	2	нд	-
	Sr-90	-	-	-	-	-	-	-	2	1	1
28	Ауд	-	-	-	-	-	-	-	720	666	814
	Cs-137	-	-	-	-	-	-	-	30	14	48
	Co-60	-	-	-	-	-	-	-	нд	нд	-
	Sr-90	-	-	-	-	-	-	-	нд	нд	нд

**Примечание.** \* - выход из Никольского устья.

Из данных, приведенных в табл. 15, следует, что в местах подготовки к утилизации АПЛ и обращении с РАО (см. рис. 4, т.т. 1-10) удельная активность донных отложений по  $^{137}\text{Cs}$  в среднем в 2-9, а в отдельные годы в 20-130 раз превышает фон (т. 10 - 1990-91 г.г.). Увеличение удельной  $\Sigma\beta$ -активности грунта в 1,3 раза в 1991 г в т. 10 свидетельствует, что происходило поступление не только  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$ , но и  $^{90}\text{Sr}$ , концентрация которого для рассматриваемого случая могла находиться в пределах 50-150 Бк/кг.

С противоположной стороны устья (см. рис. 4, табл. 16) содержание техногенных радионуклидов в грунтах несколько меньше. Преобладает  $^{137}\text{Cs}$ , в незначительной степени обнаруживаются  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{144}\text{Ce}$  и на уровне фона -  $^{90}\text{Sr}$ . В соответствии с [11] их концентрации не превышают 0,005-0,02 ПДК, за исключением 1990-91 г.г. в т. 10 (табл. 15), где они достигали 0,2-0,9 ПДК. В предшествующие годы (1975-78 г.г., т. 16, 17), при проведении работ на аварийных объектах максимальное загрязнение донных отложений по  $^{137}\text{Cs}$  достигало 2 ПДК (5200 Бк/кг [11]).

С целью контроля выноса радионуклидов за пределы Никольского устья Северное Управление ГМС Росгидромет периодически, начиная с 1975 г., проводит отбор проб поверхностного слоя донных отложений в Двинском заливе Белого моря в районе г. Северодвинска. Радионуклидный анализ осуществляет НПО "Тайфун" (г. Обнинск). На основании многолетних наблюдений за  $^{137}\text{Cs}$  (см. табл. 15, т. 15) и невысоких средних уровней ( $10\pm 2$  Бк/кг) НПО "Тайфун" отнес наблюдаемые значения к глобальному радиационному фону, а деятельность предприятий г. Северодвинска оценил, как не влияющие на содержание искусственных радионуклидов в Двинском заливе [8].

С точки зрения глобального радиоактивного загрязнения Арктических морей такое заключение вполне оправдано, тем более, что концентрации искусственных радионуклидов в морской воде Белого моря несколько выше чем в остальных районах региона, а в донных отложениях по  $^{137}\text{Cs}$  - сопоставимы или меньше, чем в Норвежском, Гренландском или Карском морях (табл. 17 [12,13]).

**Таблица 17. Концентрации искусственных радионуклидов в поверхностных водах, донных отложениях и биоте Арктических морей (1991-1998)**

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

**Примечание.** \* - повышенное содержание связано с последствиями поступления водных масс, загрязненных радиоактивными отходами завода по переработке отработавшего ядерного топлива в г. Уиндскейле (ныне г. Селлафилд, Великобритания) [13].  
\*\* - Двинской залив, \*\*\* - тюлень. Удельная активность для грунта приведена на единицу сухого веса, биоты - сырого веса.

Однако, анализ данных, полученных в последние годы специалистами Северного УГМС Росгидромет и НПО "Тайфун", с учетом мест отбора проб позволяет прийти к иному заключению, которое находит подтверждение и при рассмотрении других независимых результатов исследований (рис. 5, табл. 18 [8]).



Рис. 5. Расположение точек отбора проб донных отложений в Двинском заливе Белого моря.

Таблица 18. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях Двинского залива в 15 км от г. Северодвинска в 1998-2000 г.г., Бк/кг (сухого веса)

Т. № отбора	13.10.1998 г.		16.10.1999 г.		22.08.2000 г.	
	Глубина, м	Активность	Глубина, м	Активность	Глубина, м	Активность
1*	10	$24,7 \pm 0,9$	12	$27,1 \pm 1,7$	11	$16,4 \pm 1,0$
2	9	$8,3 \pm 0,7$	12	$6,8 \pm 1,1$	11	$< 0,5$
3*	12	$5,6 \pm 0,5$	13	$15,6 \pm 2,0$	13	$12,5 \pm 0,7$
4	12	$6,7 \pm 0,6$	14	$< 1,3$	12	$4,3 \pm 0,6$
5*	11	$16,8 \pm 1,2$	14	$9,1 \pm 0,8$	12	$5,5 \pm 0,5$
6*	13	$9,3 \pm 0,7$	13	$6,0 \pm 0,7$	13	$6,4 \pm 0,6$
7	11	$5,9 \pm 0,4$	14	$2,3 \pm 0,4$	12	$6,9 \pm 0,6$
8	8	$5,8 \pm 0,5$	10	$8,7 \pm 1,0$	9	$2,3 \pm 0,4$
9	10	$8,5 \pm 0,7$	10	$2,2 \pm 0,4$	10	$9,3 \pm 0,6$
10*	10	$17,6 \pm 0,8$	12	$< 0,6$	12	$21,5 \pm 1,4$

Примечание. \* - локальная область с повышенным содержанием  $^{137}\text{Cs}$ .

Принимая во внимание, что точки отбора проб грунта 13, 14 (см. рис. 4, табл. 15) и 2, 4, 8, 9 (см. рис. 5, табл. 18) отдалены от основного направления перемещения водных масс, выходящих из Никольского устья, результаты измерений в них примем за фон. В этом случае он соответствует  $5 \pm 2$  Бк/кг. Одновременно близкое расположение друг к другу т.т. 1, 10, 5, 6 и 3 (см. рис. 5, табл. 18), в которых концентрация  $^{137}\text{Cs}$  изменяется от 10 до 27 Бк/кг и наблюдается перепад значений с  $21 \pm 3$  Бк/кг (т.т. 1, 10) до

10±3Бк/кг (т.т.5, 6 и 3), указывают на перемещение техногенных радионуклидов в придонном слое морской воды из Никольского устья в Двинской залив по направлению Никольское устье – т. 1 – т. 5 – т.3. Ширина полосы загрязнения на удалении 15 км от г. Северодвинска достигает 3-5 км и морская впадина выполняет роль местного накопителя. Изменение траектории перемещения  $^{137}\text{Cs}$  с северо-востока на север объясняется наличием за т.т. 6, 7 локальной возвышенности, которая меняет направление движения придонных водных масс в этом направлении.

В том, что вынос техногенных радионуклидов из Никольского устья в Двинской залив происходит, подтверждают и результаты многолетних наблюдений специалистов ФГУП "ГМП "Звездочка", ГУП "ПО Севмаш" в ближней зоне в т. 12 (см. рис. 4, табл. 15) и т. 19 (табл. 16). Они расположены на выходе из устья и отстоят от предприятий на 1000-1500 м., но содержание в них  $^{137}\text{Cs}$  периодически в 2-8 раз превышает фон. По времени это совпадает с радиоактивным загрязнением устья при проведении радиационно-опасных работ в т.т.1-4, 16-18.

Парадоксальное явление, наблюдаемое в т. 11 (см. рис. 4, табл. 15), которая принята за фоновую (удалена от предприятий на 500 м против течения), связанное с повышенным содержанием техногенных радионуклидов в донных отложениях (в 1990 г. концентрация  $^{137}\text{Cs}$  увеличилась в 9, а  $^{60}\text{Co}$  в 60 раз), также имеет свое объяснение. Установлено, что загрязнение входа в Никольское устье обусловлено случайным поступлением ЖРО с ФГУП "Звездочка" в хозяйственно-бытовую канализацию и городские канализационно-очистные сооружения.

Специалистами "Невскгеология" в 1990 г. площадь загрязнения с уровнями более 20 мкР/ч (максимум 3000 мкР/ч.) оценена в 400 м<sup>2</sup>. Удельная активность  $^{54}\text{Mn}$  в иле достигала 2200 Бк/кг,  $^{60}\text{Co}$  – 81000 Бк/кг, а  $^{137}\text{Cs}$  – 3200 Бк/кг. Дальнейшему распространению радиоактивных веществ в северной части о. Ягры способствовала несанкционированная деятельность населения, в результате которой ил использовался для сельскохозяйственных целей (мощность экспозиционной дозы – МЭД на приусадебных участках повысилась до 20-30 мкР/ч).

В результате проведенных организационно-технических мероприятий и дезактивации, МЭД была понижена до 10-15 мкР/ч (фон). Максимальное ее значение в центре загрязнения в 1999 г. составляло 60-200 мкР/ч (5% исходной площади). Соответственно это привело к уменьшению в 30-60 раз  $^{60}\text{Co}$  и в 2-3 раза  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях на входе в Никольское устье в т. 11 (см. рис. 4, табл. 15).

### **3.4. Последствия для окружающей среды радиационной аварии, произошедшей при перезарядке активной зоны реактора**

Характер и динамику максимально возможного радиоактивного загрязнения окружающей среды при утилизации АПЛ можно оценить по результатам последствий аварии, произошедшей на одной из АПЛ в марте 1965 г., на СРЗ "Звездочка" (см. рис. 4). При снятии крышки реактора дважды с интервалом в 5 дней в результате нарушения технологии работ произошли кратковременные самопроизвольные цепные реакции (СЦР) с выбросом радиоактивных благородных газов (РБГ) и аэрозолей в атмосферу. Радиоактивные вещества попали на легкий корпус, ремонтирующейся АПЛ, и стоящие рядом вспомогательные суда (легкий и прочный корпуса реакторного отсека были вскрыты для перезарядки активных зон).

Плотность радиоактивного загрязнения снега, в зоне строгого режима (30 м от аварийной АПЛ) через день после первого выброса повысилась до 400-800 Бк/м<sup>2</sup>, что на 2 порядка выше, чем перед аварией. В радиусе 50-100 м она достигала - 50-100 Бк/м<sup>2</sup>. На расстоянии 250 м соответствовала 10-20 Бк/м<sup>2</sup>, а на 2000 м –2-3 Бк/м<sup>2</sup>.

В последующие дни наблюдалась вторичная ветровая миграция радиоактивных веществ. Через 9 дней после выброса на расстоянии 50 м от АПЛ плотность выпадений достигала 1000 Бк/м<sup>2</sup>. Выставленные суточные юветы показали, что в течение полутора месяцев наибольшие уровни выпадений регистрировалась в непосредственной близости от АПЛ. Максимум соответствовал 50000-70000 Бк/м<sup>2</sup>-сут. В пробах находились продукты деления ядерного топлива  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{95}\text{Zr}+^{95}\text{Nb}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$  и др. Бета-загрязнение спецнабережной в радиусе 50-150 м от АПЛ носило неравномерный характер, а плотность  $\beta$ -частиц достигала 1000 расп/мин-см<sup>2</sup>.

Последствия радиоактивного загрязнения наблюдались в течение нескольких месяцев. Наибольшие значения отмечались в радиусе 250-500 м от аварийной АПЛ (табл. 19).

**Таблица 19. Плотность радиоактивных выпадений вокруг аварийной АПЛ, Бк/м<sup>2</sup>·месяц**

Месяц 1965 г.	Расстояние от аварийной АПЛ, м					
	10*	30*	250*	1500**	2000**	2500**
Март	50000 [600-200000]	-	-	110 [10-400]	25 [10 - 55]	33 [20 - 70]
Апрель	10200 [100-67000]	1700 [15-53000]	670 [15-9000]	20 [10 - 30]	16 [ 5 - 25]	20 [10 - 30]
Май	3100 [60-35000]	90 [10-350]	8 [ 3 - 40]	14 [ 5 - 30]	12 [ 5 - 30]	10 [ 5 - 25]

**Примечание.** Средний фон соответствовал  $11 \pm 2$  Бк/м<sup>2</sup>·месяц. \* - территория завода, \*\* - территория города.

Из данных, приведенных в табл. 19, следует, что в марте на расстоянии 2500 м плотность радиоактивных выпадений в 2-3 раза превышала фон и только в мае на удалении более 250-500 м она приблизилась к естественному состоянию. Начальное пространственное загрязнение (по сравнению с фоном) оценивается радиусом в пределах 3000-3500 м, что охватывало всю территорию г. Северодвинска.

Анализ β-активности долгоживущей составляющей аэрозолей воздуха, отбиравшихся круглосуточно на удалении 50 и 1500 м от ПЛА, показал, что в течение трех месяцев на расстоянии 50 м Σβ-активность в 10-20 раз (однажды в 315 раз) превышала фон. В санитарно-защитной зоне концентрации <sup>90</sup>Sr не превышали ПДК. Тем не менее на удалении 1500 м Σβ-активность аэрозолей в течение трех месяцев оставалась в среднем в 2-3 раза выше фона (табл. 20).

**Таблица 20. Объемная Σβ-активность аэрозолей воздуха на различном расстоянии от аварийной АПЛ, 10<sup>-5</sup> Бк/м<sup>3</sup>**

Месяц 1965 г.	Расстояние 50 м			Расстояние 1500 м		
	Минимальная	Средняя	Максимальная	Минимальная	Средняя	Максимальная
Январь	72	270	410	35	300	550
Февраль	40	220	490	110	260	330
Март	110	4850	21800	70	410	2370
Апрель	40	4150	21900	185	670	1100
Май	185	1850	23500	72	410	1040

**Примечание.** 22 марта Σβ-активность достигла максимума -  $82000 \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>. Средний фон соответствовал  $(260 \pm 100) \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>

СЦР-авария сопровождалась не только выбросами в атмосферу РБГ и аэрозолей, но и поступлением радиоактивной воды I контура на акваторию Никольского устья. Через 4 дня Σβ-активность воды у аварийной АПЛ соответствовала  $1,8 \cdot 10^{-7}$  Бк/м<sup>3</sup> (до 50000 ПДК [11]). На расстоянии 1000-1500 м вверх (во время приливов) и вниз по течению, а также у противоположного берега (250 м от АПЛ) – достигала  $10^{-5-6}$  Бк/м<sup>3</sup> (300-3000 ПДК). Активность морской воды преимущественно определялась <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr, что согласуется с радиационной обстановкой на АПЛ и хорошей растворимостью этих радионуклидов в воде по сравнению с другими продуктами деления ядерного топлива (табл. 21).

**Таблица 21. Средняя Σβ-активность воды Никольского устья в районе аварийной АПЛ в январе-мае 1965 г., 10<sup>3</sup> Бк/м<sup>3</sup>**

Месяц	10 м от аварийной АПЛ	1500 м от аварийной АПЛ
Январь	$14 \pm 4^*$	$3 \pm 1^*$
Февраль	$27 \pm 9^*$	$2 \pm 1^*$
Март	$1015 \pm 350$	$22 \pm 7$
Апрель	$8 \pm 3$	$3 \pm 1$
Май	$5 \pm 2$	$2 \pm 1$

**Примечание.** \* - местный уровень фона.

Как следует из данных табл. 21, радиоактивное загрязнение морской воды носило кратковременный характер и проявлялось только в марте 1965 г. В районе АПЛ загрязнение в среднем в течение месяца превышало фон в 75 раз (2700 ПДК), а на удалении 1500 м – в 9 раз (60 ПДК[11]).

Соответственно произошло загрязнение донных отложений. Активность проб грунта, отобранных через 4 месяца у аварийной АПЛ, достигала 3000-60000 Бк/кг (фон  $600 \pm 100$  Бк/кг). Содержание <sup>137</sup>Cs в 1000-10000 раз, а <sup>95</sup>Zr+<sup>95</sup>Nb в 1000 раз превышало фон и соответствовало 10-40 ПДК. Концентрация <sup>144</sup>Ce достигала 13000 Бк/кг (0,04 ПДК [11]). Наибольший вклад в активность грунта возле АПЛ вносил <sup>144</sup>Ce

как трудно вымываемый и хорошо фиксируемый грунтом радионуклид. Однако на расстоянии 200-250 м от места аварии  $\Sigma\beta$ -активность уже не превышала фон.

В результате проведенных мероприятий по дезактивации АПЛ и спецнабережной  $\beta$ -загрязненность данного участка была снижена до допустимых норм. За пределами зоны строгого режима через два месяца после аварии, снимаемое бета-загрязнение уже не обнаруживалось. Активность проб почвы и растительности, отобранных за пределами зоны режима радиационной безопасности через четыре месяца после аварии соответствовала предшествующим годам.

#### 4. Прогноз изменения экологической обстановки при увеличении объемов утилизации АПЛ и возникновении радиационных аварий на АЭУ.

##### 4.1. Ожидаемое изменение загрязнения окружающей среды химическими веществами

Проведенный анализ экологической обстановки на территории Государственного центра атомного судостроения России в периоды активной деятельности ФГУП "ГМП "Звездочка" и ГУП "ПО Севмаш" по строительству, ремонту, модернизации современных АПЛ и на их завершающем этапе – утилизации, с учетом пятикратного увеличения утилизации кораблей с АЭУ, позволяет спрогнозировать загрязнение окружающей среды до 2010 г. Примем линейную модель возрастания экологической нагрузки, а интенсивность загрязнения ОПС будем оценивать в единицах общепринятого показателя ее изменения – ПДК. Такой подход позволит оценить эффективность системы экологической безопасности предприятий при существующей технологии утилизации АПЛ и определить неблагоприятные периоды изменений в ОПС.

Оценки показывают, что ожидаемое увеличение объемов утилизации АПЛ станет к 2010 г. источником интенсивного (до 3-7 ПДК) загрязнения атмосферы окислами углерода и пылью. Уже сейчас необходимо ставить вопрос об ограничении выбросов окислов углерода, а к 2004-06 г.г. решить проблему пылеобразования (табл. 22).

**Таблица 22. Ожидаемая кратность превышения ПДК химических отходов в воздухе г. Северодвинска при увеличении объемов утилизации АПЛ**

Химические вещества	1997 г.	2002 г.	2004 г.	2010 г.	Интервал
Пыль	0,2-0,3	0,3-0,5	0,6 – 1,0	1,5 – 2,5	1,0 – 3,5
Двуокись азота	≤ 0,01	≤ 0,01	0,02	0,05	0,01 – 0,10
Хромовый ангидрид	≤ 0,01	≤ 0,01	0,02	0,05	0,01 – 0,10
Оксид марганца	≤ 0,01	≤ 0,01	0,02	0,05	0,01 – 0,10
Сернистый ангидрид	≤ 0,01	≤ 0,01	0,02	0,05	0,01 – 0,10
Оксиды углерода	0,7-0,9	0,9-1,1	1,8 – 2,2	4,5 – 5,5	3,0 – 7,0
Оксид никеля	≤ 0,01	≤ 0,01	0,02	0,05	0,01 – 0,10
Оксид железа	≤ 0,01	≤ 0,01	0,02	0,05	0,01 – 0,10

Загрязнение Никольского устья химическими веществами в настоящее время по отдельным показателям превосходит допустимые нормы. Требуется его очистка от нефтепродуктов (4,3 ПДК), соединений железа (8,6 ПДК), кадмия (1 ПДК), взвешенных веществ (0,9 ПДК) и понижение БПК (0,6 ПДК). Следует обратить внимание на возрастание в воде никеля и цинка. Именно эти компоненты в течение последующих лет станут определять экологическую нагрузку акватории (табл.23).

**Таблица 23. Ожидаемая кратность превышения ПДК химических веществ в воде Никольского устья при увеличении объемов утилизации АПЛ к 2010 г.**

Вредные химические вещества	Выход из устья		Центральная часть*		Всасывающая насосная		Мост о-ва Ягры (вход)	
	1997	2010	1997	2010	1997	2010	1997	2010
БПК полное	0,3	2	0,1	0,5	0,2	1,0	0,5	2,5
Взвешенные вещества	0,4	2	0,4	2	1,0	5,0	0,9	4,5
Нефтепродукты	4,3	22	0,4	2	0,9	4,5	1,4	7,0
Азот аммонийный	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5
Азот нитратов	0,008	0,05	≤ 0,05	0,2	0,005	0,02	0,007	0,04
Азот нитритов	≤ 0,001	0,005	≤ 0,002	0,01	0,02	0,1	0,08	0,4
Фосфаты	0,04	0,2	≤ 0,01	0,05	0,02	0,1	0,03	0,2
Хром 6-валентный	≤ 0,02	0,1	≤ 0,02	0,1	≤ 0,02	0,1	≤ 0,02	0,1
Железо общее	1,5	8	8,6	43	2,9	15,0	1,3	6,5
Цинк	0,08	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5
Никель	0,1	0,5	0,2	1,0	0,2	1,0	0,1	0,5
Медь	0,02	0,1	0,02	0,1	0,06	0,3	0,03	0,2
Свинец	≤ 0,01	0,05	≤ 0,01	0,05	≤ 0,01	0,05	≤ 0,01	0,05
Кадмий	≤ 1	5	≤ 1	5	1,0	5,0	≤ 1	5,0

Источники загрязнения известны. Необходимо ограничить поступление химических веществ на акваторию Никольского устья, приступив к реорганизации существующей системы очистки сточных вод на предприятиях (табл. 24-25).

**Таблица 24. Кратность превышения ПДК, загрязняющих веществ, при сбросе ГУП "ПО Севмаш" в Никольское устье в 1997 г. канализационных вод.**

Вредные вещества	Номера выпусков ливневой канализации												Инервал
	3а	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	Ср. ПДК	
БПК полное	0,7	0,6	0,4	0,7	0,5	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,6	0,6	0,4 – 0,8
Взвешенные вещества	1,5	0,8	2,2	0,7	1,8	0,9	0,8	1,4	1,4	2,3	1,4	1,4	0,7 – 2,3
Нефтепродукты	1,7	2,5	2,7	3,3	3,0	4,3	1,6	4,6	3,0	3,3	4,5	3,1	1,7 – 4,6
Азот аммонийный	0,7	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,4	0,3	0,4	0,3	0,1 - 0,7
Азот нитратов	0,04	0,01	0,01	0,01	0,005	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01 – 0,05
Азот нитритов	0,2	0,06	0,04	0,06	0,08	0,04	0,2	0,01	0,16	0,14	0,06	0,10	0,01 – 0,20
Фосфаты	0,08	0,08	0,02	0,02	0,02	0,05	0,08	0,06	0,3	0,3	0,3	0,12	0,02 – 0,30
Хром 6+	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	0,2	≤ 0,2
Железо	5,5	2,4	2,9	5,5	4,4	2,4	2,2	2,7	3,5	4,3	2,0	3,4	2,0 – 5,5
Цинк	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,13	0,10 – 0,20
Никель	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,14	0,10 – 0,20
Медь	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02 - 0,05
Свинец	0,2	0,4	0,07	0,5	0,07	0,07	0,2	0,4	2,3	2,5	0,2	0,6	0,07 – 2,50
Кадмий	1,0	≤ 0,1	1,0	≤ 0,1	≤ 0,1	1,0	1,0	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	1,0	0,5	0,1 – 1,0
Максимум	5,5	2,5	2,9	5,5	4,4	4,3	2,2	4,6	3,5	4,3	4,5	3,4	0,01 – 5,50



**Таблица 25. Ожидаемая кратность превышения ПДК химических веществ в промышленных сливах ГУП “ПО Севмаш” при пятикратном увеличении объемов утилизации АПЛ к 2010 г.**

Вредные вещества	Номера выпусков ливневой канализации											Ср. ПДК	Интервал
	3	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13		
БПК полное	4	3	2	4	2	3	3	3	4	4	3	3	2 – 4
Взвешенные вещества	8	4	6	4	9	4	4	7	7	12	7	7	4 – 12
Нефтепродукты	8	12	14	16	15	22	9	23	15,0	16	22	16	8 – 23
Азот аммонийный	4	1	0,5	1,5	0,5	1	1,5	0,5	2	1,5	2	1,5	0,5 – 3,5
Азот нитратов	0,2	0,05	0,05	0,05	0,02	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,05	0,1	0,05 – 0,25
Азот нитритов	1	0,3	0,2	0,3	0,4	0,2	1	0,05	0,9	0,7	0,3	0,5	0,05 – 1,0
Фосфаты	0,4	0,4	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,3	1,5	1,5	1,5	0,6	0,1 – 1,5
Хром 6+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0	≤ 1,5
Железо	28	12	15	28	22	12	12	14	18	22	10	17	10 – 28
Цинк	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,7	0,5 – 1,0
Никель	1	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1	0,5	0,7	0,5 – 1,0
Медь	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1 - 0,3
Свинец	1	2	0,4	2	0,4	0,4	1	2	12	12	1	3,0	0,4 – 1,2
Кадмий	5	0,5	5	0,5	0,5	5	5	0,5	0,5	0,5	5	2,5	0,5 – 5,0
Максимум	28	12	15	28	22	22	12	23	17	22	22	17	0,05 – 28

#### 4.2. Ожидаемое изменение загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами

Увеличение объемов утилизации АПЛ к 2010 г. в среднем в 5 раз непременно скажется на увеличении поступления техногенных радионуклидов в ОПС. Однако качественного изменения радиэкологической обстановки не ожидается, т.к. в настоящее время созданы условия, при которых невозможно превысить допустимые нормы загрязнения окружающей среды такими видами работ. Во всех случаях загрязнение ОПС не будет превышать 0,001 ПДК. Возможные отклонения от существующего положения можно представить из данных приведенных в табл. 26.

**Таблица 26. Средняя объемная активность радионуклидов в аэрозолях и атмосферных выпадениях на ГУП “ПО Севмаш” и г. Северодвинске в различные годы**

Годы	Аэрозоли, 10 <sup>-5</sup> Бк/м <sup>3</sup>								Выпадения, Бк/м <sup>2</sup> ·месяц							
	ГУП “ПО Севмаш”				г. Северодвинск				ГУП “ПО Севмаш”				г. Северодвинск			
	<sup>60</sup> Co	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>144</sup> Ce	<sup>60</sup> Co	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>144</sup> Ce	<sup>60</sup> Co	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>144</sup> Ce	<sup>60</sup> Co	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>144</sup> Ce
2001г.	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,5	0,4	2,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2
2010г.	1,3	0,8	0,7	0,7	0,2	0,3	0,3	0,2	2,0	1,9	11,6	0,8	0,3	0,2	0,3	0,3

Приведенные в табл. 26 значения, в сотни раз остаются меньше, чем это наблюдалось до 1990 г. и было связано с ремонтами АПЛ. Увеличение объемной активности техногенных радионуклидов в морской воде и донных отложениях в 3-5 раз возможно в районе расположения АПЛ. Радиус загрязнения не будет превышать 300-500 м и сохранится на акватории предприятий до полного разбавления, что практически исключает несанкционированную добычу населением морепродуктов дополнительно загрязненных утилизируемыми АПЛ.

Вероятность возникновения СЦР на АПЛ не превысит, имевшийся уровень  $(3 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$  событий/реактор-год, в связи с тем, что количество утилизируемых в год АПЛ не превзойдет ранее ремонтировавшийся их объем. Напротив данный фактор, как и в настоящее время, будет удовлетворять международным нормам  $10^{-6} - 10^{-5}$  событий/реактор-год [14].

### 4.3. Радиоактивное загрязнение окружающей среды и дозовые нагрузки, возникающие при проектных и запроектных авариях АЭУ

При выгрузке активной зоны реактора с большим сроком выдержки, неработающими общекорабельными системами и расхоложенным I контуром не исключено возникновение максимальной проектной аварии (МПА). По принятой схеме перегрузки МПА может произойти в результате механического разрушения отработавшей тепловыделяющей сборки (ОТВС) с выходом в атмосферу накопленных за кампанию долгоживущих летучих продуктов деления  $^{85}\text{Kr}$  и  $^{129}\text{I}$ . Нелетучие долгоживущие радионуклиды  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и др. из холодной матрицы не выходят. МПА может произойти и при пожаре. Не исключена и запроектная авария, связанная с возникновением СЦР. Как показывает опыт, ее возникновение обусловлено ошибками персонала и нарушением технологии работ.

При МПА, с полным разрушением ОТВС, максимальное количество  $^{85}\text{Kr}$  и  $^{129}\text{I}$  достигает  $6 \cdot 10^{11}$  и  $2 \cdot 10^6$  Бк соответственно. Расчеты, приведенные в работе [15], с использованием методик [16-18], позволили прийти к выводу, что в непосредственной близости от разрушенной ОТВС при загрязнении ОПС дозы внешнего гамма-излучения за аварию достигают 0,2 мкГр (наихудшие условия – категория устойчивости В, скорость ветра 2 м/с), от бета-излучения на базальный слой кожи – 700 мкГр, а при внутреннем ингаляционном облучении – 1,3 мкЗв. В результате максимальная доза за аварию может составить 2,2 мкЗв, что значительно ниже допустимой нормы – 1 мЗв. Поступившие в окружающую среду радиоактивные вещества не выходят за пределы санитарно-защитной зоны (СЗЗ), а сама авария не представляет опасности для населения.

Пожар в реакторном отсеке маловероятен, но не исключен. АПЛ, длительное время находящаяся в отстое, не содержит большого количества горючего материала. Источником возгорания в реакторном отсеке могут быть незначительные количества смазочных материалов, краска, изоляция, ветошь (максимум до 100 кг, пожар тушится в течение часа). Тем не менее, тепловой поток может привести к частичному (до 20 л) испарению теплоносителя I контура (при открытой крышке реактора).

При пожаре образуется тепловой факел радиусом до 5 м. Горячие дым и газы способны вынести в атмосферу до  $5 \cdot 10^4$  Бк радиоактивных веществ. Максимальному облучению подвергнется персонал. При этом каждый оператор получит:  $2 \cdot 10^{-6}$  мкГр – внешнего облучения,  $1,5 \cdot 10^{-5}$  мкГр – облучения базального слоя кожи и  $2 \cdot 10^{-3}$  мкЗв – внутреннего ингаляционного облучения. Эти дозы ничтожны и на несколько порядков ниже допустимых для населения. Соответственно ОПС не загрязняется выше допустимых норм.

Наибольшую опасность для населения представляет СЦР-авария. Во время утилизации возможна на СЦР только на расхоложенном реакторе при вскрытом реакторном отсеке. Подъем радиоактивного облака происходит в пределах 50-140 м (в данном случае оценки произведены при подъеме на 100 м). При расчетах принято максимальное для корабельных реакторов число делений ядерного топлива за СЦР –  $10^{20}$ . Рассмотрено состояние трех фаз аварии:

- ранняя – первые двое суток, когда дозовые нагрузки формируются внешним облучением от облака и ингаляционным поступлением радионуклидов;
- средняя – до 10 суток после аварии, когда облучение определяется излучением радиоактивных веществ, осевших на почву;
- поздняя – первый год после аварии (излучение радиоактивных веществ с поверхности почвы).

Результаты расчетов приведены в табл. 27-30 [15]. Эффективные дозы оценены на оси следа, т.е. в области максимального выпадения радиоактивных веществ. Радиоактивное загрязнение практически полностью определяется  $^{90}\text{Sr}$  (до 10%) и  $^{137}\text{Cs}$  (до 90%). С радиационно-гигиенической точки зрения потенциальную опасность для населения представляют уровни загрязнения  $(3-4) \cdot 10^6$  Бк/м<sup>2</sup>, создающие дозы на местности до 5 мГр/год.

**Таблица 27. Характеристики радиационных последствий СЦР на ранней фазе аварии, реализующиеся при различных состояниях атмосферы**

Расстояние, м Категория устойчивости	Эффективная доза, сЗв				Доза облучения кожи β-излучением от облака	Остаточное Загрязнение поверхности, Бк/м <sup>2</sup>
	Внешнее облучение от облака	Внутреннее облучение при ингаляц.	Внешнее облу- чение от по- верхности	Суммарная эффектив- ная доза		
Класс В						
100	$1,74 \cdot 10^{-8}$	$9,87 \cdot 10^{-8}$	$2,27 \cdot 10^{-9}$	$1,18 \cdot 10^{-7}$	$6,63 \cdot 10^{-9}$	$1,69 \cdot 10^0$
200	$4,13 \cdot 10^{-3}$	$2,52 \cdot 10^{-2}$	$5,80 \cdot 10^{-4}$	$2,99 \cdot 10^{-2}$	$1,55 \cdot 10^{-3}$	$4,32 \cdot 10^5$
300	$3,29 \cdot 10^{-2}$	$2,15 \cdot 10^{-3}$	$4,94 \cdot 10^{-3}$	$2,53 \cdot 10^{-1}$	$1,22 \cdot 10^{-2}$	$3,69 \cdot 10^6$
500	$5,79 \cdot 10^{-2}$	$4,27 \cdot 10^{-1}$	$9,76 \cdot 10^{-3}$	$4,95 \cdot 10^{-1}$	$2,11 \cdot 10^{-2}$	$7,31 \cdot 10^6$
1000	$2,74 \cdot 10^{-2}$	$2,57 \cdot 10^{-1}$	$5,82 \cdot 10^{-3}$	$2,91 \cdot 10^{-1}$	$9,67 \cdot 10^{-3}$	$4,41 \cdot 10^6$
1500	$1,27 \cdot 10^{-2}$	$1,44 \cdot 10^{-1}$	$3,22 \cdot 10^{-3}$	$1,60 \cdot 10^{-1}$	$4,45 \cdot 10^{-3}$	$2,46 \cdot 10^6$
2000	$6,89 \cdot 10^{-3}$	$9,02 \cdot 10^{-2}$	$2,00 \cdot 10^{-3}$	$9,91 \cdot 10^{-2}$	$2,42 \cdot 10^{-3}$	$1,55 \cdot 10^6$
2500	$4,17 \cdot 10^{-3}$	$6,20 \cdot 10^{-2}$	$1,37 \cdot 10^{-3}$	$6,75 \cdot 10^{-2}$	$1,48 \cdot 10^{-3}$	$1,06 \cdot 10^6$
3000	$2,72 \cdot 10^{-3}$	$4,54 \cdot 10^{-2}$	$9,94 \cdot 10^{-4}$	$4,91 \cdot 10^{-2}$	$9,73 \cdot 10^{-4}$	$7,77 \cdot 10^5$
5000	$7,68 \cdot 10^{-4}$	$1,88 \cdot 10^{-2}$	$4,04 \cdot 10^{-4}$	$2,00 \cdot 10^{-2}$	$2,83 \cdot 10^{-4}$	$3,22 \cdot 10^5$
10000	$1,31 \cdot 10^{-4}$	$5,79 \cdot 10^{-3}$	$1,21 \cdot 10^{-4}$	$6,05 \cdot 10^{-3}$	$4,75 \cdot 10^{-5}$	$9,93 \cdot 10^4$
Класс С						
100	$5,60 \cdot 10^{-15}$	$3,10 \cdot 10^{-14}$	$7,10 \cdot 10^{-16}$	$3,70 \cdot 10^{-14}$	$2,10 \cdot 10^{-15}$	$5,29 \cdot 10^{-7}$
200	$4,39 \cdot 10^{-5}$	$2,56 \cdot 10^{-4}$	$5,89 \cdot 10^{-6}$	$3,06 \cdot 10^{-4}$	$1,76 \cdot 10^{-5}$	$4,38 \cdot 10^3$
300	$3,88 \cdot 10^{-3}$	$2,37 \cdot 10^{-2}$	$5,45 \cdot 10^{-4}$	$2,82 \cdot 10^{-2}$	$1,46 \cdot 10^{-3}$	$4,06 \cdot 10^5$
500	$2,97 \cdot 10^{-2}$	$1,98 \cdot 10^{-1}$	$4,55 \cdot 10^{-3}$	$2,33 \cdot 10^{-1}$	$1,10 \cdot 10^{-2}$	$3,40 \cdot 10^6$
1000	$3,17 \cdot 10^{-2}$	$2,55 \cdot 10^{-1}$	$5,82 \cdot 10^{-3}$	$2,93 \cdot 10^{-1}$	$1,14 \cdot 10^{-2}$	$4,38 \cdot 10^6$
1500	$1,82 \cdot 10^{-2}$	$1,71 \cdot 10^{-1}$	$3,86 \cdot 10^{-3}$	$1,93 \cdot 10^{-1}$	$6,42 \cdot 10^{-3}$	$2,93 \cdot 10^6$
2000	$1,09 \cdot 10^{-2}$	$1,16 \cdot 10^{-2}$	$2,60 \cdot 10^{-3}$	$1,29 \cdot 10^{-1}$	$3,80 \cdot 10^{-3}$	$1,98 \cdot 10^6$
2500	$6,97 \cdot 10^{-3}$	$8,29 \cdot 10^{-2}$	$1,85 \cdot 10^{-3}$	$9,17 \cdot 10^{-1}$	$2,44 \cdot 10^{-3}$	$1,42 \cdot 10^6$
3000	$4,76 \cdot 10^{-3}$	$6,23 \cdot 10^{-2}$	$1,38 \cdot 10^{-3}$	$6,84 \cdot 10^{-2}$	$1,67 \cdot 10^{-3}$	$1,07 \cdot 10^6$
5000	$1,51 \cdot 10^{-3}$	$2,71 \cdot 10^{-2}$	$5,90 \cdot 10^{-4}$	$2,92 \cdot 10^{-2}$	$5,44 \cdot 10^{-4}$	$4,64 \cdot 10^5$
10000	$2,76 \cdot 10^{-4}$	$8,65 \cdot 10^{-3}$	$1,83 \cdot 10^{-4}$	$9,11 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-4}$	$1,48 \cdot 10^5$
Класс D						
100	$3,00 \cdot 10^{-26}$	$1,60 \cdot 10^{-25}$	$3,80 \cdot 10^{-27}$	$1,90 \cdot 10^{-25}$	$1,20 \cdot 10^{-26}$	$2,80 \cdot 10^{-18}$
200	$8,26 \cdot 10^{-9}$	$4,62 \cdot 10^{-8}$	$1,07 \cdot 10^{-9}$	$5,56 \cdot 10^{-8}$	$3,16 \cdot 10^{-9}$	$7,92 \cdot 10^{-1}$
300	$4,68 \cdot 10^{-5}$	$2,70 \cdot 10^{-4}$	$6,22 \cdot 10^{-6}$	$3,23 \cdot 10^{-4}$	$1,78 \cdot 10^{-5}$	$4,62 \cdot 10^3$
500	$4,81 \cdot 10^{-3}$	$2,94 \cdot 10^{-2}$	$6,76 \cdot 10^{-4}$	$3,49 \cdot 10^{-2}$	$1,81 \cdot 10^{-3}$	$5,03 \cdot 10^5$
1000	$2,19 \cdot 10^{-2}$	$1,52 \cdot 10^{-1}$	$3,48 \cdot 10^{-3}$	$1,77 \cdot 10^{-1}$	$8,03 \cdot 10^{-3}$	$2,43 \cdot 10^6$
1500	$1,83 \cdot 10^{-2}$	$1,43 \cdot 10^{-1}$	$3,26 \cdot 10^{-3}$	$1,64 \cdot 10^{-1}$	$6,61 \cdot 10^{-3}$	$2,45 \cdot 10^6$
2000	$1,30 \cdot 10^{-2}$	$1,12 \cdot 10^{-1}$	$2,53 \cdot 10^{-3}$	$1,27 \cdot 10^{-1}$	$4,62 \cdot 10^{-3}$	$1,91 \cdot 10^6$
2500	$9,19 \cdot 10^{-3}$	$8,63 \cdot 10^{-2}$	$1,95 \cdot 10^{-3}$	$9,74 \cdot 10^{-2}$	$3,24 \cdot 10^{-3}$	$1,48 \cdot 10^6$
3000	$6,68 \cdot 10^{-3}$	$6,79 \cdot 10^{-2}$	$1,53 \cdot 10^{-3}$	$7,61 \cdot 10^{-2}$	$2,35 \cdot 10^{-3}$	$1,16 \cdot 10^6$
5000	$2,46 \cdot 10^{-3}$	$3,21 \cdot 10^{-2}$	$7,13 \cdot 10^{-4}$	$3,53 \cdot 10^{-2}$	$8,63 \cdot 10^{-4}$	$5,50 \cdot 10^5$
10000	$5,32 \cdot 10^{-4}$	$1,09 \cdot 10^{-2}$	$2,36 \cdot 10^{-4}$	$1,17 \cdot 10^{-2}$	$1,94 \cdot 10^{-4}$	$1,87 \cdot 10^5$

**Примечание.** Класс В – умеренно неустойчивое состояние атмосферы, С - слегка неустойчивое состояние атмосферы, D - нейтральное состояние атмосферы.

**Таблица 28. Характеристики радиационных последствий СЦР на средней фазе аварии, реализующиеся при различных состояниях атмосферы**

Расстояние от источника выброса, м	Э ф ф е к т и в н а я д о з а, сЗв		
	Класс устойчивости атмосферы		
	Класс В	Класс С	Класс D
100	$9,54 \cdot 10^{-9}$	$3,00 \cdot 10^{-15}$	$1,50 \cdot 10^{-26}$
200	$2,24 \cdot 10^{-3}$	$2,47 \cdot 10^{-5}$	$4,47 \cdot 10^{-9}$
300	$2,08 \cdot 10^{-2}$	$2,29 \cdot 10^{-3}$	$2,61 \cdot 10^{-5}$
500	$4,12 \cdot 10^{-2}$	$1,92 \cdot 10^{-2}$	$2,84 \cdot 10^{-3}$
1000	$2,48 \cdot 10^{-2}$	$2,46 \cdot 10^{-2}$	$1,47 \cdot 10^{-2}$
1500	$1,38 \cdot 10^{-2}$	$1,64 \cdot 10^{-2}$	$1,38 \cdot 10^{-2}$
2000	$8,65 \cdot 10^{-3}$	$1,11 \cdot 10^{-2}$	$1,08 \cdot 10^{-2}$
2500	$5,93 \cdot 10^{-3}$	$7,96 \cdot 10^{-3}$	$8,31 \cdot 10^{-3}$
3000	$4,34 \cdot 10^{-3}$	$5,97 \cdot 10^{-3}$	$6,53 \cdot 10^{-3}$
5000	$1,79 \cdot 10^{-3}$	$2,59 \cdot 10^{-3}$	$3,08 \cdot 10^{-3}$
10000	$5,48 \cdot 10^{-4}$	$8,22 \cdot 10^{-4}$	$1,04 \cdot 10^{-3}$

**Таблица 29. Характеристики радиационных последствий СЦР на поздней фазе аварии, реализующиеся при различных состояниях атмосферы**

Расстояние от источника выброса, м	Э ф ф е к т и в н а я д о з а, сЗв		
	Класс устойчивости атмосферы		
	Класс В	Класс С	Класс D
100	$3,28 \cdot 10^{-7}$	$1,00 \cdot 10^{-13}$	$5,40 \cdot 10^{-25}$
200	$8,39 \cdot 10^{-2}$	$8,51 \cdot 10^{-4}$	$1,54 \cdot 10^{-7}$
300	$7,16 \cdot 10^{-1}$	$7,89 \cdot 10^{-2}$	$8,98 \cdot 10^{-4}$
500	$1,42 \cdot 10^0$	$6,60 \cdot 10^{-1}$	$9,78 \cdot 10^{-2}$
1000	$8,57 \cdot 10^{-1}$	$8,50 \cdot 10^{-1}$	$5,06 \cdot 10^{-1}$
1500	$4,78 \cdot 10^{-1}$	$5,68 \cdot 10^{-1}$	$4,75 \cdot 10^{-1}$
2000	$3,00 \cdot 10^{-1}$	$3,85 \cdot 10^{-1}$	$3,72 \cdot 10^{-1}$
2500	$2,06 \cdot 10^{-1}$	$2,76 \cdot 10^{-1}$	$2,87 \cdot 10^{-1}$
3000	$1,51 \cdot 10^{-1}$	$2,07 \cdot 10^{-1}$	$2,26 \cdot 10^{-1}$
5000	$6,26 \cdot 10^{-2}$	$9,01 \cdot 10^{-2}$	$1,07 \cdot 10^{-1}$
10000	$1,93 \cdot 10^{-2}$	$2,88 \cdot 10^{-2}$	$3,63 \cdot 10^{-1}$

**Таблица 30. Размеры и площади загрязнения территории радионуклидами цезием-137 и стронцием-90 при СЦР**

Расстояние от источника выброса, м	Ц е з и й - 137								
	Полуширина зоны загрязнения (м) при различных классах устойчивости атмосферы и различных уровнях загрязнения (Бк/м <sup>2</sup> )								
	Класс В			Класс С			Класс D		
	$3,7 \cdot 10^6$	$3,7 \cdot 10^5$	$3,7 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^6$	$3,7 \cdot 10^5$	$3,7 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^6$	$3,7 \cdot 10^5$	$3,7 \cdot 10^4$
400	11	-	85	-	37	92	-	3	7
600	19	93	168	2	84	166	-	34	92
800	15	-	-	7	114	218	1	76	148
1000	0	134	265	3	134	265	12	104	196
1500	-	-	-	-	-	-	14	-	-
2000	-	143	392	-	170	412	0	164	338
4000	-	26	495	-	127	568	-	127	455
6000	-	0	514	-	3	629	-	0	477
8000	-	-	485	-	-	631	-	-	454
10000	-	-	416	-	-	595	-	-	394
12500	-	-	291	-	-	530	-	-	281
17500	-	-	0	-	-	300	-	-	0
Протяженность пятна следа, м	600	3500	15000	450	5500	19000	1300	5000	15000

Площадь загрязн. км <sup>2</sup>	0,02	0,82	12,3	0,01	1,6	18,1	0,03	1,3	10,8
Стронций - 90									
400	-	15	71	-	-	40	-	-	-
600	-	24	106	-	7	89	-	-	39
800	-	22	128	-	14	121	-	8	83
1000	-	12	144	-	11	142	-	22	113
1500	-	0	-	-	0	-	-	-	-
2000	-	-	158	-	-	187	-	3	182
4000	-	-	57	-	-	127	-	-	157
6000	-	-	-	-	-	32	-	-	44
8000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Протяжен- ность пятна следа, м	-	900	3500	-	1000	6300	-	1300	5500
Площадь загрязн. км <sup>2</sup>	-	0,04	0,9	-	0,02	2,0	-	0,05	1,6

Из данных, приведенных в табл. 27-30, с учетом взаимного расположения предприятий и городских застроек (см. рис. 4) следует, что на ранней фазе аварии суммарная эффективная доза на оси следа на расстоянии 500-600 м от источника достигает предела допустимой нормы - 5 мЗв (ближняя граница СЗЗ "ГМП "Звездочка" при южных ветрах, категория устойчивости В). Для категорий устойчивости С доза соответствует 3 мЗв и D - 2 мЗв. На 80-90% она определяется внутренним ингаляционным облучением.

В г. Северодвинске максимальные эффективные дозы формируются на ранней стадии аварии при северных ветрах на границе СЗЗ и равны: 1,2 мЗв (категория устойчивости В); 1,6 мЗв (категория С) и 1,4 мЗв (категория D).

На промежуточной фазе аварии эффективные дозы рассчитаны для непрерывного пребывания населения на оси следа в течение 10 суток. Без учета дезактивации, ограждения и ограничения доступа в наиболее загрязненные участки территории максимальная эффективная доза соответствует: 0,1 мЗв (категория устойчивости В); 0,07 мЗв (категория С) и 0,04 мЗв (категория D).

На поздней стадии аварии расчет произведен для непрерывного пребывания на следе в течение года. Без учета дезактивации, ограждения и ограничения доступа в наиболее загрязненные участки территории максимальная эффективная доза соответствует: 3,6 мЗв (категория устойчивости В); 2,3 мЗв (категория С) и 1,3 мЗв (категория D).

Территория жилмассива Ягры составляет около 1,5 км<sup>2</sup>. В соответствии с результатами расчетов, приведенными в табл. 30, при ветрах южных направлений возможно радиоактивное загрязнение с плотностью выпадений до  $4 \cdot 10^5$  Бк/м<sup>2</sup>, что создает эквивалентную дозу 0,9 мГр/год. Для г. Северодвинска, который удален от источника на 1600-1800 м дозы в 4-5 раз меньше.

С учетом реального пребывания на улицах города не более 6 часов в сутки на промежуточной стадии аварии дозы в жилмассиве Ягры не превысят 1 мЗв, в г. Северодвинске - 0,4 мЗв, на поздней - 3,6 и 1,2 мЗв соответственно. Для ГУП "ПО Севмаш" (500 м от источника), суммарная эффективная доза за аварию не превысит 5 мЗв при любых условиях.

Таким образом, в настоящее время границы СЗЗ предприятий обеспечивают радиационную безопасность населения г. Северодвинска до допустимых норм при любых типах радиационных аварий АЭУ утилизируемых АПЛ.

## 5. Радиоэкологическая опасность утилизации атомных подводных лодок

### 5.1. Методические подходы оценки радиационных рисков

Многолетние исследования приводят к выводу, что деятельность предприятий по ремонту и утилизации АПЛ всегда сопровождается радиоактивным загрязнением окружающей среды. В этом случае мерой опасности становится радиационный риск. В формулировке МКРЗ, он означает угрозу наступления нежелательного события, включая вероятность его проявления и степень тяжести. В таком виде риск является синонимом понятия опасности.

Принято считать, что при обеспечении радиационной безопасности человека защищена и ОПС [19]. В соответствии с этим к нижнему пределу безопасного существования ОПС можно отнести дозы менее 0,05 Зв/год в связи с тем, что они допустимы для проживания населения в местах радиационных аварий. Одновременно радиационным нормативом [20] установлено, что дозы внешнего облучения менее 0,1 Гр/год не вызывают вредных последствий, стимулирующе действуют на живые организмы и растения. Таким образом диапазон доз 0,5-1,0 Гр/год может быть принят в качестве нижнего порога безопасного существования различных видов биоценозов и ОПС.

Среди множества проблем совершенствования процесса управления качеством окружающей среды в интересах обеспечения здоровья и благополучия населения особое место занимает проблема определения приоритетов в действиях, направленных на улучшение экологической обстановки, что позволяет правильно распределять и направлять финансовые средства на природоохранные мероприятия при проведении работ по утилизации АПЛ. В настоящее время в России, как и в большинстве экономически развитых стран мира, методология оценки риска рассматривается как один из приоритетных и эффективных инструментов управленческих решений в области охраны здоровья человека и окружающей среды.

В многофакторной концепции риска определяющим показателем ущерба является вероятность наступления смерти. Учет других неблагоприятных воздействий в виде болезней, наследуемых заболеваний, беспокойств и т. д. принято выражать через коэффициент риска от смертельного рака в виде поправок к фактическому его значению, а также в денежном эквиваленте.

Концептуальной основой теории риска является представление о том, что общество не может существовать без рисков. Исходя из этого, а также соглашения о целесообразности суммирования всех видов рисков, сопровождающих человеческую жизнь, Комиссия МКРЗ в Публикации 26 рекомендует принять для профессиональных работников величину приемлемого риска  $10^{-3}$  смертей в год и дополнительную годовую вероятность смерти отдельных лиц из населения -  $10^{-5}$  (годовой предел дозы 1 мЗв). Риск на уровне  $\leq 10^{-6}$  считается пренебрежимым. Он разделяет область оптимизации риска от области приемлемого риска, ниже которого учет доз облучения не целесообразен.

Во всем диапазоне влияний радиоэкологическую опасность можно выразить через величину радиационного риска несколькими способами. Наиболее удобной является ступенчатая зависимость вида:  $\leq 10^{-6}$  гибель/чел-год - опасность незначительная;  $10^{-6}-10^{-5}$  - низкая;  $10^{-5}-10^{-3}$  - средняя;  $10^{-3}-10^{-2}$  - высокая;  $\geq 10^{-2}$  - чрезмерная (границы  $\geq 10^{-2}$  и  $\leq 10^{-6}$  соответствуют вероятности естественной смерти от болезней и гибели от природных явлений).

Оценки радиационного риска для здоровья человека, обусловленного утилизацией АПЛ, в настоящее время не имеют нормативно-методической основы. Установленные в документах дозовые пределы и производные от них уровни исходят из понятия эффективной дозы, которая в свою очередь рекомендована МКРЗ в целях характеристики радиационного вреда в терминах риска. Методология оценки риска загрязнения ОПС, рекомендованная Агентством по охране окружающей среды США, в настоящее время только проходит апробацию на основании совместного Постановления Госкомэкологии и Департамента Госсанэпиднадзора Минздрава России. Практически предлагается использовать простейшее приближение – расчет коэффициентов риска (аварийные ситуации эти коэффициенты не охватывают).

Последовательная методология оценки радиоэкологической опасности применения радиационных технологий должна использовать понятия и соответствующие величины вероятностей возникновения событий, фактического загрязнения ОПС, пребывания в условиях загрязнения, получения дополнительных дозовых нагрузок и их негативных последствий для здоровья человека или ОПС.

Соответственно применительно к радиационно-опасным работам, степень их опасности (риск - R) выражается как произведение следующих компонент:

$$R = P_1 P_2 P_3 P_4(D) P_5(\text{ЭФ}/D) , \quad (1)$$

где  $P_1$  – вероятность возникновения радиационной аварии;  $P_2$  - вероятность радиоактивного загрязнения окружающей среды;  $P_3$  - вероятность пребывания в условиях радиоактивного загрязнения;  $P_4(D)$  - вероятность формирования дозовых нагрузок от D до  $D+\Delta D$ ;  $P_5(\text{ЭФ}/D)$  - вероятность нарушения здоровья человека, потомства, популяции и т. д. от полученных доз.

При анализе и оценке радиационного риска, как правило, исходят из отдельного рассмотрения рисков для здоровья человека (население, служащие, профессиональные работники) и учета загрязнения ОПС при нормальных условиях эксплуатации радиационно-опасных объектов и аварийных ситуациях.

Величины трех первых составляющих соотношения (1) при детерминированном характере событий близки к единице, при случайном – определяются интенсивностью радиационных аварий. Компонента  $P_4(D)$  находится с учетом всех возможных путей распространения техногенных радионуклидов в ОПС, их переходов из одних звеньев (камер) в другие и обменов между ними.

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = P_i - C_i \left( \sum_{i \neq j} K_{ij} + \lambda \right) + \sum_{i \neq j} K_{ij} C_j , \quad (2)$$

где  $C_i$  – концентрация радионуклида в  $i$  – камере;  $P_i$  – коэффициент поступления радионуклида из ОПС в  $i$  – камеру;  $K_{ij}$  – коэффициент перехода из  $i$  – камеры в  $j$  – ую;  $\lambda_i$  - постоянная радиоактивного распада  $i$  –го радионуклида.

Вероятность  $P_5(\text{ЭФ}/D)$  выражает возможность нарушения здоровья человека или критической группы людей, либо неблагоприятных изменений в объектах биосферы. Для облучения, сопровождающегося стохастическими эффектами в живых организмах, она определяется как:

$$P_5(\text{ЭФ}/D) = r_E \cdot E , \quad (3)$$

где  $r_E$  – суммарный коэффициент риска соматических и генетических повреждений. Для производственного облучения при  $E < 200$  мЗв/год  $r_E = 5,6 \cdot 10^{-2}$  1/чел.-Зв, при  $E \geq 200$  мЗв/год  $r_E = 1,1 \cdot 10^{-1}$  1/чел.-Зв. Для облучения населения при  $E < 200$  мЗв/год  $r_E = 7,3 \cdot 10^{-2}$  1/чел.-Зв, при  $E \geq 200$  мЗв/год  $r_E = 1,5 \cdot 10^{-1}$  1/чел.-Зв [5];  $E$  – эффективная доза облучения.

Управленческие решения на проведение мероприятий по снижению уровня радиационного риска обосновываются из условия:

$$\sum_P \sum_i \frac{\alpha(i,P)}{\text{ПУВ}(i,P)} \geq 1 , \quad (4)$$

где  $\alpha(i,P)$  – величина измеряемого или рассчитываемого параметра для  $i$  – го радионуклида при  $P$  – том пути облучения; ПУВ( $i,P$ ) - производный уровень вмешательства (критериальное значение производного параметра радиационной обстановки) для  $i$  – го радионуклида при  $P$  – том пути облучения.

Негативное влияние излучения на человека проявляется не только в ухудшении его здоровья, но и в виде социальных, экономических, моральных последствий, нарушении прав и т. п. В этом случае в качестве обобщенного критерия ущерба выступает стоимостная форма оценки вреда:

$$Y = \alpha R , \quad (5)$$

где  $Y$  - ущерб;  $\alpha$  - цена риска;  $R$  - риск.

Ущерб (цена риска), как правило, нормируется на некоторый единичный риск, например  $2 \cdot 10^{-4}$  смертей / год, и составляет для промышленно развитых стран в различных областях техносферы от 10 до 1000 долларов на единицу риска. Для слабо развитых стран он имеет меньшие значения. В России при утилизации АПЛ ущерб от облучения в 10 чел-мЗв или единицы риска  $5,6 \cdot 10^{-4}$  ориентировочно соответствует 170 долларам [21]. Следует иметь ввиду, цена риска  $\alpha$  величина переменная, зависящая от  $R$ , в связи с чем ущерб может оцениваться различными значениями.

Приведенный подход приемлем для решения социальных задач применительно к человеку, работающему в ядерной энергетике или вынужденно соприкасающемуся с данной отраслью. Однако не следует рассматривать его как окончательный этап, т. к. при принятии решения на государственном уровне о целесообразности дальнейших работ, в частности по утилизации АПЛ, в силу вступает фактор социаль-

ной и международной значимости. В этом случае важно найти оптимальные условия, чтобы величина индивидуального риска не превышала величины общественной пользы, которую государство получает от применения опасных технологий в обмен на допустимый социальный ущерб.

## 5.2. Оценка радиэкологической опасности утилизации АПЛ

Отмеченное выше повышенное содержание техногенных радионуклидов в приземном слое атмосферы, почве, морской воде и донных отложениях формирует дополнительные дозы облучения у служащих и населения. Их значения различны, в связи с чем, различается и степень радиэкологической опасности отдельных этапов утилизации АПЛ (табл. 31).

**Таблица 31. Максимальные дозы облучения и радиационные риски, возникающие при загрязнении атмосферы техногенными радионуклидами, на предприятиях и в городе в процессе утилизации, ремонта АПЛ и аварии АЭУ**

Территория, этапы	Дозы, мкЗв/год					Радиационный риск, $10^{-6}$				
	$^{60}\text{Co}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{144}\text{Ce}$	$\Sigma D$	$^{60}\text{Co}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{144}\text{Ce}$	$\Sigma R$
<b>Предприятия</b>										
Авария АЭУ	-	-	-	-	22,5	-	-	-	-	1,3
Ремонт АПЛ	1,0	3,1	2,5	0,5	7,1	0,06	0,17	0,14	0,03	0,4
Утилизация АПЛ	0,0004	0,004	0,0004	0,002	0,005	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
<b>г. Северодвинск</b>										
Авария АЭУ	-	-	-	-	5,1	-	-	-	-	0,4
Ремонт АПЛ	0,07	0,6	0,05	0,4	1,1	0,005	0,04	0,004	0,03	0,08
Утилизация АПЛ	0,0003	0,002	0,0003	0,001	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Глобальные выпадения	-	< 0,001	< 0,001	-	< 0,001	-	< 0,001	< 0,001	-	< 0,001

**Примечание.** Дозы и риски для населения приведены на границе предприятие-город (см. рис.4), в центре города и на окраине их значения в 5-7 и 15-30 раз меньше соответственно.

Из данных, приведенных в табл. 31, следует, что суммарная доза, формируемая техногенными радионуклидами, поступающими в атмосферу при ремонте АПЛ и аварии АЭУ, на территории предприятий не превышает 30 мкЗв/год, что эквивалентно радиационному риску  $2 \cdot 10^{-6}$  и в г. Северодвинске - 1-5 мкЗв/год ( $R = 0,5 \cdot 10^{-6}$ ). При утилизации АПЛ дозы в тысячи раз меньше и, соответственно, во столько же раз меньше радиационный риск:  $\Sigma D = 0,005$  мкЗв/год,  $R = 0,0004 \cdot 10^{-6}$ . Наибольший вклад в дозовые нагрузки вносят  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ .

Дозы внешнего облучения, получаемые от атмосферных выпадений также невелики. При плотности на предприятиях в период утилизации АПЛ 8-14 Бк/м<sup>2</sup>, а в городе 6-11 Бк/м<sup>2</sup> дополнительное внешнее облучение соответствует 1-2 мкГр/год, что по сравнению с излучением природных радионуклидов, создающих дозу  $1000 \pm 200$  мкГр/год ( $R = 73 \cdot 10^{-6}$ ), не превышает 0,1%, а риск  $(0,1-0,2) \cdot 10^{-6}$  (в общем риске доля глобальных выпадений достигает 50%).

В период радиационных аварий положение становится несколько иным. Дозовые нагрузки, в зависимости от расстояния от источника, могут изменяться в пределах от 0,1 до 6000 мГр/год, а риски от  $7 \cdot 10^{-1}$  до  $5 \cdot 10^{-6}$ , что у аварийной АПЛ соответствует чрезмерной и высокой уровням опасности, а за пределами предприятий – средней и низкой (табл. 32).

**Таблица 32. Дозы внешнего излучения и радиационные риски, возникающие при аварии АЭУ, на различном расстоянии от источника загрязнения**

Показатели	Расстояние от аварийной АПЛ, м					
	10*	30*	250*	1500**	2000**	2500**
Доза, мГр/год	15 – 6000	2 – 3000	0,7 – 600	0,2 – 60	0,1 – 0,4	0,1 – 0,3
Радиационный риск, $10^{-6}$	800 - 660000	110 - 330000	40 - 66000	11 - 660	5 – 22***	5 – 20***

**Примечание.** \* - территория предприятия, \*\* - территория города, \*\*\* - менее 10% от фона. По данным НКДАР ООН, среднемировая фоновая годовая эффективная эквивалентная доза, обусловленная гамма-излучением естественных радионуклидов, равна 0,35 мЗв, что соответствует радиационному риску  $26 \cdot 10^{-6}$ , суммарная, учи-



тывающая внутреннее облучение и космическое излучение, - 2,4 мЗв (соответствует  $175 \cdot 10^{-6}$  - средняя опасность). Этот парадокс является следствием использования гипотезы беспороговой линейной зависимости радиобиологического эффекта от дозы ионизирующего излучения при оценках радиационного риска в области малых доз, который экспериментально не подтвержден. Риски в этой области гипотетические.

Следующим фактором радиационного риска является потребление населением морепродуктов загрязненных техногенными радионуклидами. Принимая во внимание, что в настоящее время (в период утилизации) морская вода в Никольском устье и Двинском заливе содержит продукты глобальных выпадений и техногенные радионуклиды в соотношении примерно 2 : 1, а в придонном слое (до 1 м) оно соответствует 1 : 1 (радионуклиды, загрязняющие дно частично переходят в морскую воду) проследим их поступление в морепродукты и к человеку. Для этого воспользуемся региональными значениями коэффициентов накопления радионуклидов в биоте, которые приведены в работах [22, 23] (табл. 33)

**Таблица 33. Коэффициенты накопления радионуклидов в биоте Арктических морей (1991-1998г.г.)**

Биота	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{239,240}\text{Pu}$	$^{241}\text{Am}$	$^{99}\text{Tc}$	$^{210}\text{Po}$
Рыба	5±3	110±30	< 260	-	-	1000
Креветки	-	45±20	-	-	100	-
Омары	230	75	100±60	500	5200	20000
Мидии	810	20	1000±600	20000	120	60000
Крабы	-	730±200	-	-	-	-
Бентос	56±30	420±190	9000±5000	-	-	-
Водоросли	1400±140	700±600	10000±9000	8000	9000	350
Кит	1000±800	400±190	1100±300*	-	-	-
Тюлень	10±9	75±20	300±150	-	-	-

**Примечание.** \* - в печени. Оценка коэффициентов накопления произведена по соотношению:  $CF = Y / C$  (6), где CF – фактор накопления радионуклида, Y – концентрация радионуклида в организмах, Бк/кг; C – концентрация радионуклида в морской воде, Бк/л.

Исследования показали, что эксплуатация АПЛ приводит к широкому диапазону вариаций удельных активностей техногенных радионуклидов в морской воде:  $^{90}\text{Sr}$  - 6-11 Бк/м<sup>3</sup>,  $^{137}\text{Cs}$  - 8-12 Бк/м<sup>3</sup> (утилизация);  $^{60}\text{Co}$  - 1-7 Бк/м<sup>3</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  - 6-11 Бк/м<sup>3</sup>,  $^{137}\text{Cs}$  - 14-50 Бк/м<sup>3</sup> (ремонт АПЛ);  $(0,1-1) \cdot 10^6$  Бк/м<sup>3</sup> у АПЛ и  $(0,5-2) \cdot 10^4$  Бк/м<sup>3</sup> по Никольскому устью (авария АЭУ). Их содержание в морепродуктах повысится до: 0,4-0,8 Бк/кг в рыбе, креветках и 1,5-3 Бк/кг в крабах, бентосе (утилизация); 1-4 Бк/кг в рыбе, креветках и 2-10 Бк/кг в крабах, бентосе (ремонт АПЛ);  $10^{4-5}$  Бк/кг в рыбе, креветках и  $10^{2-3}$  Бк/кг в крабах, бентосе (у АПЛ с аварийной АЭУ) и  $10^{2-3}$  Бк/кг в рыбе, креветках и  $10^{1-2}$  Бк/кг в крабах, бентосе в Никольском устье (авария АЭУ АПЛ).

С учетом потребления местным населением морепродуктов в количестве 50-150 кг/год, а также снижении концентрации радионуклидов при термической обработки в 5-10 раз, дополнительная доза получаемая ими от техногенных радионуклидов при утилизации и ремонте АПЛ составит 1-5 мкЗв/год, что соответствует гипотетическому радиационному риску  $(0,1-0,3) \cdot 10^{-6}$ . При аварии АЭУ АПЛ дозы могут возрасти до 500-1000 мкЗв/год. Радиационный риск соответственно до  $(30-70) \cdot 10^{-6}$  – опасность средняя.

Для профессиональных работников на предприятиях дозовые нагрузки и радиационный риск при утилизации АПЛ значительно выше, чем для служащих и населения. К примеру, специалисты в области гамма-дефектоскопии при полном обеспечении безопасности труда получают в год следующие дозы: 75% от 0,005 до 0,015 Зв, 18% от 0,015 до 0,03 Зв и 7% от 0,03 до 0,05 Зв. При этом радиационный риск соответствует:  $(3-8) \cdot 10^{-4}$  – опасность средняя,  $(8-17) \cdot 10^{-4}$  – опасность средняя - высокая,  $(17-28) \cdot 10^{-4}$  – опасность высокая.

Специалисты занятые радиационно-опасными работами в реакторном отсеке АПЛ (демонтаж АЭУ, изготовление трехотсечного модуля) постоянно подвергаются высокой степени радиационной опасности (табл. 34).

**Таблица 34. Радиационная опасность утилизации АПЛ для профессиональных работников**

Специальность	Доза, Зв/год	Радиационный риск	Опасность
Слесарь монтажник	0,05 – 0,08	$(28-45) \cdot 10^{-4}$	Высокая
Слесарь сборщик	0,03 – 0,13	$(17-73) \cdot 10^{-4}$	Высокая
Электросварщик, газорезчик	0,04 – 0,12	$(22-67) \cdot 10^{-4}$	Высокая
Такелажник, стропальщик	0,03 – 0,10	$(17-56) \cdot 10^{-4}$	Высокая
Гуммировщик, маляр, изолировщик	0,03 – 0,05	$(17-28) \cdot 10^{-4}$	Высокая
Прочие	0,01 – 0,03	$(6-17) \cdot 10^{-4}$	Высокая

Авария АЭУ АПЛ с обширным выходом техногенных радионуклидов в ОПС является крайне редким событием для корабельных реакторов. В частности на предприятиях г. Северодвинска подобное произошло один раз за 40 лет производственной деятельности двух заводов, которые за это время произвели около 200-250 перезарядок активных зон реакторов, что соответствует вероятности наступления подобного явления  $(5 \pm 1) \cdot 10^{-3}$  событий/реактор-год.

В совокупности при воздействии всех негативных факторов радиационный риск для населения от безаварийной утилизации АПЛ не превышает  $1 \cdot 10^{-6}$ , что соответствует незначительной степени опасности, которая составляет менее 1% от природного радиационного фона. Пятикратное увеличение объемов утилизации АПЛ, намеченное к 2010 г., существенно не изменит радиоэкологическую обстановку в г. Северодвинске и в прилегающих к нему районах.

## Выводы и заключение

1. Государственный центр атомного судостроения, включающий ФГУП "ГМП "Звездочка" и ГУП "ПО Севмаш", занимающийся строительством, ремонтом и утилизацией АПЛ ВМФ РФ, является постоянным источником загрязнения окружающей среды химическими и радиоактивными веществами.

2. В настоящее время в г. Северодвинске концентрации окислов углерода, поступающие с предприятий, достигают 0,7-0,9 ПДК и пыли 0,2-0,3 ПДК. В Никольском устье содержание нефтепродуктов соответствует 3-4 ПДК, соединений железа - 7-9 ПДК, кадмия – до 1 ПДК, взвешенных веществ 0,9 ПДК, а биохимический показатель поглощения кислорода достиг 0,6 ПДК. Возрастает содержание в морской воде никеля и цинка.

3. Концентрации техногенных радионуклидов в объектах окружающей природной среды за пределами предприятий не превышают 0,01-0,0001 ПДК.

4. Никольское устье по способности к самоочищению от химических веществ уже в настоящее время находится на пределе своих потенциальных возможностей. Увеличение объемов утилизации АПЛ при существующей технологии очистки химических отходов приведет к полному загрязнению его акватории и выносу вредных веществ в повышенных концентрациях в Двинской залив.

5. Обобщенный анализ результатов многолетних наблюдений за радиационной обстановкой на территории Государственного центра атомного судостроения свидетельствует, что производственная деятельность ФГУП "ГМП "Звездочка" и ГУП "ПО Севмаш" не привела к изменению радиоэкологической обстановки в г. Северодвинске и прилегающих районах. Плотности альфа-бета-частиц, мощности экспозиционных доз гамма-излучения, удельные активности питьевой, морской воды, растительности и морской биоты, на прилегающих к предприятиям территориях и акваториях, сохраняются в пределах фона.

6. При воздействии всех негативных факторов дополнительные дозовые нагрузки на население от безаварийной утилизации АПЛ не превышают 1-5 мкЗв/год (менее 0,1% от природного фона), а радиационный риск -  $1 \cdot 10^{-6}$ , что соответствует незначительной степени радиационной опасности. Намеченное к 2010 г., увеличение объемов утилизации АПЛ, существенно не изменит радиоэкологическую обстановку в г. Северодвинске и прилегающих районах.

7. Границы санитарно защитных зон предприятий, занимающихся утилизацией АПЛ, в настоящее время обеспечивают радиационную безопасность населения г. Северодвинска до допустимых норм при любых типах радиационных аварий корабельных АЭУ (проектных и запроектных).

В заключение следует отметить, что существующая система экологического обеспечения на ФГУП "ГМП "Звездочка" и ГУП "ПО Севмаш" требует своего дальнейшего совершенствования и, в первую очередь, по снижению концентраций химических веществ, поступающих за их пределы.

Действующая система радиоэкологического мониторинга также далека от современных требований. Основными недостатками являются отсутствие возможности регулирования и управления радиоэкологической нагрузкой, прогноза и автоматического контроля за радиоэкологической обстановкой, построение карт радиационных полей. Низкая чувствительность определения искусственных и техногенных радионуклидов в аэрозолях воздуха и других объектах окружающей среды делают невозможным наблюдения за изменением фоновых показателей под воздействием дополнительных факторов и т.д.

Одной из причин не всегда однозначного принятия решения о степени влияния на окружающую среду судостроительных (судоремонтных) заводов и всей системы обеспечения кораблей с АЭУ ВМФ, является несовершенство действующей системы радиоэкологического контроля [11], которая по сути ограничена выборочными наблюдениями, что не позволяет воспроизводить целостную картину техногенного радиоактивного загрязнения ОПС.

В Дальневосточном регионе еще в начале 90-х годов отошли от подобной схемы исследований, отдавая предпочтение построению индивидуальных радиоэкологических моделей каждого ядерно и радиационно-опасного объекта (ЯРО) ВМФ [10, 24]. Полнота и однозначность представлений о радиоэкологической опасности эксплуатации ЯРО достигается последовательностью решения задач, включающих построением карт радиационных полей с указанием мест расположения источников радиоактивного загрязнения (первичных, вторичных), границ распространения радиоактивных веществ, выделение радиоэкологически опасных зон, вероятных направлений перемещения техногенных радионуклидов и т.д.

Эта информация используется для оценки радиационных рисков, построения информационных, организационно-технических и реабилитационных моделей. Однако реализация подобной программы требует изменения не только методологии и методического обеспечения, но и переоснащения радиобиологических лабораторий современной измерительной техникой и оборудованием.

В целом факт загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами, не является основанием для отказа от применения ядерных и радиационных технологий или обращения с РАО. Постоянно применяемое выражение “радиоактивное загрязнение” не вполне удачно, т. к. психологически действует отталкивающее. В обычном понимании этих слов загрязнения не происходит, а наблюдается локальное изменение поля ионизирующего излучения. Данное явление находится не в ряду химических загрязнителей, а относится к электромагнитным полям, которые, как известно, при невысоких уровнях оказывают благоприятное воздействие на человека. Подобное происходит и с полем радиоактивного излучения как природных, так и искусственных радионуклидов, в определенных концентрациях допустимых в качестве естественной среды обитания человека [20].

## Литература.

1. Никитин В.С., Салькин О.М. Вредные вещества, выделяющиеся при утилизации корпусных конструкций ПЛПРБ.– Северодвинск, ГУП НИПТБ, 2000. – 6 с.
2. Санитарные правила и нормы охраны прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения. - СанПиН № 4631-88. – 19 с.
3. Гигиенические требования по охране атмосферного воздуха населенных пунктов. - СанПиН № 2.1.6.575-96. – 27 с.
4. Экологические правила обращения с отходами в Архангельской области. - Архангельск природа, 1996. – 21 с.
5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1. 758 – 99. – С.-П.: Минздрав России, 1999. – 115 с.
6. Чайковская Э.Л., Высоцкий В.Л., Гичев Д. В. Закономерности формирования радиационной обстановки на территории Приморского края // Атомная энергия. - 2001.-Т. .-Вып. . - С. - .
7. Радиационная обстановка // Государственный доклад “О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1999 году”.– С.-П.: Гидрометеиздат, Раздел 7, 2000. – С. 69-79.
8. Ким В. Н., Никитин А. Н., Пуканов С. И., Чумичев В. Б. ПО “Севмашпредприятие” // НПО “Тайфун” (Ежегодник). – С.-П.: Гидрометеиздат, 2001. – С. 75-79.
9. Высоцкий В.Л., Сивинцев Ю.В. Анализ точности определения концентрации долгоживущих радионуклидов в морской среде // Атомная энергия. - 1997. - Т. 83. - Вып. 4. - С. 276-290.
10. Данилян В. А., Высоцкий В. Л., Максимов А. А., Сивинцев Ю. В. Влияние утилизации атомных подводных лодок на радиоэкологическую обстановку в Дальневосточном регионе // Атомная энергия. - 2000. - Т. 89.-Вып. 6. – С .454-474.

11. Руководство по контролю за радиоактивным загрязнением внешней среды и внутренним облучением личного состава кораблей с атомными энергетическими установками. - М.: Воениздат, МО РФ, ВМФ, 1991. - 96 с.
12. Pilot Study for the update of the MARINA Project on the radiological exposure of the European Community from radioactivity in North European marine waters. Final Report, EC, December 1999. – 163 p.
13. Вакуловский С.М., Никитин А.И., Чумичев В.Б. Загрязнение Белого моря радиоактивными отходами западноевропейских стран // Атомная энергия. - 1988, т.65.- вып. 1. - С. 66-67.
14. Никитин Ю.М. Рекомендации МАГАТЭ по применению вероятностного анализа безопасности для предотвращения, смягчения последствий и управления тяжелыми авариями. // Атомная энергия, т. 68, Вып. 5, 1990, С. 390-391.
15. Довгуша В.В., Блехер А. Я. Расчет размеров санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения при утилизации АПЛ на "ГМП "Звездочка". – С.-П. ГУП НИИПММ, 1998. – 21 с.
16. Руководство по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС // Под ред. Махонько К. П. - Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 67 с.
17. Учет дисперсионных параметров атмосферы при выборе площадок для атомных электростанций. Руководство по безопасности № 50-SG-S3. МАГАТЭ, Вена, 1982. – 112 с.
18. Гусев Н. Г., Беляев В. А. Радиоактивные выбросы в биосфере // Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 176 с.
19. Принципы нормирования облучения населения от естественных источников ионизирующих излучений // Публикация 39 МКРЗ. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 32 с.
20. Кузин А. М. Идеи радиационного гормезиса в атомном веке. - М.: Наука, 1995. - 158 с.
21. Абагян А.А., Хамьянов Л.П., Гаврилов С.Д. и др. Методология оценки цены радиационного риска и стоимости единицы дозы облучения при демонтажных работах в атомной энергетике и промышленности // Материалы международного научного семинара АН РФ / НАТО ИБРАЭ РАН.- М., 1997.- С. 37.
22. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1989-2000 г.г. Ежегодники. - Обнинск, НПО "Тайфун", 1989-2000 г.г.
23. Kryshev I. I., Sazykina T. G. Radiological Consequences of Radioactive Contamination of the Kara and Barents Seas. - *J. of Environmental Radioactivity*, Vol. 29, N 3, 1995. - p. 213-223.
24. Высоцкий В.Л. Радиоэкологическая опасность эксплуатации ядерных и радиационных объектов в прибрежных и морских районах. – Владивосток, ТОФ, 1998. – 496 с.