

УДК 621.039.76+614.876

ВЛИЯНИЕ УТИЛИЗАЦИИ АТОМНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК НА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ СЕВЕРОДВИНСКА

*Данилян В.А. (ИБРАЭ), Высоцкий В.Л. (ВМФ),**Никитин В.С. (ГУП НИПТБ «Онега»), Харитонов Е.И. (ГУП ПО «Севмаш»)*

В настоящее время Государственный центр атомного судостроения, находящийся в Северодвинске и включающий в свой состав предприятие «Звездочка» и ПО «Севмаш», основное внимание уделяет утилизации атомных подводных лодок, хотя и продолжает их строительство и ремонт. В мире построено около 500 подводных лодок, из них 300 выведено из боевого состава флотов, в России из 249 построенных около 200 уже 10 лет ожидают своей утилизации. Из них 150 пройдут (44 уже прошли) через заводские цеха Государственного центра атомного судостроения.

При утилизации решаются три главные задачи — выгрузка отработавшего ядерного топлива, разделка нерадиоактивных оконечностей лодки и подготовка к длительному хранению реакторных отсеков с ЯЭУ без отработавшего топлива. Технология не позволяет преодолевать эти этапы без частичного загрязнения окружающей среды радиоактивными и химическими веществами. Для контроля за их влиянием постоянно ведут радиационный и химический контроль.

В 2002 г. на «Звездочке» планируется ввести в эксплуатацию современный береговой комплекс, что позволит увеличить темпы выгрузки отработавшего топлива. Ожидается, что отработавшее топливо будет извлечено из четырех подводных лодок, в 2003—2004 гг. — из шести, с 2005 г. — из десяти ежегодно. Поступление техногенных радиоактивных веществ в окружающую природную среду увеличится. Предполагается, что уже в 2002 г. будет образовываться в 1,5 раза больше газообразных, жидких и твердых радиоактивных отходов. По проекту в 2002 г. количество жидких отходов достигнет 1000 м³, твердых — 150 м³, в 2003—2004 гг. — по 1500 м³ и 200 м³, в 2005—2010 гг. — по 2000 м³ и 250 м³ в год соответственно.

Цель настоящей статьи — обобщение и анализ результатов наблюдений за радиационной обстановкой на заводах и оценка ожидаемых изменений.

Газообразные отходы образуются при проведении работ с ЯЭУ и в процессе технологических операций с открытыми источниками ионизирующего излучения. К таким отходам 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 отходы удаляют в атмосферу. Архангельским отделом по защите окружающей среды разрешен сброс газообразных отходов в атмосферу суммарной активностью до 180 МБк в год.

Объем газообразных отходов, образующихся при утилизации подводных лодок класса «Дельта», составляет 1500—2000 м³, класса «Тайфун» и «Оскар» — до 3000 м³. В отходах преобладают ⁸⁵Kr, ⁶⁰Co, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, суммарная объемная β -активность изменяется в диапазоне от 0,04 до 400 кБк/м³. Выброс такого количества техногенных отходов на больших пространствах предприятий не влияет на радиационную обстановку в приземном слое атмосферы. Ее в основном формируют природные (⁴⁰K и продукты распада уран-ториевого ряда) и искусственные радионуклиды (глобальные выпадения, главным образом, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs). Многолетние наблюдения показывают, что при утилизации содержание искусственных и техногенных радионуклидов не превышает 0,0001 среднегодовой активности, допустимой для населения по НРБ-99 (табл. 1). Также следует практическое равенство средних значений объемной сум-

марной β -активности (далее $\Sigma\beta$) и плотности радиоактивных выпадений при высоких значениях коэффициентов взаимной корреляции (0,7—0,9) на территории предприятий, занимающихся утилизацией подводных лодок, и в Северодвинске. Средние показатели на ПО «Севмаш» и в Северодвинске сопоставимы с аналогичными радиационными характеристиками европейской и дальневосточной территорий России. В то же время немного повышенная (в среднем в 1,5 раза) суммарная объемная β -активность аэрозолей на территории предприятия «Звездочки» позволяет предполагать, что некоторые технологические операции сопровождаются поступлением значительного количества газообразных отходов. За последнее десятилетие средняя концентрация аэрозолей на ПО «Севмаш» остается на низком уровне ($< 0,0001$ допустимой концентрации ДК₆ по НРБ-99), по отдельным радионуклидам она в среднем в 1,5—2 раза выше, чем в Северодвинске (табл. 2, 3).

Анализируя данные табл. 3, необходимо обратить внимание на одно важное обстоятельство — при выборочном рассмотрении результатов можно прийти к необоснованному заключению, что ПО «Севмаш» загрязняет Северодвинск техногенными радионуклидами. В частности, в Северодвинске концентрация ^{137}Cs в 1993 г., ^{90}Sr в аэрозолях в 1996 г., выпадениях в 1998 г. сопоставима с данными для предприятия, хотя они в 10^5 — 10^6 раз ниже допустимой концентрации для населения ДК₆, указанной

Т а б л и ц а 1. Радиационная обстановка на территории Государственного центра атомного судостроения в разные годы

Объекты контроля	Показатели	1991 г.	1995 г.	1996 г.	1997 г.	1998 г.*	1999 г.*	2000 г.	Интервал
Предприятие «Звездочка»	Объемная активность аэрозолей, 10^{-5} Бк/ м^3	45	24	28	39	47	52	37	24—52
	Плотность выпадений, Бк/($\text{м}^2 \cdot \text{мес}$)	17	15	5	7	8	5	6	5—17
ПО «Севмаш»	Объемная активность аэрозолей, 10^{-5} Бк/ м^3	13	11	28	25	23	23	20	11—28
	Плотность выпадений, Бк/($\text{м}^2 \cdot \text{мес}$)	14	9	10	8	11	10	9	8—14
	Мощность дозы, мкР/ч	8—20	8—19	10—18	8—20	10—19	10—18	10—19	8—20
г. Северодвинск	Удельная активность аэрозолей, Бк/ м^3	12	10	34	24	32	34	26	10—34
	Плотность выпадений, Бк/($\text{м}^2 \cdot \text{мес}$)	8	7	9	7	11	10	8	7—11
	Удельная активность питьевой воды, Бк/ м^3	112	127	116	122	111	110	115	110—127
	Мощность дозы, мкР/ч	10—15	10—15	10—15	10—15	10—15	10—15	10—15	10—15
Территория России**	Объемная активность аэрозолей, Бк/ м^3	—	20	18	18	18	19	19	18—20
	Плотность выпадений, Бк/($\text{м}^2 \cdot \text{мес}$)	—	48	45	45	42	45	42	42—48

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

**Радиоактивное загрязнение окружающей природной среды на территории России в 1998 г. [2].

Поверхностная плотность α -, β -частиц на предприятиях и в городе соответствует фону. В 1990—2001 гг. фон по аэрозолям составлял $(22 \pm 7)10^{-5}$ Бк/ м^3 , выпадениям — 10 ± 2 Бк/($\text{м}^2 \cdot \text{мес}$) (для сравнения фон в Дальневосточном регионе соответствует $(22 \pm 6)10^{-5}$ Бк/ м^3 , 41 ± 5 Бк/($\text{м}^2 \cdot \text{мес}$) [1]). Погрешность измерений 30%.

Т а б л и ц а 2. Среднемесечное содержание долгоживущих радионуклидов в приземном слое атмосферы на территории ПО «Севмаш», в Северодвинске и фоновых районах

Территория	Месяц												Интервал
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
ПО «Севмаш»													
Аэрозоли, 10 ⁻⁵ Бк/м ³ :													
1993 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	4—8
1994 г.	8,5	13,7	8,9	9,6	7,8	6,3	6,7	5,9	5,2	9,6	7,7	6,9	5—14
Выпадения, Бк/(м ² ·мес):													
1993 г.	2,4	1,6	2,5	6,9	1,4	5,4	7,4	3,3	8,4	3,5	2,2	3,3	1—8
1994 г.	1,4	2,3	2,3	5,4	23,1	9,8	11,1	5,9	32,1	11,3	7,8	5,3	1—32
Северодвинск													
Аэрозоли, 10 ⁻⁵ Бк/м ³ :													
1993 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	6—14
1994 г.	16,6	27,8	24,0	14,1	9,2	9,2	7,0	9,6	7,8	10,4	8,4	9,9	7—24
Выпадения, Бк/(м ² ·мес):													
1993 г.	1,4	1,4	1,0	5,4	2,7	11,7	4,9	4,9	9,7	19,9	2,6	6,4	1—20
1994 г.	1,0	2,4	1,8	4,3	7,0	14,1	6,1	4,1	28,4	9,4	3,2	4,1	1—28
Фон, 100-км зона													
г. Архангельск:													
аэрозоли, 10 ⁻⁵ Бк/м ³	7,7	8,4	5,0	4,7	4,4	6,7	6,4	4,5	4,8	5,3	4,5	3,9	4—8
выпадения, Бк/(м ² ·мес)	96	54	63	102	63	18	24	21	27	30	33	24	21—102
г. Онега:													
выпадения, Бк/(м ² ·мес)	45	48	39	54	27	9	9	6	9	21	12	18	6—54
Фон, северные регионы													
аэрозоли, 10 ⁻⁵ Бк/м ³ *	10,2	13,9	6,4	6,6	5,2	8,3	7,4	6,2	6,6	5,8	11,0	5,1	6—11
выпадения, Бк/(м ² ·мес)*	54	54	42	54	36	18	18	24	21	24	27	24	18—54
Примечание. Погрешность измерений 30%.													
*Данные за 1999 г. [3].													

в НРБ-99. В действительности результаты измерений в 5—10 раз превышают радиационный фон на территории России: по данным [2] в 1993—1999 гг. содержание ^{90}Sr в аэрозолях составляло $(0,015 \pm 0,002)10^{-5}$ Бк/м³, ^{137}Cs — $(0,056 \pm 0,002)10^{-5}$ Бк/м³, ^{137}Cs в выпадениях — 0,08 Бк/(м²·мес). Главная причина этих расхождений — использование методов идентификации техногенных радионуклидов с порогом чувствительности, достаточным лишь для определения их содержания на уровне 0,00001 ПДК. Известно, что определение концентрации 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 [4]. Отсутствие значимых различий между данными, полученными в течение последних 10 лет на территории ПО «Севмаш» и в Северодвинске, свидетельствует о преобладающем влиянии глобальных выпадений на радиоактивное загрязнение окружающей среды в городе.

Как уже отмечалось, на предприятии «Звездочка» содержание техногенных радионуклидов в аэрозолях в среднем в 1,4—1,7 раза выше, чем на ПО «Севмаш» и в Северодвинске (см. табл. 2). Такая же ситуация наблюдается и в пос. Ягры, прилегающем к заводу (табл. 4).

Т а б л и ц а 3. Концентрация радиоактивных аэрозолей и атмосферных выпадений на ПО «Севмаш» и Северодвинске в разные годы

Год, полугодие		ПО «Севмаш»				Северодвинск			
		^{60}Co	^{90}Sr	^{137}Cs	^{144}Ce	^{60}Co	^{90}Sr	^{137}Cs	^{144}Ce
Аэрозоли, 10^{-5} Бк/ м^3									
1991	I	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд
	II	0,3	нд	нд	нд	нд	нд	0,1	нд
1992	I	нд	нд	0,2	нд	нд	нд	0,3	нд
	II	0,8	0,2	нд	нд	нд	0,2	нд	0,2
1993	I	—	—	—	—	—	—	—	—
	II	0,1	нд	нд	нд	0,1	0,1	0,1	нд
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
	II	нд	нд	нд	0,2	нд	нд	нд	0,1
1996	I	нд	0,4	нд	нд	нд	0,1	нд	нд
	II	нд	0,2	0,1	0,4	нд	0,4	0,1	0,1
1997	I	0,1	1,0	нд	—	нд	0,2	нд	—
	II	нд	0,1	нд	—	нд	нд	нд	—
1998	I	0,2	нд	0,2	—	нд	0,2	0,2	—
	II	нд	0,1	0,4	—	нд	нд	нд	—
1999	I	нд	нд	нд	—	нд	0,1	нд	—
	II	нд	нд	нд	—	нд	нд	нд	—
2000	I	нд	1,0	нд	—	нд	нд	нд	—
	II	нд	0,1	нд	—	нд	нд	нд	—
$X + 1\sigma^*$		0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1
Выпадения, Бк/($\text{м}^2 \cdot \text{мес}$)									
1991	I	нд	нд	нд	нд	нд	0,1	нд	нд
	II	нд	0,3	нд	нд	нд	0,2	нд	нд
1992	I	нд	нд	нд	нд	нд	нд	0,2	0,2
	II	—	—	—	—	—	—	—	—
1993	I	0,2	0,1	0,5	0,4	0,1	0,1	0,4	0,2
	II	—	0,2	0,1	0,4	—	0,1	0,2	0,2
1994	I	—	—	—	—	—	—	—	—
	II	—	—	—	—	—	—	—	—
1995	I	0,4	0,1	0,3	нд	0,1	0,1	0,2	0,2
	II	0,8	1,1	0,4	0,2	0,2	0,1	нд	0,4
1996	I	1,4	0,3	нд	0,3	нд	нд	нд	нд
	II	0,1	0,2	11,0	—	0,2	0,1	0,1	—
1997	I	нд	0,1	нд	—	нд	0,1	0,2	—
	II	нд	0,2	нд	—	нд	0,2	нд	—
1998	I	нд	0,5	нд	—	нд	0,1	нд	—
	II	0,1	0,6	0,3	—	0,2	0,3	0,2	—
1999	I	нд	0,1	2,4	—	нд	0,10	нд	—
	II	нд	0,2	нд	—	нд	1	нд	—
2000	I	нд	1,8	нд	—	нд	0,1	нд	—
	II	нд	0,2	нд	—	нд	0,2	нд	—
$X + 1\sigma^*$		0,5	0,4	2,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2

*Превышение над средним с $P \geq 0,7$ (1σ).

нд — ниже порога детектирования.

Т а б л и ц а 4. Суммарная объемная β -активность аэрозолей и плотность радиоактивных выпадений во время утилизации атомных подводных лодок на территории предприятия «Звездочка» (в местах проведения радиационно опасных работ) и в пос. Ягры

Год, месяц	Место отбора аэрозолей, спецобъект №						Место отбора выпадений, спецобъект №					
	150	101	9	6	ТП-31	пос. Ягры	150	101	9	6	ТП-31	пос. Ягры
1998 г.												
Январь	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Февраль	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Март	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Апрель	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Май	—	—	—	—	—	25	—	—	—	—	—	—
Июнь	—	—	—	47	—	—	—	—	—	—	—	—
Июль	33	48	29	—	32	25	—	—	—	—	—	—
Август	32	53	23	50	21	16	—	—	—	—	—	—
Сентябрь	—	—	—	56	—	—	—	—	—	—	—	—
Октябрь	—	46	32	50	—	19	—	—	—	—	—	—
Ноябрь	51	56	43	57	38	38	—	—	—	—	—	—
Декабрь	—	—	—	54	—	24	—	—	—	—	—	—
Среднее	39	51	32	52	30	24	—	—	—	—	—	—
Объект/поселок	1,6	2,1	1,3	2,2	1,2	1*	—	—	—	—	—	—
1999 г.												
Январь	94	104	102	84	82	84	3,2	—	—	—	—	—
Февраль	90	78	76	65	74	77	2,1	—	—	—	—	—
Март	75	56	61	62	65	71	—	—	—	—	—	—
Апрель	53	45	40	—	49	25	—	1,6	—	—	—	—
Май	40	52	28	—	—	21	—	6,4	—	—	—	—
Июнь	29	35	25	54	—	16	14,4	—	—	—	—	—
Июль	41	47	31	—	—	17	7,4	—	—	—	—	—
Август	38	45	26	—	—	15	7,0	—	—	—	—	—
Сентябрь	46	51	39	75	—	22	8,5	6,8	—	—	—	—
Октябрь	38	26	30	73	—	17	—	—	—	—	—	—
Ноябрь	47	58	55	—	—	44	—	—	—	—	—	—
Декабрь	38	54	38	—	—	27	2,4	—	—	4,1	3,6	—
Среднее	52	54	46	69	68	36	6,4	4,9	—	—	—	—
Объект/поселок	1,4	1,5	1,3	1,9	—	1*	—	—	—	—	—	—
2000 г.												
Январь	71	73	49	—	—	51	3,3	1,2	1,7	—	2,6	—
Февраль	38	43	28	—	—	14	2,4	3,7	1,9	—	1,9	—
Март	33	28	30	—	—	24	1,8	1,1	—	—	—	—
Апрель	34	32	32	—	—	16	5,4	3,0	1,7	—	3,0	—
Май	35	32	36	—	—	18	5,3	3,6	3,6	—	2,7	—
Июнь	28	31	32	—	—	17	5,4	3,0	1,7	—	3,0	—
Июль	38	46	50	—	—	28	—	—	—	—	—	—
Август	18	23	26	41	—	7	8,3	7,8	3,0	—	1,5	—
Сентябрь	18	18	21	55	17	8	1,8	3,1	8,1	—	5,2	—
Октябрь	34	34	29	49	32	22	7,2	1,5	0,6	—	3,4	—
Ноябрь	60	55	50	46	57	34	4,8	1,9	2,9	—	4,3	—
Декабрь	41	60	40	38	34	34	3,9	2,6	4,0	—	1,8	—
Среднее	37	39	35	46	35	23	4,2	3,0	2,9	—	2,9	—
Объект/поселок	1,6	1,7	1,5	2,0	1,5	1	—	—	—	—	—	—

*В 100-км зоне вокруг Северодвинска суммарная объемная β -активность аэрозолей в 1998 г. (г. Архангельск) составляла $(21 \pm 7) \cdot 10^{-5}$ Бк/м³, в 1999 г. — $(45 \pm 10) \cdot 10^{-5}$ Бк/м³.

Следует отметить, что фоновая суммарная β -активность аэрозолей также подвержена большим межгодовым вариациям — 2—8 раз за последние 10 лет (см. табл. 1, 2, 4). Это необходимо учитывать при анализе радиоэкологической обстановки на предприятиях, занимающихся утилизацией атомных подводных лодок. Значимые различия (в десятки—сотни раз по сравнению с фоном) содержания техногенных радионуклидов в атмосфере возле каждого спецобъекта на предприятии «Звездочка» и отсутствие таких изменений в атмосфере пос. Ягры свидетельствуют о локальном характере загрязнений воздушной среды, которые не распространяются за пределы предприятия (табл. 5).

Т а б л и ц а 5. Среднегодовая и полугодовая изменчивость содержания техногенных радионуклидов в аэрозолях и выпадениях при утилизации атомных подводных лодок на территории предприятия «Звездочка» (в районах проведения радиационно опасных работ) и в пос. Ягры

Год	Полу- годие	Спец- объект	Объемная активность аэрозолей, 10^{-5} Бк/ м^3				Плотность выпадений, Бк/ $(\text{м}^2 \cdot \text{мес})$			
			$\Sigma\beta$	^{60}Co	^{90}Sr	^{137}Cs	$\Sigma\beta$	^{60}Co	^{90}Sr	^{137}Cs
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1998	—	150	39	0,3	0,2	1,0	—	—	—	—
		101	51	5,6	0,3	0,4	—	—	—	—
		9	32	0,2	0,3	0,6	—	—	—	—
		6	52	1,0	0,1	2,0	—	—	—	—
		ТП-31	30	0,9	0,2	1,0	—	—	—	—
		Среднее	41 ± 5	$1,6 \pm 0,8$	$0,2 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,5$	—	—	—	—
		пос. Ягры*	24	—	—	—	—	—	—	—
1999	—	150	52	2,3	—	4,6	6,4	0,8	—	<0,5
		101	54	1,6	—	9,0	4,9	<0,1	—	<0,3
		9	46	0,2	—	2,1	—	<0,08	—	<0,2
		6	69	1,2	—	3,8	—	—	—	—
		ТП-31	68	0,1	<0,1	1,4	—	<0,1	—	<0,2
		Среднее	58	$1,1 \pm 0,5$	—	$4,2 \pm 2,2$	$5,6 \pm 0,4$	$0,07 - 0,8$	—	—
		пос. Ягры*	36	<0,04	—	<0,7	—	—	—	—
2000	—	150	37	3,8	0,4	1,1	4,2	0,7	<0,2	0,9
		101	39	<0,4	0,7	<3,4	3,0	<0,4	<0,7	0,8
		9	35	<0,2	<0,4	<0,5	2,9	<0,3	<0,2	<0,3
		6	46	1,4	<0,7	1,3	—	—	—	—
		ТП-31	35	<0,05	<0,1	<0,07	2,9	<0,2	<0,1	<0,3
		Среднее	38 ± 3	$0,04 - 3,8$	$0,09 - 0,7$	$0,06 - 1,3$	$3,2 \pm 0,4$	$0,1 - 0,7$	—	$0,2 - 0,9$
		пос. Ягры*	23	<0,05	<0,2	<0,09	—	—	—	—
1998	I	150	<56	0,3	<0,2	1,5	—	—	—	—
		101	<53	0,2	<0,3	0,3	—	—	—	—
		9	<45	<0,1	<0,2	0,2	—	—	—	—
		6	<56	1,7	<0,1	1,2	—	—	—	—
		ТП-31	<50	<0,08	<0,3	1,2	—	—	—	—
		пос. Ягры	<43	—	—	—	—	—	—	—
		II	150	<38	0,2	<0,2	0,4	—	—	—
	II	101	<52	11,0	<0,2	0,4	—	—	—	—
		9	<34	0,3	<0,4	1,1	—	—	—	—
		6	<54	1,4	<0,2	2,8	—	—	—	—
		ТП-31	<34	<0,09	<0,2	0,09	—	—	—	—
		пос. Ягры	<25	—	—	—	—	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1999	I	150	64	3,9	<0,07	8,4	<5,5	1,2	<0,3	0,9
		101	62	1,2	<0,2	8,4	<2,5	0,1	<0,2	0,2
		9	55	0,2	<0,4	3,8	<6,0	0,1	<0,3	0,2
		6	54	1,2	<0,5	2,6	—	—	—	—
		ТП-31	57	0,1	<0,1	1,4	<3,4	<0,1	<0,3	<0,2
		пос. Ягры	49	0,05	<0,08	1,4	—	—	—	—
		II	150	41	0,7	—	<5,0	0,4	—	<0,1
	II	101	47	1,9	—	9,6	<6,6	<0,07	—	0,4
		9	37	0,1	—	0,4	<4,8	<0,05	—	<0,1
		6	53	1,2	—	1,5	—	—	—	—
		ТП-31	46	0,1	<0,1	1,4	<4,0	<0,1	—	<0,1
		пос. Ягры	24	0,03	—	<0,08	—	—	—	—
2000	I	150	40	5,2	0,3	1,4	—	1,0	<0,3	1,1
		101	39	0,8	1,0	6,8	2,6	0,6	<0,3	0,7
		9	34	0,3	<0,4	1,0	<2,5	0,2	<0,08	<0,2
		6	—	1,8	<0,2	1,0	—	—	—	—
		ТП-31	—	—	—	—	<2,7	0,2	<0,1	0,3
		пос. Ягры	23	<0,06	<0,2	<0,1	—	—	—	—
		II	150	35	2,4	0,5	5,5	0,5	<0,2	0,7
	II	101	39	<0,06	0,3	<0,04	<4,3	<0,2	<1,1	0,9
		9	36	<0,04	0,3	<0,08	3,7	<0,3	<0,2	0,4
		6	—	0,9	<1,1	1,5	—	—	—	—
		ТП-31	35	<0,05	<0,1	<0,07	<4,2	<0,2	<0,2	<0,3
		пос. Ягры	22	<0,03	<0,1	<0,04	—	—	—	—

*В 100-км зоне вокруг Северодвинска $\Sigma\beta$ -активность аэрозолей в 1998 г. (г. Архангельск) составляла $(21\pm 7)10^{-5}$ Бк/м³, в 1999 г. — $(45\pm 10)10^{-5}$ Бк/м³.

Сравнение результатов табл. 3, 4 позволяет прийти к заключению, что утилизация двух лодок в год в сочетании с текущей производственной деятельностью предприятий приводит к увеличению содержания техногенных радионуклидов на их территории по сравнению с фоном в атмосфере в среднем в 20—50 раз для ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs, в сотни раз для ⁶⁰Co, что, однако, не превышает 0,001—0,0001 ПДК, указанных в НРБ-99. В этих же условиях атмосферные выпадения превышают фон не более чем в 5—10 раз. Различие в загрязнении атмосферы наблюдается и по предприятиям — на «Звездочке» выброс техногенных радионуклидов в 2—7 раз большее, чем на ПО «Севмаш».

Пятикратное увеличение объемов утилизации лодок, запланированное к 2010 г., скажется на состоянии радиационной обстановки в приземном слое атмосферы. Для оценки масштаба таких изменений использованы данные, полученные в 1975—1978 гг. при проведении радиационно опасных работ, когда отмечались повышенные выбросы техногенных радионуклидов с территории ПО «Севмаш» в атмосферу. В настоящее время, как и в прошлые годы, основная технологическая нагрузка по выгрузке отработавшего топлива из лодок возложена на плавучие мастерские. Из данных табл. 6, 7 следует, что поступление радионуклидов в атмосферу предприятий и Северодвинска происходило в течение всего года. Концентрация аэрозолей и плотность радиоактивных выпадений в районе работ повышалась по сравнению с фоном в 10—160 раз, достигая 0,01—0,3 ПДК, на границе санитарно-защитной зоны — в 2—4 раза — 0,001—0,00001 ПДК. Санитарно-защитная зона в среднем в 25 ± 12 раз снижает количество радиоактивных веществ, поступающих в город. Анализ коэффициентов разбавления

в течение года свидетельствует, что 70% перемещений радиоактивных веществ ориентировано в направлении Северодвинска. В 10—20% случаев концентрация радионуклидов уменьшается лишь в 5—10 раз, тогда как при левосторонней асимметрии распределения наиболее вероятное среднее значение коэффициента рассеяния составляет 20—22.

Практика показывает, что из общего количества радиоактивных веществ, поступающих в атмосферу при ремонте подводных лодок, 90—99% приходится на короткоживущие и лишь 1—10% на долгоживущие радионуклиды [5]. Поскольку короткоживущие радионуклиды не оказывают существенного влияния на формирование дозовых нагрузок населения и радиозоологическую обстановку в целом, основное внимание уделяется контролю за долгоживущими β - γ -излучающими. По результатам многолетних наблюдений такие аэрозоли имели следующий состав, %: ^{60}Co 16 ± 5 , ^{90}Sr 21 ± 7 , ^{137}Cs 51 ± 15 , ^{144}Ce — 13 ± 5 , атмосферные выпадения: ^{60}Co 8 ± 3 , ^{90}Sr 57 ± 15 , ^{137}Cs 21 ± 7 , ^{144}Ce 14 ± 5 . Их содержание значительно отличалось. Данные табл. 8, 9 позволяют прийти к заключению, что при проведении радиационно опасных

Т а б л и ц а 6. Изменение среднемесячной объемной активности аэрозолей и плотности радиоактивных выпадений на ПО «Севмаш» в районе стоянки плавучих мастерских и в Северодвинске в 1975—1978 гг.

Месяц	ПМ-124	Город	ПМ-50	Город	ПМ-50	Город
Аэрозоли, 10^{-5} Бк/м ³						
Январь	133	104	—	63	366	67
Февраль	189	96	6604	70	973	92
Март	455	100	6693	—	784	170
Апрель	481	126	6227	95	2072	181
Май	422	152	3226	178	3142	192
Июнь	218	148	1018	215	11 248	270
Июль	681	96	1621	240	6053	163
Август	303	78	2002	122	9243	163
Сентябрь	155	74	—	130	1006	59
Октябрь	115	63	684	104	—	—
Ноябрь	444	41	189	70	—	—
Декабрь	810	22	755	78	—	—
Среднее	331	92	2902	124	3876	151
Выпадения, Бк/(м ² ·мес)						
Январь	3	8	—	1	17	2
Февраль	13	5	148	2	41	1
Март	10	4	211	3	36	14
Апрель	21	6	92	1	31	5
Май	58	11	343	12	518	4
Июнь	10	5	107	16	2220	17
Июль	19	14	166	24	6882	13
Август	4	4	27	10	703	11
Сентябрь	132	2	81	20	355	10
Октябрь	42	4	63	20	—	—
Ноябрь	27	1	63	2	—	—
Декабрь	—	3	—	4	—	—
Среднее	31	6	130	9	1200	9

Примечание. В 1975—1978 гг. фон по аэрозолям составлял $(45 \pm 12)10^{-5}$ Бк/м³.

Погрешность измерений 30%.

Т а б л и ц а 7. Кратность значимого ($P = 0,95$) превышения объемной активности аэрозолей в районе расположения плавучих мастерских при проведении радиационно опасных работ и в Северодвинске и ее относительное уменьшение за пределами санитарно-защитной зоны

Месяц 1975— 1978 гг.	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—1978 гг. с $P \geq 0,95$ принят равным $7 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³. Погрешность 30%. В числителе — левостороннее, в знаменателе — правостороннее распределение.

работ техногенные радионуклиды постоянно присутствовали в атмосфере города. Санитарно-защитная зона, выполняя свои функции, понижала их содержание на расстоянии 600—800 м от источника загрязнения по ^{60}Co в 260 ± 150 , ^{90}Sr — в 190 ± 80 , ^{137}Cs — в 180 ± 80 раз.

Т а б л и ц а 8. Объемная активность техногенных радионуклидов в районе стоянки плавучих мастерских во время проведения радиационно опасных работ на ПО «Севмаш» в 1975—1978 гг.

Радио- нуклид	Аэрозоли, 10^{-5} Бк/м ³								Выпадения, Бк/(м ² ·мес)			
	ПМ-127	Город	ПМ-124	Город	ПМ-50	Город	ПМ-50	Город	ПМ-50	Город	ПМ-50	Город
1-е полугодие												
^{60}Co	1406	0,9	2	0,2	170	1,6	52	2,2	2	0,05	9	0,3
^{90}Sr	366	0,4	32	0,7	518	20,4	851	36,3	14	—	67	0,07
^{137}Cs	370	0,7	352	3,0	703	14,8	1147	5,2	22	0,7	4	0,02
^{144}Ce	—	—	—	—	126	20,7	31	19,6	2	1,0	1	—
2-е полугодие												
^{60}Co	48	0,7	11	0,2	36	0,2	170	1,8	1	0,3	13	0,3
^{90}Sr	137	0,5	100	0,8	70	3,7	444	3,7	7	0,03	100	0,3
^{137}Cs	44	0,4	59	5,2	1221	6,3	2257	10,0	2	0,1	41	0,3
^{144}Ce	—	—	—	—	29	18,1	8	5,6	1	0,4	8	0,4

Примечание. Фоновое содержание ^{60}Co в аэрозолях по состоянию на 1975—1978 гг. $< 0,1 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³, ^{90}Sr — $(0,1 \pm 0,05) 10^{-5}$ Бк/м³, ^{137}Cs — $(0,17 \pm 0,08) 10^{-5}$ Бк/м³, ^{144}Ce — $0,15 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³. Атмосферные выпадения в районе стоянки ПМ-127 (радиус до 50 м) привели к увеличению содержания ^{60}Co в снеге над фоном в 35 раз, ^{90}Sr — в 60 раз и ^{137}Cs — в 20 раз. Возле ПМ-124 концентрация ^{90}Sr и ^{137}Cs в почве повысилась в 5 и 3 раза соответственно. Загрязнение снега не превышает 0,1, почвы — 0,01 ПДК, указанных в НРБ-99 [1].

Т а б л и ц а 9. Кратность значимого ($P \geq 0,95$) превышения и разбавления объемной активности техногенных радионуклидов в аэрозолях в районах расположения плавучих мастерских на ПО «Севмаш» при проведении радиационно опасных работ и в Северодвинске в 1975—1978 гг.

Радио- нуклид	Кратность превышения								Кратность разбавления	
	ПМ-127	Город	ПМ-124	Город	ПМ-50	Город	ПМ-50	Город	ПМ/город	Интервал
1-е полугодие										
^{60}Co	14 060	9	20	2	1700	16	520	22	425	10—1600
^{90}Sr	1830	2	160	4	2590	102	4212	182	252	20—900
^{137}Cs	1088	2	1035	9	2068	44	3374	15	233	20—550
^{144}Ce	—	—	—	—	8,0	1,4	2,1	1,3	*	*
2-е полугодие										
^{60}Co	480	7	110	2	360	2	1700	18	100	50—200
^{90}Sr	685	2	500	4	350	185	2222	18	133	20—270
^{137}Cs	129	1	174	15	3591	18	6638	29	134	10—230
^{144}Ce	—	—	—	—	2,0	1,2	0,5	0,4	*	*

*В связи с неопределенностью фоновое содержание ^{144}Ce и малом количестве на плавучих мастерских оценки не правомочны.

Погрешность 30%. Верхний уровень фона с $P \geq 0,95$ по ^{60}Co принят равным $0,1 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³, ^{90}Sr — $0,2 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³, ^{137}Cs — $0,34 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³, ^{144}Ce — $15 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³.

Как было отмечено, для суммарной активности природных и техногенных радиоактивных веществ, поступающих за пределы предприятий, средний коэффициент рассеяния составлял 25 ± 12 . Для долгоживущих техногенных радионуклидов он оказался значительно выше. Высокие средние коэффициенты рассеяния не исключали наличия для Северодвинска ситуаций, когда при определенных метеорологических условиях они снижались до 10—50. В результате этого наблюдалось локальное повышение концентрации техногенных радионуклидов в прилегающих к заводу жилых кварталах в 100—200 раз по сравнению с фоном (в центре города и на его окраинах концентрация была ниже в десятки—сотни раз). Выявлена и полугодовая изменчивость, которая приводит к различиям коэффициента рассеяния в 2—4 раза. Отметим, что, несмотря на это, в местах постоянного проживания населения содержание техногенных радионуклидов в атмосфере сохранялось 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 периодические атмосферные выбросы радионуклидов, деятельность предприятия «Звездочка» и ПО «Севмаш» не привела к увеличению на прилегающих к ним территориях плотности радиоактивных выпадений γ -излучения и удельной активности питьевой воды, значения которых сохраняются на уровне фона.

На акватории Никольского устья в течение многих лет радиационная обстановка изменялась неоднократно. В 80-х годах при ремонте подводных лодок в морскую среду поступали техногенные радионуклиды. Концентрация ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде постоянно в 2—8 раз превышала их содержание в открытых районах Белого моря и составляла 0,001—0,002 ПДК [10]. С переходом предприятий на утилизацию подводных лодок (1991 г.) положение изменилось к лучшему, хотя удельная активность ^{90}Sr и ^{137}Cs по-прежнему остается в 1,5—2 раза выше фона, ^{60}Co — сопоставима с ним и составляет ~ 0,001 ПДК (рис. 1, табл. 10).

Т а б л и ц а 10. Удельная активность искусственных радионуклидов
в воде Никольского устья и фоновых районов, Бк/м³

Год	Место отбора проб	⁶⁰ Co	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
Никольское устье				
1989 г.	Выход из Никольского устья	8±2	10±3	14±3
	Глубоководная набережная	1,0±0,2	8±3	46±10
	То же	1,7±0,3	8±2	44±10
	Спецнабережная	4±1	6±2	50±10
1998 г.	Пирс глубоководной набережной	<0,8	6±2	—
	Спецнабережная	<0,2	11±3	—
1999 г.	Глубоководная набережная	<0,2	6±2	—
	Порт	<0,2	6±2	9±3
	Акватория у моста	<0,2	8±3	—
	Точка 16 (01.09.1999 г.)	<0,2	6±2	—
	19 (01.09.1999 г.)	<0,2	6±2	8±3
	28 (01.09.1999 г.)	<0,2	8±3	—
	29—вход (15.08.2000 г.)	<0,2	9±3	—
2000 г.	29—вход (12.09.2000 г.)	<0,8	5±2	—
	29—вход (24.10.2000 г.)	<0,8	8±3	—
	30—выход (15.08.2000 г.)	<0,9	7±2	9±3
	30—выход (12.09.2000 г.)	<0,9	7±2	—
	30—выход (24.10.2000 г.)	<0,9	6±2	—
Фон				
Двинской залив Белого моря				
2000 г.	Район Уйма:			—
	30.08.1999 г.	<0,2	8±3	—
	30.10.2000 г.	<1,0	9±3	—
	Губа Большая Пирья	<0,7	8±2	9±3
	Губа Оленица	<0,7	5±2	2,4±0,6
	Открытое море	<0,7	1,5±0,4	—
Фон [3]				
100-км зона вокруг ПО «Севмаш»				
1999 г.	р. Северная Двина (пос. Соломбала)	<0,2	8±2	—
	р. Онега (пос. Порог)	<0,2	4±1	—
Фон				
Территория России				
1999 г.	Среднее в европейской части (реки) [3]	<0,2	6±2	—
	Среднее в азиатской части (реки) [6]	<0,2	6±2	—
	Среднее по Дальнему Востоку [6]:			
	моря	<0,2	1,7±0,6	2,7±1,1
	реки	<0,2	27±8	43±12
	озера	<0,2	3,0±1,2	5±2

Основными причинами радиоактивного загрязнения Никольского устья являются выгрузка отработавшего топлива и обращение с радиоактивными отходами. Постоянно образуются жидкие и твердые радиоактивные отходы, сбор которых во время радиационно опасных работ на плаву сложен и не исключает частичного попадания на акваторию (табл. 11, 12).

Несанкционированное поступление жидких отходов в воду, как правило, не велико по суммарной активности (единицы—десятки литров) и не представляет радиозологической опасности — под воздействием турбулентной диффузии концентрация радионуклидов в течение нескольких часов понижается до допустимых значений. Опасность могут представлять твердые радиоактивные осадки, находящиеся в баках с жидкими отходами, а также малоразмерные твердые отходы, которые, случайно попадая

Т а б л и ц а 11. Общий объем жидких радиоактивных отходов, образующихся при утилизации одной подводной лодки, м³ [7]

Радиоактивные отходы	Класс подводных лодок			Удельная активность, Бк/л
	«Дельта»	«Оскар»	«Тайфун»	
Теплоноситель первого и технологические воды третьего контуров	80±2	95±2	95±2	10 ³ —5·10 ⁷
Дезактивирующие растворы из реакторного отсека и технологической оснастки	4±0,5	20±1	20±1	10 ² —5·10 ⁴
Технологические воды из цистерн грязной воды и трюмов	2±0,5	10±1	10±1	10 ² —5·10 ⁴
Технологические воды из цистерн биологической защиты	170±3	280±5	350±5	10 ² —5·10 ⁴

Примечание. Жидкие отходы, %: ⁵⁴Mn 3—5, ⁶⁰Co 5—10, ⁹⁰Sr 10—12, ¹³⁴Cs 5—10, ¹³⁷Cs 50—70.

Т а б л и ц а 12. Объем твердых радиоактивных отходов, образующихся при утилизации одной подводной лодки, м³

Тип отходов	Класс подводных лодок			Плотность загрязнений, β/(см ² ·мин)	Удельная активность, 10 ⁴ Бк/кг
	«Дельта»	«Оскар»	«Тайфун»		
Оборудование ЯЭУ	8±1	10±1	10±1	>50	>7
Изолирующие покрытия	2±0,5	5±0,5	5±0,5	<50	>7
Вспомогательные материалы	20±2	20±2	20±2	<50	>7

Примечание. Твердые отходы, %: ⁵⁴Mn 3—5, ⁶⁰Co 10—15, ⁹⁰Sr 10—12, ¹³⁴Cs 3—5, ¹³⁷Cs 60—70.

на дно, в дальнейшем не извлекаются. Данные работы [5], а также наблюдений в Никольском устье свидетельствуют, что именно они становятся источниками длительного радиоактивного загрязнения морской среды в местах утилизации лодок (см. рис. 1, табл. 13, 14).

Из данных табл. 13 следует, что в местах подготовки к утилизации и обращения с отходами (см. рис. 1, т. 1—10) удельная активность цезия в донных отложениях в среднем в 2—9, в отдельные годы в 20—130 раз превышала фон (т. 10, 1990—1991 гг.). Увеличение удельной суммарной β-активности грунта в 1,3 раза в 1991 г. в т. 10 свидетельствует, что происходило поступление не только ¹³⁷Cs и ⁶⁰Co, но и ⁹⁰Sr, концентрация которого для рассматриваемого случая могла находиться в пределах 50—150 Бк/кг. С противоположной стороны устья (см. рис. 1, табл. 14) содержание техногенных радионуклидов в грунтах немного меньше, преобладает ¹³⁷Cs, в незначительной степени обнаруживаются ⁶⁰Co и ¹⁴⁴Ce, на



Р и с. 1. Места отбора проб донных отложений в Никольском устье и Двинском заливе (●), аэрозолей и атмосферных выпадений (▲), место стоянки подводной лодки с аварийной ЯЭУ в 1965 г. (×)

Т а б л и ц а 13. Удельная активность радионуклидов в пробах донных отложений
Никольского устья в зоне ответственности предприятия «Звездочка» и в Двинском заливе, Бк/кг

Но- мер точки	Радио- нуклид	1989 г.	1990 г.	1991 г.	1992 г.	1993 г.	1994 г.	1995 г.	1996 г.	1997 г.	1998 г.	1999 г.	2000 г.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1*	$A_{уд}$	535	510	600	667	518	522	654	478	513	580	470	560
	^{137}Cs	27	29	27	21	14	23	14	17	8	18	10	12
	^{60}Co	20	нд	нд	нд	нд	нд	—	нд	нд	2	нд	нд
2*	$A_{уд}$	320	580	690	420	503	555	613	637	526	510	350	540
	^{137}Cs	10	39	59	45	22	41	28	40	30	30	12	12
	^{60}Co	нд	15	19	нд	нд	нд	3	3	6	4	2	3
3*	$A_{уд}$	630	750	704	772	725	633	614	624	626	670	460	650
	^{137}Cs	60	61	73	51	47	25	29	52	25	47	19	42
	^{60}Co	14	нд	24	нд	82	14	3	4	нд	25	нд	нд
4*	$A_{уд}$	7104	530	540	—	613	604	566	558	731	460	580	590
	^{137}Cs	26	23	25	—	46	24	24	43	34	9	24	22
	^{60}Co		нд	нд	—	154	10	3	3	7	1	нд	3
5**	$A_{уд}$	470	660	615	504	652	617	455	522	414	570	540	560
	^{137}Cs	25	40	32	62	29	30	15	30	22	33	27	30
	^{60}Co	21	18	нд	нд	нд	8	3	2	нд	2	2	нд
6**	$A_{уд}$	570	500	493	490	570	607	574	687	539	620	540	560
	^{137}Cs	52	56	45	48	48	21	32	32	22	26	44	37
	^{60}Co	50	25	47	15	19	33	4	3	1	1	3	1
7***	$A_{уд}$	610	444	600	450	558	—	589	430	422	—	520	440
	^{137}Cs	32	15	30	15	5	—	8	9	10	—	11	5
	^{60}Co	21	нд	12	нд	нд	—	1	1	нд	—	нд	1
8***	$A_{уд}$	760	540	800	558	622	555	574	478	574	670	530	580
	^{137}Cs	56	33	60	42	22	89	21	25	34	37	16	38
	^{60}Co	91	14	23	12	нд	6	2	1	3	3	нд	4
9***	$A_{уд}$	—	—	—	—	—	629	535	640	626	700	520	600
	^{137}Cs	—	—	—	—	—	36	18	29	22	46	11	19
	^{60}Co	—	—	—	—	—	нд	нд	нд	нд	6	нд	нд
10***	$A_{уд}$	635	7806	630	590	422	370	650	625	580	615	540	690
	^{137}Cs	53	81	115	35	17	41	24	33	31	28	21	32
	^{60}Co	нд	нд	330	14	нд	нд	10	3	нд	1	нд	3
11****	$A_{уд}$	520	620	359	458	—	330	410	482	473	—	250	460
	^{137}Cs	30	45	нд	27	—	нд	13	15	12	—	1	10
	^{60}Co	16	58	нд	нд	—	нд	нд	3	нд	—	нд	нд
12****	$A_{уд}$	370	210	460	445	288	518	417	410	—	320	350	230
	^{137}Cs	14	5	7	7	38	2	2	29	—	1	3	6
	^{60}Co	нд	нд	нд	нд	нд	нд	—	нд	—	нд	нд	нд

Окончание табл. 13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
13****	$A_{уд}$	—	—	—	500	—	—	378	—	—	300	330	370
	^{137}Cs	—	—	—	7	—	—	7	—	—	1	1	2
	^{60}Co	—	—	—	нд	—	—	—	—	—	нд	нд	нд
14****	$A_{уд}$	330	240	320	230	302	346	304	367	343	270	375	250
	^{137}Cs	7	нд	нд	нд	нд	2	нд	нд	2	2	1	2
	^{60}Co	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд
15*****	$A_{уд}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	^{137}Cs	10	—	—	—	—	12	11	9	—	11	8	9
	^{60}Co	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд

*Спецнабережная для выгрузки отработавшего топлива, приема и передачи жидких и твердых отходов.

**Глубоководная набережная, обращение с радиоактивными отходами.

***Отстой лодок после вывода из эксплуатации.

****Вход в Никольское устье т. 11, т. 12 — выход из Никольского устья и вход в Двинской залив, т. 13, 14 — Двинской залив (городской пляж) — фон.

*****Двинской залив Белого моря, 15 км от Северодвинска (приведены усредненные данные по 10 точкам [6]). Погрешность измерений 30%.

Т а б л и ц а 14. Удельная активность радионуклидов в пробах донных отложений Никольского устья в зоне ответственности ПО «Севмаш», Бк/кг

Номер точки	Радионуклид	1991 г.	1992 г.	1993 г.	1994 г.	1995 г.	1996 г.	1997 г.	1998 г.	1999 г.	2000 г.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16	$A_{уд}$	814	777	666	629	629	603	527	592	655	666
	^{137}Cs	16	—	11	—	10	4	18	12	9	5
	^{60}Co	нд	—	нд	—	нд	нд	нд	нд	—	—
	^{90}Sr	2	—	нд	—	4	1	нд	нд	нд	нд
	^{144}Ce	—	—	3	—	6	6	—	—	—	—
17	$A_{уд}$	703	740	666	666	666	629	518	810	605	803
	^{137}Cs	14	—	13	20	12	3	4	18	28	7
	^{60}Co	4	—	нд	нд	3	нд	—	нд	—	—
	^{90}Sr	2	—	нд	нд	11	1	4	1	3	нд
	^{144}Ce	—	—	2	6	нд	—	—	—	—	—
18	$A_{уд}$	481	851	370	592	370	629	481	—	—	665
	^{137}Cs	12	—	21	3	5	16	—	—	—	13
	^{60}Co	нд	—	нд	нд	нд	нд	2	—	—	—
	^{90}Sr	0,3	—	нд	нд	нд	1	нд	—	—	1
	^{144}Ce	—	—	7	нд	2	5	1	—	—	—
19*	$A_{уд}$	777	777	666	629	629	640	703	742	723	—
	^{137}Cs	9	—	нд	13	58	4	18	30	35	—
	^{60}Co	нд	—	нд	нд	нд	нд	нд	нд	—	—
	^{90}Sr	0,4	—	нд	1	1	1	нд	нд	нд	—
	^{144}Ce	—	—	4	нд	5	16	8	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20	$A_{уд}$	666	925	666	703	703	629	653	748	—	703
	^{137}Cs	—	—	20	16	1	11	12	14	—	9
	^{60}Co	—	—	2	нд	нд	нд	10	нд	—	—
	^{90}Sr	—	—	нд	нд	нд	1	нд	нд	—	нд
	^{144}Ce	—	—	10	22	4	6	—	—	—	—
21	$A_{уд}$	555	444	666	777	—	740	539	—	—	666
	^{137}Cs	—	—	9	—	—	27	2	—	—	—
	^{60}Co	—	—	1	—	—	нд	5	—	—	—
	^{90}Sr	—	—	нд	—	—	нд	нд	—	—	3
	^{144}Ce	—	—	2	—	—	5	нд	—	—	—
22	$A_{уд}$	666	814	—	703	740	777	640	710	629	745
	^{137}Cs	—	—	—	5	—	15	13	16	11	26
	^{60}Co	—	—	—	нд	—	нд	нд	нд	—	—
	^{90}Sr	—	—	—	нд	—	1	нд	1	нд	нд
	^{144}Ce	—	—	—	4	—	9	5	—	—	—
23	$A_{уд}$	666	—	740	703	703	666	703	—	683	684
	^{137}Cs	—	—	13	13	3	нд	4	—	10	17
	^{60}Co	—	—	1	нд	нд	нд	нд	—	нд	—
	^{90}Sr	—	—	—	нд	нд	нд	нд	—	нд	нд
	^{144}Ce	—	—	11	6	2	24	6	—	—	—
24	$A_{уд}$	629	—	777	518	484	666	684	703	—	700
	^{137}Cs	—	—	14	12	11	27	11	11	—	6
	^{60}Co	—	—	нд	нд	нд	16	1	нд	—	—
	^{90}Sr	—	—	нд	нд	нд	5	нд	1	—	нд
	^{144}Ce	—	—	3	нд	4	5	5	—	—	—
25	$A_{уд}$	630	—	—	518	666	—	481	629	—	592
	^{137}Cs	—	—	—	59	1	—	8	—	—	3
	^{60}Co	—	—	—	нд	нд	—	нд	1	—	—
	^{90}Sr	—	—	—	4	нд	—	нд	4	—	нд
	^{144}Ce	—	—	—	3	5	—	1	—	—	—
26	$A_{уд}$	740	—	814	629	—	703	740	610	666	670
	^{137}Cs	—	—	27	15	—	—	12	23	14	—
	^{60}Co	—	—	нд	нд	—	—	нд	нд	нд	—
	^{90}Sr	—	—	нд	нд	—	—	нд	нд	нд	1
	^{144}Ce	—	—	6	3	—	—	4	—	—	—
27	$A_{уд}$	—	—	—	—	—	—	—	632	593	814
	^{137}Cs	—	—	—	—	—	—	—	40	21	37
	^{60}Co	—	—	—	—	—	—	—	2	нд	—
	^{90}Sr	—	—	—	—	—	—	—	2	1	1
28	$A_{уд}$	—	—	—	—	—	—	—	720	666	814
	^{137}Cs	—	—	—	—	—	—	—	30	14	48
	^{60}Co	—	—	—	—	—	—	—	нд	нд	—
	^{90}Sr	—	—	—	—	—	—	—	нд	нд	нд

*Выход из Никольского устья.

уровне фона ^{90}Sr . Как правило, их концентрация не превышает 0,005—0,02 ПДК [3], за исключением 1990—1991 гг. в т. 10 (см. табл. 13), где она достигала 0,2—0,9 ПДК. В 1975—1978 гг. в т. 16, 17 при проведении работ на аварийных объектах содержание в донных отложениях ^{137}Cs достигало 2 ПДК (5200 Бк/кг).

Для контроля выноса радионуклидов за пределы Никольского устья Северное управление Росгидрометеослужбы периодически, начиная с 1975 г., проводит отбор проб поверхностного слоя донных отложений в Двинском заливе Белого моря в районе Северодвинска. Анализ осуществляет НПО «Тайфун». На основании многолетних наблюдений за ^{137}Cs (см. табл. 13, т. 15) и невысоких средних уровней (10 ± 2 Бк/кг) НПО «Тайфун» отнес наблюдаемые значения к глобальному радиационному фону, а деятельность предприятий Северодвинска в 1991—1998 гг. оценил как не влияющую на содержание искусственных радионуклидов в Двинском заливе [3]. Такое заключение базируется на том, что концентрация искусственных радионуклидов в морской воде Белого моря немного выше, чем в остальных районах региона, содержание в донных отложениях ^{137}Cs сопоставимо или меньше, чем в Норвежском, Гренландском или Карском морях (табл. 15 [8, 9]).

Т а б л и ц а 15. Концентрация искусственных радионуклидов в поверхностных водах, донных отложениях и биоте Арктических морей в 1991—1998 гг. [8, 9]

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

*Повышенное содержание связано с последствиями поступления водных масс, загрязненных радиоактивными отходами завода по переработке отработавшего ядерного топлива в Уиндскейле (ныне г. Селлафилд, Великобритания) [9].

**Двинской залив.

***Тюлень.

Удельная активность грунта приведена на единицу сухой биоты — влажной пробы.

Анализ данных, полученных в последние годы, с учетом мест отбора проб позволяет прийти к иному заключению, которое находит подтверждение и при рассмотрении других независимых результатов исследований (рис. 2, табл. 16).

Принимая во внимание, что точки 13, 14 отбора проб грунта (см. рис. 1, табл. 13) и 2, 4, 8, 9 (см. рис. 2, табл. 16) отдалены от основного направления перемещения водных масс, выходящих из Никольского устья, результаты измерений в них можно принять за фон. В этом случае фон соответствует 5 ± 2 Бк/кг (по данным [9] содержание ^{137}Cs в донных отложениях в районах, прилегающих к Северодвинску, составляет в Никольском рукаве $4,2 \pm 1,5$ Бк/кг, в дельте Северной Двины — $5,4 \pm 1,8$ Бк/кг и вдоль побережья о-ва Ягры — $2,3 \pm 0,5$ Бк/кг). Кроме того, расположение точек 1, 10, 5, 6 и 3 (см. рис. 2, табл. 16), в которых концентрация ^{137}Cs изменяется от 10 до 27 Бк/кг и наблюдается перепад с 21 ± 3 Бк/кг (т. 1, 10) до 10 ± 3 Бк/кг (т. 5, 6 и 3), указывает на перемещение техногенных радионуклидов в придонном слое морской воды из Ни-

Т а б л и ц а 16. Содержание ^{137}Cs в пробах донных отложений Двинского залива в 15 км от Северодвинска в 1998—2000 гг., Бк/кг сухой массы [3]

Номер точки	Глубина, м	Удельная активность	Глубина, м	Удельная активность	Глубина, м	Удельная активность
	13.10.1998 г.		16.10.1999 г.		22.08.2000 г.	
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	$21,5 \pm 1,4$

*Локальная область с повышенным содержанием ^{137}Cs .



Р и с. 2. Расположение точек отбора проб донных отложений в Двинском заливе Белого моря

кольского устья в Двинской залив по направлению Никольское устье: т. 1 — т. 5 — т. 3. Ширина полосы загрязнения на удалении 15 км от Северодвинска достигает 3—5 км, морская впадина играет роль местного накопителя. Изменение траектории перемещения ^{137}Cs с северо-востока на север объясняется наличием за т. 6, 7 локальной возвышенности, которая меняет направление движения придонных водных масс в этом направлении.

Вынос техногенных радионуклидов из Никольского устья в Двинской залив подтверждают и результаты многолетних наблюдений специалистов предприятия «Звездочка» и ПО «Севмаш» в ближней зоне в т. 12 (см. рис. 1, табл. 13) и т. 19 (табл. 14). Они

расположены на выходе из устья и отстоят от предприятий на 500—1500 м, но содержание в них ^{137}Cs периодически в 2—8 раз превышает фон. По времени это совпадает с выгрузкой отработавшего топлива и соответственно радиоактивным загрязнением устья в точках 1—4, 16—18.

Парадоксальное явление обнаружено в т. 11 (см. рис. 1, табл. 13), которая принята за фоновую как удаленная от предприятий на 500 м против течения — в ней зарегистрировано повышенное содержание техногенных радионуклидов в донных отложениях в 1990 г.: концентрация ^{137}Cs увеличилась в 9, ^{60}Co в 60 раз, удельная активность ^{60}Co в иле достигала 81 кБк/кг, ^{137}Cs — 3,2 кБк/кг, ^{54}Mn — 2,2 кБк/кг. Установлено, что это загрязнение входа в Никольское устье обусловлено случайным поступлением жидких отходов с предприятия «Звездочка» в городскую канализацию и очистные сооружения. Специалисты «Невскгеология» в 1990 г. оценили площадь загрязнения с

мощностью экспозиционной дозы более 20 мкР/ч (максимум 3000 мкР/ч) равной 400 м². Дальнейшему распространению радиоактивных веществ в северной части о-ва Ягры способствовала несанкционированная деятельность населения по использованию ила для сельскохозяйственных целей (мощность экспозиционной дозы на приусадебных участках повысилась до 20—30 мкР/ч). В результате организационно-технических мероприятий и дезактивации почвы она была понижена до фоновой значения 10—15 мкР/ч. Максимальное значение в центре загрязнения на 5% исходной площади в 1999 г. составляло 60—200 мкР/ч. Содержание ⁶⁰Со уменьшилось в 15—60 раз, ¹³⁷Cs в донных отложениях на входе в Никольское устье в т. 11 — в 2—4 раза (см. рис. 1, табл. 13).

По результатам анализа увеличение объемов утилизации подводных лодок к 2010 г. в среднем в 5 раз, несмотря на то, что и будет сопровождаться возрастанием поступления техногенных радионуклидов в окружающую среду, не вызовет качественного изменения радиоэкологической обстановки. Созданные в настоящее время условия гарантируют невозможность превышения допустимого уровня загрязнения окружающей среды. В любом случае загрязнение не будет превышать 0,001 ПДК. Возможные отклонения от существующего положения характеризует табл. 17 — приведенные в ней данные в сотни раз меньше наблюдаемых при ремонте подводных лодок до 1990 г. Возможно увеличение объемной активности техногенных радионуклидов в морской воде и донных отложениях в 3—5 раз в районе расположения подводных лодок. Радиус площади загрязнения не будет превышать 300—500 м и сохранится лишь на акватории предприятия. Это исключит несанкционированный вылов населением морепродуктов, дополнительно загрязненных утилизируемыми подводными лодками.

Т а б л и ц а 17. Реальная и ожидаемая верхнепороговая ($P \geq 0,7$) объемная активность техногенных радионуклидов в аэрозолях и выпадениях при утилизации подводных лодок на ПО «Севмаш» и поступающих в атмосферу Северодвинска

Год	ПО «Севмаш»				Северодвинск			
	⁶⁰ Со	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	¹⁴⁴ Ce	⁶⁰ Со	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	¹⁴⁴ Ce
Аэрозоли, 10 ⁻⁵ Бк/м ³								
2001 г.	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1
2010 г.	1,0	0,6	0,5	0,5	0,15	0,25	0,25	0,15
Выпадения, Бк/(м ² ·мес)								
2001 г.	0,5	0,4	2,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2
2010 г.	1,5	0,7	3,5	0,5	0,25	0,15	0,25	0,25

Таким образом, обобщенный анализ результатов многолетних наблюдений за радиационной обстановкой свидетельствует, что производственная деятельность предприятия «Звездочка» и ПО «Севмаш» не привела к изменению радиоэкологической обстановки в Северодвинске и прилегающих районах. Плотность радиоактивных выпадений, мощность экспозиционной дозы γ -излучения, удельная активность морской воды и гидробионтов находятся в пределах фона. Концентрация техногенных радионуклидов в объектах природной среды за пределами предприятий не превышает 0,01—0,0001 допустимых по НРБ-99. При воздействии всех негативных факторов дополнительная дозовая нагрузка на население от безаварийной утилизации подводных лодок не превышает 1—5 мкЗв/год, что составляет менее 0,1% дозы радиационного природного фона, и не представляет радиационной опасности. Намеченное увеличение объемов утилизации подводных лодок не изменит существующую радиоэкологическую обстановку в Северодвинске и прилегающих к нему районах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по контролю за радиоактивным загрязнением внешней среды и внутренним облучением личного состава кораблей с атомными энергетическими установками. М.: Воениздат, 1991. 96 с.
2. Радиационная обстановка. Раздел 7 в книге «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1999 году». СПб.: Гидрометеоздат, 2000, с. 69—79.
3. Ким В.Н., Никитин А.Н., Пуканов С.И., Чумичев В.Б. ПО «Севмашпредприятие». — В кн.: Радиационная обстановка на территории Российской Федерации. НПО «Тайфун». СПб.: Гидрометеоздат, 2001, с. 75—79.
4. 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.
5. Данилян В.А., Высоцкий В.Л., Максимов А.А., Сивинцев Ю.В. Влияние утилизации атомных подводных лодок на радиозоологическую обстановку в Дальневосточном регионе. — Там же, 2000, т. 89, вып. 6, с. 454—474.
6. Чайковская Э.Л., Высоцкий В.Л., Гичев Д.В. Закономерности формирования радиационной обстановки на территории Приморского края. — Там же, 2001, т. 91, вып. 3, с. 223—237.
7. Никитин В.С., Салыкин О.М. Вредные вещества, выделяющиеся при утилизации корпусных конструкций АПЛ. Северодвинск, ГУП НИПТБ, 2000. 6 с.
8. 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.
9. 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.

Поступила в Редакцию 11.02.02

УДК 615.849.9+614.73(035)

ВОЗМОЖНЫЙ ПОДХОД К МОДИФИКАЦИИ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ

Жуковский М.В., Павлюк А.В. (Институт промышленной экологии УрО РАН)

При сопоставительном анализе радиационного воздействия на население от различных источников излучения важно правильно выбрать параметр, по которому будет проводиться сопоставление. Как правило, в качестве такого параметра выбирается эффективная доза, которая считается универсальной величиной, соответствующей ущербу здоровью при радиационном воздействии. Однако эффективная доза не во всех случаях является адекватным отражением радиационного ущерба, нанесенного человеку [1—5].

В Публикации № 60 МКРЗ [1, 2] при определении тканевых взвешивающих коэффициентов w_T проводилось усреднение по результатам применения различных расчетных моделей, полу, ожидаемой продолжительности жизни, частоте спонтанного возникновения онкологических заболеваний и возрасту на момент облучения. Поэтому эффективная доза может являться корректным параметром, пригодным для сопоставления различных радиационных воздействий, только в двух случаях:

пожизненного облучения человека примерно одинаковой эффективной дозой (индивидуальная оценка радиационного ущерба);

однократного облучения популяции, состоящей из лиц всех возрастов (групповая оценка радиационного ущерба с использованием коллективной эффективной дозы).

Во всех остальных случаях при оценке ожидаемого радиационного ущерба в каждой конкретной ситуации необходимо учитывать возраст человека на момент облучения. Это может быть сделано введением в определение эффективной дозы дополнительного взвешивающего коэффициента, зависящего от возраста человека на момент облучения.

Это предложение не является новым. В Публикации № 60 МКРЗ отмечается, что в более ранних определениях эффективной дозы, кроме тканевых и радиационных