

УДК 502.1: 504.5: 504.61

Радиоэкологическая обстановка на архипелаге Новая Земля

Ю.Г. Сыч,

12 Главное управление Минобороны России,

Л.В. Дубинко, доктор технических наук,

НИЦ безопасности технических систем Минобороны России

В статье рассматриваются радиоэкологические последствия ядерных испытаний на Новой Земле. Оценивается радиационная обстановка в прилегающих акваториях и выявляются определяющие ее источники.

Радиоэкологическая обстановка на архипелаге Новая Земля и прилегающих акваториях обусловлена последствиями ядерных взрывов (ЯВ) и сбросами в воду радиоактивных продуктов. Новоземельский полигон для испытаний ядерного оружия был создан в 1954 г. В условиях холодной войны и проведения к этому времени США ядерных взрывов на Тихом океане необходимо было исследовать поражающее действие взрывов на объекты ВМФ и разрабатывать средства и способы их защиты.

Испытания осуществлялись на трех технологических площадках (рис. 1):

- зона А (в районе губы Черной): проведение подводных и надводных испытаний, наземного ЯВ и 6 подземных ядерных испытаний в скважинах;

- зона В (в районе пролива Маточкин Шар): проведение 36 подземных ЯВ в штольнях;
- зона С (полуостров Сухой Нос): проведение воздушных ЯВ.

С 1955 г. по 1990 г. на полигоне было произведено 132 ядерных взрыва, в том числе 87 атмосферных (1 наземный, 83 воздушных, 3 надводных), 3 подводных и 42 подземных [1]. Первый ЯВ на полигоне был подводным – в районе губы Черной 21.09.1955 г.: здесь на глубине около 12 м была взорвана ядерная торпеда мощностью до 20 кт ТНТ. Фотография (фото 1, стр.58) сделана с самолета ЛИ-2Ф с высоты 2 км на расстоянии 5 км от эпицентра через 1.6 с после подрыва. 30 октября 1961 г. над Северным островом архипелага Новая Земля на высоте около 4 км была взорвана водородная бомба с тротиловым эквивалентом примерно 50 Мт.

Рис. 1
Места проведения ядерных испытаний и захоронения радиоактивных отходов



При проведении испытаний ядерного оружия были предусмотрены меры по обеспечению экологической безопасности окружающей среды посредством выбора специальных условий проведения взрывов [2]. Подводные и наземные ядерные взрывы проводились в таких погодных и ландшафтных условиях, чтобы следы взрывов ложились на территорию полигона, которая была существенно меньше общей площади архипелага Новая Земля. Воздушные взрывы проводились в «бомбовом» режиме на высоте от 0.7 до 10 км, в зависимости от мощности взрыва, что исключало касание огненного шара поверхности Земли и приводило к забрасыванию радиоактивных веществ в верхние слои атмосферы. Период полураспада (выведения половины инжектированных радиоактивных продуктов) для верхних слоев стратосферы полярных районов составляет 12 месяцев, для нижних слоев стратосферы – 5 месяцев. Продукты взрыва, попавшие в тропосферу, выводятся значительно быстрее. Крупные частицы (порядка сотен микрон и больше) в результате гравитационного оседания выпадают в течение первых суток после взрыва, образуя зоны локальных выпадений в районе испытаний. Более мелкие частицы, попавшие в тропосферу, образуют промежуточные или тропосферные выпадения, ограниченные широтным поясом 20–30° вдоль широты взрыва. Частицы с диаметром менее микрона, попавшие в стратосферу, практически распространяются над всем земным шаром и образуют глобальные выпадения. Доли выпадений разных типов зависят от мощности и высоты взрыва (*табл. 1*) [3]. Выпавшие из облака взрыва радиоактивные частицы загрязняют почву и водоемы, их флору и фауну.

Таблица 1

Выпадения продуктов ядерных взрывов, %

Вид взрыва	Мощность взрыва > 1 Мт			Мощность взрыва < 1Мт	
	локаль-ные	тропо-сферн	глобаль-ные	локаль-ные	тропо-сферн
воздушный	0	1	99	0	100
наземный	79	1	20	80	20
надводный	20	1	79	20	80

После подписания Московского Договора 1963 г. «О запрещении испытаний ядерного оружия в трех средах: в атмосфере, космическом пространстве и под водой» на полигоне стали производиться только подземные ядерные взрывы: первый – 18.09.64 г, последний – 24.10.90 г. Система безопасности подземных ядерных взрывов включала выполнение требований к выбору места проведения взрыва в горном массиве, оборудованию забивочного

комплекса штольни, выбору глубины заложения заряда, обеспечению заданного времени выхода продуктов на дневную поверхность, выбору погодных условий. При взрыве температура в зарядной камере достигает миллионов градусов, часть горной породы при этом испаряется и расплавляется. Остывая, эта масса стекает вниз и выстилает стенки полости остеклованной коркой, которая считается непроницаемой.

Из 42 проведенных подземных взрывов только два сопровождались нештатной радиационной ситуацией – произошел прорыв парогазовой смеси радиоактивных инертных газов по тектоническим трещинам. На технологической площадке мощность дозы достигала нескольких сотен Р/ч. Расчеты показывают, что в результате радиоактивного распада продуктов выброса в атмосфере за весь период проведения подземных ядерных взрывов могло образоваться не более 5 тысяч Кюри цезия-137. В то же время суммарное количество цезия-137, определяемое глобальными выпадениями, обусловленными всеми взрывами ядерных стран, оценивается для территории СНГ величиной, равной 1.5 млн Кюри.

При проведении испытаний на Новой Земле постоянно проводились радиоэкологические исследования воздействия взрывов на окружающую среду организациями Минобороны СССР, АН СССР, Госкомгидромета, Минздрава СССР, Минсредмаша СССР как в районе полигона и прилегающих акваториях, так и в жилых поселках, удаленных от полигона на 100–200 км. Объектами исследования являлись атмосферные выпадения и аэрозоли, почва,

вода, донные отложения, флора и фауна островов и акватории, домашние животные, продукты питания местного производства.

В марте 1962 г. была снаряжена экспедиция МО СССР для оценки радиационной обстановки в районах Крайнего Севера, сложившейся в итоге испытаний к 1961 г. В процессе экспедиции проводилась аэрогаммасьемка на высотах 50–200 м, систематический отбор проб воздуха в наземных пунктах с последующим измерением количества долгоживущих изотопов с определением возраста продуктов, контролировалась активность почвы, растительного покрова тундры, снега, проводились измерения количества стронция-90 у людей. Аэрогаммасьемка показала, что гамма-фон весной 1962 г. по всему маршруту Ленинград – Петрозаводск – Мурманск – Архангельск – Нарьян-Мар – Амдерма – Ямал – Диксон – Норильск – Воркута – Сыктывкар – Ленинград находился на уровне 8–10 мкР/ч, исключая сам полигон, где он был выше, особенно в районе взрыва мощностью 50 Мт. Среднее по 43 населенным пунктам значение активности проб воздуха на высоте 1.5 м была на уровне 10^{-4} Бк/л. В то же время в Ленинграде соответствующая величина составляла $1.8 \cdot 10^{-4}$, в Москве $2.2 \cdot 10^{-4}$, в США $1.8 \cdot 10^{-4}$, в Финляндии $1.1 \cdot 10^{-4}$.

Радиационная обстановка на загрязненной территории определялась по уровню радиоактивности проб воздуха и почвы. Данные о накоплении в почве радионуклидов стронция-90 и цезия-137 (рис. 2) свидетельствуют о заметном повышении уровня загрязнения в среднем по территории СССР и отдельно по Новой Земле с 1954 г., причем на Новой Земле это повышение было несколько выше [4]. Общее увеличение концентрации радионуклидов в почве связано с глобальными выпадениями, обусловленными высотными и космическими ядерными взрывами, проведенными разными странами. Начиная с 1965–66 гг., т.е. спустя 3–4 года после проведения в Северном полушарии больших серий испытаний, прослеживается тенденция к установлению постоянного уровня радиационного загрязнения почвы этими радионуклидами, а затем к его снижению за счет радиоактивного распада, заглубления в почву и смыва с почвенного покрова в реки, моря и океаны.

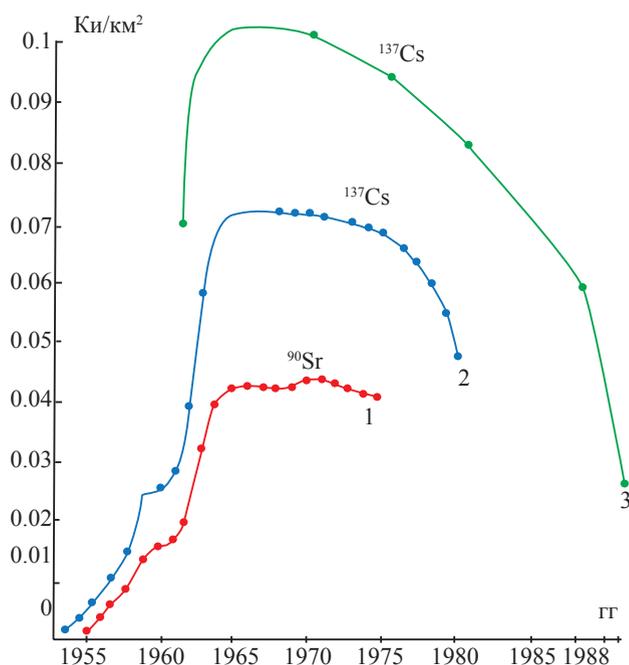


Рис. 2

Изменение концентрации радионуклидов:
1, 2 – в среднем на территории страны,
3 – на Новой Земле

Выполненные на полигоне исследования по отбору проб грунта, мха и травы и оценке концентрации в них радионуклидов показали неравномерность поверхностного загрязнения земли (табл.2) и небольшое (не более чем в три раза) превышение среднего естественного уровня радиации. Следует отметить, что уровни естественного радиационного фона в разных районах могут отличаться в 3–5 раз в зависимости от типа грунта.

В первые годы ядерных испытаний государства, их проводившие, осуществляли взаимный контроль путем измерений радиоактивности, приносимой атмосферными аэрозолями на соответствующие территории. После прекращения крупномасштабных испытаний контроль начал распространяться и на акватории, окружающие полигоны, и заключался в измерении радиоактивности, попавшей в воду и накопленной гидробионтами.

Таблица 2

Уровни удельной концентрации радионуклидов, 10^{-9} Ки/кг

Проба	Район				
	Ротачёво	Зона В	Зона С	Вост. берег	О. Вайгач
грунт	21	98	62	80	29
мох	19	92	78	78	32
трава	5	38	69	17	30

Поступление искусственных радиоизотопов в акваторию обнаруживается в результате сравнения активности проб воды и их изотопного состава с естественным уровнем. Результаты анализа проб воды, отобранных в период с 1967 по 1973 гг. в Баренцевом море, показывают снижение удельной активности стронция-90 и цезия-137 после прекращения воздушных взрывов на Новой Земле от 0.02 до 0.01 Бк/л. Исследование радиоактивности Баренцева и Карского морей, которому была посвящена экспедиция 1982 г, показало, что средняя величина концентрации цезия-137 в Баренцевом море повысилась до 0.04 Бк/л, в Карском море осталось на уровне 0.01 Бк/л. Новое увеличение концентрации радионуклидов в Баренцевом море объяснялось сбросами

в море отходов атомных предприятий в Англии. Характер и направление течения в этом регионе таковы (рис.3), что восточная часть Баренцева моря и западное побережье Новой Земли превращается в европейскую свалку. Измерения концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в 1991–92 гг. (табл.3) подтверждают это предположение.



Рис. 3
Течения Атлантического океана

Таблица 3

Концентрация радионуклидов в воде,
Бк/л

Годы	Баренцево море		Карское море	
	стронций-90	цезий-137	стронций-90	цезий-137
1991	0.05	0.09	-	-
1992	0.02	0.04	0.06	0.05

Радиобиологические исследования Баренцева и Карского морей [2] проводились с целью получения данных о радиоактивности флоры и фауны морей и гигиенической оценки и прогноза последствий испытаний, а также для отработки метода датирования взрывов по данным анализа проб биообъектов. Для обеспечения исследования акватории при испытаниях использовалось судно радиационного контроля, которое было оснащено новейшим для того времени оборудованием, позволяющим проводить отбор проб морской воды с различных горизонтов, воздуха, донных отложений, атмосферных осадков, планктона, придонной и донной рыбы, донных беспозвоночных животных, водорослей, водоплавающих птиц и млекопитающих. Судовые лаборатории обеспечивали обработку собранных биопроб: определение изотопного состава проб, измерение уровней гамма-радиации над водой и в воде как в дрейфе, так и на ходу судна, а также на береговых станциях. В состав экспедиций входили радиобиологи, гидробиологи, физики и радиохимики.

Измерения показали, что фон над морем в то время составлял 4 мкР/ч. Эпизодически (после взрывов) отмечались кратковременные повышения уровней радиации над водой до 10 мкР/ч. Случаи повышения уровней радиации были использованы для разработки метода датирования взрывов с помощью изучения радиоактивности гидробионтов. Радиоактивность флоры и фауны Баренцева моря, обусловленная суммой продуктов деления и в основном естественным изотопом калия-40, была всюду меньше 35 Бк/кг. Вклад стронция-90 не превышал 1%.

В процессе исследований было установлено, что коэффициенты накопления органов и тканей бионтов, которые определяются отношением концентрации радиоизотопа в бионте к концентрации его в воде, имеют количественную зависимость от концентрации элементов в воде. Натурные исследова-

ния радиоактивности гидробионтов показали, что ее динамика описывается формулой $qt=q_1 \cdot t^{-n}$, в которой скорость спада n оказалась различной для разных объектов: для целых экземпляров донной рыбы, крабов-целиков и панциря краба $n=1.2$, для внутренностей краба $n=0.52$, морской воды $n=1.8$, планктона, красных водорослей, грунта $n=1.2$. Данные, полученные при проведении датирования, были использованы для расчета коэффициентов K накопления радиоактивности в гидробионтах: $K=K_1 t^{-(n-m)}$, где n и m – показатели спада активности воды и гидробионта, соответственно [5].

В морской воде коэффициент накопления цезия мягкими тканями гидробионтов в среднем равен 40, откуда следовало, что концентрация цезия-137 в мягких тканях рыбы равна 0.4 Бк/кг. Согласно НРБ-99 предельное годовое поступление равно $1.7 \cdot 10^4$ Бк/год, следовательно, человек может употреблять в год тонны мягких тканей такой рыбы. Накопление радионуклидов в костях (табл. 4) заметно больше, чем в мышцах.

Таблица 4

Содержание радионуклидов
в рыбе, 10^{-10} Ки/кг

Район	Органы, ткани			
	мышцы	кости	внутр. органы	жабры
оз.Гольцовое	52	71	64	48
пр.Маточкин шар	3	71	6	72

Исследования биоты Баренцева моря в 1993 г (табл. 5) показали, что концентрации радионуклидов в рыбах остались на уровне периода проведения ядерных испытаний, однако основную активность вносит естественный радионуклид К-40.

Таблица 5

Концентрация радионуклидов
в рыбах Баренцева моря, Бк/кг

Рыба	Cs-137	Sr-90	Pu-238	Pu-239	K-40
Треска	0.7	0.03	< 0.006	< 0.006	-
Пикша	0.5	0.004	< 0.002	< 0.002	110
Зубатка	0.4	0.009	-	-	100
Камбала	0.6	0.007	-	-	110
Скат	0.8	0.01	-	-	70

Основными источниками естественной радиоактивности донных отложений являются калий-40, уран и радий. Источниками радиоактивного загрязнения морей и населяющих их флоры и фауны являются радиоактивные продукты деления ядерных взрывов, отходы атомных производств, экспедиции судов и кораблей с ядерными энергетическими установками, аварийное затопление объектов с ядерным оружием. В результате совокупного вклада загрязняющих биосферу источников в воде Мирового океана постоянно присутствуют практически все искусственные радиоизотопы. Наиболее распространенным радионуклидом, накапливающимся в донных осадках и микроорганизмах Баренцева моря, является стронций-90 [6].

Таблица 6

Концентрация ⁹⁰Sr в донных осадках и микроорганизмах, Бк/кг

Слой, см	0-5	5-10	10-15	15-20	Asteroida	Opiruoida	Foraminifera
⁹⁰ Sr	3.1	0.5	0.19	0.18	0.07	0.11	0.34

Заметные уровни радиоактивного загрязнения водной среды и организмов, ее населяющих, наблюдаются в очагах первичного загрязнения и в прилегающих к ним районах, характеризующихся особым водообменом. В условиях хорошего водообмена первичные очаги радиоактивного загрязнения, если они постоянно не подпитываются новыми порциями радиоактивных веществ, носят временный характер и сравнительно быстро размываются. Структура водных масс по вертикали такова, что перемещение радиоизотопов из глубин к поверхности затруднено. Однако такой перенос возможен в результате накопления изотопов представителями флоры и фауны моря и передачи их по трофическим уровням морской экосистемы. В выносе радиоактивных веществ с глубин водоема в его поверхностные воды существенное значение имеет зоопланктон. Фитопланктонные организмы, биомасса которых значительно превышает биомассу зоопланктона, обитают в поверхностных слоях морской воды в зоне проникновения солнечного света. Обладая большой площадью суммарной

поверхности на единицу веса, микрофиты быстро и в больших количествах накапливают многие радиоизотопы из морской воды. В течение года биомасса фитопланктона обновляется от 10 до 100 раз. При отмирании, погружаясь на глубину, микрофиты переносят радиоактивность в нижние слои воды.

Горизонтальное перемещение радиоактивности в морской воде обусловлено миграцией рыб и течениями. Радиоактивная рыба может быть обнаружена на больших расстояниях от района заражения, где вода на момент отлова может быть свободной от радиоизотопов. В процессе миграции из зоны заражения органы и ткани частично освобождаются от радиоизотопов обменными механизмами. В результате всех причин (перенос биотой, течения, турбулентная диффузия, конвекция) попадающие в море радиоактивные вещества находятся в постоянном движении.

В процессах биологического извлечения из морской воды многих радиоизотопов и включения их в пищевые цепочки определенная роль принадлежит и водорослям. Известно, что ламинариевые и фукусовые водоросли, абсорбирующие находящиеся в воде вещества, могут служить трассерами их распространения в морских акваториях. Собранные в 1993 г на побережье Баренцева моря образцы проб ламинариевых водорослей подвергались обработке на содержание радиоактивных изотопов цезия и стронция [7].

Предельный уровень удельной радиоактивности элементов биоты в ряде стран определен в 600 Бк/кг, в нашей стране – 1480 Бк/кг. Повышенная удельная активность изотопов цезия в морских водорослях у побережья Новой Земли (табл. 7) связана с попаданием в воду радиоактивных аэрозолей при воздушных и подводных ядерных взрывах.

Исследование уровня радиоактивности в пищевой цепочке «почва – растение – продукты животного происхождения – человек» позволило оценить дозовые нагрузки населения за счет внутреннего

Таблица 7

Радиоактивность цезия в ламинариевых водорослях, Бк/кг

Радионуклид	Место взятия проб				
	Н.З.губа Сахалина	о.Вайгач	Н.З.губа Моржовая	Н.З.губа Строганова	Белое море м.Олений
Cs-137	1800	280	2450	980	2060
Cs-134	790	275	725	1300	500

облучения от продуктов питания. Для ведущей роли северного животноводства – оленеводства – кормовой базой служат лишайники, не имеющие корневой системы. Основным источником их радиоактивного загрязнения являются выпадения радионуклидов из атмосферы. По измерениям, после ядерных взрывов лишайники на территории Новой Земли были загрязнены стронцием-90 и цезием-137 в 5–10 раз больше, чем однолетние травы, произрастающие в тундре. Вследствие этого уровни стронция в костях оленей в 5–30 раз больше, чем в костях коров, овец и свиней. Поступление цезия-137 в организм оленеводов и членов их семей с продуктами питания в 1960–1995 годах представлено в *табл. 8* [5]. Нормативы радиационной безопасности по продуктам питания составляют 1000 Бк/кг для ^{137}Cs и 100 Бк/кг для ^{90}Sr .

Динамика мощностей доз для разных групп населения Крайнего Севера, приведенная на *рис. 4*, показывает, что в организм оленеводов цезий-137 поступал по пищевой цепочке «лишайник – олень – человек», а в организм городских жителей, по-видимому, с продуктами неместного происхождения. Нарушение монотонности кривых, наблюдаемое в 1986–1987 гг. можно отнести к последствиям загрязнения от аварии на Чернобыльской АЭС.

В результате выполненных на полигоне в 1955–1994 годах регулярных радиоэкологических исследований было установлено следующее:

1. Технологии проведения воздушных и подземных ядерных испытаний на Новоземельском полигоне исключили остаточное загрязнение территории полигона за пределами испытательных площадок.
2. Мощность экспозиционной дозы на территории полигона в целом составляет 7–12 мкР/ч;

плотность загрязнения цезием-137 не превышает 0.06–0.09 Ки/км²; стронцием – 90 0.04 Ки/км² и близка к плотности глобального загрязнения в Северном полушарии.

3. На территории полигона существуют две санитарно-защитные зоны. Одна из них на технологической площадке подземного испытания 1987 г. площадью менее 0.3 км², с уровнем активности до 60 мкР/ч; вторая площадью менее 0.5 км² – на технологической площадке назем-

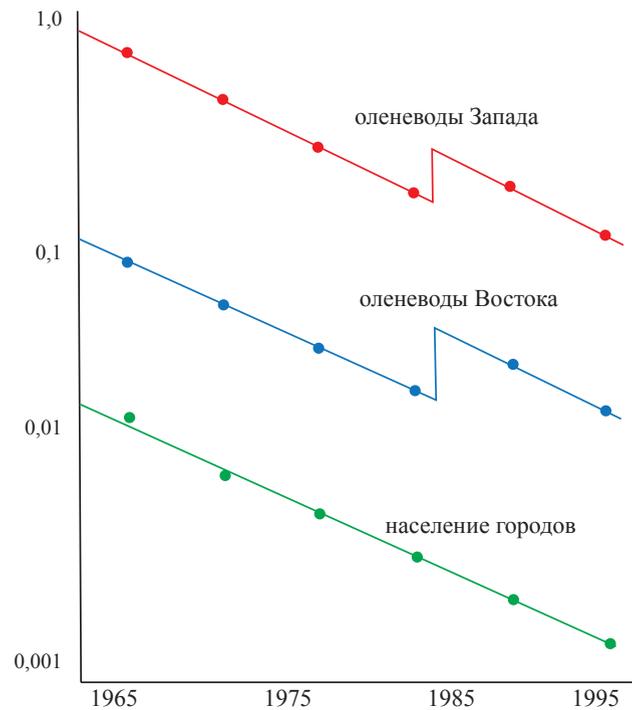


Рис. 4
Изменение мощности дозы (мЗв/год) для различных категорий населения

Таблица 8

Поступление ^{137}Cs в организм оленеводов, Бк/год.

Продукты	1960–1964	1965–1969	1970–1974	1975–1979	1980–1984	1985–1990	1991–1995
Хлеб	180	180	90	54	54	180	54
Рыба (морская)	160	160	80	80	80	64	80
Рыба (пресноводная)	2800	2800	1400	1400	1050	1120	1750
Мясо (оленина)	182000	200200	127400	63700	45500	45500	27300
Грибы	3000	3000	1200	1200	1200	1200	1200
Эффективная доза, мЗв/5лет	11.6	12.7	7.6	4.1	2.9	2.9	1.9

ного взрыва 1957 года (побережье губы Черной) с максимальным уровнем 1 мР/час.

Таким образом, радиоэкологическое состояние архипелага Новая Земля определялось уже в 1994 г. только глобальным радиоактивным загрязнением атмосферы Северного полушария.

Хотя испытания ядерного оружия на Новоземельском полигоне РФ не привели к ухудшению экологической обстановки в акваториях, прилегающих к архипелагу Новая Земля, в Баренцево море продолжают поступать радиоактивные вещества с глобальными выпадениями, с отходами атомных предприятий и с захоронением радиоактивных отходов.

После 1945 г. всего было проведено 2419 ядерных взрывов с суммарным выходом эквивалентным 530 Мт ТНТ. Основной суммарный выход (440 Мт) был связан с 543 атмосферными ядерными взрывами. Попавшие в атмосферу продукты взрывов постепенно выводятся из нее – происходит самоочищение атмосферы от радиоактивных загрязнений: 40% за счет распада и 60% за счет вымывания осадками. Радионуклиды, попавшие в мезосферу или термосферу, выводятся годами, попавшие в стратосферу – в течение года.

За последние годы в Арктической зоне Российской Федерации не было обнаружено ника-

ких существенных радионуклидных выбросов. Среднегодовые концентрации в приповерхностном слое воздуха составили менее 0.001 Бк/л для цезия-137 и 0.0002 Бк/л для стронция-90. Измерения концентраций атмосферного цезия-137 за последние сорок лет, проведенные в Финляндии, наглядно демонстрируют плавное снижение концентраций до 1986 г., а затем новый подъем (Чернобыльская авария) почти до уровня 60-х годов и плавное снижение к настоящему времени.

Все ядерные страны избрали для захоронения ядерных отходов океан. Только США с 1946 по 1970 годы сбросили 86758 контейнеров с радиоактивными отходами и атомный реактор с лодки «Сивулф», их суммарная активность достигла 94673 Ки. В СССР подобная практика использовалась до 90-х годов. Доля загрязнения северных морей за тридцатилетнее существование отечественного атомного флота составила 3.3% от общего количества, которое приносят морские течения из Европы. Основным источником радиоактивного загрязнения донных осадков Карского и Баренцева морей, наряду с глобальными выпадениями от испытаний ядерных устройств в атмосфере и от сгоревшего в атмосфере американского спутника SNAP-9А, являются сбросы радиоактивных отходов радиохимических заводов в Европе.

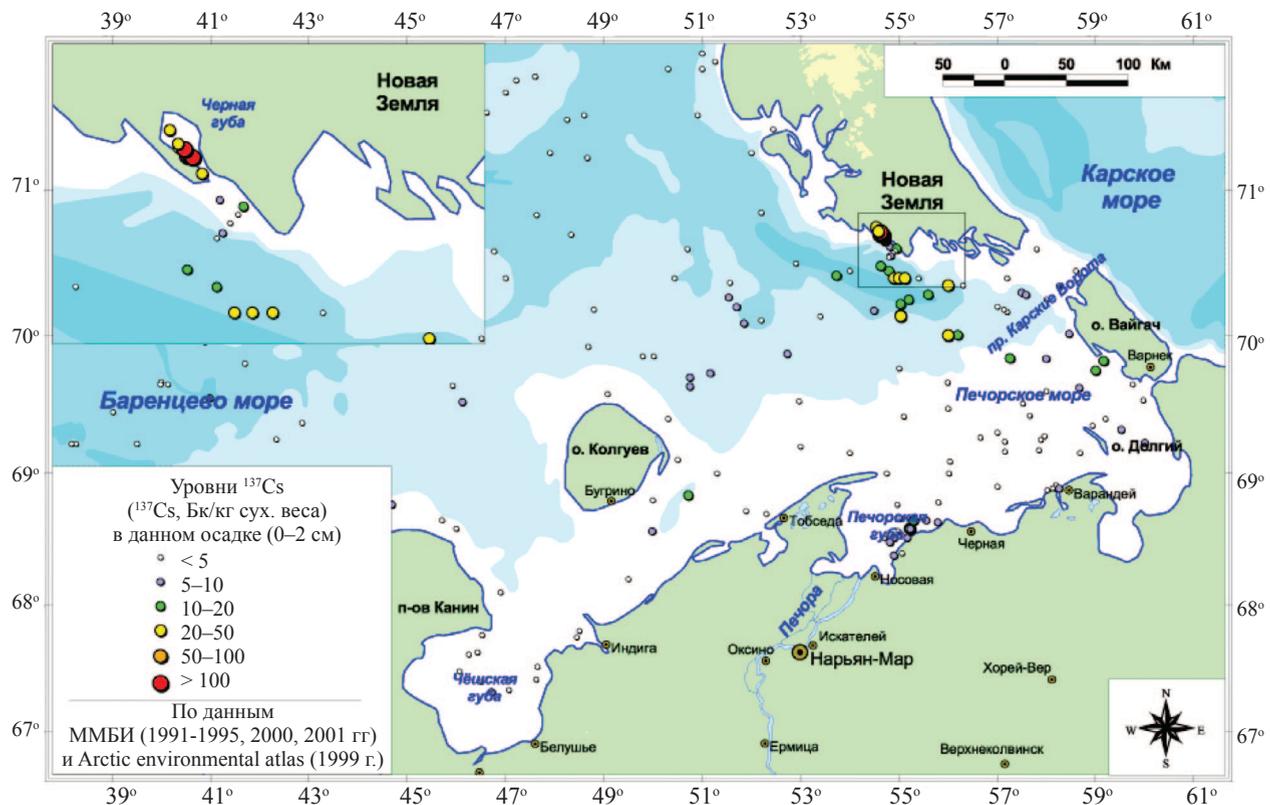


Рис. 5
Уровни ¹³⁷Cs в донных осадках Баренцева моря

Радиохимические заводы Франции (Ла-Ате) и Англии (Селлафилд) до 1986 года сбрасывали в Ирландское море высокотоксичные отходы, содержащие плутоний, с общей активностью 20000 Ки. Североатлантическое течение постепенно выносило эти отходы в арктические моря (из Атлантики в Арктический бассейн ежегодно поступает 400 тыс. км³ воды). Ежегодный сброс в Северное море жидких радиоактивных отходов предприятием в Селлафилде и французскими заводами достигает сотен миллионов литров. Следы утечек радиоактивных субстанций с этих объектов обнаружены не только в Ирландском и Северном морях, но и в Северо-Восточной Атлантике и Северном Ледовитом океане. Замеры показали, что в радиусе ста километров от места сброса наблюдается проникновение активного плутония в грунт морского дна до 20 сантиметров. По некоторым оценкам, загрязнение Ирландского моря на порядок выше, чем Мирового океана, уровень радиационного фона норвежских прибрежных вод с 1996 года увеличился примерно в 6 раз. В настоящее время происходит вторичный перенос осевших на дне Ирландского моря загрязнений в другие акватории (рис. 5).

Суммарные сбросы цезия-137 из Селлафилда после 1952 г. (время пуска РХЗ) составили около 40 ПБк. Динамика сбросов цезия-137 позволила объяснить динамику концентраций радионуклидов в морской воде в этот период. Например, в Баренцевом море концентрация цезия-137, постоянно снижавшаяся с середины 60-х годов после прекращения ядерных испытаний в атмосфере, с середины 70-х годов стала расти и к началу

80-х достигла максимума в 40 Бк/м³. Сдвиг на рис. 6 [8] между максимумом сбросов цезия и его концентрацией в воде Баренцева моря позволяет определить время переноса водных масс из Ирландского моря в Баренцево (4–5 лет). В настоящее время концентрация цезия в водах Баренцева и Карского морей снизилась до уровня 2–7 Бк/м³, однако вызывают опасения сбросы европейскими заводами долгоживущих радиоактивных изотопов технеция и йода. Для цезия и технеция удалось проследить за ростом концентраций в морской воде по пути переноса водных масс и за ростом концентраций в морской биоте. В некоторых разновидностях употребляемых в Европе морских продуктов содержания технеция оказалось весьма близким к уровню вмешательства для пищевых продуктов.

Исследования специалистов позволили развеять миф о российском происхождении большинства радиоактивных загрязнений омывающих Европу арктических морей. Учеными доказан «английский след» как минимум половины радиоактивного плутония в донных отложениях Норвежского и Баренцева морей. Определить происхождение радиоактивного загрязнения позволил разработанный в Радиовом институте новый метод определения изотопов плутония, позволяющий идентифицировать оружейный и промышленный плутоний.

В период с 1993 по 1996 гг. МАГАТЭ осуществило Международный проект по оценке арктических морей. В результате этих исследований утверждалось, что содержание радионуклидов в объектах, затопленных в Карском море, составляло на конец 90-х годов:

- для продуктов деления – 4.1 ПБк (цезий-137, стронций-90);
- для продуктов активации – 0.5 ПБк (никель-63, кобальт-60);
- для актинидов – 0.1 ПБк (плутоний-241).

При этом предполагалось, что наибольшая активность затоплена в заливе Цивольки – 2.2 ПБк, в заливе Абросимова – 1.4 ПБк, в заливе Степового – 0.8 ПБк, в Новоземельской впадине – 0.3 ПБк.

В начале 90-х было организовано несколько норвежско-российских экспедиций с экспертами по радиации на борту в районы затопления реакторов в Карском море [9]. Их поиски были не совсем успешны. Несколько образцов указывали на небольшую утечку реакторов, но

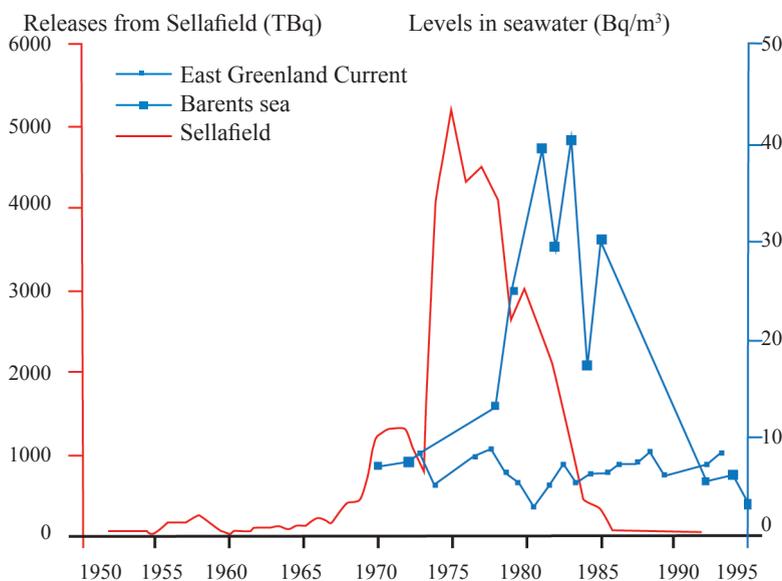


Рис. 6
Сбросы ¹³⁷Cs в Селлафилде и его концентрация в водах Баренцева и Гренландского морей

некоторые реакторы не были найдены. По данным российско-норвежской экспедиции 1992–1994 гг. контейнеры с твердыми радиоактивными отходами признаны основным источником радиоактивного загрязнения окружающей среды в местах затопления.

Наиболее научно и технически оснащенными были экспедиции, проведенные РНЦ Курчатовский институт, сотрудники которого принимали участие в радиационном обследовании затопленных радиоактивных отходов (в том числе затопленной АПЛ К-27) в заливах Новой Земли и Карском море в 1993, 2000–2002, 2006 гг. [10].

Для оценки воздействия затопленных объектов на окружающую среду проводились работы:

Всего с помощью гидролокатора бокового обзора в заливах Абросимова, Степового и Цивольки было обнаружено 45 объектов (рис. 7). Основное средство обследования – малый телеуправляемый аппарат «Гном», на который устанавливался подводный спектрометр, непрерывно регистрирующий гамма-спектры обнаруживаемых объектов. В результате 28 погружений зарегистрировано более 1400 спектров. Из 20 обследованных контейнеров, относящихся к 6 различным объектам, на восьми уровень гамма-излучения на поверхности составляет 1 мкЗв. Для большей части это ^{137}Cs , для двух – ^{60}Co . При обследовании реакторного отсека в заливе Абросимова и АПЛ К-27 зарегистрирована линия ^{137}Cs .

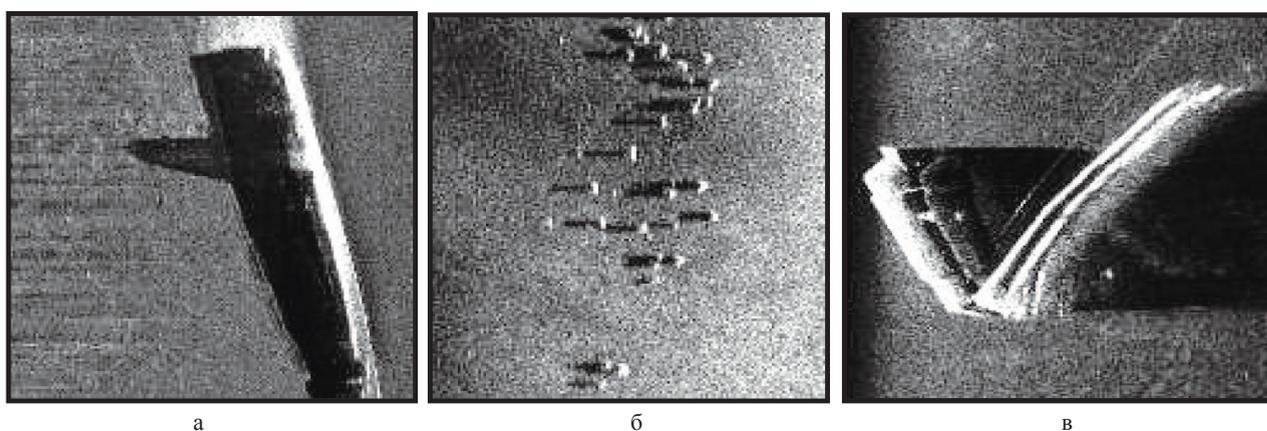


Рис. 7

Затопленные объекты в Карском море а) АПЛ К-27); б) затопленные контейнеры; в) реакторные отсеки в зал Абросимова

- поиск мест выхода радионуклидов и определенные величины утечки,
- оценка концентрации радионуклидов внутри объекта и в воде,
- определение содержания радионуклидов в воде и донных отложениях.

Практически для всех затопленных радиационно-опасных объектов основным индикатором утечки является обнаружение в воде долгоживущих гамма-излучающих радионуклидов: продукта деления ядерного топлива ^{137}Cs и продукта нейтронной активации ^{60}Co . Для надежного обнаружения этих радионуклидов в морской среде использовался спектрометрический метод, т.к. в состав воды и донных отложений входят интенсивные природные источники гамма-излучения: 40К и дочерние продукты распада радиоактивных семейств U и Th. Из-за излучений этих природных радионуклидов мощность дозы в море при приближении к донному грунту может естественным образом увеличиться более чем в 10 раз.

Измерение донных отложений даже на небольшом удалении порядка 1 м не отличаются от средних по заливу (табл.9).

Таблица 9

Концентрации радионуклидов в донных отложениях

Места измерений	Концентрации активности, Бк/кг сухого веса	
	Цезий-137	Калий-40
Залив Абросимова	35	440
Залив Степового	26	533
Залив Цивольки	< 5	702

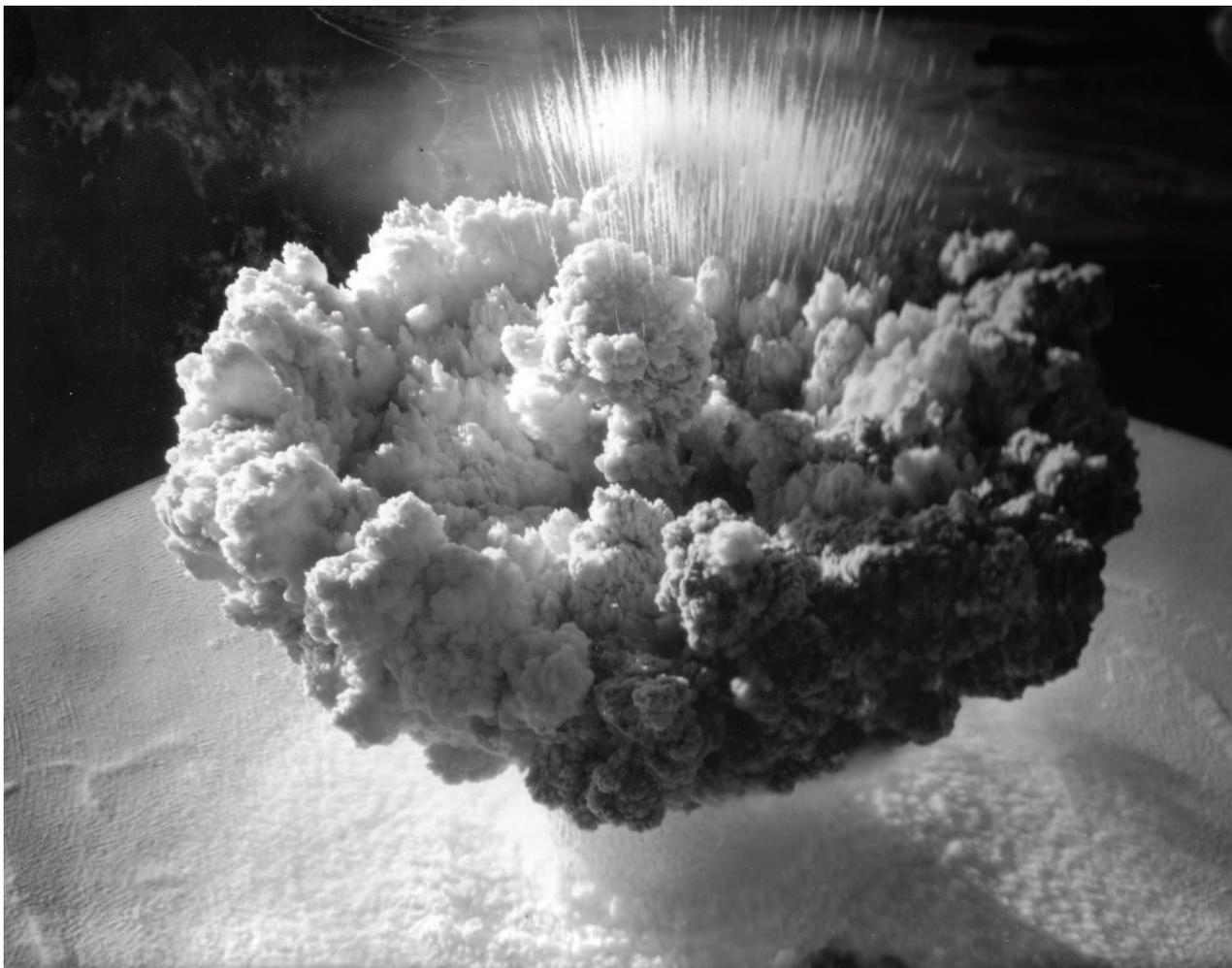


Фото 1
Подводный ядерный взрыв

Анализ вклада различных источников в радиоактивное загрязнение арктических морей Российской Федерации показывает, что основными источниками, формирующим уровень радиоактивного загрязнения морской среды, являются глобальные радиоактивные выпадения и поступление радионуклидов с морскими течениями в результате сброса радиоактивных отходов в Великобритании и во Франции. В районах открытого моря воздействие операций по сбросу и захоронению радиоактивных отходов незаметно на фоне, обусловленном другими источниками радиоактивного загрязнения. В открытых районах исследуемых морей наблюдались наиболее низкие за весь период наблюдений уровни радиоактивного загрязнения морской воды. Последствия операций по захоронению радиоактивных отходов в морях арктического региона Российской Федерации могут иметь лишь локаль-

ный характер, то есть проявляться лишь в районах захоронений.

Локальное воздействие захоронений на уровень радиоактивного загрязнения морской воды выявлено лишь в одном районе захоронения РАО – заливе Степового – в виде небольшого увеличения уровня радиоактивного загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr придонных вод во внутренней его части. Объемная активность ^{137}Cs в Карском море в 90-х годах была сопоставима с характерной для Средиземного моря, в несколько раз ниже, чем в Черном море и в десятки раз ниже, чем в Балтийском и Ирландском морях.

Сравнение данных первого (1994 г.) и повторного (2002 г.) обследований радиоактивного загрязнения морской среды в заливе Абрисимова позволяет заключить, что радиационная обстановка на основной части акватории залива улучшилась. За 8 лет не было заметного поступления

радиоактивности в морскую среду из затопленных в заливе объектов. Содержание ^{137}Cs в воде залива снизилось примерно вдвое и составляло 0.003 Бк/л и менее. Концентрации в воде залива ^{90}Sr (0.005 Бк/л) и ^{239}Pu (< 0.006 мБк/л) в 2002 г. практически не изменились по сравнению с 1994 г. На основной части акватории залива Абросимова и прилегающей к заливу части Карского моря наблюдаются меньшие уровни удельной активности ^{137}Cs и ^{60}Co в поверхностном слое донных отложений.

Таким образом, радиоэкологическая обстановка на архипелаге Новая Земля и прилегающих акваторий находится в пределах естественных флуктуаций и не вызывает опасений. Об этом свидетельствует и состояние флоры и фауны региона. По мнению специалистов [11], архипелаг Новая Земля представляет уникальный природный регион. Фауна Новой Земли все еще сохраняет естественное состояние как результат малонаселенности и малого техногенного вмешательства. Регион обладает большим разнообразием биологических видов, как бентоса (флоры и фауны морского дна), так и рыбы, сравнительно с аналогичными заселенными регионами.

Новая Земля является граничной зоной между холодным арктическим Карским морем и теплым субарктическим Баренцевым. Северо-восточные берега Северного острова являются важным регионом обитания белых медведей. Белухи (белые киты), моржи и другие морские млекопитающие проводят лето в Карском море, мигрируя через три довольно узких «канала» в места зимовки в Баренцевом море: Карские ворота, Маточкин шар и вокруг м. Желания на севере.

Несколько колоний морских птиц обнаружено на крутом восточном побережье Новой Земли, но наибольшее их количество – на Южном острове. Только две колонии содержат более 100 000 пар, высиживающих птенцов, но некоторые гораздо больше. Воды в юго-западной части острова являются важным источником пищи для гагарок, казарок и других редких птиц.

Мониторинг радиоэкологической обстановки в арктическом регионе продолжается. 21 июля 2011 г. из Архангельска стартовала высокоширотная экспедиция под руководством МЧС России по маршруту Архангельск – Анадырь – Архангельск. В задачи экспедиции, в частности, входит мониторинг радиоэкологического состояния архипелага Новая Земля.

Литература

1. Ядерные взрывы в СССР. Вып.1. Северный испытательный полигон // Справочная информация. М., 1992.
2. Чугунов В.В. Баренцево море и Центральный полигон. НИЦ БТС МО РФ. СПб, 2010.
3. Кароль И.Л., Малахов С.Г. Глобальное распространение в атмосфере и выпадения радиоактивных продуктов ядерных взрывов. Атомиздат, М.1965.
4. К.Н. Андрианов В. Г. Сафронов. Радиоэкологическое состояние Центрального полигона РФ. Новая Земля, М. 1994.
5. Попов А.О., Чугунов В.В. и др. Особенности формирования дозовых нагрузок на население регионов Крайнего Севера России, Труды Межд. Конф.// С-Пб.: Гидрометиздат, 2000.
6. Челюканов В.В., Савельев В.А. О радиационной обстановке в районе полигона по испытаниям ядерного оружия на Новой Земле // Метеорология и гидрология, 1992, №2.
7. В.Б. Возжинская и др. Аккумуляция радионуклидов морскими водорослями у берегов Новой Земли//Новая Земля, т.3,М. 1994.
8. ERA, Sixth International Symposium on Environmental Radioactivity in the Arctic&Antarctic, NRPA, France, Nice, 2-6 October 2005.
9. Fun L., Semenov A.A. Survey of artificial radionuclides in the Kara Sea, Final results from the Russian-norwegian 1992 expedition to the Barents and Kara seas. Draft version, 1993, Kirkenes.
10. А.Ю Казеннов. Технологии проведения радиационного мониторинга затопленных объектов и акваторий РНЦ Курчатовский институт. 2009.
11. T. Larsen, D. Nagoda, J. R. Andersen. The Barents Sea Ecoregion. A biodiversity assessment // St. Petersburg biodiversity workshop 12-13 May 2001.