

# РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ РАДИОНУКЛИДОВ $^{90}\text{Sr}$ и $^{137}\text{Cs}$ В ВОДНЫХ ИСТОЧНИКАХ ОСТРОВА ЮЖНЫЙ АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ

© 2022 г. Ю. В. Дубасов

*Радиевый институт им. В. Г. Хлопина, 194021, Санкт-Петербург, 2-й Муринский пр., д. 28*

Поступила в редакцию 05.04.2021, после доработки 07.10.2021, принята к публикации 14.10.2021

Представлены результаты мониторинга  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в водных объектах о. Южный архипелага Новая Земля – Центрального полигона РФ, включая р. Шумилиху и прол. Маточкин Шар. За период наблюдения с 2000 г. средняя в году концентрация  $^{90}\text{Sr}$  в р. Шумилихе менялась в пределах от 2.3 до 11.4 Бк/л и за 11 лет наблюдения составила в среднем  $5 \pm 3.5$  Бк/л. В 1993 г. были обследованы заливы со стороны Карского моря – Абросимова, Степового, Цивольки, Ога, Седова, Благополучия и Течений и губа Черная. В заливах, находящихся севернее прол. Маточкин Шар, концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в несколько раз выше, чем в заливах Абросимова и Степового, вероятно, из-за того, что в «северных» заливах затоплено твердых радиоактивных отходов (ТРО) в 5 раз больше.  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в питьевой воде основных поселков Центрального полигона РФ на 2 порядка ниже величины уровня вмешательства.

**Ключевые слова:** архипелаг Новая Земля, р. Шумилиха, прол. Маточкин Шар, радионуклиды  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , заливы Карского моря, донные отложения.

**DOI:** 10.31857/S0033831122030078, **EDN:** FQGJZH

## ВВЕДЕНИЕ

В период с 1964 по 1989 гг. на архипелаге Новая Земля, о. Южный было проведено 39 подземных ядерных испытаний, в ходе которых было испытано более 118 ядерных зарядов различной мощности вплоть до 10 Мт в тротиловом эквиваленте (т.э.), в целом общая мощность взрывов составила ~26 Мт т.э. [1–3]. Испытания проводились как в вертикальных скважинах (6 испытаний) в южной части о. Южный, так и в горизонтальных выработках (штольнях) в северной части острова в горных массивах Лазарева и Моисеева в условиях вечной мерзлоты. Для оценки радиоэкологической и санитарно-гигиенической обстановки на Северном (теперь Центральном) полигоне РФ и в прилегающих регионах после окончания ядерных испытаний в 1989 г. Постановлением СМ РСФСР № 314 от 17.08.90 была принята Целевая комплексная научно-исследовательская программа «Регион-2». В рамках выполнения этой программы головной ис-

полнитель НПО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» выполнял радиоэкологические исследования и мониторинг [1]. Для этого были организованы 3 контрольных площадки площадью около 1 км<sup>2</sup> каждая для наблюдения за изменением степени загрязнения и миграции радионуклидов в зависимости от их расположения на о. Южный в морскую акваторию. Затем с 1992 г. был организован радиоэкологический мониторинг водной системы. На о. Южный в горной его северной части широко развита водная система, в основном это горные ручьи и реки, стекающие с гор Лазарева и Моисеева. В этих массивах создано около 30 штолен, в которых проводили подземные ядерные взрывы (ПЯВ). Мониторинг радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  проводили в период положительных температур в водных источниках – р. Шумилиха, являющейся основным водотоком горных массивов и впадающей в прол. Маточкин Шар.

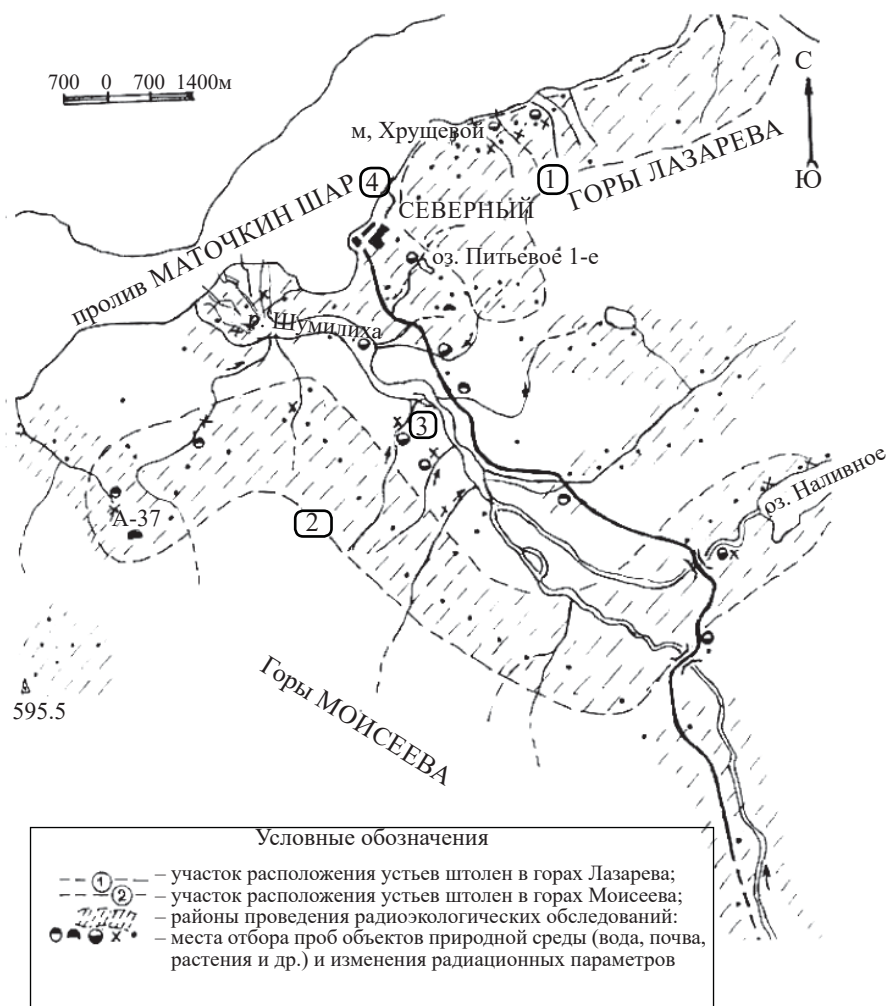


Рис. 1. Точки отбора проб воды из реки Шумилихи (точка 3) и прол. Маточкин Шар (точка 4) [3].

Целью исследований после прекращения ядерных испытаний являлось изучение радиационной и радиоэкологической ситуации на Центральном полигоне и прогноз радиационной обстановки на ближайшие годы. Задачей водного мониторинга являлся ежегодный контроль в течение ~1 мес за содержанием в р. Шумилиха оставшихся после ядерных испытаний радионуклидов и изменением их содержания, а также оценка выноса их за пределы границ полигона в прибрежные воды.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для определения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в основных водных источниках о. Южный при проведении полевых работ отбирали пробы воды объемом 20–100 л с

последующим осаждением радионуклидов в полевых условиях. Пробы отбирали из оз. Питьевое и Наливное, р. Шумилиха и других водоемов. Также отбирали пробы морской воды из прол. Маточкин Шар. Как видно из схемы, представленной на рис. 1, пробы воды из р. Шумилиха отбирали на удалении 4 км от места ее впадения в прол. Маточкин Шар. Пробы воды из прол. Маточкин Шар отбирали в пос. Северный на удалении 3 км восточнее от места впадения р. Шумилиха. Это был точечный отбор 2–3 проб воды в отдельные дни. Концентрация радионуклидов в Шумилихе в течение одного месяца менялась в широких пределах. Поэтому в последующие годы, начиная с 2011 г., был применен интегральный отбор проб для анализа, т.е. отбираемые каждый день в течение 1 мес пробы объемом 0.6 л после анализа на тритий объединяли в общую

**Таблица 1.** Концентрация радионуклидов  $^{89+90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в питьевой воде поселков архипелага Новая Земля, Бк/л

Место отбора проб воды	1977 г. [7]		1992 г. (Радиевый институт)	
	$^{89+90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$
Водопроводная вода в пос. Белушья Губа	0.16	0.09	0.009	0,015
Поселок на Паньковой Земле	0.15	0.044	–	–
Пос. Северный, питьевая вода	0.15	0.12	0.005	0.011
Насосная станция водопровода для пос. Белушья Губа и Рогачево <sup>a</sup>	–	–	0.004	0.026
Оз. Гагачье	–	–	0.01	0.022
Система озер западнее пос. Рогачево	–	–	0.006	0.026
Уровень вмешательства $УВ_{\text{вода}}$ , НРБ-99/2009 [8]	4.9	11	4.9	11

<sup>a</sup> В пос. Белушья Губа и Рогачево проживала основная часть служащих и населения Центрального полигона.

**Таблица 2.** Концентрация  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , в пробах воды, отобранных на о. Южный в период с 2000 по 2006 гг., Бк/л

Место отбора, год	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$
Губа Черная, 2000	$0.19 \pm 0.04$	0.093
Оз. Наливное,* 2001	$\leq 0.01$	$0.10 \pm 0.04$
Там же, 2002	0.03	$\leq 0.05$
Там же, 2004	$0.0072 \pm 0.0008$	$\leq 0.03$
Там же, 2005	$0.005 \pm 0.001$	$\leq 0.025$
Ручей из-под дамбы около оз. Наливное, 23.08.2004	$67 \pm 7$	$0.18 \pm 0.01$
Там же, 15.08.2006	$37 \pm 5.5$	$0.22 \pm 0.04$
Там же, 29.08.2006	$24 \pm 3.6$	$0.07 \pm 0.04$
Р. Шумилиха, 11.08.2005	$5.8 \pm 1.2$	$\leq 0.035$
Там же, 18.08.2005	$3.8 \pm 0.75$	$\leq 0.035$
Там же, 23.08.2005	$35 \pm 5.3$	$\leq 0.045$
Водопроводная вода в пос. Северный, 2001	$\leq 0.01$	$0.14 \pm 0.04$
То же, 2004	$0.0011 \pm 0.0002$	$0.06 \pm 0.005$
То же, 2005	$0.017 \pm 0.003$	$< 0.05$
Ручей Безымянный, 2004	$5.0 \pm 0.4$	$0.035 \pm 0.003$
$УВ_{\text{вода}}$ [8]	4.9	11

пробу для определения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ ; полученный результат анализа можно считать средним значением за 1 мес мониторинга. Основанием для такого подхода послужило сопоставление данных по концентрации трития в объединенной пробе с результатом, полученным путем усреднения данных по ежедневно взятым пробам, расхождение не превышало 7%.

Для анализов проб воды применяли разработанную в Радиевом институте методику [4]. Радиохимическая подготовка проб воды основана на концентрировании радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  методом их совместного осаждения, а именно: Cs осаждается в виде смешанного ферроцианида, а Sr – в виде

$\text{Ca}(\text{Sr})\text{CO}_3$ . Пробы воды отбирали в полиэтиленовые канистры, в каждую канистру добавляли HCl и доводили кислотность до pH 1, а также добавляли носители Sr и Cs (титрованные растворы),  $\text{CaCl}_2$  и индикаторы  $^{85}\text{Sr}$  и  $^{134}\text{Cs}$ . Пробу выдерживали при температуре 18–20°C в течение 5–6 ч. Осаждение проводили в конусе из титана или нержавеющей стали, в который добавляли растворы  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и ферроцианида калия, раствор отстаивался 2–3 ч. В случае анализа морской воды после отстаивания осадка добавляли растворы  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и соды, раствор оставляли до осветления на 6–12 ч. Методики выделения радионуклидов Sr и Cs из пресной и морской

**Таблица 3.** Концентрация  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в пробах воды, отобранных в р. Шумилиха и прол. Маточкин Шар, Бк/л

Годы	$^{90}\text{Sr}$			$^{137}\text{Cs}$		$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$
	Шумилиха	Маточкин Шар	Шумилиха/ Маточкин Шар	Шумилиха	Маточкин Шар	Шумилиха
2000–2005 гг.						
2000	$3.3 \pm 0.6$	–	–	0.1	–	33
2001	$3.6 \pm 0.7$	–	–	0.04	–	90
2002	$2.3 \pm 0.5$	–	–	$\leq 0.05$	–	$\geq 45$
2004	$2.5 \pm 3$	–	–	0.09	–	28
2005	$4.8 \pm 1.4$	–	–	$< 0.035$	–	$\geq 137$
Среднее	$3.3 \pm 1.0$	–	–	–	–	–
2011–2017 гг.						
2011	$6.2 \pm 0.9$	$1.6 \pm 0.2$	3.9	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 620$
2013	$10.5 \pm 1.4$	$0.72 \pm 0.09$	14.6	–	–	$\geq$
2014	$11.4 \pm 1.5$	$0.95 \pm 0.12$	12	–	–	$\geq$
2015	$0.89 \pm 0.12$	$0.29 \pm 0.04$	3	$\leq 0.16$	$\leq 0.16$	$\geq 5$
2016	$2.9 \pm 0.4$	$0.22 \pm 0.03$	13	$\leq 0.25$	$\leq 0.25$	$\geq 12$
2017	$8.8 \pm 1.8$	$0.29 \pm 0.04$	30	$\leq 0.16$	$\leq 0.16$	$\geq 55$
Среднее	$6.8 \pm 4.2$	$0.68 \pm 0.54$	10	–	–	–
Среднее за 11 лет	$5.5 \pm 3.5$ , $V = 64\%$	$0.68 \pm 0.49$	$12 \pm 9$	–	–	–
УВ <sub>вода</sub> , НРБ-99/2009 [8]	–	4.9	–	–	11	–

воды различаются незначительно, в основном, массой добавляемых реактивов.

Полученный в полевых условиях концентрат  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  анализировали в лаборатории. Активность  $^{137}\text{Cs}$  и меток  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  измеряли на спектрометре с Ge детектором. Окончательное определение  $^{90}\text{Sr}$  производили по результатам измерения  $\beta$ -активности накопившегося и выделенного дочернего  $^{90}\text{Y}$ . Выход  $^{90}\text{Y}$  определяли весовым методом по разнице массы внесенного (50–100 мг) и затем выделенного в результате анализа стабильного носителя Y, уже содержащего  $^{90}\text{Y}$ . Активность  $^{90}\text{Y}$  измеряли на усовершенствованной сцинтилляционной установке (радиометре) «Бета-2» или на низкофоновом  $\alpha, \beta$ -радиометре спектрометрического типа Quantulus 1220. Выход  $^{90}\text{Sr}$  составлял обычно 50–70%, а  $^{137}\text{Cs}$  – 60–70% [5, 6].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Водные источники на о. Южный.** Результаты мониторинга радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в водных источниках о. Южный приведены в табл. 1 и 2. В

табл. 1 представлены данные о концентрации  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в питьевой воде некоторых поселков архипелага Новая Земля, полученные в период испытаний в 1977 [7] и 1992 г. Из данных табл. 1 видно, что через 15 лет, т.е. после прекращения ядерных испытаний, произошло снижение концентрации указанных радионуклидов, и их содержание стало на много порядков ниже допустимых в тот период и в настоящее время норм. Можно утверждать, что питьевая вода и в 1977, и в 1992 г. не представляла для населения Новой Земли никакой радиологической опасности.

Из данных, представленных в табл. 2, видно, что в водопроводной воде пос. Северный, а также в оз. Наливное концентрация  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  намного меньше допустимых уровней (уровень вмешательства). Безусловным положительным фактом является то, что концентрация и  $^{90}\text{Sr}$ , и  $^{137}\text{Cs}$  в питьевой воде и в оз. Наливное остается очень низкой, а именно на 2–3 порядка ниже допустимых норм.

Оз. Наливное образовалось после взрыва трех зарядов общей мощностью до 10 Мт в штольне В-1 (12.09.1973) [1, 3]. В результате этого испы-

тания произошел откол породы с горы со сбросом 50 млн м<sup>3</sup> породы, подпружившей ручей Журавлевка, протекавший в долине и образовавший оз. Наливное. Зеркало озера составляет около 2 км<sup>2</sup>, объем – около 0.03 км<sup>3</sup>; вытекающий из-под навала пород ручей протекает по руслу ручья Журавлевка и является правым притоком р. Шумилиха. Из-под дамбы и навала пород около оз. Наливное вытекает ручей Журавлевка с концентрацией <sup>90</sup>Sr в воде около 30 Бк/л; он впадает в р. Шумилиха и в значительной мере влияет на содержание в ней <sup>90</sup>Sr.

В Губе Черной в 50-е гг. прошлого столетия было проведено 3 подводных ядерных взрыва, но, как следует из данных табл. 2, по прошествии 40 лет концентрация <sup>90</sup>Sr намного ниже величины 5 Бк/л. Ручей Безымянный стекает с массива гор Моисеева, проходит через загрязненную приустьевую площадку штольни А-37А [1] и впадает в прол. Маточкин Шар.

**Р. Шумилиха и прол. Маточкин Шар.** Наблюдения за содержанием <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs в Шумилихе проводили в 2 этапа. На первом этапе с 2000 по 2005 г. всего за сезон отбирали несколько проб объемом 20–100 л. На втором этапе с 2011 г. отбирали пробы небольшого объема каждый день и после проведения анализов на тритий их объединяли в одну пробу для анализа на <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs. Результаты мониторинга радионуклидов <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs в р. Шумилиха и прол. Маточкин Шар архипелага Новая Земля приведены в табл. 3.

Из данных, представленных в табл. 3, видно, что концентрация <sup>90</sup>Sr в водах р. Шумилиха на протяжении многих лет менялась в пределах от 2.3 до 11.4 Бк/л. Среднюю величину за первый период с 2000 по 2005 г. можно считать равной  $3.3 \pm 1.0$  Бк/л, что меньше величины  $УВ_{\text{вода}}$ , при том, что вода из р. Шумилиха в качестве питьевой воды не используется.

Начиная с 2011 г. концентрация <sup>90</sup>Sr в р. Шумилиха стала нарастать от 6.2 до 11.4 Бк/л и в итоге за 6 лет в среднем достигла  $6.8 \pm 4.2$  Бк/л [9], коэффициент вариации  $V = (4.2/6.8) \times 100 = 62\%$ , превысив уровень вмешательства  $УВ_{\text{вода}} = 4.9$  Бк/л. Однако нарастание концентрации <sup>90</sup>Sr не было постоянным, в 2015 и 2016 гг. концентрация значительно понизилась. Из данных табл. 2 видно, что концентрация <sup>90</sup>Sr в р. Шумилиха в течение 2 недель ав-

густа 2005 г. также менялась в интервале от 35 до 3.75 Бк/л. Так что источник <sup>90</sup>Sr в зоне взрыва, где было испытание В-1, зависит от изменения физико-химических и механических условий.

Рассматривая данные табл. 3, следует обратить внимание и на то, что концентрация <sup>137</sup>Cs существенно меньше, чем концентрация <sup>90</sup>Sr. Соотношение <sup>137</sup>Cs/<sup>90</sup>Sr в продуктах ядерных взрывов может быть в интервале 1.1–3.2 в зависимости от состава горючего в заряде [10]. Столь малое содержание <sup>137</sup>Cs в воде можно объяснить высокой сорбируемостью <sup>137</sup>Cs (коэффициент распределения  $K_D = 130$  см<sup>3</sup>/г) данными типами пород [11] и высокой миграционной способностью <sup>90</sup>Sr. Таким образом, воды р. Шумилиха выносят из горных массивов преимущественно <sup>90</sup>Sr ввиду его более высокой миграционной способности, а <sup>137</sup>Cs прочно сорбируется горными породами массивов, в которых проводились ядерные взрывы. Вынос <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs грунтовыми водами из штолен бывшего Семипалатинского полигона носит другой характер, там соотношение активности <sup>90</sup>Sr/<sup>137</sup>Cs равно примерно 0.5–1.0 [6]. Следовательно, горные породы архипелага Новая Земля обладают более высокой сорбционной способностью по отношению к <sup>137</sup>Cs, чем граниты на Семипалатинском полигоне, и уменьшают радиационную нагрузку на персонал и окружающую природу.

Начиная с 2011 г. в период экспедиционных работ исследовали воду и стали отбирать пробы из прол. Маточкин Шар. Из данных табл. 3 (по соотношению концентраций <sup>90</sup>Sr в р. Шумилиха и прол. Маточкин Шар) следует, что поступающие в Маточкин Шар воды Шумилихи на удалении 3 км от места впадения разбавляются от 3 до 30 раз. Такая вариация зависит в первую очередь от направления ветра и течения в прол. Маточкин Шар. Степень разбавления радионуклидов в прол. Маточкин Шар, судя по наблюдениям за тритием в проливе, меняется от 4 до ~400 раз, и в среднем ее можно принять равной 55. При скорости потока 1 м/с в р. Шумилиха, где отбирали пробы воды в августе, средний расход воды можно принять равным 10 м<sup>3</sup>/с, тогда суточный сброс воды составит  $8.6 \times 10^5$  м<sup>3</sup>, а сброс <sup>90</sup>Sr (принимая среднюю концентрацию <sup>90</sup>Sr за 11 лет равной  $5.5 \pm 3.5$  Бк/л) –  $3.3 \times 10^9$  Бк/сут. Объем воды в бассейне прол. Маточкин Шар между впадением в него Шумилихи и точкой отбора проб на удалении



**Таблица 4.** Концентрация  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  (на 01.05.1998) в воде и донных отложениях обследованных заливов Новой Земли [12]

Заливы, число станций	Объемная активность воды, Бк/м <sup>3</sup>			Удельная активность донных отложений, Бк/кг (сухой массы)			
	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{239+240}\text{Pu}$	$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$
Абросимова/6	10 ± 5	10.3 ± 2.6	~1	46 ± 8.0	3.9 ± 1.3	1.32 ± 0.4	0.08
Степового/3	25 ± 12 (8–43)	13.5 ± 3.6	0.54	20 ± 20 (3–57), 14 ± 4*	4.5 ± 0.4	1.61 ± 0.5, 1.21 ± 0.24*	0.22
Цивольки/2	36 ± 5	3.5 ± 0.8	~0.1	14.2 ± 7.2, 14 ± 3.7 <sup>a</sup>	3.1 ± 1.0, 14 ± 4*	1.70 ± 0.5, 2.6 ± 0.5*	0.5
Ога/2	590 ± 350 (240–940)	93 ± 32 (61–125)	0.16	6.0 ± 2.5	≤2.0	0.48 ± 0.24	≤0.3
Седова/1	130 ± 9	11.1 ± 2.8	~0.08	16 ± 3.2	19.5 ± 2.0	0.50 ± 0.25	1.2
Благополучия/1	85	6.4	0.07	21.5 ± 3.1	4.0 ± 1.2	1.1 ± 0.4	~0.2
Течений/1	77	16.0	0.2	7.2 ± 1.1	≤2.0	0.3 ± 0.15	≤0.3

<sup>a</sup> Пробы, отобранные в 2003 г. [14].

3 км составляет ~0.18 км<sup>3</sup>. В таком случае сбрасываемые воды разбавляются в этом ограниченном объеме Маточкиного Шара почти в 210 раз. Если считать, что суточный сброс  $^{90}\text{Sr}$  из р. Шумилиха распределяется в этом объеме равномерно, то средняя по всему объему концентрация  $^{90}\text{Sr}$  может быть там равной ~0.02 Бк/л. Безусловно, на восточном и западном окончаниях пролива концентрация  $^{90}\text{Sr}$  будет существенно ниже и не внесет существенных изменений в радиоэкологическую обстановку в Баренцевом и Карском морях.

Оценочно, в соответствии с геометрическими размерами объем воды в прол. Маточкин Шар равен ~5 км<sup>3</sup>, и суточная концентрация  $^{90}\text{Sr}$  в прол. Маточкин Шар может быть равной 0.9 мБк/л. С учетом меняющегося течения суточная концентрация в проливе на входе в Баренцево море может быть 3 мБк/л, а на восточном, на входе в Карское море – около 1 мБк/л. Годовой сброс воды из Шумилихи с учетом того, что река не замерзает в течение 5 мес, может быть оценен как 0.13 км<sup>3</sup>/год. Тогда максимальная величина годового сброса  $^{90}\text{Sr}$  в прол. Маточкин Шар не превысит ~5 × 10<sup>11</sup> Бк/год (~13 Ки/год). В заливах Карского моря, где затоплены радиоактивные отходы, концентрация  $^{90}\text{Sr}$  находится в пределах от 3.5 до 46 Бк/л, а  $^{137}\text{Cs}$  – от 25 до 420 Бк/л [12].

Распределение  $^{90}\text{Sr}$  в горном массиве в результате ПЯВ зависит от времени схлопывания полости и обрушения в нее горной породы с образованием

столба обрушения пород, достигающего по высоте 4–5 радиусов полости. Как следует из приводимой ниже массовой цепочки радиоактивного распада-накопления  $A = 90$  (I), ее общий выход равняется 5.46%, и  $^{90}\text{Sr}$  накапливается практически полностью за счет распада предшественников, из них выход легколетучих и короткоживущих  $^{90}\text{Br}$  и  $^{90}\text{Kr}$  составляет 4.7%, т.е. почти 85 % от кумулятивного выхода.

$^{90}\text{Br}$ ,	$^{90}\text{Kr}$ ,	$^{90m}\text{Rb}$ ,	$^{90}\text{Rb}$ ,	$^{90}\text{Sr}$ ,
1.9 с	32.3 с	4.3 мин	2.6 мин	29.1 года
0.72	4.0	0.69	0.13	0.03% (I)

Под символами радионуклидов в цепочке  $A = 90$  указаны их независимые выходы в случае мгновенного деления  $^{235}\text{U}$  нейтронами делительного спектра [10]. Чем позже произойдет обрушение полости, тем больше накопится  $^{90}\text{Sr}$ , и он останется в полости.  $^{90}\text{Kr}$  же будет распределяться среди кусков и блоков породы, на поверхности которых будет оседать его активный осадок, т.е. радионуклиды  $^{90}\text{Rb}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Вокруг столба обрушения и зоны дробления пород образуется зона микротрещин, простирающаяся на удаление до 70–100  $W^{1/3}$  [м/кг<sup>1/3</sup>], где  $W$  – мощность взрыва, кг т.э. [13]. При некоторых испытаниях малоинтенсивное истечение Кг и Хе происходило в период от 10 до 60 мин в гипоцентральной зоне, и только при 3 испытаниях истечение РБГ происходило в интервале 1–5 мин [1]. Чем позже происходило истечение РБГ, тем больше  $^{90}\text{Sr}$  оставалось локализованным в массиве. К настоящему времени об-

щая активность образовавшегося  $^{90}\text{Sr}$  уменьшилась вследствие радиоактивного распада почти в 3 раза и может быть оценена величиной порядка  $\sim 10^{16}$  Бк. Сопоставляя годовой вынос  $^{90}\text{Sr}$  ( $5 \times 10^{11}$  Бк) с его общим запасом в горных массивах, можно сказать, что он надежно локализован в горных массивах в условиях вечной мерзлоты и не несет радиационных рисков для работающего персонала.

**Губа Черная и заливы восточного берега архипелага Новая Земля.** В августе–сентябре 1993 г. на исследовательском судне «В. Каврайский» были обследованы губа Черная и на Карском побережье Новой Земли заливы Абросимова, Степового, Цивольки, Ога, Седова, Течений, Благополучия.

Экспедиция Радиевого института при участии сотрудников НИЦ «Курчатовский институт» и ВМФ РФ проводила радиационное обследование мест захоронения радиоактивных отходов в заливах архипелага Новая Земля. Заливы Абросимова и Степового находятся южнее прол. Маточкин Шар, а остальные – севернее. В каждом заливе было организовано несколько «станций», на которых с различных горизонтов (до глубины 100 м) отбирали по 5 проб воды и донных отложений. В табл. 4 представлены результаты анализов отобранных проб из вышеназванных заливов, выполненные в Радиевом институте.

Из данных табл. 4 видно, что в заливах, находящихся севернее прол. Маточкин Шар, концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в несколько раз выше, чем в заливах Абросимова и Степового, в то время как удельная активность донных отложений различается в меньшей степени. Можно полагать, что это обусловлено тем, что в «северных» заливах затоплено твердых радиоактивных отходов (ТРО) в 5 раз больше.

Последующие обследования заливов Абросимова, Степового и Цивольки [14, 15] подтвердили результаты наших исследований. Так, некоторые из отобранных Институтом океанологии РАН [14] проб донных отложений из заливов Степового и Цивольки на глубинах 46 и 27 м были предоставлены в наш институт для анализа. Из 30 проб только в 4 было повышенное содержание  $^{137}\text{Cs}$ , результаты радиохимического анализа приведены также в табл. 4. Таким образом, в результате исследований, проведенных российскими и международными организациями, установлено, что радиационная обстановка

в морях, омывающих РФ, является удовлетворительной, а сброшенные твердые радиоактивные отходы должны оставаться на дне моря с условием дальнейшего мониторинга [16].

Наибольшее влияние на радиологическую ситуацию в Баренцевом и Карском морях оказали сбросы радиохимического завода в Селлафилде. Так, сброс в период с 1952 по 1990-е годы  $\beta$ -активных радионуклидов составил  $1 \times 10^{17}$  Бк, а  $^{90}\text{Sr}$  –  $5.2 \times 10^{15}$  Бк [17]. Концентрация  $^{90}\text{Sr}$  в поверхностных водах Карского и Баренцева морей в 1992–1996 гг. была  $5.1 \pm 2.0$  и  $\sim 4$  мБк/л соответственно [16, с. 246; 18].

На побережье губы Черной Радиевым институтом была организована контрольная площадка № 1 размером  $\sim 1$  км<sup>2</sup> с шагом сетки 100 м. В пробах шлака, оставшегося на побережье губы Черной после наземного ядерного взрыва 1957 г., концентрация  $^{239+240}\text{Pu}$  достигает порядка 200 кБк/кг. Анализ 10 проб донных отложений показал, что удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  варьирует в пределах 20–240 Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  – 25–35 Бк/кг, а удельная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  лежит в интервале 1.2–7.6 кБк/кг. Наличие  $^{239+240}\text{Pu}$  в донных отложениях губы Черной обусловлено смывом шлака тальми водами и дождевыми потоками в акваторию губы, и это объясняет столь высокую концентрацию  $^{239+240}\text{Pu}$  в донных отложениях. Степень выщелачивания плутония морской водой составляет  $\sim 5 \times 10^{-2}\%$  [19].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты многолетних наблюдений за основной водной системой о. Южный архипелага Новая Земля р. Шумилиха–прол. Маточкин Шар показали, что средняя концентрация  $^{90}\text{Sr}$  в р. Шумилиха за 11 лет наблюдений менялась в пределах от 0.89 до 11.4 Бк/л и в среднем составила  $5.5 \pm 3.5$  Бк/л, но в большинстве случаев (7 периодов наблюдения) была меньше, чем  $УВ_{\text{вода}}$ . Таким образом, оставшиеся после подземных ядерных испытаний  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  надежно локализованы в пределах горных массивов, и ежегодный вынос  $^{90}\text{Sr}$  в р. Шумилиха–прол. Маточкин Шар не превышает  $\sim 5 \times 10^{11}$  Бк, т.е. не более  $\sim 0.005\%$  от оставшегося количества, а  $^{137}\text{Cs}$  вообще практически не выходит в водную среду. Следовательно, в настоящее время водная среда на территории о. Южный не представляет радиа-

ционных рисков для персонала и радиологической опасности для окружающей среды.

Ожидаемая концентрация  $^{90}\text{Sr}$  в прол. Маточкин Шар составляет  $\sim 1$  мБк/л на восточной («карской») стороне и 3 мБк/л на западной. Поэтому вынос  $^{90}\text{Sr}$  водами из прол. Маточкин Шар в летний период не оказывает влияния на радиэкологическую обстановку в Баренцевом и Карском морях.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам лаборатории Н.Р. Андреевой, Ю.И. Баранову, Л.И. Ильину, В.К. Казакову, П.Б. Малахову, М.Н. Москалеву, Н.С. Окуневу, А.А. Пилютику, Ю.М. Протасенко и Б.О. Шагину за активное участие в полевых и лабораторных исследованиях.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ядерные взрывы в СССР. Северный испытательный полигон / Под ред. В.Н. Михайлова, Ю.В. Дубасова, А.М. Матущенко. СПб.: Радиевый ин-т, 1999. 2-е изд. 162 с.
2. *Mikhailov V.N., Dubasov Y.V., Matushchenko A.M.* Nuclear Explosions in the USSR: The North Test Site. Reference Material. Reproduced by the IAEA, Working Material. Vienna, Austria: IAEA, 2004. 130 pp.
3. Ядерные испытания СССР: Современное радиэкологическое состояние полигонов / Под ред. Н.П. Волошина, К.Н. Даниленко, Ю.В. Дубасова, В.А. Логачева, Л.А. Логачевой, А.М. Матущенко, М.Б. Мурина, Ж.С. Такибаева, Ш.Т. Тухватулина, А.К. Чернышова, О.И. Шамова. М.: ИздАТ, 2002. 652 с.
4. *Лазарев Л.Н., Гедеонов Л.И., Иванова Л.М.* // Радиохимия. 1983. Т. 25, № 5. С. 669.
5. *Dubasov Yu.V., Malakhov P.B., Pakhomov S.A.* // Proc. 5th Int. Conf. on Environmental Radioactivity in the Arctic and Antarctic / Eds P. Strand, T. Jolle, A. Sand. St. Petersburg, Russia, June 16–20, 2002. P. 209–212.
6. *Dubasov Yu.V.* // Proc. Int. Conf. on Radioactivity in the Environment / Eds P. Strand, P. Boretzen, T. Jolle. Monaco, Sept. 1–5, 2002. P. 290–295.
7. *Иванов А.Б., Красилов Г.А., Логачев В.А., Матущенко А.М., Сафронов В.Г.* Северный полигон (Новая Земля). Радиэкологические последствия ядерных испытаний. М.: Гос. ин-т прикладной экологии, 1997.
8. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. М., 2009.
9. *Дубасов Ю.В., Пилютик А.А., Шагин Б.О.* // Тез. докл. IX Рос. конф. с междунар. участием «Радиохимия 2018». СПб., 17–21.09.2018. С. 216.
10. *England T.R., Rider B.F.* Yields Evaluated and Compiled for Los Alamos report LA-UR-94-3106 (ENDF-349). October 1994. P. 295.
11. *Дубасов Ю.В., Пилютик А.А., Шагин Б.О.* // Радиохимия. 2017. Т. 59, № 2. С. 179.
12. *Dubasov Yu.V., Baranov Yu.I., Katsapov S.V.* // Proc. 4th Int. Conf. on Environmental Radioactivity in the Arctic. Edinburg, Scotland, Sept. 20–23, 1999 / Eds P. Strand, T. Jolle. Osteras, Norway, 1999. P. 225–226.
13. Ядерные испытания СССР. Т. 2: Технология ядерных испытаний. Воздействие на окружающую среду / Под ред. В.Н. Михайлова, В.В. Адушкина, И.А. Андрушина, Н.П. Волошина, Ю.В. Дубасова, Р.И. Ильяева, А.А. Спивака, А.К. Чернышева. РФЯЦ ВНИИЭФ, 1997. 302 с.
14. Обследование подводных потенциально опасных объектов в Карском море: Итоговый отчет ФГУП «КБ Электрон» Ин-та океанологии РАН, ФГУП «РНЦ Курчатовский ин-т» и ГОСАКВОСПАС. М., 2006. 62 с.
15. *Strand P.* // Proc. 4th Int. Conf. on Environmental Radioactivity in the Arctic. Edinburg, Scotland, Sept. 20–23, 1999 / Eds P. Strand, T. Jolle. Osteras, Norway, 1999. P. 3–6.
16. *Сивинцев Ю.В., Вакуловский С.М., Васильев А.П.* Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. Радиэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в Арктические и Дальневосточные моря («Белая книга-2000»). М.: ИздАт, 2005. 623 с.
17. *Jones S.R., Smith A.D., Willans S.M., Gray J.* // Environmental Impact of Radioactive Releases: Proc. Int. Conf. Vienna: IAEA, May 8–12, 1995.
18. *Strand P., Rudjord A.I., Salbu B.* // The First Int. Conf. on Environmental Radioactivity in Arctic and Antarctic. Kirkinas, Norway, Aug. 23–27, 1993 / Eds P. Strand, E. Holm. Osteras, 1993. 443 p.
19. *Дубасов Ю.В., Пилютик А.А., Шагин Б.О.* // Радиохимия. 2019. Т. 61, № 1. С. 80–83.