

*On the Intermediate depth waters of the Arctic Ocean* / B. Rudels, E.P. Jones, L.G. Anderson, G. Kattner // *The Polar Oceans and their role in shaping the global environment*. Washington, DC, USA: Am. Geophys. Union, 1994. P. 33–46 (Geophysical Monograph 85).

U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). Provisional guidance for quantitative risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons. EPA/600/R/089 / Office of Research and Development. Washington, DC, 1993.

УДК 551.4 (268.45 + 470.118):504.054 + 546.027

**И.С. Усягина, Н.Е. Касаткина, Г.В. Ильин**

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманск, Россия

## **ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В МОРСКОЙ СРЕДЕ И ЭЛЕМЕНТАХ НАЗЕМНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА**

### **Аннотация**

Исследована многолетняя динамика состояния радиэкологического фона морской и наземной экосистем Земли Франца-Иосифа. Приведены данные об активности техногенных радионуклидов в компонентах среды окружающей акватории, в растительности и почвогрунтах архипелага. Даны сравнительные оценки радионуклидного фона в районе Земли Франца-Иосифа и других географических районах моря. Показаны основные факторы, формирующие региональный радиэкологический фон. Приведены данные о современной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в морской среде и наземной экосистеме архипелага. Характерные для района в настоящее время низкие концентрации техногенных изотопов практически не отличаются от среднего уровня для всего бассейна Баренцева моря.

**I. S. Usiagina, N.E. Kasatkina, G.V. Ilyin**

Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia

## **ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN THE MARINE ENVIRONMENT AND ELEMENTS OF TERRESTRIAL ECOSYSTEM OF THE FRANZ-JOSEF LAND ARCHIPELAGO**

### **Abstract**

The Article analyzes the long-term dynamics of the radioecological status of marine and terrestrial ecosystems of Franz-Josef Land. It adduces data on the activity of artificial radionuclides in components of the marine environment, vegetation, rocks and soils of the archipelago. It also presents comparative assessments of background radionuclide levels in the Franz-Josef Land region and other geographical areas of the Barents Sea. It then depicts major factors forming regional background radionuclide levels. Adduced are also data on current activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the marine environment and terrestrial ecosystem of the archipelago. The article ends with a conclusion that low levels of artificial radionuclides are well correlate with the average levels for the whole basin of the Barents Sea.

**Введение.** Баренцево море оказалось одним из морских регионов непосредственного воздействия ядерных технологий во второй половине XX века и остается таковым до настоящего времени. Испытания ядерного оружия, захоронения радиоактивных отходов российским атомным фло-

том были основными факторами, повлиявшими на содержание радионуклидов в баренцевоморской экосистеме в 1950–1960-е гг. С 1970-х годов главными причинами загрязнения стали глобальные атмосферные выпадения, трансокеанический перенос сброшенных в Ирландское море отходов западноевропейских радиохимических предприятий. Последствия и динамика радионуклидного загрязнения в южных и центральных районах моря активно изучаются и хорошо освещаются в научных публикациях (Радионуклиды ..., 1994; Baklanov et al., 1996; Матишов, Матишов, 2001; Ильин и др., 2004; Оценка ..., 2011; Selected ..., 2013). Аспекты загрязнения северных высокоширотных районов моря слабо изучены вследствие относительно малой востребованности для хозяйственного освоения и труднодоступности. Между тем эти районы, являясь частью большой морской экосистемы, также определяют закономерности круговорота радионуклидов в Баренцевом море и Арктике в целом. Понимание этого и переоценка хозяйственного и геополитического потенциала Баренцева моря, в том числе района арх. Земля Франца-Иосифа (ЗФИ), определяют возросший в настоящее время интерес к изучению радиоэкологического состояния этой высокоширотной области.

**Поступление радионуклидов в экосистемы архипелага.** Примерно 78 % радиоактивных продуктов взрывов на Новой Земле в мелкодисперсном состоянии пополнили глобальный фонд стратосферных радионуклидов, из которого и происходили радиоактивные выпадения в дальнейшем. Оставшиеся 22 % распределились следующим образом: 12 % радиоактивных продуктов выпали неподалеку от мест испытаний на арх. Новая Земля, 10 % выпадений попали в концентрическое циркумполярное кольцо на широте Новой Земли (АМАП ..., 1998).

Относительно хорошо известна динамика поступления радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  из атмосферы вблизи южного побережья Баренцева моря (Simulating ..., 2004; Техногенные ..., 2005; Радиационная ..., 2009). В таблице приведена плотность атмосферных выпадений техногенных радионуклидов вблизи г. Мурманска (Оценка ..., 2011), соответствующая различным историческим периодам радиоактивного загрязнения.

**Динамика годового поступления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  на подстилающую поверхность Мурманска и ЗФИ, Бк/м<sup>2</sup> в год**

Годы	Мурманск		Земля Франца-Иосифа	
	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
1950–1959	111.5	68.1	55.8	34.1
1960–1969	207.3	124.1	103.7	62.1
1970–1979	28.1	12.4	14.1	6.2
1980–1989*	3.8	3.6	1.9	1.8
1986	702.3	9.6	351.2	4.8
1990–1999	1.0	0.3	0.5	0.15
2000–2009	0.1	0.1	0.05	0.05

\*Данные для периода рассчитаны без учета аварийных выпадений 1986 г.

Однако количество атмосферных осадков, а следовательно, и плотность выпадения радионуклидов в Баренцевом море уменьшается с увеличением широты. Если у побережья Кольского полуострова средне-многолетнее количество атмосферных осадков составляет 600 мм в год, то в районе ЗФИ – 350 мм в год (Атлас ..., 1980). С учетом этих данных были выполнены ориентировочные оценки плотности атмосферных выпадений  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в районе ЗФИ (таблица).

Трансокеанический перенос радиоактивных отходов западноевропейских радиохимических заводов в Селлафилде (Великобритания) и на мысе Ла Аг (Франция) заметно повлиял на радиоактивное загрязнение всего Баренцева моря. Часть сброшенных радионуклидов с глубинными атлантическими водами поступила в район арх. ЗФИ. Максимальные объемы сброса радиоактивных отходов в Селлафилде имели место в 1974–1978 гг., через 5–6 лет сброшенные радионуклиды –  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и др. – попадали в Баренцево море. Концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в начале 1980-х гг. в отдельных районах моря достигала  $30 \text{ Бк/м}^3$ , что в несколько раз выше уровня, обусловленного атмосферными выпадениями (Вакуловский и др., 1988; Радиоактивное ..., 1991; Матишов, Матишов, 2001). С конца 1970-х гг., когда радиоактивность, обусловленная ядерными испытаниями, значительно уменьшилась, именно трансокеанический перенос сбросов радиохимического завода в Селлафилде становится основным источником поступления радиоизотопов в Баренцево море в целом.

Удаленность арх. ЗФИ от локальных источников радиоактивного загрязнения, расположенных на побережье южной части Баренцева моря, мест захоронений радиоактивных отходов и стока крупных рек исключает возможность дополнительного поступления техногенных радионуклидов в прибрежные воды архипелага. Основными факторами, определяющими радиоэкологический фон в этом районе, становятся геохимическая рециркуляция изотопов в морской среде и латеральная адвекция местными течениями.

**Распределение и динамика содержания техногенных радионуклидов в морской среде архипелага.** В научной литературе нет данных о радиоэкологическом состоянии среды на островах архипелага и прилегающей к ним акватории в 1960-х гг. Ориентировочно, среднегодовая объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в баренцевоморской воде в этот период оценивается значениями в диапазоне  $5.5\text{--}25 \text{ Бк/м}^3$ , а активность  $^{90}\text{Sr}$  –  $8.5\text{--}23 \text{ Бк/м}^3$  (Pollution..., 1997; Матишов, Матишов, 2001; Техногенные ..., 2005).

В 1970–1980-е годы были получены данные о радиоактивном загрязнении морской воды в северной периферии Баренцева моря. В акватории между архипелагами Шпицберген и ЗФИ объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в морской воде варьировала от 8 до  $12.8 \text{ Бк/м}^3$ , активность  $^{90}\text{Sr}$  составляла примерно  $4.6 \text{ Бк/м}^3$ . У восточной границы Баренцева моря между архипелагами ЗФИ и Новая Земля отмечен примерно близкий к этому уровень активности  $^{137}\text{Cs}$  –  $8\text{--}15 \text{ Бк/м}^3$ ,  $^{90}\text{Sr}$  –  $5\text{--}9 \text{ Бк/м}^3$  (Radioactive ..., 1993; Техногенные ..., 2005).

В то же время южнее, в районе Новоземельских проливов, концентрации техногенных радионуклидов были повышены:  $^{137}\text{Cs}$  – до  $23 \text{ Бк/м}^3$ ,  $^{90}\text{Sr}$  – до  $10 \text{ Бк/м}^3$ . Превышение может объясняться влиянием как атлантических вод, так и местных локальных источников радиоактивных отходов – стока с территории Новой Земли.

Уже в 1990-е годы произошло резкое снижение концентраций искусственных радионуклидов в водах Баренцева моря. В 1993–1995 годах объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  у северной границы моря по линии Шпицберген–ЗФИ не превышала  $3.0\text{--}4.7 \text{ Бк/м}^3$ , а активность  $^{90}\text{Sr}$  –  $1.0 \text{ Бк/м}^3$ .

На акватории между архипелагами ЗФИ и Новая Земля в воде содержалось примерно  $4.9 \text{ Бк/м}^3$   $^{137}\text{Cs}$ . Уровень загрязнения вод у южных Новоземельских проливов удерживался в таких же значениях. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  изменялось в диапазоне  $3\text{--}6 \text{ Бк/м}^3$ , а  $^{90}\text{Sr}$  –  $1.5\text{--}3 \text{ Бк/м}^3$  (Вакланов et al., 1996; Юдахин и др., 1998; Smith et al., 1998; Никитин, 2009).

В донных отложениях вблизи ЗФИ и во внутренних проливах архипелага в 1990-х гг. содержалось от  $0.2$  до  $9 \text{ Бк/кг}$   $^{137}\text{Cs}$  (рис. 1). В это же время на бровке шельфа в зоне переноса атлантических вод течением Фрама концентрация радиоцезия достигала  $10\text{--}15 \text{ Бк/кг}$  сух. осадка (Радионуклиды ..., 1994).

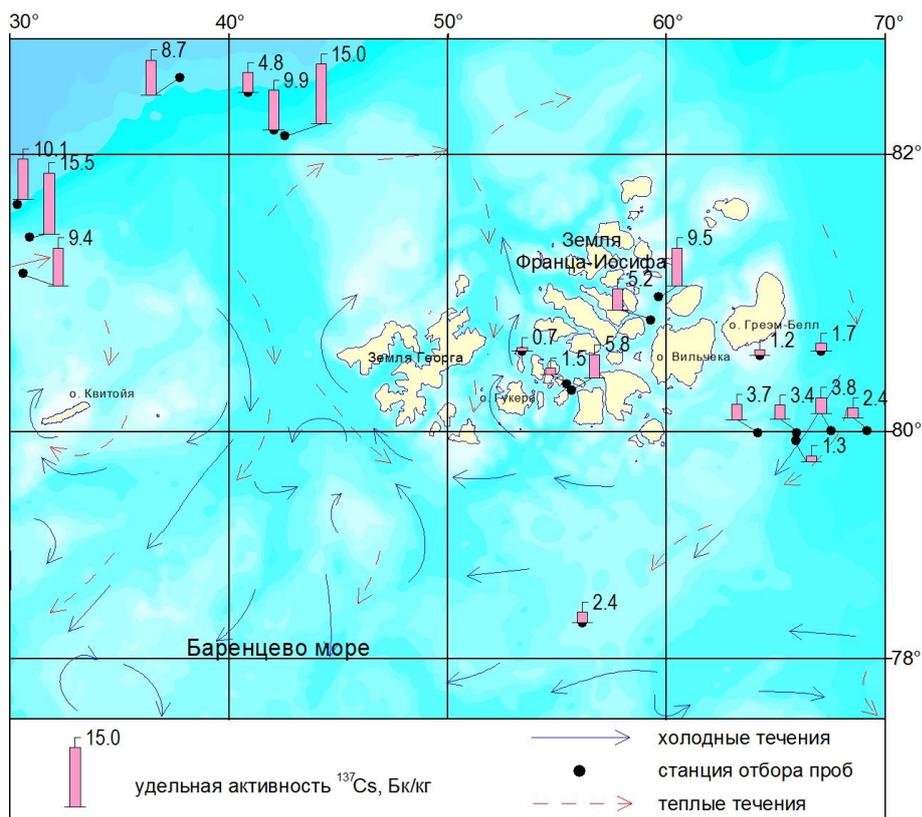


Рис. 1. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях Баренцева моря в районе арх. ЗФИ, 1990-е гг.

Данные, полученные в результате серии экспедиций ММБИ на НИС “Дальние Зеленцы” в 2000–2010 гг., позволили существенно расширить представления о современном фоне радионуклидов на севере и востоке Баренцева моря.

Современное радиоактивное загрязнение вод, омывающих арх. ЗФИ, характеризуется повсеместным присутствием в поверхностном слое средне-живущих  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в очень низких концентрациях (рисунки 2, 3).

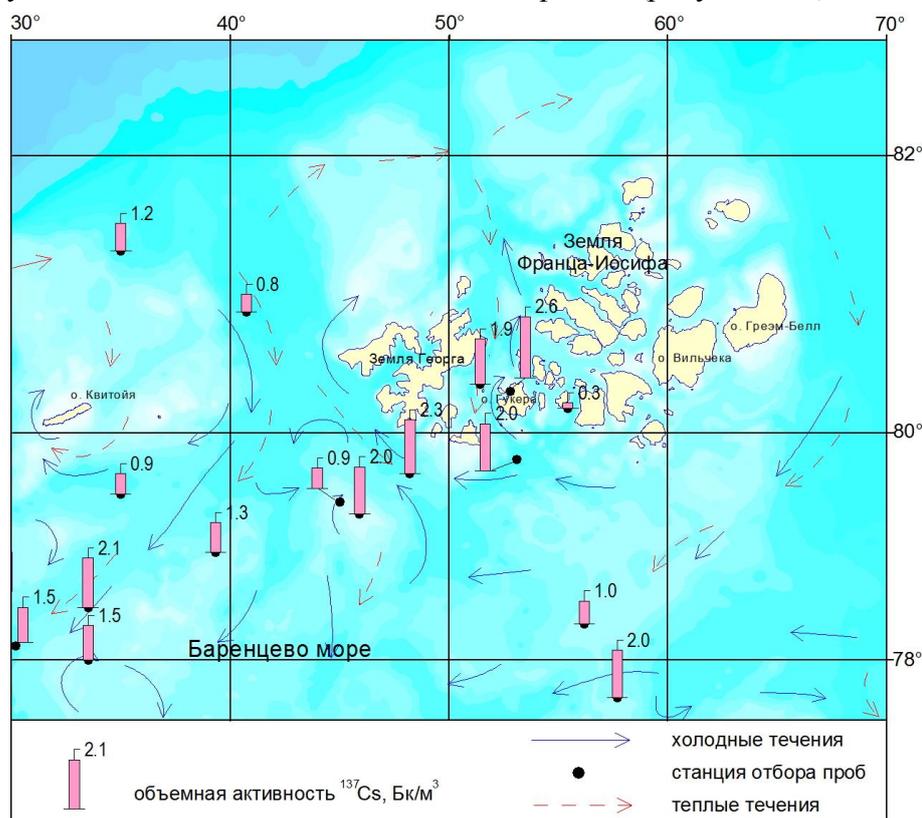


Рис. 2. Объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в водной среде в районе арх. ЗФИ, 2000–2010 гг.

Образцы морской воды, отобранные в проливе Британский канал вблизи ЗФИ, содержали радиоактивный цезий в количестве  $1.9 \text{ Бк/м}^3$ , в проливе Абердэр –  $0.3 \text{ Бк/м}^3$ . Изотоп  $^{90}\text{Sr}$  в проливе Абердэр отмечен в количестве  $0.1 \text{ Бк/м}^3$ . В водах пролива Макарова объемная активность этого изотопа составляла  $1.8 \text{ Бк/м}^3$ .

Пространственная изменчивость в поле величин активности мала с учетом доверительного интервала измерений. Однако прослеживается достоверное снижение активности  $^{137}\text{Cs}$  в водной среде по сравнению с уровнем 1990-х гг. на  $3\text{--}4 \text{ Бк/м}^3$ .

В среднем объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в водах, омывающих арх. ЗФИ, практически не отличается от среднего уровня загрязнения для всего бассейна Баренцева моря –  $1.8 \pm 0.6 \text{ Бк/м}^3$ .

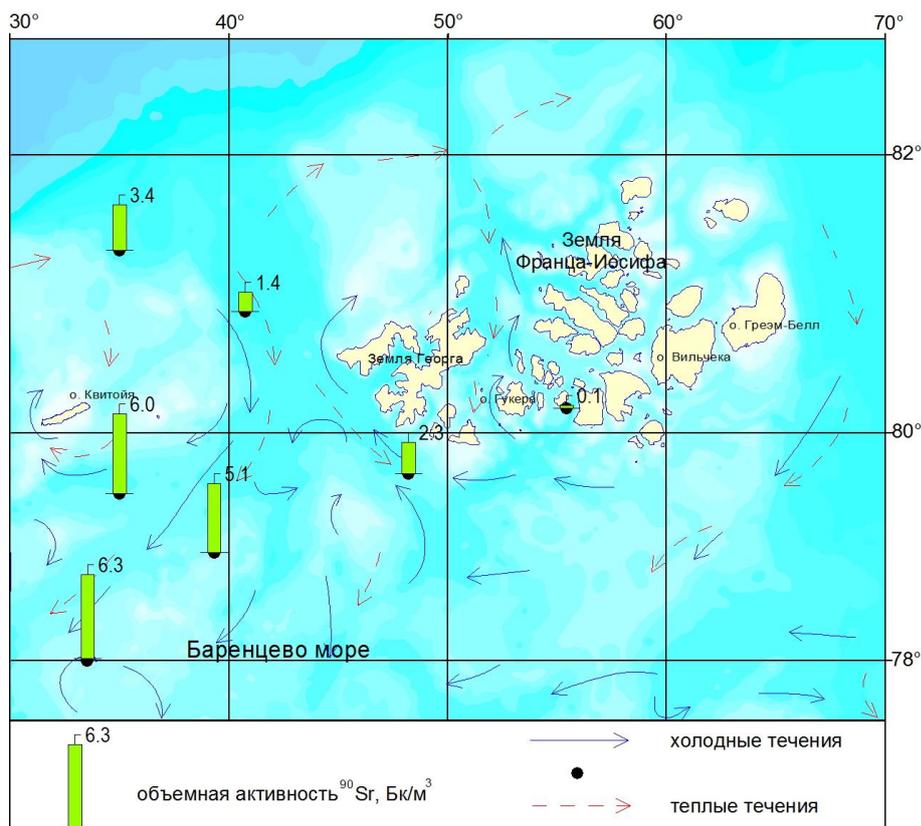


Рис. 3. Объемная активность  $^{90}\text{Sr}$  в водной среде в районе арх. ЗФИ, 2000–2010 гг.

В 2000–2007 годах содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в центральных (1.2 и 4.5 Бк/м<sup>3</sup>) и южных (0.8–1.1 и 0.7–0.9 Бк/м<sup>3</sup>) районах моря было также низким. Аналогичные уровни активности были зафиксированы в прибрежных новоземельских водах. В проливе Маточкин Шар и заливе Норденшельда концентрация  $^{137}\text{Cs}$  не превышала 2 Бк/м<sup>3</sup>, в губе Крестовая – 3 Бк/м<sup>3</sup>. В водах залива Моллера регистрировались более низкие концентрации цезия (0.5–0.7 Бк/м<sup>3</sup>) и такие же в среднем концентрации радиоактивного стронция (4.9 Бк/м<sup>3</sup>).

На северо-западной периферии моря, в районе арх. Шпицберген, концентрации  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  были намного выше – 4.0 и 7.5 Бк/м<sup>3</sup> соответственно. Повышенная концентрация техногенных радиоизотопов в этом районе обусловлена влиянием атлантических вод, переносящих изотопы, сброшенные западноевропейскими радиохимическими предприятиями.

В 2000-е годы изучению загрязнения донных отложений уделялось больше внимания, чем изучению водной среды. По содержанию радионуклидов на разных участках донного рельефа можно определить основные источники загрязнения отложений в районе ЗФИ (рисунки 4, 5). Наиболее показательным в этом отношении распределение активности изотопа  $^{137}\text{Cs}$  в верхнем слое донных отложений (0–2 см).

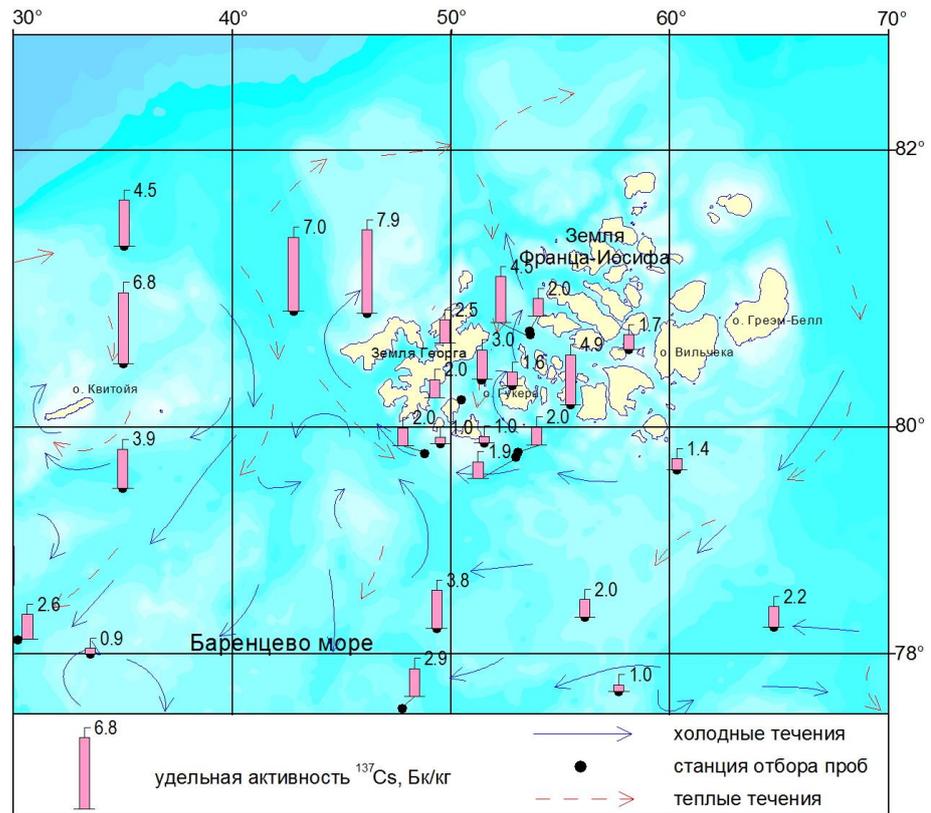


Рис. 4. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях в районе арх. ЗФИ, 2000–2010 гг.

На мелководьях вдоль южной окраины архипелага, омываемой холодными арктическими водами, содержание этого изотопа наиболее низкое – от 1 до 2 Бк/кг сух. осадка. В проливах между островами активность  $^{137}\text{Cs}$  варьирует от 2 до 4.9 Бк/кг. Повышение концентрации радионуклидов в шхерах архипелага обусловлено, по-видимому, аккумуляцией в желобах твердого стока с островной суши.

Наиболее высокая активность (4–8 Бк/кг) отмечена в тальвеговых понижениях пролива Франц-Виктория, по которым осуществляется адвекция вод атлантического происхождения и где наиболее высока в донных осадках доля глинистой фракции, сорбирующей цезий из водной среды (рис. 4).

Распределение  $^{90}\text{Sr}$  в донных отложениях подчиняется тем же закономерностям. В межостровном пространстве наиболее высокая концентрация отмечена в осадках близ о. Гукера и в бухте Тихая – до 1.5 Бк/кг. В осадках желоба Франц-Виктория активность  $^{90}\text{Sr}$  повышается до 2.6 Бк/кг, а у внешних границ архипелага снижается до 0.2–0.7 Бк/кг сух. осадка.

К югу от архипелага удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях шельфа составляет 1–3 Бк/кг, а  $^{90}\text{Sr}$  – 0.2–2.0 Бк/кг. Для сравнения: в восточном побережье арх. Шпицберген, омываемом арктическими водами, в осадках содержится  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  соответственно 2.0 и 2.7 Бк/кг – в проливе Стур-фьорд, 1.9 и 0.9 Бк/кг сух. осадка – вблизи о. Эдж.

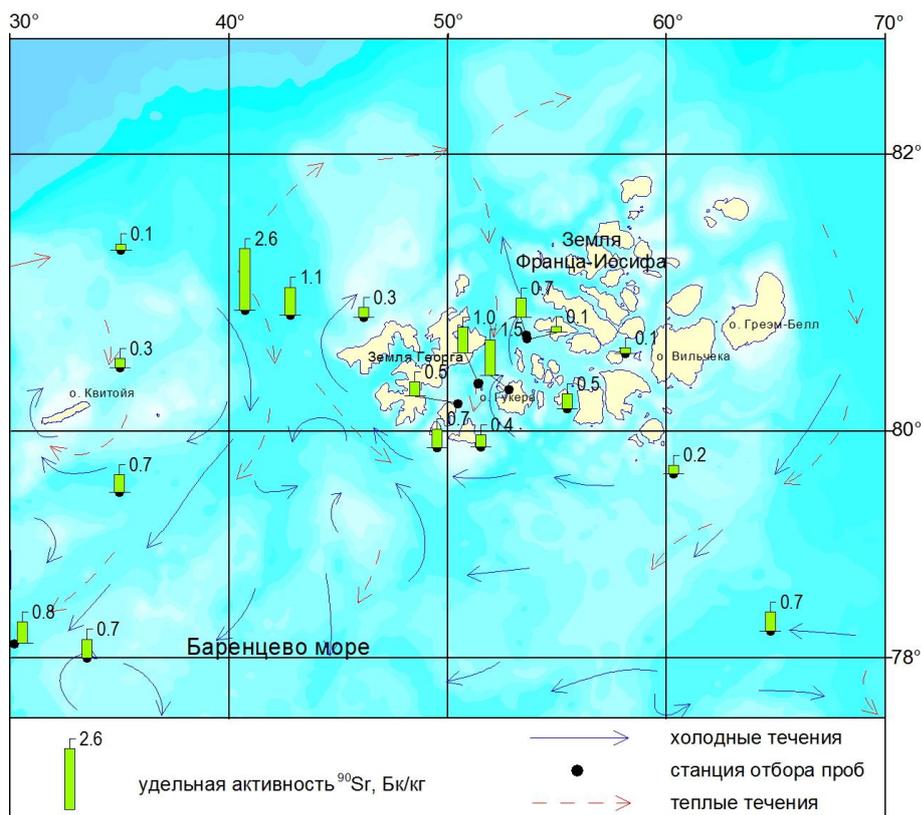


Рис. 5. Удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в донных отложениях в районе арх. ЗФИ, 2000–2010 г.

В заливах Западного Шпицбергена отмечены повышенные значения активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в осадках. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в заливах Белльсунн и Ис-фьорд составляет 4.3–4.4 Бк/кг,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в осадках залива Гренфьорд – 5.4 и 5.5, залива Хорнсунн – 3.8–4.5 и 4.2–5.6 Бк/кг сух. осадка.

Вдоль юго-западного побережья Шпицбергена осадки содержат  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  0.9–6.2 и 0.8–2.6 Бк/кг сух. массы соответственно.

**Содержание радионуклидов в компонентах островных ландшафтов.** До начала 1990-х г. радиоактивное загрязнение прибрежной зоны и островных ландшафтов арх. ЗФИ оставалось практически неисследованным. Первые экспедиционные радиоэкологические исследования были проведены в 1991–1994 гг. В элементах наземной среды ЗФИ обнаружено повсеместное присутствие техногенных радионуклидов. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в почве и почвогрунтах варьировала в диапазоне от 25 до 547 Бк/кг. Исследуемый на радиоактивность грунт состоял в основном из мелкозема, основой которого является песок, практически не содержащий гумуса. Данный факт может быть одной из причин преимущественно невысоких уровней накопления радиоактивных элементов в поверхностном слое почвогрунта. Среди островов архипелага (Мейбел, Скотт-Келти, Нансена и Гукера) наибольшей активностью  $^{137}\text{Cs}$  в почвах выделяется

о. Мейбел – до 547 Бк/кг. Кроме  $^{137}\text{Cs}$  в почвах в незначительном количестве (0.5–1.9 Бк/кг сух. осадка) присутствовал изотоп  $^{155}\text{Eu}$  (Радионуклиды ..., 1994).

В лишайниках южных островов ЗФИ в 1991 г. были обнаружены  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$ . Концентрация  $^{134}\text{Cs}$  была низкой (0.5–21 Бк/кг), а  $^{137}\text{Cs}$  в пробах характеризовалась значительной изменчивостью – от 31 до 375 Бк/кг (Радионуклиды ..., 1994).

В полярных областях существует специфическая причина “пятнистости” в накоплении искусственных изотопов. Она состоит в том, что ЗФИ расположена в зоне арктических пустынь. Растительность и почвенный покров, которые могли бы аккумулировать поступающие из атмосферы искусственные изотопы, расположены фрагментами в ложбинах и впадинах, имеющих свой микроклимат и условия аккумуляции наносов. Обнаружение в почвах и лишайниках повышенных концентраций  $^{137}\text{Cs}$  и короткоживущих продуктов ядерного деления –  $^{155}\text{Eu}$  и  $^{134}\text{Cs}$  – свидетельствуют о значительной роли атмосферных выпадений в радиоактивном загрязнении архипелага.

В 2001 году работы по изучению радиозоологического фона на островах ЗФИ проводились Институтом экологических проблем Севера УрО РАН (Разработка ..., 2011). По их данным, радиоактивность воздушной среды на территории архипелага в период исследований составляла 5 имп/с. Радиационный фон не превышал 3–5 мкР/ч, что значительно ниже, чем в материковой части России.

В ходе работ были установлены уровни  $\gamma$ -фона естественных и техногенных изотопов в почвах, горных породах, мхах и лишайниках (отобрано более 110 проб) некоторых островов архипелага.

Суммарная  $\gamma$ -активность в почвах и горных породах архипелага представлена в основном радионуклидами природного происхождения ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ) и составляет примерно 28 имп/с. Местами на локальных участках  $\gamma$ -фон грунта достигал 45–47 имп/с. Исследование горных пород показало, что повышенной фон радиоактивности обусловлен гравелитами кислых изверженных пород. В гравелитах концентрация  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  выше, чем в лавах, составляющих подавляющую часть горных пород архипелага. Активность же техногенного  $^{137}\text{Cs}$  в аномальных участках меньше, чем за их пределами.

В лишайниках и мхах, произрастающих на ЗФИ, установлено присутствие  $^{137}\text{Cs}$ , получившего глобальное распространение. Короткоживущие изотопы –  $^{60}\text{Co}$  и  $^{134}\text{Cs}$  – ни в одной пробе растений обнаружены не были. Следовательно, на территории архипелага в 2000-х гг. не происходило дополнительных атмосферных выпадений радиоактивных продуктов на подстилающую поверхность (Разработка ..., 2011).

**Заключение.** Таким образом, исследования показывают, что уровень радионуклидного загрязнения акватории высокоширотных архипелагов в Баренцевом море до 1990-х гг. определялся главным образом атмосфер-

ными выпадениями радиоизотопов. Водный трансокеанический перенос техногенных радионуклидов не имел большого значения вследствие ограниченного поступления атлантических вод, особенно в районе ЗФИ. Благодаря этому содержание радионуклидов в среде вблизи архипелага остается низким в сравнении с центральными и западными участками моря.

Прекращение испытаний ядерного оружия привело к уменьшению атмосферных выпадений радионуклидов, снижению радиозэкологического фона в целом и выравниванию различий его активности между частями Баренцева моря.

В настоящее время радиозэкологическая обстановка в межостровной акватории и прилегающем морском пространстве ЗФИ характеризуется низкой концентрацией техногенных изотопов, характерной для всего бассейна Баренцева моря.

Невысокий уровень загрязнения почв, почвогрунтов и лишайников на островах ЗФИ свидетельствует об отсутствии значительных атмосферных выпадений техногенных радионуклидов в регионе.

## Л и т е р а т у р а

*АМАП: Загрязнение Арктики: Доклад о состоянии окружающей среды Арктики.* СПб., 1998. 186 с.

*Атлас океанов.* Т. 3. Северный Ледовитый океан. М.; Л.: ГУНиО МО СССР, 1980. 184 с.

*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.

*Ильин Г.В., Матишов Д.Г., Касаткина Н.Е.* Химическое загрязнение и накопление радионуклидов в элементах экосистемы Баренцева и Белого морей // *Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна.* Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2004. С. 436–459.

*Матишов Д.Г., Матишов Г.Г.* Радиационная экологическая океанология. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2001. 418 с.

*Никитин А.И.* *Натурные исследования последствий сброса и захоронения радиоактивных отходов в моря Северного и Дальневосточного регионов Российской Федерации:* Дис. докт. геогр. наук. Обнинск, 2009. 204 с.

*Оценка потоков  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в Баренцевом море / Г.Г. Матишов, Д.Г. Матишов, И.С. Усягина и др. // Докл. РАН. 2011. Т. 439, № 6. С. 822–827.*

*Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2008 г.: Ежегодн. / Под ред. С.М. Вакуловского.* Обнинск: Тайфун, 2009. 298 с.

*Радиоактивное загрязнение Северного Ледовитого океана по результатам наблюдений в 1985–1987 гг. / А.И. Никитин, И.Ю. Катрич, А.И. Кабанов и др. // Атомная энергия. 1991. Т. 71, вып. 2. С. 169–172.*

*Радионуклиды в экосистеме региона Баренцева и Карского морей / Г.Г. Матишов, Д.Г. Матишов, Е. Щипа, К. Риссанен.* Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1994. 235 с.

*Разработка программы и проекта производства работ по ликвидации источников негативного воздействия на загрязненных территориях островов Земли Франца-Иосифа: Отчет / Гос. науч.-иссл. учр. “Совет по изучению производительных сил”. М., 2011. 132 с. URL: [http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/3e0/otchet\\_1.doc](http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/3e0/otchet_1.doc)*

*Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. Радиозэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в арктические и дальневосточные моря (Белая книга-2000) / Ю.В. Сивинцев, С.М. Вакуловский, А.П. Васильев и др.. М.: АТ, 2005. 624 с.*

Юдахин Ф.Н., Киселев Г.П., Киселева И.М. Техногенные радиоактивные изотопы в морях Западной Арктики в период 1972–1996 гг. // Изв. РГО. 1998. Т. 130, вып. 5. С. 13–21.

Baklanov A., Bergman R., Segerstahl B. Radioactive sources in the Kola Region: Actual and potential radiological consequences for man // Radiation Safety of the Biosphere. 1996. P. 46–51.

Pollution Issues: a state of the Arctic Environment Report AMAP. Oslo, 1997. 120 p.

Radioactive contamination of Russian Arctic Seas from results of observation during the years 1960–1992 / S. Vakulovsky, A. Nikitin, V. Chumichev, I.Yu. Katrich // Environmental radioactivity in the Arctic and Antarctic. Osteras, 1993. P. 177–179.

Selected anthropogenic and natural radioisotopes in the Barents Sea and off the western coast of Svalbard / A.-P. Leppänen, N. Kasatkina, K. Vaaramaa et al. // J. Environmental Radioactivity. 2013. V. 126. P. 196–208.

Simulating transport of non-Chernobyl  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the North Atlantic–Arctic region / Y. Gao, H. Drange, M. Bentsen, O. Johannessen // J. Environmental Radioactivity. 2004. V. 71, iss. 1. P. 1–16.

Smith J.N., Ellis K.M., Kilius L.R.  $^{129}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  tracer measurements in the Arctic Ocean // Deep-Sea Res. 1998. № 6. P. 959–984.

УДК 574.583 (268.45)

**И.В. Берченко, Е.И. Дружкова, А.А. Олейник, Т.Г. Ишкулова, М.П. Венгер**  
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманск, Россия

## **ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕЛАГИАЛИ В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД**

### **Аннотация**

Наши исследования были сфокусированы на гидрологических и гидрохимических параметрах среды, бактерио-, нанофито-, микрофито- и мезозoopланктоне арх. Земля Франца-Иосифа. Результаты исследований свидетельствуют о наличии зоны стабильной высокой продуктивности на внутренней акватории архипелага, значительно отличающейся по количественным и качественным показателям от прилегающих вод открытого шельфа. Обилие нанофитопланктона во внешней части акватории составляло  $20\text{--}100 \cdot 10^3$  кл/л и биомасса – 2–8 мкг/л. Те же параметры во внутренней части достигали  $2 \cdot 10^6$  кл/л в поверхностных водах и до  $4 \cdot 10^6$  кл/л над пикноклином с биомассой 130 и 320 мкг/л соответственно. Численность микрофитопланктона во внешней части акватории варьировала от  $13 \cdot 10^3$  до  $600 \cdot 10^3$  кл/л с биомассой от 30 до 70 мкг/л и в основном была представлена *Dinobryon balticum* и мелкими динофлагеллятами. Доля динофитовых водорослей в общей биомассе составляла 70–80 %. Во внутренней части акватории ЗФИ в ряде случаев обилие микрофитопланктона превышало  $1.5 \cdot 10^6$  кл/л (84 % – *Dinobryon balticum*) с биомассой более 560 мкг/л. Количественные показатели развития диатомовых водорослей достигали 80 % общей биомассы сообщества. Численность мезозoopланктона во внутренней части архипелага в 2006–2007 гг. варьировала в пределах 650–3220 экз/м<sup>3</sup> (Dvoretzky, 2011) и находилась в пределах, описанных ранее. Однако в 2008 г. данный параметр достигал 48 тыс. экз/м<sup>3</sup> в верхнем 25-метровом слое, что значительно выше, чем во внешней части акватории Земли Франца-Иосифа и других районах Западной Арктики. Показано, что широтная локализация (температурные характеристики среды, уровень инсоляции и т. д.) не оказывают существенного влияния на реализацию продукционного потенциала. Причина данного феномена, по нашему мнению, кроется в особенностях локальной циркуляции вод на акватории архипелага.