

**Akvaplan
niva**



ОТЧЕТ

Изучение радиоактивности морской среды и биоты в районах эвакуации радиоактивных отходов в прибрежье Мурмана

REPORT

Study of the radioactivity of the marine environment and biota in the areas of radioactive waste evacuation on Murman coastal area



**Мурманск 2020
Murmansk 2020**

	Название	Стр.
	Аннотация	4
	Список сокращений	6
	Введение	7
1.	Географическое положение и характеристика пунктов эвакуации РАО и участков транспортного маршрута	9
2.	Материалы и методы	13
	2.1. Экспедиционный сбор данных.....	13
	2.1.1. Экспедиция на научно-исследовательском судне "Дальние Зеленцы", 26–31 октября 2017г.....	16
	2.1.2. Экспедиция в губу Сайда (Кольский залив).....	17
	2.1.3. Экспедиция в район хранилища ОЯТ «Гремиха».....	19
	2.2. Методы сбора проб и полевой пробоподготовки	27
	2.3. Методы лабораторного анализа проб и измерений.....	32
3.	Радиоэкологическое состояние морской среды и биоты в районе эвакуации ОЯТ в Мурманском прибрежье	35
	3.1. Радиоэкологическое состояние морской среды в Мотовском и Кольском заливах.....	35
	3.2. Радиоэкологическое состояние морской среды в губе Сайда	46
	3.3. Радиоэкологическое состояние морской среды в проливе Йокангский рейд, отделение «Гремиха».....	48
	3.4. Радиоэкологическое состояние морской биоты.....	51
	3.4.1. Активность техногенных радионуклидов в морских водорослях-макрофитах.....	51
	3.4.2. Активность техногенных радионуклидов в бентосных организмах	57
4.	Осадконакопление и хронология радиоактивного загрязнения донных отложений в районе эвакуации ОЯТ	60
	4.1. Вертикальное распределение радионуклидов в донных отложениях	60
	4.2. Датирование современных донных осадков по ²¹⁰ Pb	69
	4.3. Скорость осадконакопления и хронология загрязнения.....	70
	Заключение	80
	Список литературы	82
	Приложения	86
	Приложение А. Результаты химико-лабораторного анализа проб воды и донных отложений	86
	Приложение В. Результаты химико-лабораторного анализа проб морской биоты.....	93
	Приложение С. Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в колонках донных отложений	97
	Приложение D. Результаты датирования слоев донного осадка в колонках по содержанию радиоизотопов ²¹⁰ Pb, ²²⁶ Ra и ¹³⁷ Cs, Кольский и Мотовский заливы, октябрь 2017 г.....	105

	Title	Page
	Summary	4
	List of abbreviations	6
	Introduction	7
1.	Geographical location and characteristics of RW evacuation points and sites of the transport route	9
2.	Materials and Methods	13
	2.1. Sampling in expedition.....	13
	2.1.1. Expedition on board research vessel "Dalnie Zelentsy", October 26-31, 2017	16
	2.1.2. Expedition to the Saida Bay (Kola Bay).....	17
	2.1.3. Expedition to the area of the storage of SNF "Gremikha"	19
	2.2. Methods of sample collection and field sample preparation	27
	2.3. Methods of laboratory analysis of samples and measurements	32
3.	Radioecological state of the marine environment and biota in the area of SNF evacuation on Murman foreshore	35
	3.1. Radioecological state of the marine environment in Motovsky and Kola Bays...	35
	3.2. Radioecological state of the marine environment in Saida Bay.....	46
	3.3. Radioecological state of the marine environment in the Yokangsky Raid Strait, "Gremikha" branch.....	48
	3.4. Radioecological state of the marine biota	51
	3.4.1. The activity of technogenic radionuclides in algae-macrophytes	51
	3.4.2. The activity of technogenic radionuclides in marine benthic invertebrates...	57
4.	Sedimentation and chronology of radioactive contamination of bottom sediments in the area of SNF evacuation	60
	4.1. Vertical distribution of radionuclides in bottom sediments	60
	4.2. Dating of modern bottom sediments by ^{210}Pb	69
	4.3. Sedimentation rate and pollution chronology.....	70
	Conclusions	80
	References	82
	Annexes	86
	Annex A. Results of chemical laboratory analysis of water samples and bottom sediments.....	86
	Annex B. Results of chemical laboratory analysis of marine biota samples	93
	Annex C. Specific activity of natural and technogenic radionuclides in bottom sediments columns	97
	Annex D. Results of dating of bottom sediment layers in columns on content of radioisotopes ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs , Kola and Motovsky Bays, October 2017	105

<p>Аннотация</p> <p>Выполнено комплексное исследование радиоэкологического состояния морской среды в прибрежной зоне Кольского полуострова. В районе работ проходят пути морского транзита упаковок отработавшего ядерного топлива из пунктов временного хранения к Мурманскому железнодорожному транспортному узлу в Кольском заливе. Главная цель работы – сформировать современное представление о фоне радиоактивности среды в районах погрузочно-разгрузочных и транспортных операций, выяснить естественные процессы, влияющие на формирование радиоэкологического фона в акватории.</p> <p>В ходе работ были измерены концентрации техногенных и природных радионуклидов в воде, донных отложениях и биологических объектах. Экспедиционные работы проводились в Мотовском и Кольском заливах, в губе Сайда, в проливе Йоканьгский рейд, где расположено хранилище ОЯТ «отделение Гремиха». Изучен характер их распределения. Исследована хронология влияния многолетней деятельности источников техногенной радиации на морскую среду Кольского залива, который более всего загрязняется радиоактивными поступлениями в историческом прошлом и современности.</p> <p>Констатируется, что в загрязнение прибрежной зоны Западного Мурмана влияют два источника техногенных радионуклидов. Это хранилище радиоактивных отходов в губе Андреева и суммарный сток Кольского залива, в котором располагаются несколько объектов инфраструктуры атомного флота. Выход техногенных радионуклидов из существующих источников на морскую акваторию незначителен и не создает высокого уровня радиоактивного загрязнения морской среды и биоты на изучаемой акватории.</p> <p>Радионуклидное загрязнение акватории, донных осадков и бентосных гидробионтов дифференцировано, но везде оценивается как низкое. В прибрежных районах наблюдается тенденция на</p>	<p>Summary</p> <p>We have conducted a comprehensive study of the radioecological status of the marine environment in the coastal area of Kola Peninsula. In the area of work there are sea transit routes of packages of spent nuclear fuel from temporary storage points to Murmansk railway transport hub in the Kola Bay. The main purpose of the work is to form a modern idea about the background of the environment radioactivity in the areas of loading and unloading and transport operations, to find out natural processes affecting formation of radioecological background in the water area.</p> <p>Concentrations of technogenic and natural radionuclides in water, bottom sediments and biological objects were measured during the works. Expeditionary work was carried out in Motovsky and Kola Bays, in Saida Bay, in Yokangsky Raid Strait where SNF storage of the "Gremikha Branch" is located. The nature of their distribution has been studied. We have studied the chronology of the impact of many years activity of technogenic radiation sources on the marine environment of Kola Bay which is the most contaminated by radioactive intakes in the historical past and modern times.</p> <p>It is stated that two sources of technogenic radionuclides influence the pollution of the coastal zone of West Murman. This is a radioactive waste storage in Andreeva Bay and the total drain of Kola Bay where several infrastructure facilities of the nuclear fleet are located. The release of technogenic radionuclides from existing sources to the sea water area is insignificant and does not create a high level of radioactive contamination of the marine environment and biota in the water area under study.</p> <p>Radionuclide pollution of water area, bottom sediments and benthic hydrobionts is differentiated but it is estimated as low everywhere. There is a tendency in coastal areas to reduce the spectrum of technogenic</p>
---	---

<p>сокращение спектра техногенных радионуклидов в глубинных слоях донного осадка и сглаживание наблюдавшихся ранее пиков их экстремальных концентраций. Распространенные и относительно редко расселенные видов морского фито- и зообентоса <i>F. vesiculosus</i> и <i>A. Nodosum</i>, <i>M. edulis</i> могут служить индикаторами при многолетних радиоэкологических наблюдениях.</p> <p>Радиоэкологическая ситуацию в последние десятилетия в Мурманском побережье оценивается как благополучная. Уже проведенные операции по транзиту ОЯТ из хранилищ пункта временного хранения в губе Андреева и отделения «Гремиха» в настоящее время не привели к каким-либо ее изменениям.</p> <p>Проект был осуществлен при финансовой поддержке Норвежского агентства радиационной и ядерной безопасности (DSA, бывший SSV). Научно-исследовательские работы были выполнены ММБИ в тесном сотрудничестве с РосРАО и СевРАО, DSA и норвежской научно-исследовательской компанией Акваплан-нива.</p>	<p>radionuclides in deep layers of bottom sediment and smooth of observed earlier peaks of their extreme concentrations. Common and relatively rarely settled species of marine phyto- and zoobenthos <i>F. vesiculosus</i> and <i>A. Nodosum</i>, <i>M. edulis</i> can serve as indicators at long-term radioecological observations.</p> <p>The radioecological situation in Murmansk coastal region is assessed as safe in recent decades. Operations which were already carried out on SNF transit from the storages of the temporary storage point in Andreeva Bay and the «Gremikha» branch have not led to any changes at present.</p> <p>The project was financially supported by the Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority (DSA, former SSV). Research works within the project were carried out by MMBI in close cooperation with RosRAO and SevRAO, DSA and Norwegian research company Akvaplan-niva.</p>
--	---

<p>Ключевые слова: радиоэкологическая характеристика; техногенные и природные радионуклиды; радиоактивные отходы; оценка морской среды; радиоэкологическое состояние морской биоты.</p>	<p>Keywords: radioecological characterization; technogenic and natural radionuclides; radioactive waste; marine environmental assessment: radioecological status of marine biota.</p>
--	--

Список сокращений	List of abbreviations
АПЛ – Атомная подводная лодка	NS – Nuclear Submarine
БТБ – Береговая техническая база	CTB – Coastal technical base
ЖРО – Жидкие радиоактивные отходы	LRW – Liquid radioactive waste
МДА – Минимально детектируемая активность	MDA – Minimum detectable activity of radionuclides
ММБИ – Мурманский морской биологический институт РАН	MMBI – Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences
DSA – Норвежское агентство радиационной и ядерной безопасности	DSA – Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority
ОАО – Открытое акционерное общество	OJSC – Open joint stock company
ОТВС – Отработавшие тепловыделяющие сборки	SHGA – Spent heat-generating assemblies
ОЯТ – Отработавшее ядерное топливо	SNF – Spent nuclear fuel
ПВХ – Пункт временного хранения радиоактивных отходов в губе Андреева	TSP – Temporary storage point of radioactive waste in Andreeva Bay
ПДХ – Пункт длительного хранения радиоактивных отходов	LSP – Long-term storage point of radioactive waste
ПО "Маяк" – Производственное объединение «Маяк»	PA "Mayak" – Production association "Mayak"
РАО – Радиоактивные отходы	RW – Radioactive waste
СанПиН – Санитарные правила и нормы	SanPiN – Sanitary Regulations and Norms
СЗЦ «СевРАО» – Северо-западный центр «Северное федеральное предприятие по обращению с радиоактивными отходами»	NWC «SevRAO» – Northwest center «Northern Federal Enterprise for Conversion with Radioactive Wastes»
СМИ – Средства массовой информации	MM – Mass media
СРЗ – Судоремонтный завод «Нерпа»	SRP – Ship-repair plant «Nerpa»
ТРО – Твердые радиоактивные отходы	SRW – Solid radioactive waste
ФГУП «Росатомфлот» – Федеральное государственное унитарное предприятие «Атомфлот»	FSUE «Rosatomflot» – Federal State Unitary Enterprise «Atomflot»
ЯЭУ – Ядерная энергетическая установка	NPS – Nuclear power station

Введение

В настоящее время дополнительный риск радиационного загрязнения баренцевоморского побережья определяется, главным образом, операциями по обращению с радиоактивными отходами в береговой инфраструктуре атомного флота.

Объекты гражданского и военного атомного флота России и береговая инфраструктура сосредоточены в прибрежной зоне Кольского полуострова. Здесь хранятся вновь образующиеся опасные радиоактивные отходы (РАО) и отходы, относящиеся к «накопленному наследию» ядерной эпохи.

Среди объектов инфраструктуры наиболее значимым с точки зрения радиэкологического риска представляется хранилища радиоактивных отходов в губе Андреева на западе мурманского побережья, в губе Сайда в Кольском заливе и в губе Гремиха на востоке мурманского побережья [1, 2]. Наиболее высокий риск эмиссии радионуклидов связан с состоянием пунктов хранения РАО и вывозом радиоактивных отходов из хранилищ в губе Андреева и Гремихи к железнодорожной транспортной системе в Мурманск.

Еще одна составляющая рисков радиационной опасности исходит при утилизации и постановке на длительное хранение реакторных отсеков атомных подводных лодок и отсеков судов технологического обслуживания в Сайда-губе.

Данных радиэкологического мониторинга, который проводится в пределах санитарно-защитной зоны пункта временного хранения в губе Андреева, недостаточно для оценки влияния всей деятельности хранилищ на возможное загрязнение прибрежной зоны. Такие работы в рамках научных исследований проведены Мурманским морским биологическим институтом в 2017–2019 гг.

Цель исследования – получить новые данные и проанализировать радиэкологическое состояние баренцевоморского побережья на участке

Introduction

At present the additional risk of radiation pollution of the Barents Sea foreshore is mainly determined by radioactive waste management operations in the coastal infrastructure of the nuclear fleet.

Civil and military nuclear fleet facilities of Russia and coastal infrastructure are concentrated in the coastal zone of the Kola Peninsula. Again, formed hazardous radioactive waste (RW) and wastes belonging to the "accumulated heritage" of the nuclear era are stored here.

Among the infrastructure facilities the most significant from the point of view of radioecological risk is the storage of radioactive waste in Andreeva Bay in the west of the Murmansk coast, in Saida Bay in Kola Bay and in Gremikha Bay in the east of the Murmansk coast [1, 2]. The highest risk of radionuclide emission is related to the state of RW storage points and removal of radioactive waste from storages in Andreeva and Gremikha Bays to the railway transport system in Murmansk.

Another component of radiation hazard risks comes from utilization and long-term storage of reactor compartments of nuclear submarines and vessels' compartments of technological service in Saida Bay.

Data of radioecological monitoring which is carried out within the sanitary-protective zone of the temporary storage point in Andreeva Bay are not sufficient to assess the impact of all activities of storages on possible pollution of the coastal zone. Such works within the framework of scientific research were carried out by Murmansk Marine Biological Institute in 2017-2019.

The aim of the study is to obtain new data and analyze the radioecological state of the Barents Sea coastal area at the site of carrying out potentially dangerous loading and

<p>проведения потенциально опасных погрузочно-разгрузочных и транспортных операций с радиоактивными отходами.</p> <p>Актуальность исследования определяется опасностью операций, связанных с хранением и обращением с отработанным ядерным топливом (ОЯТ), твердыми и жидкими радиоактивными отходами (ТРО и ЖРО), которые несут потенциальные риски для морской природной среды и морских ресурсов Баренц-региона. Очевидно, что актуальность сохранится в течение всего периода деятельности хранилищ и будет сохраняться какой-то длительный период после вывоза накопленных запасов ОЯТ и реабилитации территории.</p> <p>Проведенные исследования представляют собой новый уровень ранее проведенных работ (2013-2014 гг.). Новые исследования дополняют и расширяют изучаемую область адекватно масштабам транспортных операций по обращению с РАО.</p> <p>Исследование имеет экологическую, социальную и экономическую направленность и значимость для всего Баренц-региона. Результаты работы будут полезны для принятия планов управления работой береговых хранилищ РАО, управления процессами погрузки, разгрузки и транспортировки упаковок ОЯТ, совершенствования программ мониторинга и повышения уровня информированности общественности.</p> <p>Проект выполнен в сотрудничестве с Норвежским агентством радиационной безопасности (DSA) и норвежской научно-исследовательской компанией Акваплан-нива.</p>	<p>unloading and transport operations with radioactive waste.</p> <p>The relevance of the study is determined by the risk of operations related to the storage and management of spent nuclear fuel (SNF), solid and liquid radioactive wastes (SRW and LRW) which bear potential risks to the marine environment and marine resources of the Barents region. It is obvious that the relevance will continue throughout all the period of storages operations and will continue for some long period after removal of accumulated stocks of SNF and rehabilitation of the territory.</p> <p>The conducted studies represent a new level of earlier works (2013-2014). New researches supplement and expand the area under study adequately to the scales of RW handling transport operations.</p> <p>The study has an environmental, social and economic focus and significance for the entire Barents region. The results of the work will be useful for the acceptance of plans for the operation control of RW coastal storages, processes management of loading, unloading and transportation of SNF packages, improving monitoring programs and raising the public level awareness.</p> <p>The project is implemented in cooperation with the Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority (DSA) and Norwegian research company Akvaplan-niva.</p>
---	---

1. Географическое положение и характеристика пунктов эвакуации РАО и участков транспортного маршрута.

Губа Андреева. Площадка временного хранения РАО в губе Андреева (ПВХ) расположена на береговом склоне губы Андреева. Эта губа является морфологической частью акватории обширного фьорда - губа Западная Лица. Фьорд именуется по названию впадающей в него реки. Губа Андреева имеет свободный водообмен с губой Западная Лица, которая открывается в Мотовский залив Баренцева моря (рис. 1.1.) и судоходна круглогодично [3].



Рис. 1.1. Расположение хранилищ ядерных отходов в прибрежье Мурмана

Хранилище введено в строй в 1962 г. Оно предназначено для временного хранения отработавших тепловыделяющих сборок ядерных энергетических установок, жидких и твердых радиоактивных отходов.

В июне 2017 г. начал вывоз РАО морским путем из временного хранилища в губе Андреева (ПВХ) через Мотовский и Кольский заливы. Вывоз контейнеров с отработавшим ядерным топливом на специализированном судне-контейнеровозе «Россита» на базу ФГУП «Росатомфлот» в Кольский залив будет продолжаться в плановом режиме примерно 10 лет. В соответствии с этим возникает необходимость получения информации о радиоэкологическом состоянии морской среды и изменений под воздействием природных или техногенных факторов в местах перегрузки отходов и по маршруту морских перевозок. Современный

1. Geographical location and characteristics of RW evacuation points and sections of transport route.

Andreeva Bay. The RW temporary storage site in Andreeva Bay (TSP) is located on the shore slope of Andreeva Bay. This Bay is a morphological part of the water area of the extensive fjord - Zapadnaya Litsa Bay. The fjord is named by the river's name that flows into it. Andreeva Bay has a free water exchange with Zapadnaya Litsa Bay which opens to the Motovsky Bay of the Barents Sea (Fig. 1.1.) and it is navigable all the year round [3].



Fig. 1.1. Location of nuclear waste storages in Murman coast

The storage was commissioned in 1962. It is intended for temporary storage of spent heat-generating assemblies of nuclear power plants, liquid and solid radioactive wastes.

The export of RW began in June 2017 by sea from the temporary storage in Andreeva Bay (TSP) through Motovsky and Kola Bays. Export of containers with spent nuclear fuel on the specialized container carrying ship "Rossita" to the base of FSUE «Rosatomflot» to Kola Bay will continue in the planned mode for about 10 years. In connection therewith it is necessary to obtain information on the radioecological state of the marine environment and changes under influence of natural or technogenic factors in places of waste overload and along the shipping routes. Modern radioecological status of the TSP area in Andreeva Bay is analyzed in detail in studies of 2012-2014 [4].

радиоэкологический статус в районе ПВХ в губе Андреева подробно проанализирован в исследованиях 2012-2014 гг [4]

Губа Сайда. Хранилище в губе Сайда предназначено для подготовки (кондиционирования) и длительного хранения реакторных отсеков подводных лодок и высокоактивных конструктивных других судов и возникающих при этих операциях ТРО и ЖРО.

Губа Сайда — боковой рукав Кольского залива, расположенный 60 км севернее Мурманска (рис. 1.1). Пункт долговременного хранения (ПДХ) реакторных отсеков АПЛ в губе Сайда был создан в 2004 году на базе береговой технической базы. Однако Утилизация атомных субмарин и хранение на плаву трёхотсечных блоков АПЛ с ядерными реакторами началась в 1990 году. Современное долговременное хранилище создавалось в рамках программы «Глобального партнёрства» по ликвидации «ядерного наследия» и было открыто в 2011 г. как «Региональный центр по обращению с радиоактивными отходами Сайда-Губа» СЗЦ «СевРАО». В настоящее время Центр является одним из трёх крупнейших и самых современных хранилищ РАО с долгим сроком эксплуатации. В нем выполняются операции по:

- установке на сухое хранение реакторных отсеков АПЛ;
- хранению блок-упаковок, с отсеками судов атомного технологического обслуживания и ледокольного флота;
- кондиционированию (фрагментация, прессование, водоструйная и химическая очистка, паспортизация) и долговременного хранения всех видов РАО.

Центр в Сайда-Губе будет принимать отходы, поступающие из губы Андреева и хранилища в Гремихе.

Центр в Сайда-Губе построен на базе жилого поселения где проживают сотрудники Центра. В непосредственной близости от него расположены поселок Гаджиево, г. Александровск, г. Снежногорск и судоремонтный завод «Нерпа» (СРЗ). На СРЗ «Нерпа» происходит утилизация субмарин и судов

Saida Bay. Storage in Saida Bay is designed for preparation (conditioning) and long-term storage of submarine reactor compartments and highly active structural other vessels and emerging SRW and LRW during these operations.

Saida Bay is Kola Bay side arm located 60 km North of Murmansk (Fig. 1.1). The long-term storage point (LSP) of the reactor compartments of NS in Saida Bay was established in 2004 on the basis of a coastal technical base. However the disposal of nuclear submarines and storage afloat of three-compartment blocks of NS with nuclear reactors began in 1990. The modern long-term storage was created as part of the “Global partnership” program to eliminate the "nuclear legacy» and it was opened in 2011 as the "Regional center for radioactive waste management of Saida Bay" by NWC «SevRAO». Currently the Center is one of the three largest and most modern RW storage with a long operation period. It performs operations for:

- installation for dry storage of NS reactor compartments;
- storage of block-packages with vessels compartments of nuclear technological maintenance and ice breaker fleet;
- conditioning (fragmentation, pressing, water jet and chemical cleaning, certification) and long-term storage of all types of RW.

The center in Saida Bay will receive wastes arriving from Andreeva Bay and storage in Gremikha.

The Center in Saida Bay is built on the basis of a residential settlement where the staff of the Center live. There are Gadjevo settlement, Alexandrovsk city, Snezhnogorsk city and ship repair plant "Nerpa" (SRP) in the immediate vicinity from it. On SRP "Nerpa" there is utilization of submarines and technological support vessels, preparation of

технологического обеспечения, подготовка блоков и блок-упаковок для хранения.

Отделение «Гремиха» Северо-западного центра «СевРАО» реорганизовано из береговой технической базы Северного флота, функционирующей с 1958 года. Отделение находится на северо-восточном побережье Кольского полуострова, на берегу губы Червяной Йоганьского рейда Святоносского залива, вблизи города Островной. Отделение удалено от г. Мурманска на 280 км к юго-востоку и на 350 км от входа в Кольский залив. Наземных путей сообщения Отделение "Гремиха" не имеет.

Основной функцией отделения является хранение отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), в том числе топлива ядерных реакторов с жидкометаллическим теплоносителем и радиоактивных отходов (РАО).

Последняя выгрузка ОЯТ в Гремихе была проведена в 1992 г. С 1992 г. объект не отвечает современным требованиям ядерной безопасности. Данные по радиационной обстановке на территории береговой технической базе (БТБ) в Гремихе малочисленны. Экологически значимую опасность представляет площадка временного хранения ТРО с размещенными на ней контейнерами с ОТВС и высокоактивными ТРО.

Вывоз ядерных отходов начался в 2008 году в рамках совместного проекта Росатома и французского комиссариата по атомной энергии. К настоящему времени с территории хранилища вывезены все ОТВС реакторов с жидкометаллическим теплоносителем (898 ОТВС), в том числе выгружены и демонтированы аварийные выемные части всех реакторных установок. На судне «Россита» вывезено 180 м³ ТРО из 500 м³, размещенных в хранилище. Реабилитирована территория хранилища. Завершение эвакуации всех ОТВС будет завершено в 2022 году. Отработанное ядерное топливо доставляется на накопительную площадку ФГУП "Атомфлот" в Мурманск с последующей отправкой на переработку на ПО "Маяк".

Кольский залив Баренцева моря

blocks and block-packages for storage.

The Gremikha Branch of the Northwest center «SevRAO» was reorganized from the Northern Fleet Coastal Technical Base operating since 1958. The branch is located on the north-east coast of the Kola Peninsula, on the Chervyanaya Bay's bank of the Yogansky Raid of the Svaytonosky Bay, near Ostrovnoy town. The branch is remote from Murmansk city 280 km to the south-east and 350 km from the entrance to Kola Bay. The "Gremikha" Branch has no land routes.

The main function of the branch is storage of spent nuclear fuel (SNF) including nuclear reactors fuel with liquid-metal heat carrier and radioactive waste (RW).

The last loading of SNF in Gremikha was carried out in 1992. The facility has not met modern nuclear safety requirements since 1992. Data on the radiation situation on the territory of the coastal technical base (CTB) in Gremikha are small. Ecologically significant danger is presented by SRW temporary storage site with containers with SHGA and highly active SRW located on it.

The removal of nuclear waste began in 2008 as part of a joint project of Rosatom and the French Atomic Energy Commissariat. To date all the SHGA of reactors with liquid-metal heat carrier (898 SHGA) have been removed from the storage area including emergency pull-out parts of all reactor plants have been unloaded and dismantled. 180 m³ of SRW from 500 m³ placed in the storage were removed on "Rossita" vessel. The storage territory is rehabilitated. Completion of the evacuation of all the SHGA will be completed in 2022. Spent nuclear fuel is delivered to the consolidation center of FSUE «Atomflot» in Murmansk with subsequent sending for processing to PA "Mayak".

Kola Bay of the Barents Sea has

имеет многофункциональное значение и используется в гражданских и военных целях. Протяженность залива равна 57 км, а его ширина всего 7 км. В залив впадают две крупные реки – Кола и Тулома. Речной сток обеспечивает постоянное стоковое течение из залива в открытое море и обновление вод. За счет теплого Североатлантического течения и приливов, в залив поступают морские воды, а акватория залива не замерзает зимой [5; 6].

Кольский залив является важнейшей транспортной артерией севера России и логистическим центром морской Арктики. Морехозяйственная деятельность развита на всем протяжении залива. На берегах построены города Североморск, Полярный, Мурманск, поселки Сафоново, Росляково, села Мишуково, Минькино, Междуречье, Белокаменка, Североморский военный порт, Мурманский морской рыбный порт, Мурманский морской торговый порт, судоремонтные заводы. Основная морехозяйственная деятельность связана с мурманским портом. Залив подвержен сильному техногенному воздействию и загрязняется разнообразными отходами промышленной деятельности и радионуклидами. В многочисленных прибрежных бухтах залива расположены объекты инфраструктуры атомного флота, в том числе губы Оленья и Сайда.

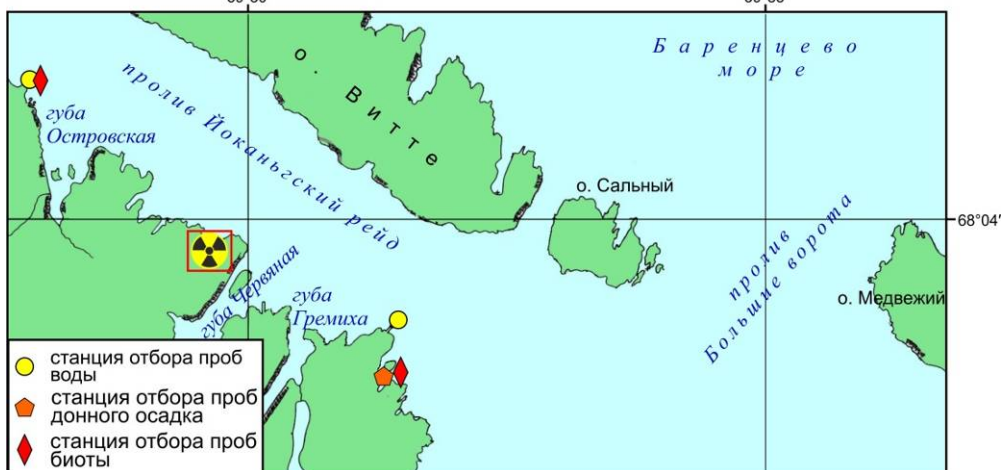
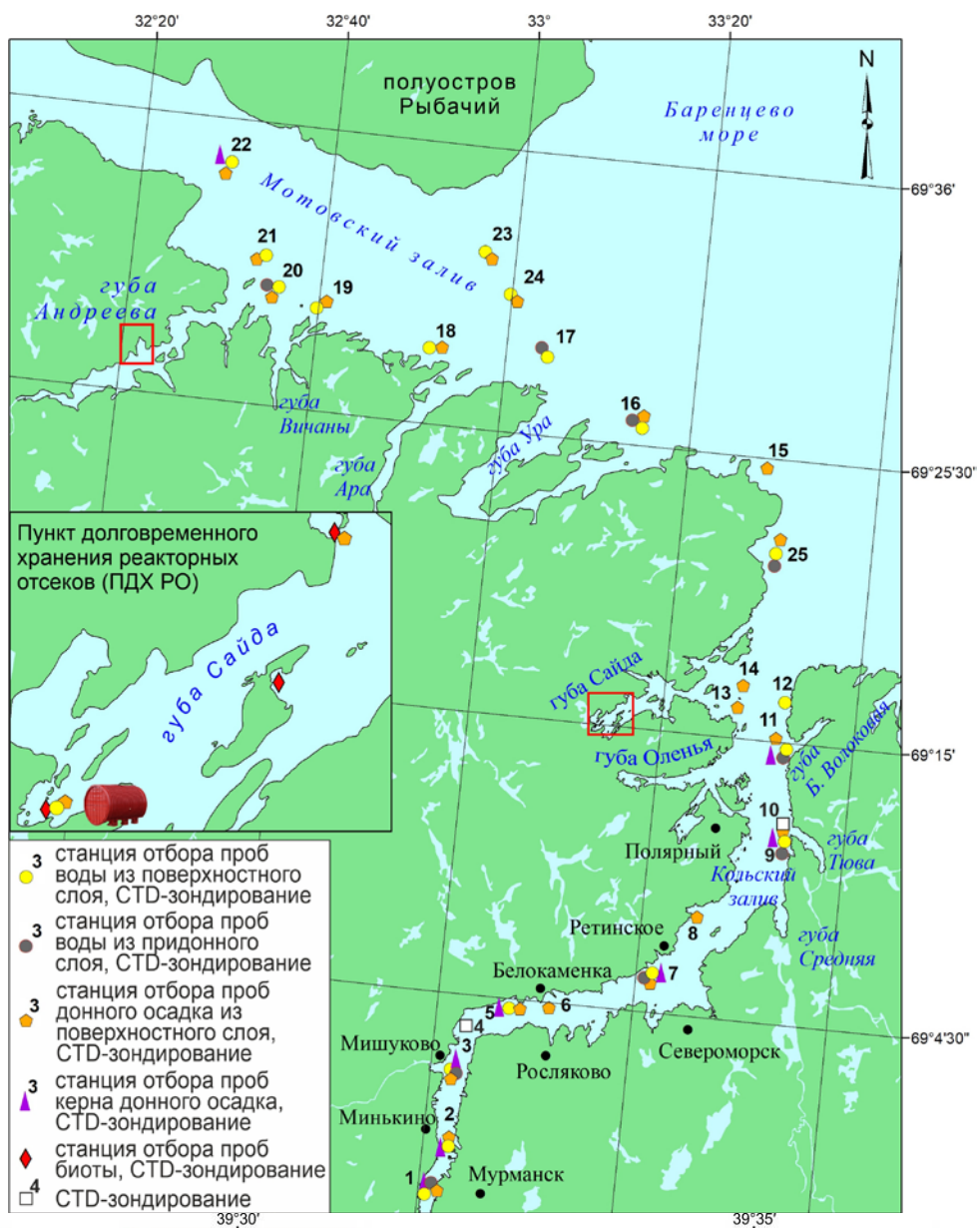
В Кольском заливе находится конечный пункт морской транспортировки РАО из хранилищ в губе Андреева и отделении «Гремиха» – Федеральное государственное унитарное предприятие «Атомфлот». ФГУП «Атомфлот» предназначено для обеспечения эксплуатации и технологического обслуживания атомных ледоколов и судов вспомогательного флота, в том числе для обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. Предприятие расположено в двух километрах от северной границы города Мурманска на условной границе южного и среднего колен Кольского залива.

multifunctional significance and is used for civil and military purposes. The extent of the bay is 57 km and its width is only 7 km. Two major rivers, Kola and Tuloma, fall into the bay. River flow provides constant flow current from the bay to the high sea and water renewal. Due to the warm North Atlantic current and tides, sea waters enter the bay and the water area of the bay does not freeze in winter [5; 6].

Kola Bay is the most important transport artery of the North of Russia and the logistics center of the marine Arctic. Marine economic activities are developed throughout the bay. Towns have been built on the coastline: Severomorsk, Polyarny, Murmansk, settlements Safonovo, Roslyakovo, villages Mishukovo, Minkino, Mezhdurechje, Belokamenka, Severomorsk military port, Murmansk Sea Fish Port, Murmansk Commercial Seaport, ship repair plants. The main marine economic activity is connected with the Murmansk port. The bay is subject to heavy technogenic impact and is contaminated by a variety of industrial activity wastes and radionuclides. Atomic fleet infrastructure facilities are located in numerous coastal bays of the bay including Olenjya and Saida Bays.

In the Kola Bay is situated the final point of sea transportation of RW from storages in Andreeva Bay and the branch "Gremikha" - Federal state unitary enterprise "Atomflot." FSUE «Atomflot» is intended to provide operation and technological maintenance of nuclear ice breakers and vessels of the auxiliary fleet including for management of radioactive waste and spent nuclear fuel. The enterprise is located two kilometers from the northern border of Murmansk city on the conditional border of the southern and middle parts of Kola Bay.

<p>2. Материалы и методы</p> <p>2.1. Экспедиционный сбор данных</p> <p>Проведение систематических комплексных экосистемных исследований в прибрежной зоне арктических морей является основой наблюдений за изменениями фона радиоактивных загрязнений на участках выполнения транспортных операций с опасными радиоактивными отходами. В ходе работы изучаются все уровни экосистемной организации на участках потенциального риска, абиотические и биотические составляющие. В систему исследований включены морские объекты разного типа: удаленные прибрежные бухты с инфраструктурой береговых хранилищ РАО; прибрежная зона открытого моря (Мотовский залив); протяженные морские маршруты на загруженных морских транспортных артериях с развитой социально-хозяйственной структурой (Кольский залив). Соответственно экспедиционные исследования объектов проведены с использованием соответствующих, адекватных изучаемому объекту, подходов (рис. 2.1):</p> <ul style="list-style-type: none"> – морская экспедиция на специализированном судне НИС «Дальние Зеленцы»; – морские исследования на маломерных плавсредствах; – береговые экспедиции на автомобильном транспорте и морском пассажирском транспорте (Островной/Гремиха). <p>Сбор проб водорослей-макрофитов в Кольском заливе параллельно маршруту НИС «Дальние Зеленцы» выполнен в береговой автотранспортной экспедиции.</p>	<p>2. Materials and Methods</p> <p>2.1. Sampling during expedition</p> <p>Carrying out of systematic complex ecosystem research in the coastal area of the Arctic seas is the basis of observations for changes of the radioactive contaminations background at the sites of carrying out of transport operations with hazardous radioactive waste. All the levels of ecosystem organization at potential risk sites, abiotic and biotic components are examined during the work. Different types of marine objects are included in the research system: remote coastal bays with infrastructure of RW coastal storage; coastal area of open sea (Motovsky Bay); extended sea routes on loaded sea transport arteries with a developed social and economic structure (Kola Bay). Accordingly, expeditionary research of objects has been carried out using appropriate approaches adequate to the object under study (Fig. 2.1):</p> <ul style="list-style-type: none"> – sea expedition on the specialized vessel RV "Dalnie Zelentsy"; – marine researches on small-scale watercraft; – coastal expeditions on road transport and marine passenger transport (Ostrovnoy/Gremikha). <p>Samples collection of algae-macrophytes in Kola Bay parallel to the route of RV "Dalnie Zelentsy" is carried out in the coastal road transport expedition.</p>
--	---



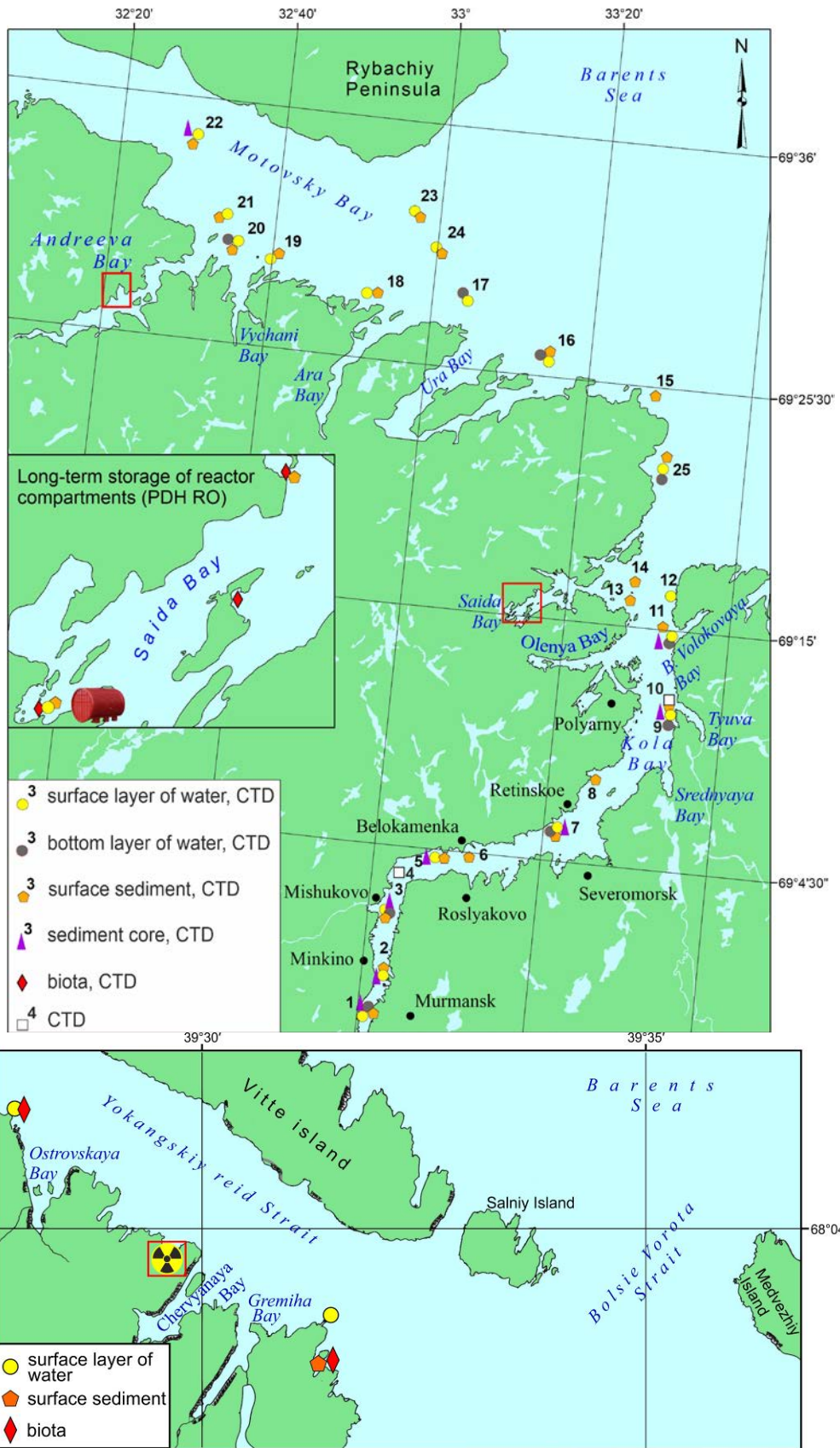


Рис. 2.1. Районы экспедиционных исследований и точки сбора проб воды донных отложений и биоты, 2017-2018 гг. /

Fig. 2.1. Areas of expeditionary research and points of water samples collection of bottom sediments and biota, 2017-2018.

2.1.1. Экспедиция на научно-исследовательском судне "Дальние Зеленцы", 26–31 октября 2017 г.

Экспедиция проведена на научно-исследовательском судне "Дальние Зеленцы". Судовладелец – Министерство образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки РФ).

Сроки работ и маршрут экспедиции

Экспедиция проведена с 26 по 31 октября 2017 г. Район работ экспедиции охватил Кольский и Мотовский заливы. Маршрут, расположение и координаты станций экспедиции, а также объем выполненных работ представлены на рис 2.1 и в табл. 2.1.

Цели и задачи экспедиции

Целью данной экспедиции является проведение научных исследований в Кольском и Мотовском заливах по маршрутам морской транспортировки ОЯТ из хранилища в губе Андреева в Мурманск на накопительную площадку ФГУП «Атомфлот».

В соответствии с вышеуказанной целью поставлены следующие задачи:

- определение гидрологических параметров водной среды.
- отбор проб воды и донного осадка для определения концентраций загрязняющих веществ в лабораториях ММБИ и других организаций.

Содержание и объем работ, выполненных в ходе экспедиции

Всего ходе экспедиции было выполнено 25 станций. Виды и объем работ, выполненных на каждой станции, представлен в табл. 2.1.

Океанографические исследования

Профилирование водной толщи выполнялось с помощью STD-зонда SEACAT SBE 19 на 25 станциях (рис. 2.1).

Сбор проб для определения радионуклидов

Материал исследований – морская вода, поверхностный слой донных отложений и колонки донного осадка, водоросли-макрофиты, отбирался в ходе экспедиции на НИС "Дальние Зеленцы".

Для определения ^{137}Cs из верхнего слоя воды отобрано 18 проб объемом 100 л

2.1.1. Expedition on board research vessel "Dalnie Zelentsy", 26-31 October, 2017

The expedition was carried out on the research vessel "Dalnie Zelentsy". Shipowner is the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Ministry of Education and Science of the RF).

Terms of work and route of the expedition

The expedition was conducted from 26 October to 31 October, 2017. The area of the expedition works covered Kola and Motovsky Bays. The route, location and coordinates of the expedition stations as well as the scope of works performed are shown in Fig. 2.1 and Table 2.1.

Purposes and tasks of the expedition

The purpose of this expedition is to carry out scientific research in Kola and Motovsky Bays along the routes of SNF sea transportation from the storage in Andreeva Bay to Murmansk on FSUE «Atomflot» storage site.

In accordance with the above purpose the tasks are:

- determination of hydrological parameters of aquatic environment;
- sampling water and bottom sediments to determine concentrations of polluting substances in MMBI laboratories and other organizations.

Content and scope of work performed during the expedition

In total, field works were carried out on 25 stations during the expedition. Types and scope of works performed at each station are shown in Table 2.1.

Oceanographic research

Water thickness profiling was performed using CTD Profiler SEACAT SBE 19 at 25 stations (Fig. 2.1).

Samples collection for definition of radionuclides

The material of the research - sea water, surface layer of bottom deposits and columns of bottom sediment, algae-macrophytes was selected during the expedition on the RV "Dalnie Zelentsy".

To determine the ^{137}Cs from the upper layer of water 18 samples of 100 L volume

<p>из верхнего слоя 0-1 м, из придонного слоя взяты пробы на 9 станциях. Для определений ^{90}Sr взяты 16 проб воды объемом 30 л из верхнего слоя и 8 проб – из придонного слоя (рис. 2.1, табл. 2.1).</p> <p>В верхнем (0–2 см) слое донного осадка отобрано 36 проб с помощью дночерпателя Ван-Вина (табл. 2.1). Кроме этого, на 8 станциях отобраны керны донного осадка с помощью пластикового пробоотборника (табл. 2.1).</p> <p>Водоросли-макрофиты видов <i>Fucus vesiculosus</i> и <i>Ascofillum nodosum</i> взяты на разных участках в зоне осушки в точках максимального отлива (рис. 2.1, табл. 2.1).</p>	<p>were taken from the upper layer of 0-1 m, samples were taken from the benthonic layer at 9 stations. 16 samples of water with volume of 30 L from the upper layer and 8 samples from the benthonic layer were taken for determination of ^{90}Sr (Fig. 2.1, Table 2.1).</p> <p>36 samples were taken in the upper (0-2 cm) layer of the bottom sediment using a Van Veen Bottom Grab (Table. 2.1). Besides cores of bottom sediments are selected at 8 stations with the help of the plastic sampler (Table. 2.1).</p> <p>Algae-macrophytes of species <i>Fucus vesiculosus</i> and <i>Ascofillum nodosum</i> are taken at different sites in the drying zone at points of maximum outflow (Fig. 2.1, Table 2.1)</p>
--	---

<p>2.1.2. Экспедиция в губу Сайда (Кольский залив)</p> <p><i>Сроки работ и маршрут экспедиции</i></p> <p>Экспедиция проведена в период с 23 октября и 26 октября 2018 г на автомобильном транспорте и малых плавсредствах (резиновая лодка) (рис. 2.1). Выход экспедиции осуществлялся в два этапа в связи с погодными условиями и коротким световым периодом.</p> <p><i>Цели и задачи экспедиции</i></p> <p>Целью экспедиции являлось проведение научных радиоэкологических исследований в акватории губы – месте нахождения потенциальных радиационно-опасных объектов, в доступных для исследования точках (рис. 2.2).</p> <p>В соответствии с вышеуказанной целью были поставлены следующие задачи:</p> <ul style="list-style-type: none"> - - отбор проб воды из верхнего слоя 0-1 м в различных частях губы; - - отбор проб донного осадка в поверхностном слое; - - отбор проб морской биоты; 	<p>2.1.2. Expedition to Saida Bay (Kola Bay)</p> <p><i>Terms of work and route of the expedition</i></p> <p>The expedition was conducted during the period of 23 October and 26 October 2018 by road transport and small watercrafts (rubber boat) (Fig. 2.1). The expedition exit was carried out in two stages due to weather conditions and a short light period.</p> <p><i>Purposes and tasks of the expedition</i></p> <p>The purpose of the expedition was to carry out scientific radioecological researches in the water area of the bay, the location of potential radiation-hazardous objects in points available for research (Fig. 2.2).</p> <p>In accordance with the above purpose the following objectives were set:</p> <ul style="list-style-type: none"> - sampling water from the top layer 0-1 m in different parts of the bay; - - sampling of bottom sediment in the surface layer; - sampling of marine biota;
--	---



Рис. 2.2. Расположение площадки долговременного хранения и ландшафт Центра по обращению с радиоактивными отходами Сайда-Губа /
 Fig. 2.2. Location of the long-term storage site and landscape of the Radioactive Waste Management Center of Saida Bay

<p><i>Содержание и объем работ, выполненных в ходе экспедиции</i></p> <p>Расстановка станций произведена с учетом особенностей и возможностей успешного отбора проб. Всего в ходе экспедиции были выполнены 5 станций. Положение точек отбора проб выполнено с помощью GPS-навигатора. Координаты станций экспедиции представлены в табл. 2.2.</p> <p><i>Сбор проб для определения радионуклидов</i></p> <p>Материал для исследований – морская вода, донные отложения верхнего слоя осадков 0-3 см, водоросли-макрофиты.</p> <p>Для определения ^{137}Cs в воде на 2-х станциях взяты пробы объемом 100 л из верхнего слоя 0-1 м в разных участках водоема. Для определений ^{90}Sr взяты пробы объемом 20 л (рис. 2.1, табл. 2.2).</p> <p>Пробы донных отложений взяты из зоны осушки в самой низкой точке отлива (рис. 2.1, табл. 2. 2).</p> <p>Водоросли-макрофиты видов <i>Fucus vesiculosus</i> и <i>Ascofillum nodosum</i> взяты на двух разных участках губы в зоне осушки в точках максимального отлива.</p>	<p><i>Content and scope of work performed during the expedition</i></p> <p>The arrangement of stations was made taking into account the peculiarities and possibilities of successful sampling. In total 5 stations were performed during the expedition.</p> <p>Points provision of sampling was carried out using GPS navigator. Coordinates of expedition stations are given in Table. 2.2.</p> <p><i>Collection of samples for radionuclide definition</i></p> <p>Material for research - sea water, bottom deposits of the upper layer of precipitations 0-3 cm, algae-macrophytes.</p> <p>Samples of 100 L volume were taken in water at 2 stations from the upper layer of 0-1 m in different areas of the reservoir to determine ^{137}Cs. Samples of 20 L volume were taken for determination of ^{90}Sr (Fig. 2.1, Table 2.2).</p> <p>Samples of bottom sediments were taken from the drying zone at the lowest point of outflow (Fig. 2.1, Table 2. 2).</p> <p>Algae-macrophytes of the species <i>Fucus vesiculosus</i> and <i>Ascofillum nodosum</i> were taken on two different sections of the bay in the drying zone at points of maximum outflow.</p>
---	--

2.1.3. Экспедиция в район хранилища ОЯТ «Гремиха»

Сроки работ и маршрут экспедиции

Экспедиция проведена в период с 26 сентября по 1 октября 2018 г. Хранилище ОЯТ «отделение Гремиха» не имеет автотранспортного сообщения. На акваторию пролива Йоканьгский рейд, где расположено хранилище, не разрешён проход морских судов коммерческого и научного назначения. В качестве средства доставки экспедиции использовано судно регулярного пассажирского сообщения «Клавдия Еланская», с выходом из порта Мурманск (рис. 2.1).

Цели и задачи экспедиции

Целью данной экспедиции являлось проведение научных радиоэкологических исследований в акватории пролива Йоканьгский рейд – в доступных для исследования точках акватории, примыкающей к площадке хранения ОЯТ и ТРО (рис. 2.3).

В соответствии с вышеуказанной целью были поставлены следующие задачи:

- отбор проб воды из верхнего слоя 0-1 м в различных частях губы;
- отбор проб донного осадка в поверхностном слое;
- отбор проб морской биоты

2.1.3. Expedition to the area of "Gremikha" SNF storage

Terms of work and route of the expedition

The expedition was conducted during the period of 26 September and 1 October 2018. The storage of SNF "Gremikha Branch" does not have any road connection. On the water area of Yokangsky Raid strait, where the storage is located, is not allowed to pass sea vessels for commercial and scientific purposes. The vessel of regular passenger service "Klavdia Elanskaya" was used as a means of the expedition delivery leaving the port of Murmansk (Fig. 2.1).

Purposes and tasks of the expedition

The purpose of this expedition was to carry out scientific radioecological researches in the water area of the Yokangsky Raid Strait in the available for research points of the water area adjacent to the storage site of SNF and SRW (Fig. 2.3).

In accordance with the above purpose the following objectives were set:

- sampling water from the top layer 0-1 m in different parts of the bay;
- sampling of bottom sediment in the surface layer;
- sampling of marine biota

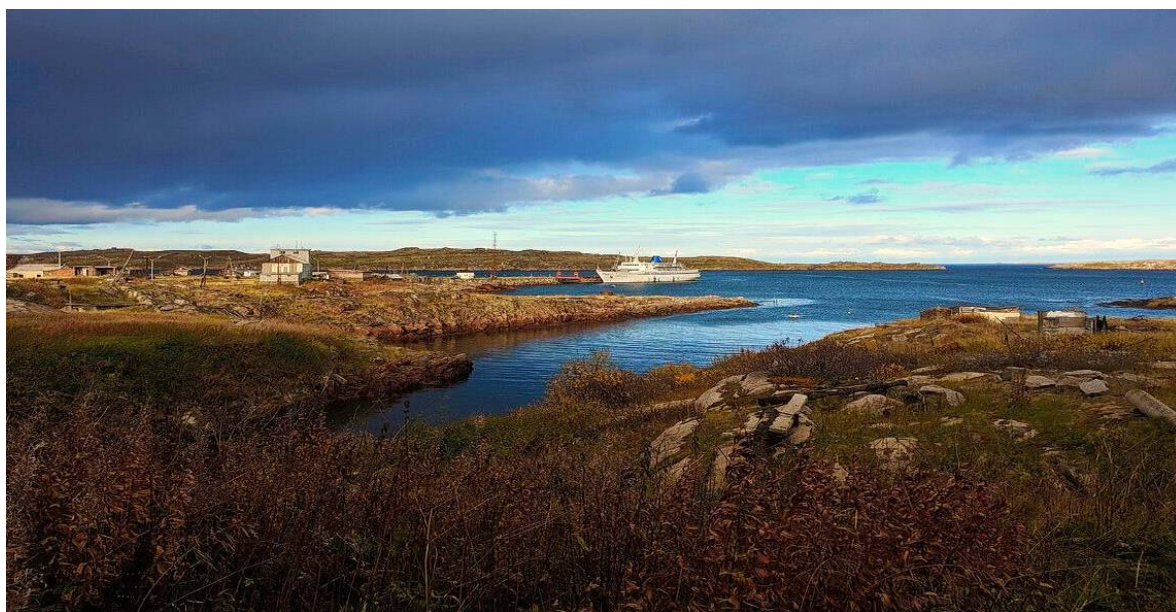


Рис. 2.3. Расположение и ландшафт в районе хранилища ОЯТ «отделение Гремиха» / Fig. 2.3. Location and landscape in the area of SNF storage of the "Gremikha branch".

Содержание и объем работ, выполненных в ходе экспедиции

Расстановка станций отбора проб произведена с учетом особенностей гидрологии водоемов, равномерности освещения участков исследования и доступа к ним. Всего в ходе экспедиции были выполнены 3 комплексные станции. Положение точек отбора проб выполнено с помощью GPS-навигатора. Координаты станций экспедиции представлены в табл. 2.3.

Сбор проб для определения радионуклидов

Материал для исследований – морская вода, донные отложения верхнего слоя осадков 0-3 см, водоросли-макрофиты.

Для определения ^{137}Cs в воде на 2-х станциях взяты пробы объемом 100 л из верхнего слоя 0-1 м в разных участках водоема. Для определений ^{90}Sr взяты пробы объемом 20 л (рис. 2.1, табл. 2.3).

Донные отложения повсюду в прибрежной зоне пролива представлены крупным каменным материалом и гравием. Отбор проб оказался возможен лишь на одной станции в восточной оконечности пролива, в районе поселения Островной (рис. 2.1). Металлическим грунтовым пробоотборником отобраны 2 параллельные пробы донного осадка в зоне осушки на самой низкой точке отлива (табл. 2.3).

Водоросли-макрофиты видов *Fucus vesiculosus* и *Ascofillum nodosum* взяты на двух разных участках губы в зоне осушки в точках максимального отлива (табл. 2.3).

Эпизоды экспедиционного сбора проб показаны на рис. 2.4-2.9.

Content and scope of work performed during the expedition

The arrangement of sampling stations was made taking into account the peculiarities of reservoir hydrology, uniformity of research sites lighting and access to them. In total 3 complex stations were carried out during the expedition. Sampling points provision was carried out using GPS navigator. Coordinates of expedition stations are given in Table 2.3.

Collection of samples for radionuclide definition

Material for research is sea water, bottom deposits of the upper layer of precipitation 0-3 cm, algae-macrophytes.

Samples of 100 L volume were taken in water at 2 stations from the upper layer of 0-1 m in different areas of the reservoir to determine ^{137}Cs . Samples of 20 L volume were taken for determination of ^{90}Sr (Fig. 2.1, Table 2.3).

Bottom deposits are represented by large stone material and gravel everywhere in the coastal zone of the strait. Sampling was possible only at one station in the eastern edge of the Strait in the area of Ostrovnoy settlement (Fig. 2.1). The metal soil sampler collected 2 parallel samples of bottom sediment in the drying zone at the lowest point of outflow (Table 2.3).

Algae-macrophytes of species *Fucus vesiculosus* and *Ascofillum nodosum* were taken on two different sections of the bay in the drying zone at points of maximum outflow (Table 2.3).

Episodes of expeditionary sampling are shown on Fig. 2.4-2.9.

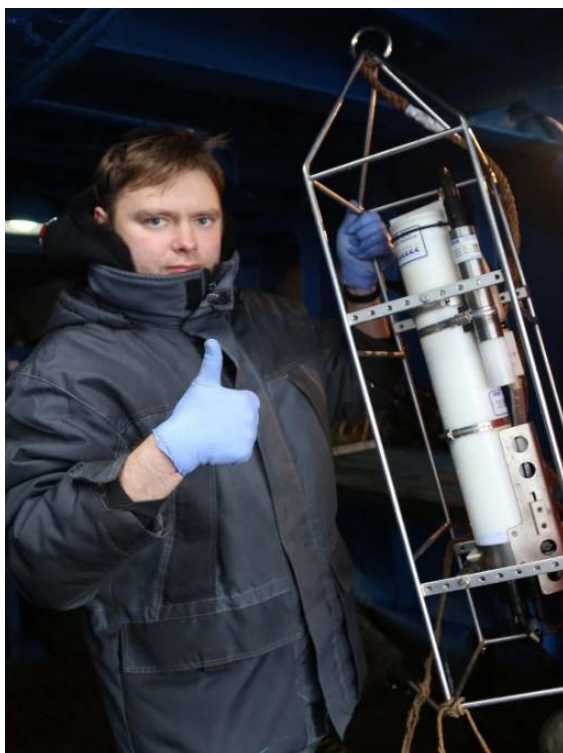


Рис. 2.4. Проведение гидрологических исследований и отбор проб воды на НИС "Дальние Зеленцы" /
Fig. 2.4. Carrying out hydrological studies and water sampling at RV "Dalnie Zelentsy"



Рис. 2.5. Осаждение ^{137}Cs на сорбент "Анфеж". Отбор пробы седиментов /
Fig. 2.5. Deposition of ^{137}Cs on "Anfezh" sorbent. Sediments sampling.



Рис. 2.6 Исследования в прибрежье губы Сайда, 23-26 октября 2018 г. /
Fig. 2.6 Saida Bay coastal researches, 23-26 October, 2018



Рис. 2.7 Ландшафт и донные грунты в зоне осушки в губе Сайда /
Fig. 2.7 Landscape and bottom soils in the drying zone in the Saida Bay



Рис. 2.8. Ландшафт и донные грунты в зоне осушки в районе Гремихи /
Fig. 2.8. Landscape and bottom soils in the drying zone in Gremikha area



Рис. 2.9. Отбор проб донного осадка почвоотборником в районе отделения Гремиха /
Fig. 2.9. Sampling of bottom sediment by soil collector in the area of Gremikha Branch

Таблица 2.1

Координаты станций, характер и объем выполненных работ в экспедиции на НИС
"Дальние Зеленцы", 26–31 октября 2017 г.

№ станции	Дата	Глубина, м	Координаты		СТД	Биота	Вода верхний слой		Вода придонный слой		Донный осадок	
			широта	долгота			Cs-137	Sr-90	Cs-137	Sr-90	0-2 см	Колонка
1	31.10.17	11.1	6856.96	3300.76	1	–	1	1	1	1	2	2
2	30.10.17	33.3	6858.82	3302.69	1	1	1	1	–	–	2	2
3	30.10.17	25	6901.61	3302.32	1	1	1	1	–	–	2	2
4	30.10.17	27	6903.76	3304.04	1	–	–	–	–	–	–	–
5	30.10.17	42.7	6904.28	3307.25	1	–	1	–	–	–	1	1
6	30.10.17	65	6904.35	3311.32	1	2	–	–	–	–	1	–
7	30.10.17	98	6906.03	3321.66	1	2	1	1	1	–	2	1
8	29.10.17	161	6908.18	3325.93	1	–	–	–	–	–	1	–
9	29.10.17	97	6911.38	3333.89	1	–	1	1	1	1	2	2
10	29.10.17	102	6911.96	3333.72	1	–	–	–	–	–	–	–
11	29.10.17	163	6914.80	3333.16	1	–	1	1	1	1	2	2
12	29.10.17	217	6916.55	3332.54	1	–	1	1	–	–	–	–
13	29.10.17	30	6916.12	3327.57	1	–	–	–	–	–	1	–
14	28.10.17	63.7	6917.02	3328.12	1	–	–	–	–	–	1	–
15	28.10.17	60	6925.01	3328.58	1	–	–	–	–	–	2	–
16	28.10.17	116	6926.22	3315.10	1	–	1	1	1	1	2	–
17	28.10.17	60	6928.64	3304.54	1	–	1	1	1	1	1	–
18	27.10.17	56	6928.20	3253.05	1	–	1	1	–	–	2	–
19	27.10.17	42	6929.36	3239.82	1	–	1	1	–	–	2	–
20	27.10.17	138	6929.98	3235.70	1	–	1	1	1	1	2	–
21	27.10.17	134	6931.09	3234.01	1	–	1	–	–	–	2	–
22	27.10.17	211	6934.40	3229.35	1	–	1	1	–	–	1	1
23	28.10.17	253	6932.14	3256.73	1	–	1	1	–	–	1	–
24	28.10.17	278	6930.64	3300.54	1	–	1	1	–	–	2	–
25	28.10.17	40	6922.03	3330.11	1	–	1	1	1	1	2	–

Table 2.1

Stations coordinates, nature and scope of works performed in the expedition on the RV "Dalnie Zelentsy," 26-31 October, 2017.

№ station	Date	Depth, m	Coordinates		CTD	Biota	Water top layer		Water benthonic layer		Bottom sediment	
			Latitude	Longitude			Cs-137	Sr-90	Cs-137	Sr-90	0-2 cm	Core
1	31.10.17	11.1	6856.96	3300.76	1	–	1	1	1	1	2	2
2	30.10.17	33.3	6858.82	3302.69	1	1	1	1	–	–	2	2
3	30.10.17	25	6901.61	3302.32	1	1	1	1	–	–	2	2
4	30.10.17	27	6903.76	3304.04	1	–	–	–	–	–	–	–
5	30.10.17	42.7	6904.28	3307.25	1	–	1	–	–	–	1	1
6	30.10.17	65	6904.35	3311.32	1	2	–	–	–	–	1	–
7	30.10.17	98	6906.03	3321.66	1	2	1	1	1	–	2	1
8	29.10.17	161	6908.18	3325.93	1	–	–	–	–	–	1	–
9	29.10.17	97	6911.38	3333.89	1	–	1	1	1	1	2	2
10	29.10.17	102	6911.96	3333.72	1	–	–	–	–	–	–	–
11	29.10.17	163	6914.80	3333.16	1	–	1	1	1	1	2	2
12	29.10.17	217	6916.55	3332.54	1	–	1	1	–	–	–	–
13	29.10.17	30	6916.12	3327.57	1	–	–	–	–	–	1	–
14	28.10.17	63.7	6917.02	3328.12	1	–	–	–	–	–	1	–
15	28.10.17	60	6925.01	3328.58	1	–	–	–	–	–	2	–
16	28.10.17	116	6926.22	3315.10	1	–	1	1	1	1	2	–
17	28.10.17	60	6928.64	3304.54	1	–	1	1	1	1	1	–
18	27.10.17	56	6928.20	3253.05	1	–	1	1	–	–	2	–
19	27.10.17	42	6929.36	3239.82	1	–	1	1	–	–	2	–
20	27.10.17	138	6929.98	3235.70	1	–	1	1	1	1	2	–
21	27.10.17	134	6931.09	3234.01	1	–	1	–	–	–	2	–
22	27.10.17	211	6934.40	3229.35	1	–	1	1	–	–	1	1
23	28.10.17	253	6932.14	3256.73	1	–	1	1	–	–	1	–
24	28.10.17	278	6930.64	3300.54	1	–	1	1	–	–	2	–
25	28.10.17	40	6922.03	3330.11	1	–	1	1	1	1	2	–

Таблица 2.2

Координаты станций, характер и объем выполненных работ в губе Сайда, 23–26.10.2018 г.

№ станции	Дата	Глубина, м	Координаты		Биота	Вода верхний слой		Вода придонный слой		Донный осадок 0-2 см
			широта	долгота		Cs-137	Sr-90	Cs-137	Sr-90	
1	23.10.2018	0-1	6914.89	3313.38	2	–	–	–	–	1
2	23.10.2018	0-1	6914.82	3313.24	–	1	1	–	–	–
3	25.10.2018	0-1	6926.88	3327.10	1			–	–	–
4	25.10.2018	0-1	6926.90	3326.10	–	1	1	–	–	–
5	26.10.2018	0-1	6926.86	3327.08	–	–	–	–	–	1

Table 2.2

Stations coordinates, nature and scope of works performed in Saida Bay, 23-26.10.2018

№ station	Date	Depth, m	Coordinates		Biota	Water top layer		Water benthonic layer		Bottom sediment 0-2 cm
			Latitude	Longitude		Cs-137	Sr-90	Cs-137	Sr-90	
1	23.10.2018	0-1	6914.89	3313.38	2	–	–	–	–	1
2	23.10.2018	0-1	6914.82	3313.24	–	1	1	–	–	–
3	25.10.2018	0-1	6926.88	3327.10	1			–	–	–
4	25.10.2018	0-1	6926.90	3326.10	–	1	1	–	–	–
5	26.10.2018	0-1	6926.86	3327.08	–	–	–	–	–	1

Таблица 2.3

Координаты станций и объем выполненных работ в проливе Йокангский рейд, 26.09-01.10.2018 г.

№ станции	Дата	Глубина, м	Координаты		Биота	Вода верхний слой		Вода придонный слой		Донный осадок 0-2 см
			широта	долгота		Cs-137	Sr-90	Cs-137	Sr-90	
1	29.09.2018	0-1	6806.027	3952.022	–	1	1	–	–	–
2	29.09.2018	0-1	6807.567	3946.358	1	1	1	–	–	–
3	29.09.2018	0-1	6805.787	3951.825	2	–	–	–	–	2

Table 2.3

Stations coordinates and scope of works performed in Yokangsky Raid Strait, 26.09-01.10.2018

№ station	Date	Depth, m	Coordinates		Biota	Water top layer		Water benthonic layer		Bottom sediment 0-2 cm
			Latitude	Longitude		Cs-137	Sr-90	Cs-137	Sr-90	
1	29.09.2018	0-1	6806.027	3952.022	–	1	1	–	–	–
2	29.09.2018	0-1	6807.567	3946.358	1	1	1	–	–	–
3	29.09.2018	0-1	6805.787	3951.825	2	–	–	–	–	2

2.2 Методы сбора проб и полевой пробоподготовки

Сбор, обработка и анализ материалов осуществлялась общепринятыми в международной практике и соответствующим образом откалиброванными методами, а также в соответствии со стандартными гидрометеорологическими методами и наставлениями. Ниже описаны методики подготовки проб воды, верхнего слоя (0-2 см), кернов донного осадка и макрофитов для определения ^{137}Cs и ^{90}Sr , а также отбора верхнего слоя (0-2 см), кернов донного осадка и макрофитов.

Методика сорбирования ^{137}Cs из проб морской воды с помощью сорбента «Анфеж».

Неорганический целлюлозный сорбент "Анфеж" (Российский патент 2021009 от 15.10.93; Американский патент 5.407.889 от 18.04.95) имеет высокую способность к удержанию изотопов цезия [7]. В работе [8] сравниваются различные сорбенты, включая "Анфеж", их эффективность в пресной и в морской воде.

Подготовка сорбента. Необходимое количество сорбента, отобранное мерной ёмкостью 100 мл, помещают в химический стакан, заливают горячей водой (70–900°C) и выдерживают не менее 30 минут.

Ход сорбирования. 120 л воды (до краев) помещают в бочку (рис. 2.5). Водную суспензию сорбента переносят из химического стакана в сорбционную колонку, (колонку заполняют до высоты 10–12 см) и на вход подают отфильтрованную от взвеси пробу анализируемой воды, обеспечивая скорость воды в колонке не более 80 см/мин (600–700 мл/мин) [9].

После пропускания пробы сорбент выгружают из колонки в полиэтиленовый пакет, маркируют и направляют на гамма-спектрометрический анализ. Остаток пробы выливают.

Методика осаждения ^{90}Sr из проб морской воды

Для осаждения элементов 2 группы периодической системы Д.И. Менделеева из проб морской воды можно использовать пластиковые 20 литровые емкости: бочки, ведра, канистры. При использовании

2.2 Methods of samples collection and field sample preparation

Collection, processing and analysis of materials were carried out standard in international practice and appropriately calibrated methods and also in accordance with standard hydrometeorological methods and manuals. Techniques of preparing water samples are described below, top layer (0-2 cm), bottom sediment cores and macrophytes for definition of ^{137}Cs and ^{90}Sr and also sampling of upper layer (0-2 cm), bottom sediment cores and macrophytes.

Sorbing method of ^{137}Cs from sea water samples with the help of sorbent "Anfezh."

Inorganic cellulose sorbent "Anfezh" (Russian Patent 2021009 dated 15.10.93; American patent 5.407.889 dated 18.04.95) has a high capacity to hold cesium isotopes [7]. Various sorbents including "Anfezh" are compared in the work [8], their effectiveness in fresh and sea water.

Preparation of a sorbent. The necessary quantity of a sorbent, selected with a measured volume of 100 ml, is placed in a chemical glass, filled in with hot water (70–900 °C) and maintained not less than 30 minutes.

Sorbing course. 120 L of water (to the edges) is placed in a barrel (Fig. 2.5). Water suspension of a sorbent is transferred from a beaker to a sorption column (the column is filled up to the height of 10–12 cm) and on input they give the sample of the analyzed water filtered from a suspension providing water speed in a column no more than 80 cm/min. (600–700 ml/min.) [9].

After passing the sample the sorbent is unloaded from the column into a polyethylene package, marked and sent for gamma spectrometry analysis. The rest of the sample is poured out.

Method of ^{90}Sr sedimentation from sea water samples

Plastic 20 litre containers: barrels, buckets, canisters can be used for elements sedimentation of group 2 of D.I. Mendeleev's periodic system from sea water samples. Each sample is "planted" in a

<p>канистр каждая проба «высаживается» в отдельной канистре.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. В пластиковую емкость налить 20 литров анализируемой морской воды. 2. Автоматической пипеткой внести 10 мл (2 раза набрать) стандартного раствора носителя стронция, тщательно перемешать стеклянной палочкой. 3. В раствор пробы добавить 6M соляную кислоту (50-100 мл) до pH 3–4, тщательно перемешать. 4. Затем пробу воды нейтрализуют раствором аммиака (50–100 мл) до pH 7–8, тщательно перемешать. pH проверяют при помощи универсальной индикаторной бумаги. 5. После этого в емкость с водой при перемешивании добавляют горячий 20% раствор Na_2CO_3, раствор мутнеет, выпадает хлопьевидный осадок. Для формирования осадка раствор выдерживают 2 суток, надосадочная жидкость должна быть прозрачной. Жидкую часть пробы декантируют не задевая осадок, который в дальнейшем транспортируют в лабораторию. <p><i>Приготовление горячего 20% раствора Na_2CO_3.</i></p> <p>В химический стакан объемом 1,2-1,5 литра всыпать 160 г Na_2CO_3, долить 640 мл дистиллированной воды, перемешать и нагреть при перемешивании до полного растворения.</p> <p><i>Методика отбора проб верхнего (0-2 см) слоя донного осадка</i></p> <p>Для взятия проб донного осадка использовался утяжеленный дночерпатель ван Вина с площадью захвата 0.1 м². После извлечения дночерпателя с грунтом на палубу, через окошки в пластиковую емкость отбирался верхний слой донного осадка 0-2 см толщиной (рис. 2.5). Промаркированная емкость с донным осадком отправлялась на хранение в морозильную камеру для доставки в лабораторию.</p> <p>Пробы грунта на литорали губ Сайда и Гремиха были взяты при отливе непосредственно с обнаженной поверхности осадка или с помощью почвенного пробоотборника при обилии грубого каменного материала в осадке (рис. 2.9 и 2.10).</p>	<p>separate canister when using canisters.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pour 20 litres of analyzed seawater into the plastic container. 2. Add 10 ml (gather 2 times) of standard strontium carrier solution with automatic pipette, mix thoroughly with glass rod. 3. Add 6M hydrochloric acid (50-100 ml) to pH 3–4 to sample's solution, mix carefully. 4. Then water sample is neutralized with ammonia solution (50-100 ml) to pH 7–8, mix carefully. The pH is checked with a universal indicator paper. 5. After that a hot 20% Na_2CO_3 solution is added to the water container with stirring, the solution grows turbid, flocculent precipitate is dropped out. The solution is held for 2 days to form the deposit, the supernatant liquid must be clear. Sample's liquid part is decanted without touching deposit which is further transported to laboratory. <p><i>Preparation of hot 20% Na_2CO_3 solution.</i></p> <p>Pour 160 g of Na_2CO_3 into a beaker of 1,2-1,5 liters, add 640 ml of distilled water, stir and heat with stirring until complete dissolution.</p> <p><i>Sampling technique of upper (0-2 cm) layer of bottom deposit</i></p> <p>Weighted Van Veen Grab Sampler with a capture area of 0.1 m² was used to sample the bottom deposit. The top layer of bottom deposit of 0-2 cm thick was taken through the windows into the plastic container after extraction of the Grab Sampler with soil onto the deck (Fig. 2.5). The marked tank with bottom deposit was sent for storage to the freezer for delivery to the laboratory.</p> <p>Soil samples on the littoral of Saida and Gremikha Bays were taken when casting directly from the exposed surface of the deposit or using a soil sampler at abundance of rough stone material in the deposit (Figures. 2.9 и 2.10).</p>
---	---



Рис. 2.10. Отбор проб поверхностного слоя донного осадка на литорали /

Fig. 2.10. Surface layer sampling of the bottom deposit on the littoral

Методика отбора кернов донного осадка.

Для отбора и хранения кернов донного осадка были подготовлены пластиковые трубки с внутренним диаметром 10 см. КERN вырезался из объёма грунта, взятого дночерпателем ван Вина. Для этого пластиковая трубка вставлялась в окошко дночерпателя (рис. 2.5). Под нижним отверстием трубки грунт фиксировался пластиковой заслонкой. После извлечения трубки из дночерпателя ее отверстия с двух сторон упаковывались фольгой (рис. 2.11). Далее трубка запечатывалась в полиэтилен и отправлялась на хранение в морозильную камеру для доставки в лабораторию.

Selection method of bottom deposit cores.

Plastic tubes with an internal diameter of 10 cm were prepared for selection and storage of bottom deposit cores. Core was cut from a soil volume taken by Van Veen Grab Sampler. For this purpose, the plastic tube was inserted into the Grab Sampler's window (Fig. 2.5). The soil was fixed by a plastic shutter under the lower opening of the tube. After the tube extraction from the Grab Sampler its openings were packed by foil with both sides (Fig. 2.11). Then the tube was sealed into polyethylene and sent for storage to the freezer for delivery to the laboratory.



Рис. 2.11. Пластиковый пробоотборник и вырезанный керн донного осадка /
Fig. 2.11. Plastic sampler and cut core of bottom deposit

<p><i>Методика сбора макрофитов</i></p> <p>Отбор водорослей на литорали и верхней сублиторали в период малой воды производился вручную (рис. 2.12). Собранные макрофиты были упакованы и отправлены на хранение в морозильную камеру для дальнейшего анализа в лаборатории.</p>	<p><i>Method of macrophytes collecting</i></p> <p>The selection of algae on the littoral and upper sublittoral during the low water period was carried out manually (Fig. 2.12). The collected macrophytes were packaged and sent for storage in the freezer for further analysis in the laboratory.</p>
---	--



Рис. 2.12. Отбор проб водорослей-макрофитов на литорали / Fig. 2.12. Algae-macrophytes sampling on littoral

Сводная информация о проведении лабораторного анализа собранных проб представлена в табл. 2.4 / Summary information of carried out laboratory analysis of collected samples is given in Table 2.4

Таблица 2.4

Список проб, анализируемых в лабораториях ММБИ и Химического факультета МГУ

Тип пробы	Лаборатория	Станция, №	Количество проб	Определяемые параметры
Вода	ММБИ	НИС «Дальние Зеленцы»: 1,2,3,5,7,9,11,15, 16, 18,19,20,21,22,23,24,25 губа Сайда Гремиха	-поверхностный слой воды - 18 -придонный слой воды - 9 -Surface water - 2 -Surface water - 2	^{137}Cs , ^{90}Sr
Колонки донного осадка	ММБИ	1,2,3,5,9,11,22	49	^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{152}Eu , ^{60}Co , ^{238}U , ^{232}Th ;
	Лаборатория МГУ	2,3,7,11	слои осадка - 28	^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{90}Sr , ^{238}U , ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{210}Pb
Донные отложения (0-2 см)	ММБИ	НИС «Дальние Зеленцы»: 1,2,3,5,6,7,8,9,11,13, 14,15, 16,18,19, 20,21,22,23,24,25 губа Сайда Гремиха	21 2 2	^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{152}Eu , ^{60}Co , ^{232}Th , ^{241}Am
	Лаборатория МГУ	НИС «Дальние Зеленцы»: 1,5,9,14,15,16,18,19, 20,21,22,23,24, 25	18	^{90}Sr , ^{238}U , ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$
Биота	ММБИ	НИС «Дальние Зеленцы»; губа Сайда Гремиха	10	^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{152}Eu , ^{60}Co , ^{241}Am , ^{232}Th
Всего:			157	

Table 2.4

Samples list analyzed in MMBI laboratories and Chemical Faculty
of the Moscow State University (MSU)

Sample type	Laboratory	Station, №	Number of samples	Determined parameters
Water	MMBI	RV «Dalnie Zelentsy»: 1,2,3,5,7,9,11,15, 16, 18,19,20,21,22,23,24,25 Saida Bay Gremikha	-water surface layer - 18 - water benthonic layer - 9 -Surface water - 2 -Surface water - 2	^{137}Cs , ^{90}Sr
Bottom sediment's columns	MMBI	1,2,3,5,9,11,22	49	^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{152}Eu , ^{60}Co , ^{238}U , ^{232}Th ;
	Laboratory MSU	2,3,7,11	sediment's layers - 28	^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{90}Sr , ^{238}U , ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{210}Pb
Bottom deposits (0-2 cm)	MMBI	RV «Dalnie Zelentsy»: 1,2,3,5,6,7,8,9,11,13, 14,15, 16,18,19, 20,21,22,23,24,25 Saida Bay Gremikha	21 2 2	^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{152}Eu , ^{60}Co , ^{232}Th , ^{241}Am
	Laboratory MSU	RV «Dalnie Zelentsy»: 1,5,9,14,15,16,18,19, 20,21,22,23,24, 25	18	^{90}Sr , ^{238}U , ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$
Biota	MMBI	RV «Dalnie Zelentsy»; Saida Bay Gremikha	10	^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{152}Eu , ^{60}Co , ^{241}Am , ^{232}Th
In total:			157	

2.3. Методы лабораторного анализа проб и измерений

Для анализа объемной активности ^{137}Cs в пробах воды проведено сорбционное концентрирование цезия из аликвоты объемом 100 л на целлюлозно-неорганическом сорбенте «Анфеж»[9].

Донные осадки на литоральной отмели отбирали с помощью металлического и пластикового почвоотборников ($\varnothing = 10$ см) во время отлива. В открытых районах моря осадки отбирали дночерпателем ван-Вина. Керны донного осадка длиной 12–14 см вырезались пластиковым пробоотборником из центральной части поднятого на борт судна образца. В дальнейшем керны осадка были разрезаны на слои толщиной 1 см или 2 см. Пробы осадка просушены при температуре 105°C и просеяны через геологическое сито.

Образцы водорослей-макрофитов семейства фукусов (*Fucaceae*) собраны на

2.3. Laboratory analysis methods of samples and measurements

Sorption concoction of cesium was carried out from aliquot with volume of 100 L on cellulose-inorganic sorbent "Anfezh" for analysis of volume activity of ^{137}Cs in water samples [9].

Bottom sediments were collected on the littoral shallow using metal and plastic soil samplers ($\varnothing = 10$ cm) during casting. Deposits were taken in sea open areas by Van Veen Grab Sampler. Bottom deposit cores of 12–14 cm long were cut out by the plastic sampler from the central part of the sample lifted aboard vessel. Further the deposit cores were cut into layers of 1 cm or 2 cm thickness. Deposit samples are dried at 105°C temperature and sieved through a geological sieve.

Algae-macrophytes samples of fucuses family (*Fucaceae*) were collected on the

обсыхающей части литорали. Пробы, высушенные при температуре 105°C, были измельчены в мельнице и растерты в фарфоровой ступке до однородной массы.

Радиологический анализ сорбента «Анфеж», донных отложений, морской биоты выполнен в аналитических лабораториях ММБИ и МГУ им. М.В. Ломоносова. В ходе совместной работы проведена интеркалибрация методов измерения, показавшая хорошее согласование результатов.

Из комплекса техногенных радионуклидов в пробах воды определяли содержание радиоизотопов ^{137}Cs и ^{90}Sr . В водорослях и в створках моллюсков анализировали содержание ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr , ^{152}Eu , ^{241}Am , ^{60}Co , $^{239,240}\text{Pu}$. В донных осадках дополнительно анализировали активность ^{210}Pb и ^{238}U .

Измерения активности γ -излучающих нуклидов ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{152}Eu , ^{60}Co и естественных радионуклидов ^{232}Th и ^{210}Pb выполнены на γ -спектрометрической установке («Canberra», США) с детектором из чистого германия, спектрометре γ - и рентгеновского излучения b13237 («Canberra», США) [10]. Для анализа спектров использовано базовое программное обеспечение Genie-2000 (рис. 2.13).

drying part of the littoral. Samples, dried up at the temperature of 105°C, were ground in a mill and pounded in a porcelain mortar to homogeneous mass.

Radiological analysis of "Anfezh" sorbent, bottom sediments, marine biota is performed in analytical laboratories of MMBI and Moscow State University named after M.V. Lomonosov. Intercalibration of measurement methods was carried out in the course of joint work showing good results coordination.

Radioisotopes content of ^{137}Cs and ^{90}Sr was determined from the complex of technogenic radionuclides in water samples. Content ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr , ^{152}Eu , ^{241}Am , ^{60}Co , $^{239,240}\text{Pu}$ was analyzed in seaweeds and in mollusks shutters. The activity of ^{210}Pb and ^{238}U was analyzed in addition in the bottom deposits.

Activity measurements of γ -emitting nuclides ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{152}Eu , ^{60}Co and natural radionuclides ^{232}Th and ^{210}Pb are performed on γ -spectrometer installation ("Canberra", USA) with a detector from pure germanium, spectrometer γ - and x-ray radiation b13237 ("Canberra", USA) [10]. Basic Genie-2000 software is used for spectrum analysis (Fig. 2.13).

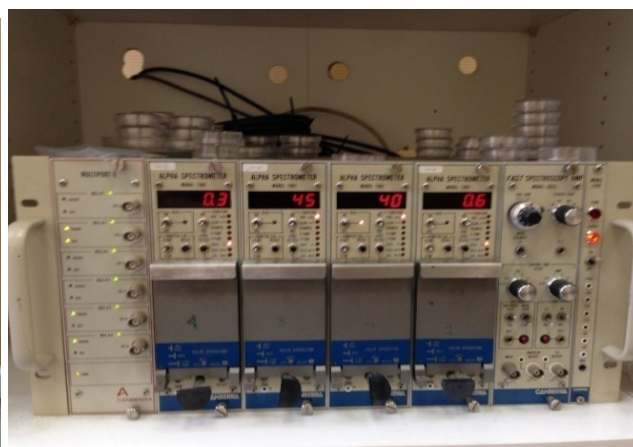


Рис. 2.13. Гамма-спектрометрический (а) и рентгеноспектрометрический (б) комплексы фирмы Canberra (а). Гамма-спектр образца донного осадка (в) / Fig. 2.13. Gamma spectrometry (a) and roentgen-spectrometry (б) equipment by Canberra (а). Gamma spectrum of bottom sediment sample (в)

<p>Анализ активности ^{90}Sr выполнен радиохимическим методом с окончанием на сцинтиляционной установке «LS 6500» Вестманн. Удельную активность ^{90}Sr в пробе определяли посредством измерения активности изотопа ^{90}Y. Для радиохимического выделения ^{90}Sr пробы грунта и биоты обугливалась в муфельной печи при температуре 700°C. Активность изотопов ^{238}U, ^{241}Am, ^{238}Pu, $^{239,240}\text{Pu}$ определена на α-спектрометре Model 7401 Canberra (США) после радиохимической подготовки проб (рис. 2.14).</p>	<p>The analysis of ^{90}Sr activity was performed by radiochemical method with termination at scintillation installation "LS 6500" Becmann. The specific activity of ^{90}Sr in the sample was determined by means of measuring of ^{90}Y isotope activity. Soil and biota samples were charred in a muffle furnace at the temperature of 700°C for radiochemical allocation of ^{90}Sr. Isotopes activity of ^{238}U, ^{241}Am, ^{238}Pu, $^{239,240}\text{Pu}$ was determined on α-spectrometer Model 7401 Canberra (USA) after radiochemical samples preparation (Fig. 2.14).</p>
---	--



а



б

Рис. 2.14. Сцинтиляционный измерительный комплекс «LS-6500» (а) и альфа-спектрометр Model 7401 фирмы Canberra (б) /

Fig. 2.14. Scintillation measuring complex «LS-6500» (a) and alpha spectrometer Model 7401 by Canberra (б)

<p>Концентрация радионуклидов в донном осадке выражена на единицу сухой массы осадка.</p> <p>Концентрация радионуклидов в водорослях-макрофитах выражена на единицу сухой массы водорослей.</p> <p>Результаты лабораторного анализа проб представлены в таблицах в приложениях № А1-А5; В1-В5; С1-С7 «Результаты химико-лабораторного анализа».</p>	<p>Radionuclides concentration in the bottom deposit is expressed on unit of dry weight of deposit.</p> <p>The concentration of radionuclides in algae-macrophytes is expressed on unit of dry weight of algae.</p> <p>Laboratory analysis results of samples are presented in tables in annexes A1-A5; B1-B5; C1-C7 "Chemical Laboratory Analysis Results."</p>
---	--

3. Радиоэкологическое состояние морской среды и биоты в районе эвакуации ОЯТ в Мурманском прибрежье

3.1. Радиоэкологическое состояние морской среды в Мотовском и Кольском заливах

Загрязнение Баренцева моря определяется, главным образом, трансокеаническим переносом радиоактивных веществ. Однако в прибрежной зоне Кольского полуострова дополнительное загрязняющее воздействие оказывает эмиссия радионуклидов объектами инфраструктуры атомного флота в процессе обращения с РАО и ОЯТ. Наиболее значимым с точки зрения радиоэкологического риска представляется хранилище радиоактивных отходов в губе Андреева и операции эвакуации ОЯТ в Мурманск [1].

Исследованиями 2013–2014 гг. показано, что и в настоящее время в водной среде губы Андреева объемная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr значительно выше регионального фона. Средняя объемная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr составляет 3 Бк/м³ и 26 Бк/м³, соответственно. Отсюда поток опресненной относительно загрязненной воды через устье губы Западная Лица поступает в Мотовский залив, в верхнем слое вод которого средняя объемная активность ^{137}Cs составляет 1,6 Бк/м³, а ^{90}Sr – 3,9 Бк/м³. Далее в Мотовском заливе этот поток размывается, а их концентрация от устья губы к выходу в открытое море снижается. На общем фоне различия объемной активности радионуклидов, особенно ^{137}Cs , невелики и зависят от стока из губы Западная Лица. Различия концентраций ^{90}Sr выражены отчетливо. Кроме этого, на источник радионуклидов указывает изменчивость соотношения удельной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr , величина которого при смешении вод увеличивается в направлении от устья губы к выходу в море от 0,25 до 0,75.

Для донных отложений губы Андреева характерно высокое содержание ^{137}Cs , ^{90}Sr и изотопов плутония. Концентрация ^{238}Pu составляет 2,5–15 Бк/кг, $^{239,240}\text{Pu}$ – 2–5 Бк/кг сухого осадка. В донных осадках морского прибрежья удельная

3. Radioecological state of marine environment and biota in SNF evacuation area in Murmansk foreshore

3.1. Radioecological state of the marine environment in Motovsky and Kola Bays

Barents Sea pollution is mainly determined by transoceanic transfer of radioactive substances. However in the coastal zone of the Kola Peninsula radionuclides emission has an additional polluting influence by nuclear fleet infrastructure facilities during the handling of RW and SNF. The most significant from the point of view of radioecological risk is the storage of radioactive waste in Andreeva Bay and evacuation operations of SNF to Murmansk [1].

It is shown by 2013–2014 research that even now the volume activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr is much higher than regional background in Andreeva Bay water environment. Average volume activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr is 3 Bq/m³ and 26 Bq/m³ respectively. From here the stream of desalinated relatively polluted water through the estuary of Zapadnaya Litsa Bay arrives to Motovsky Bay in top waters layer of which the average volume activity of ^{137}Cs is 1,6 Bq/m³ and ^{90}Sr is 3,9 Bq/m³. Further this flow is washed away in Motovsky Bay and their concentration is reduced from bay estuary to the exit of the high sea. Distinctions of radionuclides volume activity, especially ^{137}Cs , are small on the general background and depend on a drain from Zapadnaya Litsa Bay. Differences of ^{90}Sr concentrations are clearly expressed. Besides variability of a ratio of ^{137}Cs and ^{90}Sr specific activity points on a source of radionuclides which size increases at mixture of waters in the direction from the bay estuary to exit in the sea from 0,25 to 0,75.

High content of ^{137}Cs , ^{90}Sr and plutonium isotopes is characteristic for bottom sediments of Andreeva Bay. ^{238}Pu concentration is 2,5–15 Bq/kg, $^{239,240}\text{Pu}$ is 2–5 Bq/kg of dry deposit. The specific activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr is much lower in the bottom deposits of the sea

активность ^{137}Cs и ^{90}Sr значительно ниже. Их распределение не имеет устойчивых пространственных тенденций и больше зависит от рельефа дна. По маршруту естественного транзита загрязнений от источника в губе Андреева, обнаруживаются лишь сглаженные следы эмиссии изотопов, проявляющиеся как фрагментные повышения концентрации ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu и $^{239,240}\text{Pu}$, в воде и донных отложениях над средним уровнем. Суммарная активность изотопов низкая, ниже норм санитарной радиационной безопасности.

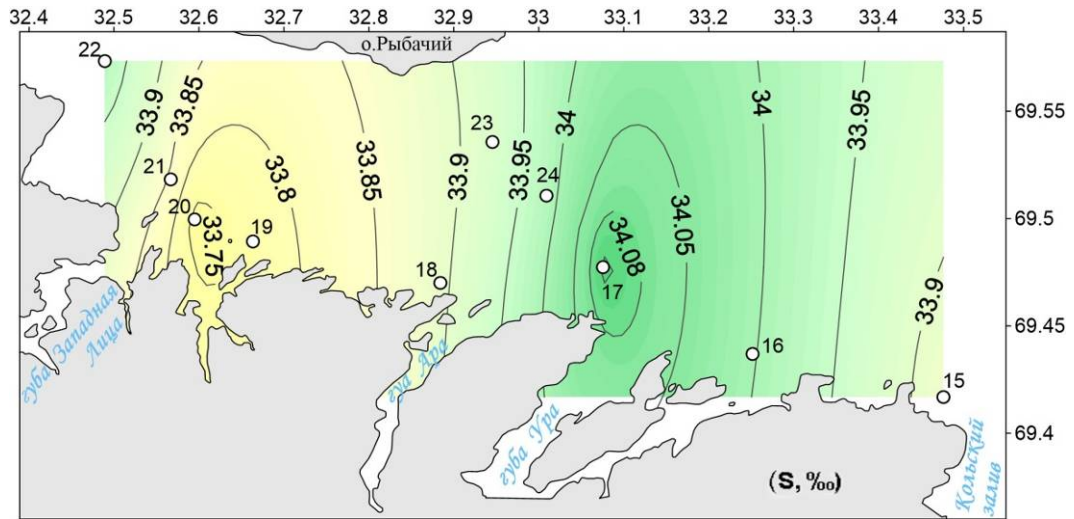
Таким образом, было подтверждено влияние стоков губы Андреева и сток из губы Западная Лица на концентрацию радионуклидов в прибрежье Мотовского залива.

Исследования, проведенные в 2017 г., дали возможность расширить и детализировать представления о степени влияния на морское побережье стока техногенных радиоизотопов из губы Андреева. Было изучено распространение ^{137}Cs , ^{90}Sr не только в верхнем слое вод, но и в глубинных слоях. Одновременное изучение гидрологической ситуации в Мотовском заливе позволило обосновать главные закономерности перераспределения радионуклидов на акватории залива. В частности, распределение солёности воды в поверхности и на глубинном профиле указывает на то, что основной поток воды из губы Западная Лица поступает в верхний слой водной массы Мотовского залива до 40–50 м и смещается на северо-восток к выходу из залива (рис. 3.1).

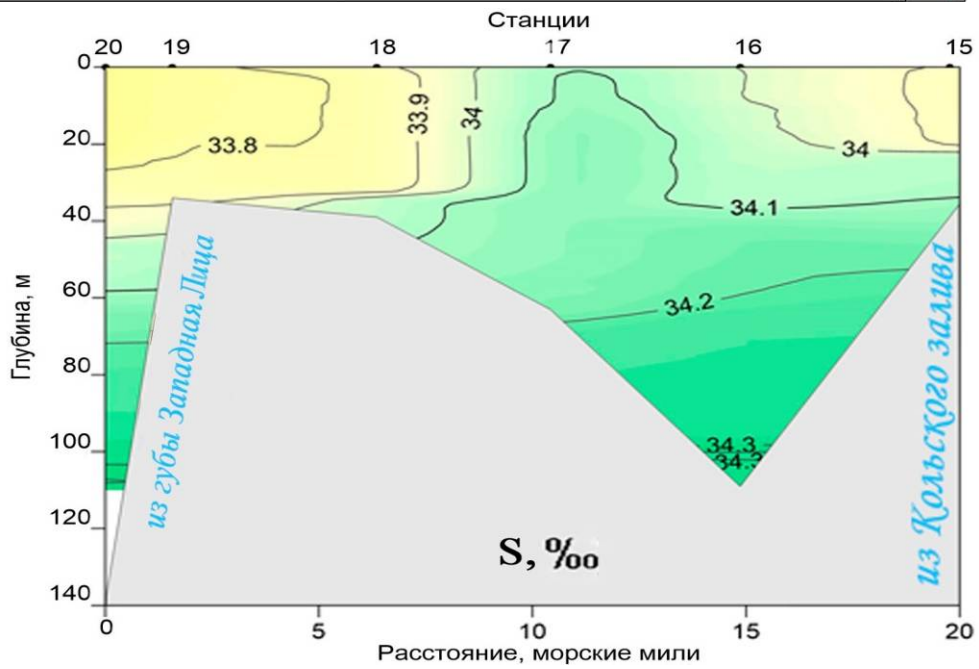
foreshore. Their distribution has no steady spatial trends and depends more on the bottom relief. Only smoothed traces of isotopes emission are found on the route of pollutions natural transit from a source in Andreeva Bay which are shown as fragmentary increases of concentration of ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu and $^{239,240}\text{Pu}$ in water and bottom sediments over the average level. The total activity of isotopes is low, below the norms of sanitary radiation safety.

Thus the influence of Andreeva Bay drains and Zapadnaya Litsa Bay drain was confirmed on radionuclides concentration in the Motovsky Bay coastal area.

Research works conducted in 2017 provided an opportunity to expand and detail representations about the degree of influence on the sea foreshore of the technogenic radioisotopes drain from Andreeva Bay. Distribution of ^{137}Cs , ^{90}Sr was studied not only in top layers of waters but also in deep layers. Simultaneous study of the hydrological situation in Motovsky Bay allowed to prove the main regularities of radionuclides redistribution on the bay water area. In particular the salinity distribution of water in the surface and on the deep profile indicates that the main water flow from Zapadnaya Litsa Bay arrives in the upper layer of Motovsky Bay water mass up to 40-50 m and displaces to the north-east to the exit from the bay (Fig. 3.1).



а



б

Рис. 3.1. Соленость вод (‰) Мотовского залива в поверхностном слое (а) и на вертикальном профиле (б), 2017 г.

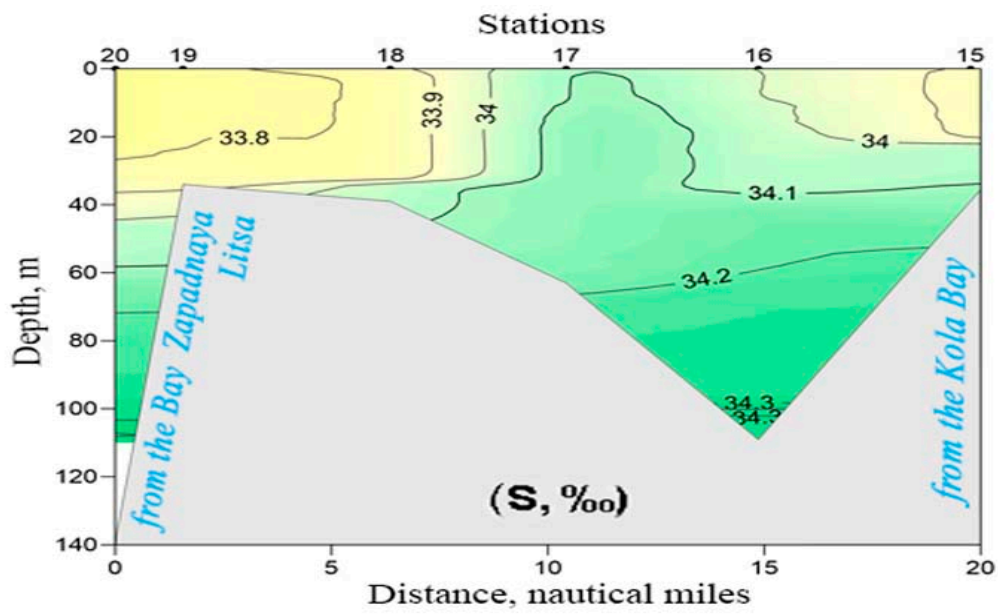
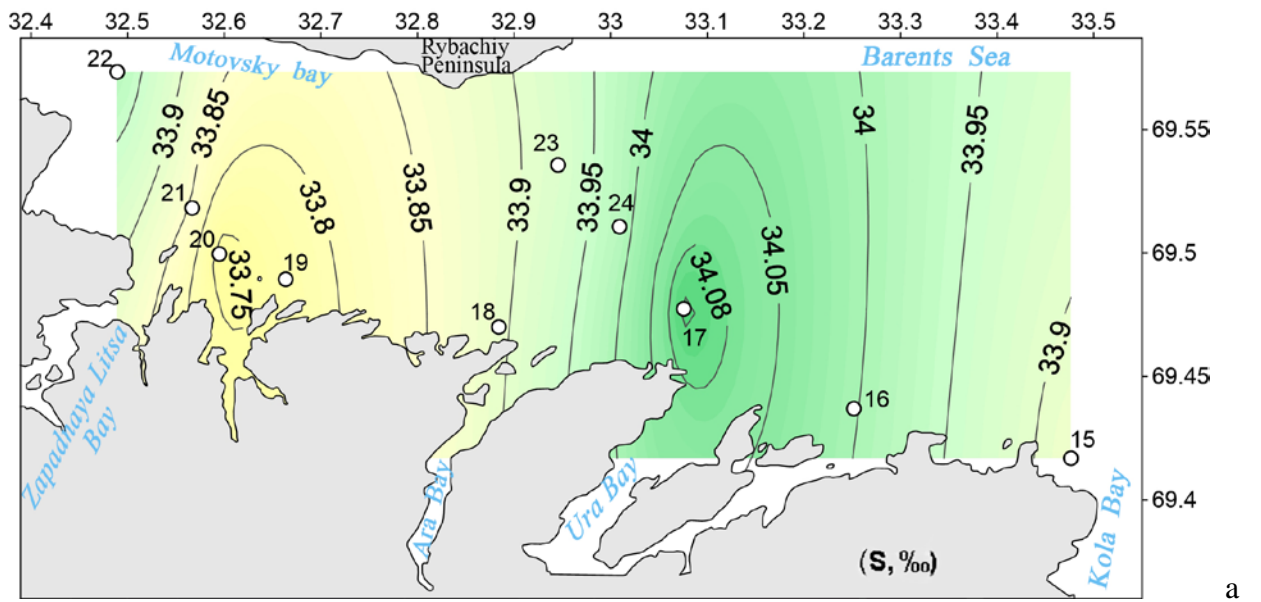


Fig. 3.1. Waters salinity (‰) of Motovsky Bay in surface layer (a) and on vertical profile (b), 2017

Распространение этого потока ограничивают воды, поступающие из Баренцева моря с иными солёностью, температурой, геохимическими свойствами, и радиационными характеристиками. На карте распределения ^{137}Cs хорошо виден поток радионуклидов, выходящий из устья Западной Лицы и направленный в открытое море (рис. 3.2).

Максимальная концентрация этого изотопа отмечена в струях слабосоленой воды, поступающей из губы как стоковое течение в верхнем 40-метровом слое. Подтверждением этому служит коэффициент корреляции между солёностью воды и объемной активностью радиоизотопов. Солёность принята в качестве главного маркера потока вод из губы Западная Лица, в котором она понижена. Обнаружена обратная корреляционная связь солёности с концентрацией ^{137}Cs в верхнем слое воды ($r=-0,58$ при $P_1=0,95$, $n=12$). Достоверность вычисленного коэффициента корреляции подтверждена с помощью критерия Стьюдента. Таким образом, роль губы как источника радионуклидов в прибрежье подтверждается статистическим расчетом. Разбавление концентрации радионуклида происходит по мере смешения потока малосоленых вод с морской водой из Баренцева моря.

Глубинные и придонные горизонты заполнены водной массой, поступившей из открытого моря (рис. 3.3). В этих слоях концентрация цезия существенно снижена и соответствует фоновой для вод прибрежной зоны открытого моря [12].

The spread of this flow is restricted by waters arriving from the Barents Sea with different salinity, temperature and geochemical properties and radiation characteristics. On the allocation map of ^{137}Cs the stream of radionuclides leaving Zapadnaya Litsa estuary and directed to the open sea (Fig. 3.2) is well visible.

The maximum concentration of this isotope is noted in light-salted water streams arriving from the bay as a current drain in the upper 40-meter layer. This is confirmed by the correlation coefficient between the salinity of water and the volumetric activity of radioisotopes. Salinity is accepted as the main marker of waters flow from Zapadnaya Litsa Bay in which it is lowered. It is detected the return correlation communication of salinity with concentration of ^{137}Cs in the top layer of water ($r=-0.58$ at $P_1=0.95$, $n=12$). The reliability of the calculated correlation coefficient is confirmed by the Student's criterion. Thus the bay role as a source of radionuclides in the foreshore is confirmed by statistical calculation. Dilution of radionuclide concentration occurs as light-salted waters flow mixes with seawater from the Barents Sea.

Deep and benthonic horizons are filled with water mass arriving from the high sea (Fig. 3.3). In these layers the concentration of cesium is significantly reduced and corresponds to the background for the waters of the coastal area of the high sea [12].

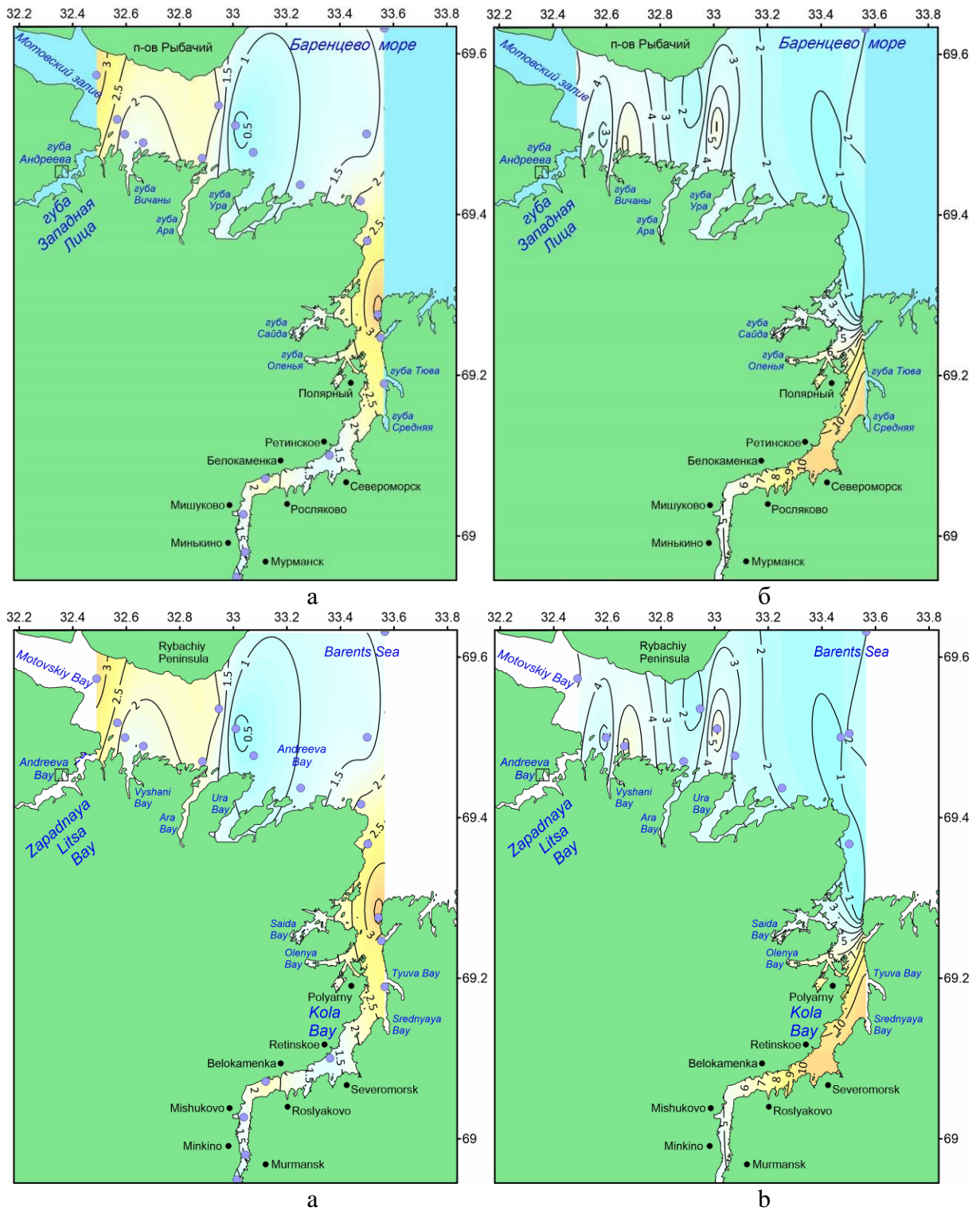


Рис. 3.2. Объемная активность ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в поверхностном слое воды, Бк/м³, 2017г./
 Fig. 3.2. Volume activity of ^{137}Cs (a) and ^{90}Sr (b) in a surface layer of water, Bq/m³, 2017

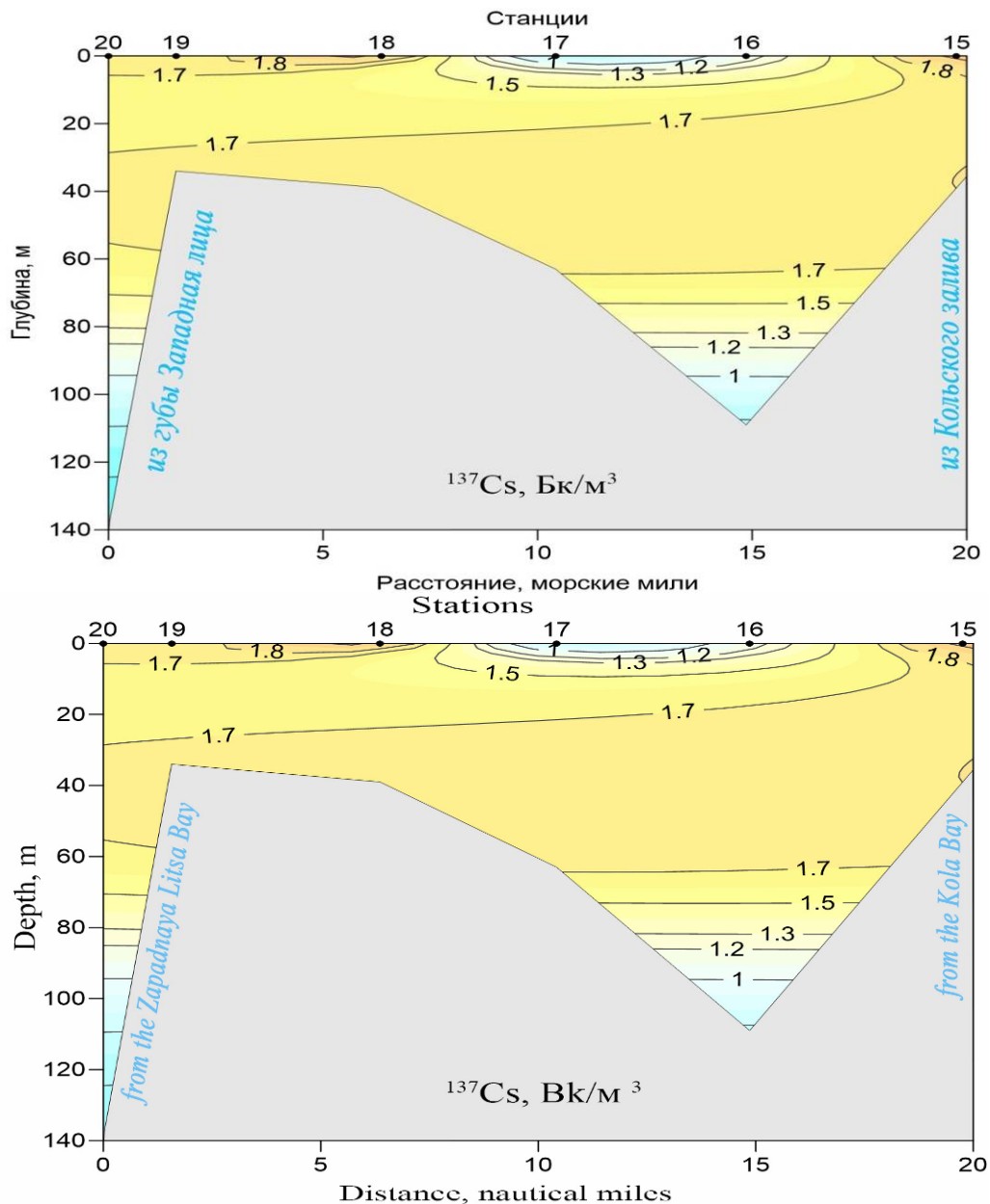


Рис. 3.3. Профиль объемной активности ^{137}Cs на разрезе в прибрежье Мотовского залива, 2017 г. /

Fig. 3.3. Profile of volume activity of ^{137}Cs on a section in the coastal area of Motovskiy Bay, 2017

<p>Еще одним источником радионуклидов в морском прибрежье может быть сток Кольского залива, что обусловлено влиянием инфраструктуры военного атомного флота (губы Пала, Оленья). В районе разгрузки стока из этих губ в устье залива их содержание повышено в верхнем ($^{137}\text{Cs} - 3.8 \text{ Бк/м}^3$, $^{90}\text{Sr} - 8.7 \text{ Бк/м}^3$) и в придонном ($^{137}\text{Cs} - 2.8 \text{ Бк/м}^3$, $^{90}\text{Sr} - 9.8 \text{ Бк/м}^3$) слоях воды (рис. 3.4).</p>	<p>One more source of radionuclides in the foreshore sea may be Kola Bay drain what is caused by the influence of military nuclear fleet infrastructures (Pala, Olenya Bays). Their contents are increased in top ($^{137}\text{Cs} - 3.8 \text{ Bq/m}^3$, $^{90}\text{Sr} - 8.7 \text{ Bq/m}^3$) and in benthonic ($^{137}\text{Cs} - 2.8 \text{ Bq/m}^3$, $^{90}\text{Sr} - 9.8 \text{ Bq/m}^3$) water layers in the area of drain unloading from these bays in the bay estuary (Fig. 3.4).</p>
--	---

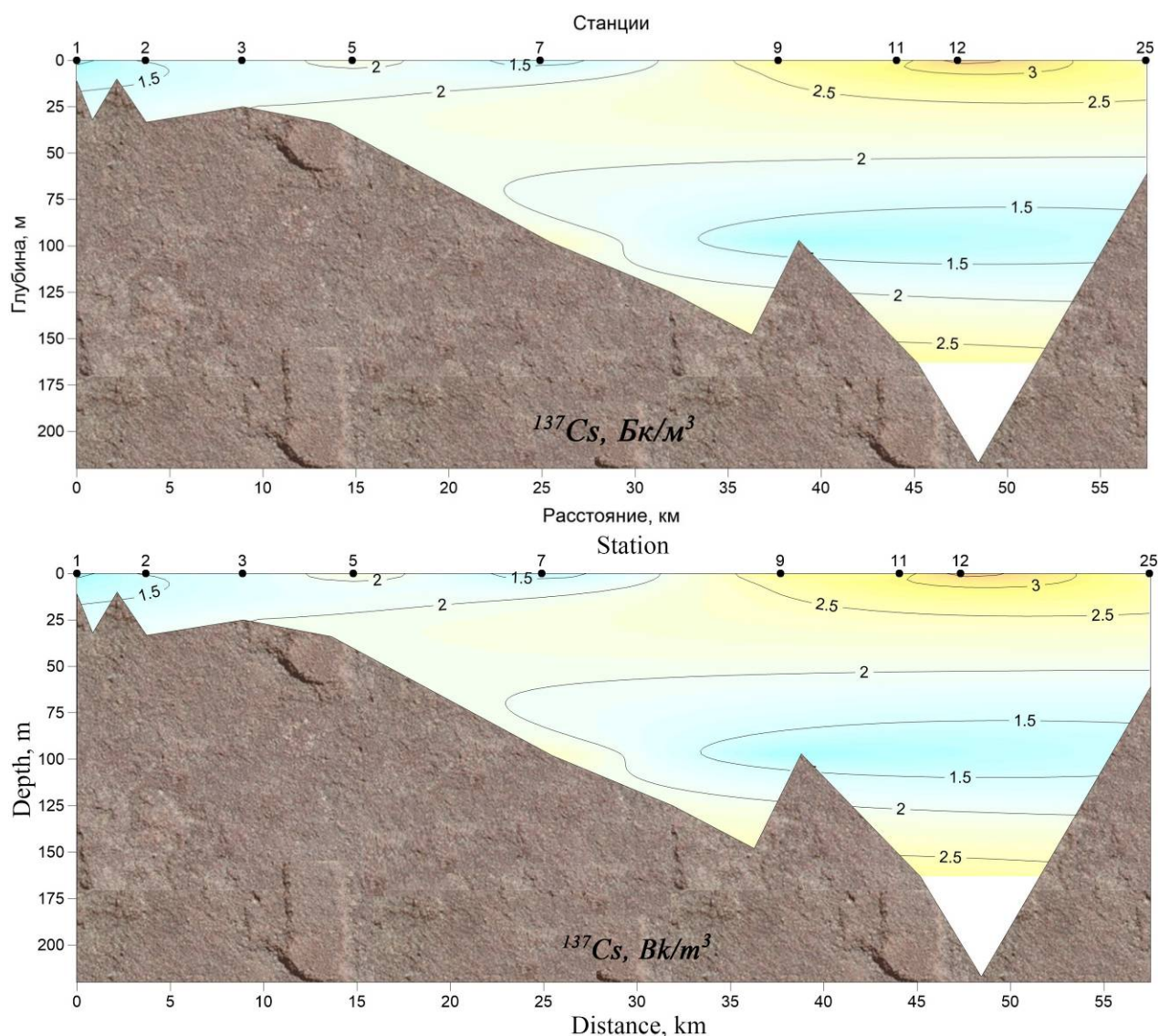


Рис. 3.4. Профиль объемной активности ^{137}Cs в Кольском заливе, 2017 г. /
 Fig. 3.4. Volume activity profile of ^{137}Cs in Kola Bay, 2017

Таким образом, в устье Кольского залива их концентрация остается более высокой, чем в Мотовском заливе. Средняя концентрация ^{137}Cs составила $2,5 \text{ Бк/м}^3$. В Мотовском заливе по данным наблюдений 2014 и 2017 гг. средняя концентрация этого изотопа почти не изменялась и составила $1,6 \text{ Бк/м}^3$. При ветрах восточных румбов существует вероятность эпизодического заноса более загрязненных стоковых вод из Кольского залива в Мотовский.

Геохимическая подвижность ^{90}Sr в морской среде мало связана с минеральной и органической взвесью. Его распределение в Мотовском заливе в большей степени обусловлено смешением вод в прибрежной зоне. Сток ^{90}Sr из губы Западная Лица распространяется в восточном направлении, что при смешивании с морской водой

Thus their concentration remains higher at Kola Bay estuary than in Motovsky Bay. Average concentration of ^{137}Cs made $2,5 \text{ Bq/m}^3$. The average concentration of this isotope almost did not change in Motovsky Bay according to observations in 2014 and 2017 and amounted to $1,6 \text{ Bq/m}^3$. There is a possibility of incidental drift of more contaminated stock waters from Kola Bay to Motovsky at eastern points winds.

The geochemical mobility of ^{90}Sr in marine environment has little to do with mineral and organic suspensions. Its distribution in Motovsky Bay is more due to the mixing of waters in the coastal area. The ^{90}Sr drain from Zapadnaya Litsa Bay spreads eastward that when mixing with seawater results to uneven of its distribution on the water area (Fig. 3.2

приводит к неравномерности его распределения на акватории (рис. 3.2 б). Распространение стронция соответствует общей закономерности, отмеченной в наблюдениях 2014 г. – из губы Андреева в морское побережье через губу Западная Лица. Вследствие разного рода природных факторов и ограниченности выборки корреляционная взаимосвязь солености с концентрацией ^{90}Sr в воде оказалась слабой ($r = -0.52$ при $P_1 = 0.95$, $n=11$). Ее достоверность не была подтверждена критерием Стьюдента [12].

В Кольском заливе, особенно в устье, концентрация ^{90}Sr повышена (рис. 3.2 б). К примеру, средняя объемная активность изотопа ^{90}Sr в воде Мотовского залива составляла 3.4 Бк/м^3 , а в воде Кольского – 4.5 Бк/м^3 , с максимумом в его северной части – до 10 Бк/м^3 . Соленость и концентрация ^{90}Sr в воде Кольского залива статистически достоверно взаимосвязаны ($r=0.62$ при $P_1=0.95$, $n=10$). Это подтверждает локализацию источника радионуклидов в устьевой части залива, где соленость воды повышена. Отсюда загрязнители выносятся в прибрежную зону моря течением.

В донных отложениях Мотовского залива относительно повышенные концентрации ^{137}Cs ассоциируется с углублениями донного рельефа (рис. 3.5). Прослеживается рост удельной активности в восточном направлении от источника (устье губы Западная Лица) по мере увеличения глубины и аккумуляции переносимой тонкодисперсной взвеси. В районе распространения стока по данным 2013-2014 и 2017 гг. установлена прямая достоверная корреляционная связь между удельной активностью ^{137}Cs и глубиной: $r=0.6$ при $P_1=0.95$, $n=22$. Для распределения ^{90}Sr такая связь оказалась недостоверной вследствие геохимических особенностей этого изотопа.

b). The spread of strontium corresponds to the general pattern noted in the observations of 2014 - from Andreeva Bay to the sea foreshore through Zapadnaya Litsa Bay. The correlation interrelation of salinity with ^{90}Sr concentration in water was weak ($r = -0.52$ at $P_1 = 0.95$, $n = 11$) due to various natural factors and limitation of the sample. Its reliability was not confirmed by Student's criterion [12].

The concentration of ^{90}Sr is increased in Kola Bay, especially in the estuary (Fig. 3.2 b). For example, the average volume activity of ^{90}Sr isotope of Motovsky Bay was 3.4 Bq/m^3 and in the water of Kola – 4.5 Bq/m^3 with maximum in its northern part - up to 10 Bq/m^3 . Salinity and ^{90}Sr concentration in Kola Bay water are statistically reliable interrelated ($r = 0.62$ at $P_1 = 0.95$, $n = 10$). This confirms the localization of radionuclides source in the estuarial part of the bay where water salinity is increased. The pollutants are carried from here to the coastal sea zone by the current.

Relatively increased ^{137}Cs concentrations are associated with a bottom relief in bottom sediments of Motovsky Bay (Fig. 3.5). Growth of the specific activity is traced eastward from the source (Zapadnaya Litsa Bay estuary) as depth increases and the accumulation of transferable finely dispersed suspension. Direct reliable correlation link is established between the specific activity of ^{137}Cs and depth: $r=0.6$ at $P_1=0.95$, $n=22$ in the area of drain distribution according to 2013-2014 and 2017. Such link turned out doubtful for ^{90}Sr distribution due to geochemical features of this isotope.

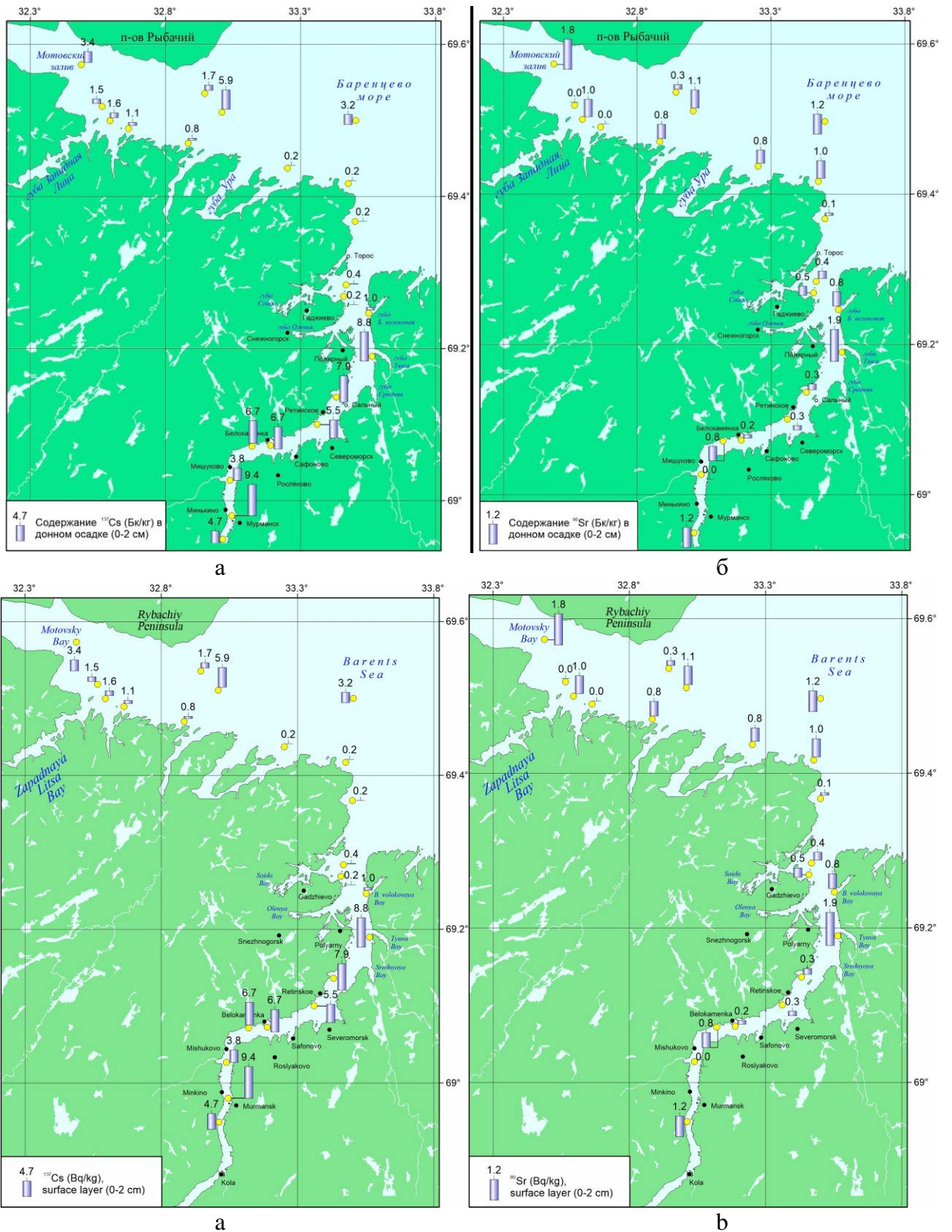


Рис. 3.5. Удельная активность ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в верхнем слое (0-2 см) донного осадка, Бк/кг сухой массы, 2017 г /
 Fig. 3.5. The specific activity of ^{137}Cs (a) and ^{90}Sr (b) in the upper layer (0-2 cm) of bottom sediments, Bq/kg of dry weight, 2017

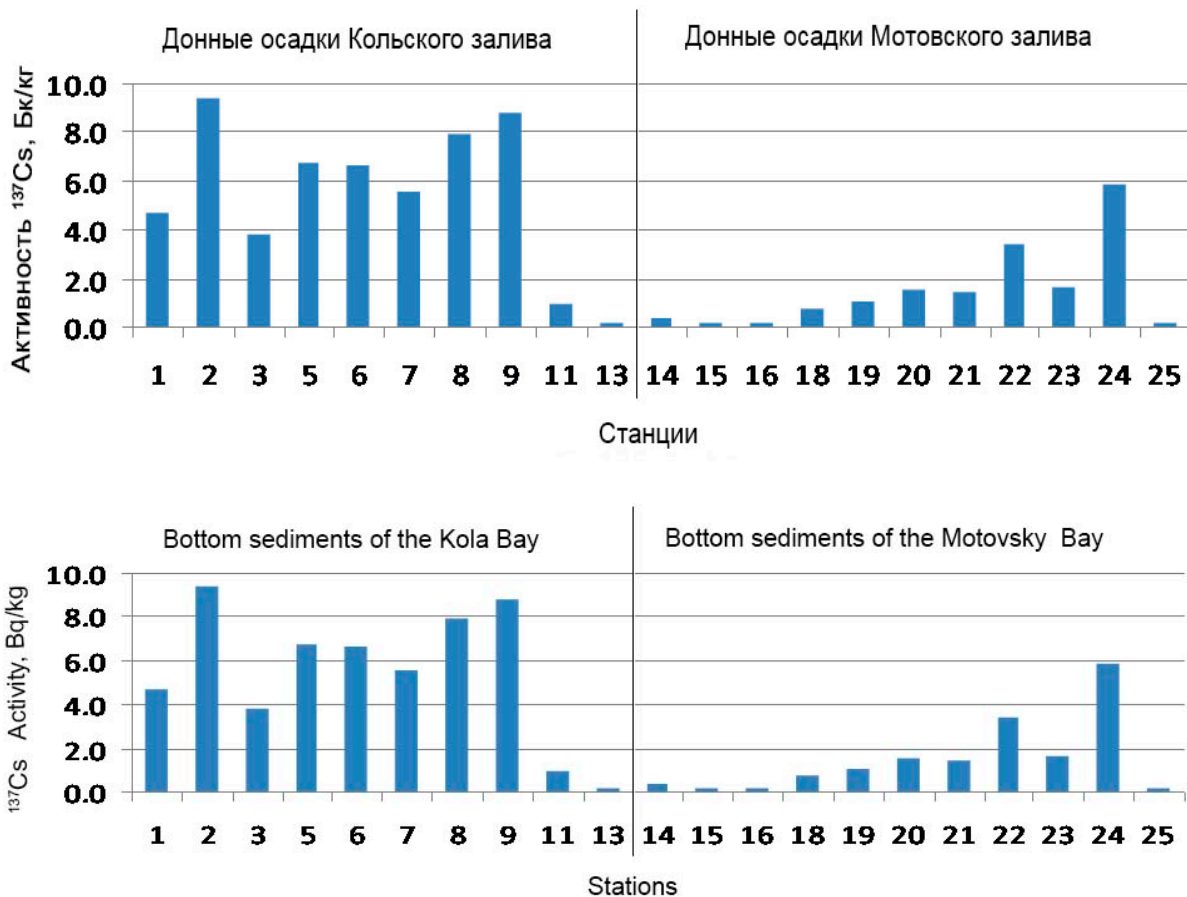


Рис. 3.6. Сравнительная удельная активность ^{137}Cs в верхнем слое (0-2 см) донного осадка Кольского и Мотовского заливов, 2017 г. /
 Fig. 3.6. Comparative specific activity of ^{137}Cs in the upper layer (0-2 cm) of bottom sediments in the Kola and Motovsky Bays, 2017

В Кольском заливе для рельефа дна характерны непрерывный рост глубины от вершины к устью и наличие порога в устьевой части. Порог определяет накопление осадочного материала в ковше залива. В соответствии с этим концентрация радионуклидов повышена в донных осадках средней и северной части залива (рис. 3.6). Удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в среднем составляет 4.6 Бк/кг и 0.6 Бк/кг сухого осадка, соответственно. В донных отложениях Мотовского залива среднее содержание ^{137}Cs варьирует от 2.5 Бк/кг в 2014 г. до 2 Бк/кг в 2017 г. Средняя концентрация ^{90}Sr в эти годы практически оставалась неизменной – 0.9 и 0.8 Бк/кг сухого осадка, соответственно. Осадки Кольского залива более загрязнены. Но в целом уровень загрязнения низкий, несравнимо ниже, чем в осадках губы Андреева.

Continuous growth of depth from top to estuary and the presence of a threshold in estuary part are characterized for the bottom relief in the Kola Bay. Threshold determines sedimentary material accumulation in the bay ladle. Radionuclides concentration is increased according to this in the bottom deposits of the middle and north part of the bay (Fig. 3.6). The specific activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr averages 4.6 Bq/kg and 0.6 Bq/kg of a dry deposit respectively. The average content of ^{137}Cs varies from 2.5 Bq/kg in 2014 up to 2 Bq/kg in 2017 in bottom sediments of Motovsky Bay. The average concentration of ^{90}Sr in these years remained unchanged – 0.9 and 0.8 Bq/kg of dry sediment respectively. Kola Bay deposits are more contaminated. But in general, the level of pollution is low, incomparably lower than in Andreeva Bay deposits.

<p>Радиоизотопы плутония ^{238}Pu и $^{239,240}\text{Pu}$ содержатся в донных осадках Кольского и Мотовского заливов эпизодически, так же как было показано и наблюдениями 2013-2-14 годов. В Кольском заливе станции, на которых обнаружены эти радионуклиды соответствуют участкам дна в Мурманском порту (ст. № 1), береговой базе ФГУП «Атомфлот» (ст. № 3), устью губы Сайда (ст. № 14). В Мотовском заливе участки расположены в прибрежной зоне вдоль потока прибрежных вод, в том числе по пути распространения стока из губы Западная Лица (ст. № 16, 18, 22). Концентрация ^{238}Pu и $^{239,240}\text{Pu}$ очень низкая. Однако, осадки Кольского залива содержат больше радиоактивного плутония (1.5-3.5 Бк/кг), чем осадки Мотовского залива (0.3-3.5 Бк/кг) (см. приложение А2).</p> <p>Радиоизотоп ^{152}Eu был равномерно распределен в донных отложениях Кольского и Мотовского заливов в очень низкой концентрации, на уровне минимального обнаружения (см. приложение А4). Во всех взятых пробах содержание ^{241}Am, ^{60}Co и ^{134}Cs было ниже минимально детектируемой активности.</p> <p>Результаты определения радионуклидов в собранных образцах воды и донного осадка приведены в таблицах А1 и А4 (Приложения А).</p>	<p>Plutonium radioisotopes of ^{238}Pu and $^{239,240}\text{Pu}$ are contained in the bottom deposits of Kola and Motovsky Bays sporadically just as observations of 2013-2-14 years have also been shown. In Kola Bay the stations at which these radionuclides are found correspond to the sites of the bottom in Murmansk Port (st. № 1), the coastal base of FSUE « Atomflot » (st. № 3), Saida Bay estuary (st. №14). Sites are located in the coastal area in Motovsky Bay along coastal waters flow including along the way of drain distribution from Zapadnaya Litsa Bay (st. № 16, 18, 22). The concentration of ^{238}Pu and $^{239,240}\text{Pu}$ is very low. However, Kola Bay deposits contain more radioactive plutonium (1.5-3.5 Bq/kg) than Motovsky Bay deposits (0.3-3.5 Bq/kg) (see annex A2).</p> <p>^{152}Eu radioisotope was evenly distributed in the bottom sediments of Kola and Motovsky Bays at a very low concentration at the level of minimum detection (see Annex A4). The content of ^{241}Am, ^{60}Co and ^{134}Cs was lower of the minimum detectable activity in all taken samples.</p> <p>The results of radionuclides determination in collected water and bottom deposit samples are given in Tables A1 and A4 (Annex A).</p>
--	---

<p>3.2. Радиоэкологическое состояние морской среды в губе Сайда</p> <p>В табл. 3.1 показаны результаты измерений образцов воды и донных отложений, собранных в губе Сайда (рис. 3.7). Уровень радиоактивного загрязнения воды в губе низкий. Концентрация ^{137}Cs составляет 2.3 Бк/м³, что соответствует загрязненности воды в Кольском заливе в районе ответвления губы Сайда. Содержание ^{90}Sr в воде (1.3 Бк/м³) ниже, чем в окружающих водах Кольского залива (~4 Бк/м³).</p>	<p>3.2. Radioecological state of the marine environment in the Saida Bay</p> <p>Table 3.1 shows measurements results of water and bottom sediments samples collected in Saida Bay (Fig. 3.7). The level of water radioactive contamination in the bay is low. ^{137}Cs concentration is 2.3 Bq/m³ which corresponds to water pollution in Kola Bay in Saida Bay branch area. ^{90}Sr content in the water (1.3 Bq/m³) is lower than in the surrounding waters of Kola Bay (~ 4 Bq/m³).</p>
---	--

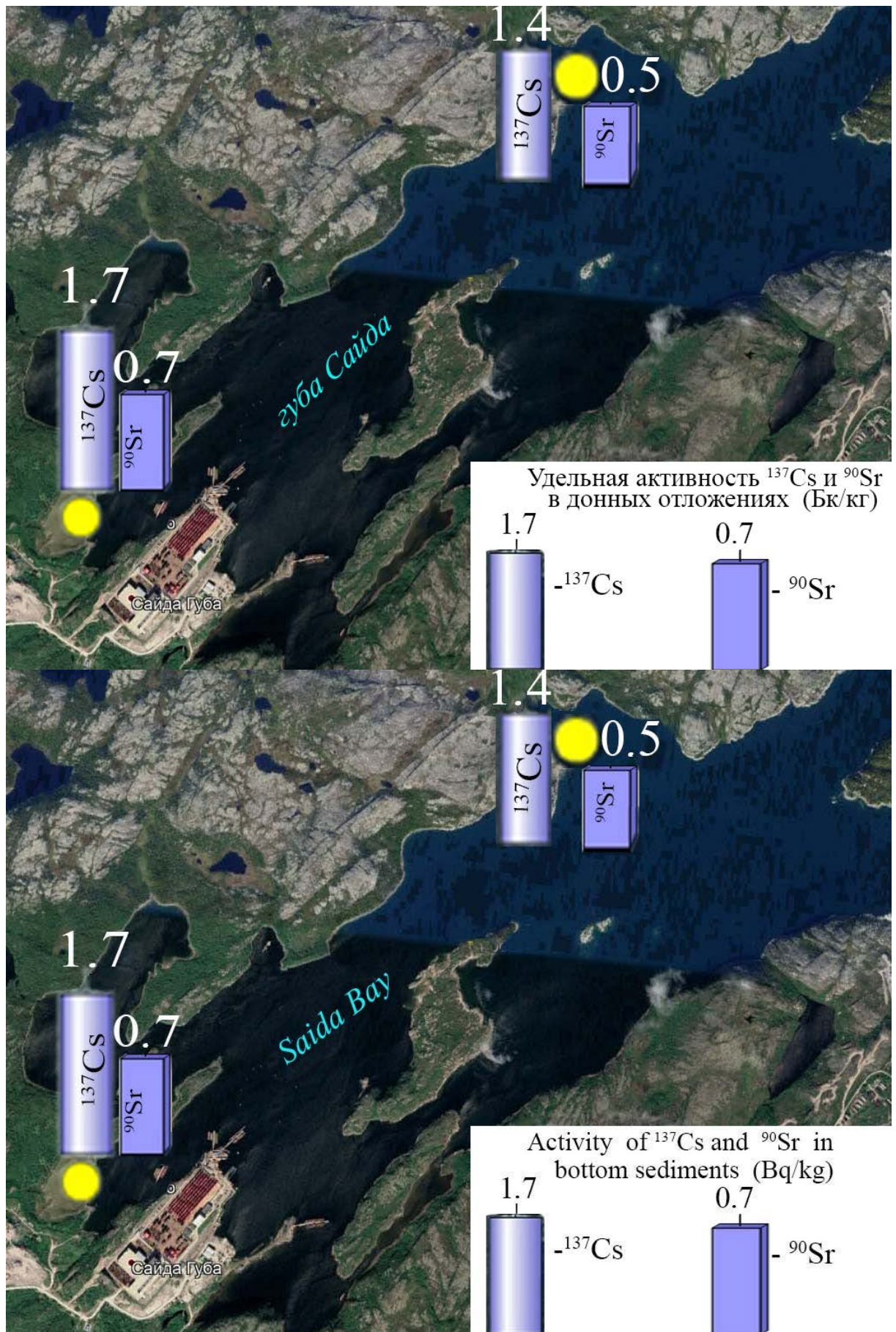


Рис. 3.7. Содержание радионуклидов в литоральном грунте в губе Сайда, 2018 г. /
 Fig. 3.7. Levels of radionuclides in the littoral sediments in the Saida Bay, 2018

<p>Донные отложения также не накапливают техногенные радионуклиды выше, чем в прилегающем устьевом районе Кольского залива за пределами подводного порога. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в разных участках губы Сайда – вблизи технологической площадки СЗЦ «СевРАО» и вдали от площадки практически не изменяется. Очевидно, существующий фон техногенных радионуклидов в осадках губы Сайда стабилен на протяжении длительного времени. Поступления короткоживущих радиоизотопов в среду не отмечено. Радиоизотопов ^{241}Am, ^{60}Co, ^{134}Cs, $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{152}Eu в донных осадках не было обнаружено (Приложения А2, А5).</p>	<p>Bottom sediments also do not accumulate technogenic radionuclides higher than in the adjacent estuary area of Kola Bay outside the underwater threshold. Distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr practically does not change in different sites of Saida Bay - near the technological platform of NWC «SevRAO» and away from the platform. Obviously the existing background of technogenic radionuclides has been stable for a long time in Saida Bay deposits. Arrivals of short-lived radioisotopes to the environment were not noted. Radioisotopes of ^{241}Am, ^{60}Co, ^{134}Cs, $^{239,240}\text{Pu}$ and ^{152}Eu were not found in bottom deposits (Annexes A2, A5).</p>
--	---

Таблица 3.1.

Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в морской среде губы Сайда, 2018 г.

№ станции	Дата	Координаты		Радионуклиды						
		с.ш.	в.д.	^{137}Cs	^{90}Sr	^{40}K	^{232}Th	$^{239,240}\text{Pu}$	^{226}Ra	^{152}Eu
Вода										
1	23.10.18	6914.892	3313.383	2.3±0.3	1.3±0.1	–	–	–	–	–
Донные отложения										
1	23.10.18	6914.892	3313.383	1.7±0.4	0.46±0.1	1094±94	28.3±2.7	<МДА	13.6±1.3	<МДА
полигон	23.10.18	6916.127	3316.257	1.4±0.4	0.69±0.1	429±34	11.2±1.3	<МДА	6.9±1.0	<МДА

Table 3.1.

Content of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the marine environment of Saida Bay, 2018

№ station	Date	Coordinates		Radionuclides						
		N	E	^{137}Cs	^{90}Sr	^{40}K	^{232}Th	$^{239,240}\text{Pu}$	^{226}Ra	^{152}Eu
Water										
1	23.10.18	6914.892	3313.383	2.3±0.3	1.3±0.1	–	–	–	–	–
Bottom sediments										
1	23.10.18	6914.892	3313.383	1.7±0.4	0.46±0.1	1094±94	28.3±2.7	<MDA	13.6±1.3	<MDA
ground	23.10.18	6916.127	3316.257	1.4±0.4	0.69±0.1	429±34	11.2±1.3	<MDA	6.9±1.0	<MDA

3.3. Радиоэкологическое состояние морской среды в проливе Йокангский рейд, отделение «Гремиха»

Отделение «Гремиха» Северо-западного центра «СевРАО», расположено в районе с повышенной гидродинамической активностью водной массы. Гидродинамическая активность обеспечивается прибрежными течениями и

3.3. Radioecological state of the marine environment in the Yokangsky Raid Strait, «Gremikha» Branch

The "Gremikha" branch of the North-West Center "SevRAO" is located in the area with increased hydrodynamic activity of the water mass. Hydrodynamic activity is provided by coastal currents and coasts morphology.

морфологией берегов.

Данные измерений образцов воды и донных отложений, собранных в проливе показаны в табл. 3.2 и на рис. 3.8.

Measurements data of water and bottom sediments samples collected in the strait are shown in Table 3.2 and on Fig. 3.8.

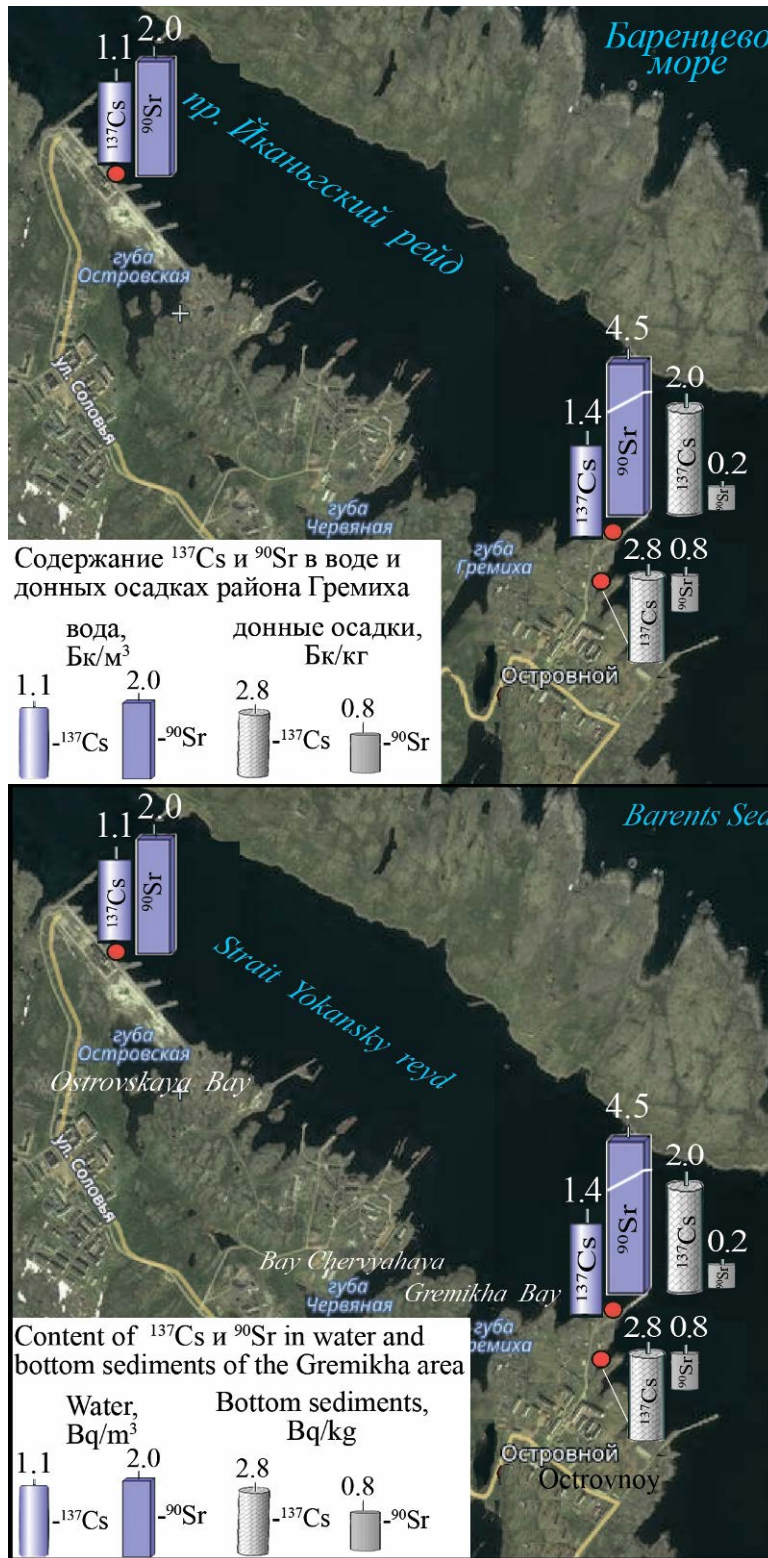


Рис. 3.8. Содержание радионуклидов в воде и донных осадках вблизи отделения «Гремиха», 2018 г. /

Fig. 3.8. Radionuclides content in water and bottom deposits near «Gremikha» branch, 2018

<p>В результате сложившегося гидрологического режима уровень радиационного загрязнения воды в настоящее время низкий и соответствует общему фону загрязнения прибрежных вод (Приложения А3, А6). Незначительное превышение содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr вблизи расположения технологической площадки «отделения Гремиха» статистически незначимы, близки к уровню естественной вариации концентраций [13,14].</p>	<p>As a result of the developed hydrological regime the level of water radiation pollution is currently low and corresponds to the overall background of coastal water pollution (Annexes A3, A6). Insignificant contents excess of ^{137}Cs and ^{90}Sr near location of "Gremikha Branch" technological platform is statistically insignificant, close to the level of concentrations natural variation [13,14].</p>
--	--

Таблица 3.2.

Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в морской среде района отделения «Гремиха», 2018 г

№ станции	Дата	Координаты		Радионуклиды						
		с.ш.	в.д.	^{137}Cs		^{40}K	^{232}Th	$^{239,240}\text{Pu}$	^{226}Ra	^{152}Eu
Вода										
1	30.9.18	6803.616	3931.213	1.4±0.8	4.5±0.6	–	–	–	–	–
4	30.9.18	6804.540	3927.815	1.1±0.3	1.98±0.6	–	–	–	–	–
Донные отложения										
1	30.9.18	6803.616	3931.213	2.8±0.3	0.21±0.03	771±61	27.5±2.8	<МДА	24.0±3.6	<МДА
3	30.9.18	6803.472	3931.095	2±0.2	0.79±0.1	623±55	20.4±2.2	<МДА	27.1±2.5	<МДА

Table 3.2.

Content of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the marine environment of «Gremikha» Branch area, 2018

№ station	Date	Coordinates		Radionuclides						
		N	E	^{137}Cs		^{40}K	^{232}Th	$^{239,240}\text{Pu}$	^{226}Ra	^{152}Eu
Water										
1	30.9.18	6803.616	3931.213	1.4±0.8	4.5±0.6	–	–	–	–	–
4	30.9.18	6804.540	3927.815	1.1±0.3	1.98±0.6	–	–	–	–	–
Bottom sediments										
1	30.9.18	6803.616	3931.213	2.8±0.3	0.21±0.03	771±61	27.5±2.8	< MDA	24.0±3.6	< MDA
3	30.9.18	6803.472	3931.095	2±0.2	0.79±0.1	623±55	20.4±2.2	< MDA	27.1±2.5	< MDA

<p>Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время в прибрежной зоне открытого моря на участках транзита ОЯТ существуют два источника техногенных радионуклидов, которые формируют радиоэкологический фон. В частности – это хранилище радиоактивных отходов в губе Андреева и суммарный сток Кольского залива, в котором располагаются несколько объектов инфраструктуры атомного флота. Радиоактивные загрязнения попадающие в Мотовский залив из губы Андреева перераспределяются по акватории залива в</p>	<p>Thus, it can be stated that there are currently two sources of technogenic radionuclides in the high sea coastal area at SNF transit sites which form a radioecological background. In particular it is radioactive waste storage in Andreeva Bay and Kola Bay total drain in which several infrastructure facilities of the nuclear fleet are located. Radioactive contaminations getting Motovsky Bay from Andreeva Bay are redistributed on bay water area in the eastern direction to its estuary with a decrease of radionuclides concentration. In Kola Bay there is accumulation of pollutions getting to the bottom deposits in the middle</p>
---	---

<p>восточном направлении к его устью со снижением концентрации радионуклидов. В Кольском заливе происходит накопление попадающих в донные осадки загрязнений в среднем и северном коленах залива в соответствии с рельефом дна. Радионуклиды во взвешенном состоянии выносятся из залива стоковым течением в открытое море.</p> <p>Хранилища РАО и ОЯТ в губе Сайда и проливе Йоканьгский рейд (отделение «Гремиха») не оказывают в настоящее время существенного влияния на загрязнение морской воды и донных осадков.</p>	<p>and northern bay parts in accordance with the bottom relief. Radionuclides in suspended condition are carried out from the bay by drain flow into the high sea.</p> <p>RW and SNF storages in the Saida Bay and Yokangsky Raid Strait («Gremikha» Branch) do not currently have a significant impact on the pollution of marine water and bottom deposits.</p>
---	---

<p>3.4. Радиоэкологическое состояние морской биоты</p> <p>Для исследований радиоэкологического состояния биоты были отобраны тестовые образцы водорослей, бентосных организмов (моллюсков-фильтраторов <i>Mytilus edulis</i> - обыкновенная мидия, бентосных ракообразных <i>Gammaridea</i>). Пробы собраны в прибрежье Мурманского берега: в Кольском заливе (вершина Кольского залива, мыс Абрам, мыс Мишуков, губа Белокаменная, а также в губах Тоня и Сайда) и в проливе Йоканьгский рейд (отделение «Гремиха») (рис. 2.1).</p>	<p>3.4. Radioecological state of marine biota</p> <p>Test samples of algae, benthic organisms (molluscs filtration organisms <i>Mytilus edulis</i> - ordinary mussel, benthic crustaceans <i>Gammaridea</i>) were selected for research of biota radioecological state. Samples were collected in the foreshore of Murmansk coast: in Kola Bay (the top of Kola Bay, Abram Cape, Mishukov Cape, Belokamennaya Bay as well as in the bays of Tonya and Saida) and in Yokangsky Raid Strait ("Gremikha" Branch) (Fig. 2.1).</p>
---	--

<p>3.4.1 Активность техногенных радионуклидов в морских водорослях-макрофитах</p> <p>Способность водорослей-макрофитов накапливать радиоактивные изотопы зависит от концентрации радионуклидов в воде, от солености морской воды и времени нахождения растений на осушке в условиях атмосферы. Макрофиты часто используются в исследованиях радиоактивного загрязнения водоемов (рис. 3.9).</p> <p>Для исследований были отобраны образцы водорослей, которые обитают на двух гипсометрических уровнях литорали (см. рис. 2,1; 2,12). На обсыхающей части литорали (ст. 1, 2, 3) были отобраны водоросли семейства Fucaceae – <i>Fucus vesiculosus</i> и <i>Ascophillum nodosum</i>. Эти виды типичны для обсыхающей части литорали.</p>	<p>3.4.1 Activity of technogenic radionuclides in seaweed-macrophytes</p> <p>Seaweed-macrophytes ability to accumulate radioactive isotopes depends on radionuclides concentration in the water, seawater salinity and the time plants spent on drying in atmosphere conditions. Macrophytes are often used in radioactive contamination research of water bodies (Fig. 3.9).</p> <p>Algae samples which live on two hypsometric levels of the littoral were selected for the research (see Fig. 2,1; 2,12). Algae of the family Fucaceae - <i>Fucus vesiculosus</i> and <i>Ascophillum nodosum</i> - were selected on the drying part of the littoral (st. 1, 2, 3). These species are typical for the drying part of the littoral.</p>
---	---

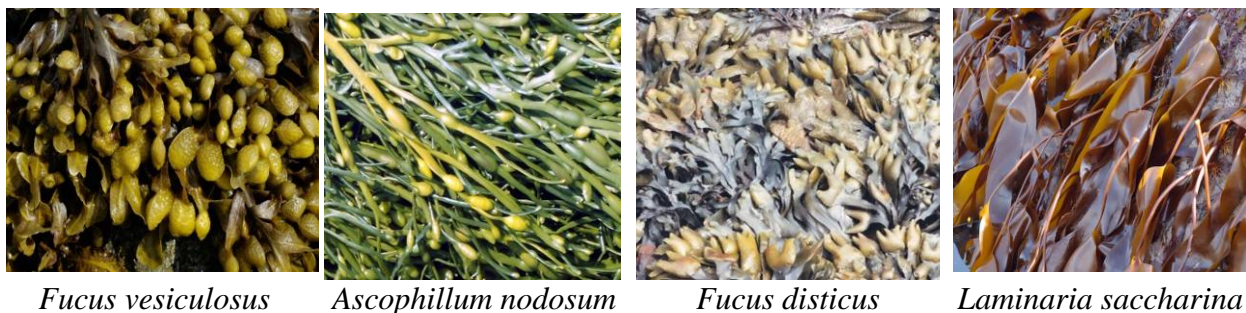


Рис. 3.9. Образцы водорослей-макрофитов, собранные для радиоэкологических исследований /

Fig. 3.9. Algae-macrophytes samples collected for radioecological researches

В нижней части литорали, которая обнажается лишь в сизигийные отливы, были отобраны водоросли сем. Laminariadae, в частности, типичный для этих глубин вид *Laminaria saccharina* (ламинария сахаристая). Пробы этого вида отбирались водолазным способом в нижней части литорали губы Белокаменная и у мыса Абрам – точки № 3, 6.

Fucus vesiculosus

Наиболее распространенная водоросль в открытом побережье Мурмана, в губах и заливах – *F. vesiculosus*. Пробы этого вида собраны при исследовании практически на всех станциях в Кольском заливе, губе Сайда и Йоканьгском проливе. Тем самым этот вид является наиболее репрезентативным для сравнительного анализа и оценки состояния радиоактивного фона в макрофитах.

Результаты исследований радиоактивного загрязнения водорослей *F. vesiculosus* представлены в таблице 3.3 и в Приложении В1. В целом, содержание техногенных гамма-излучающих радионуклидов в водорослях, низкое. В большинстве проб измеренная удельная активность была ниже минимально детектируемой активности (МДА), регистрируемой аппаратурой. Лишь в нескольких районах Кольского залива зарегистрирована достоверно детектируемая концентрация ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{152}Eu . В губе Сайда и в вершине Кольского залива обнаружен ^{137}Cs , в районе мыса Мишуков – ^{134}Cs и ^{152}Eu , у мыса Абрам ^{152}Eu . Содержание ^{137}Cs в водорослях в вершине Кольского залива было вдвое выше, чем в

Laminariadae family algae, in particular, *Laminaria saccharina* (sugary laminaria) a typical for these depths species were selected in the lower part of the littoral which is exposed only in spring outflows. Samples of this species were taken by the diving way in the lower part of the littoral of Belokamennaya Bay and at Abram Cape - points № 3, 6.

Fucus vesiculosus

F. vesiculosus is the most common alga in Murman open foreshore and in bays. This species samples were collected at the research almost on all stations in Kola Bay, Saida Bay and Yokangsky Strait. Thereby this species is the most representative for comparative analysis and assessment of the radioactive background state in macrophytes.

Research results of *F. vesiculosus* algae radioactive contamination are presented in Table 3.3 and in Annex B1. In general, the content of technogenic gamma-emitting radionuclides in algae is low. In most samples the measured specific activity was lower of the minimum detectable activity (MDA) registered by the equipment. Reliable detectable concentrations of ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{152}Eu have registered only in a few areas of Kola Bay. ^{137}Cs was found in Saida Bay and in the top of Kola Bay, ^{134}Cs and ^{152}Eu - in the area of Mishukov Cape, ^{152}Eu at Abram Cape. ^{137}Cs content in algae at the top of Kola Bay was twice higher than in Saida Bay. Obviously that at very low radionuclides concentrations algae in the area of Mishukov Cape (st. № 3) and Abram Cape (st. № 2) experience greater

<p>губе Сайда. Очевидно, что при очень низких концентрациях радионуклидов водоросли в районе мыса Мишуков (ст. № 3) и мыс Абрам (ст. № 2) испытывают большее влияние техногенной радиации, чем на других участках залива и отделения Гремиха. В данном районе расположено ФГУП «Атомфлот».</p> <p>Концентрация бета-излучателя ^{90}Sr незначительна. Диапазон его концентраций составляет от 0.4 до 0.85 Бк/кг сухой массы. В пробах из Кольского залива (мыс Мишуков) концентрация радионуклида вдвое выше, чем в проливе Йоканьгский рейд.</p> <p>Измерения природных радионуклидов ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{238}U и космогенного ^7Be позволили выявить диапазоны концентраций, характерные для данного вида в прибрежье Мурмана. Удельная активность ^{40}K варьирует в пределах от 590 до 127; ^{226}Ra – от 6.1 до 0.8; ^{232}Th – от 8.9 до 1.5; ^{238}U – от 9.5 до 1.0; ^7Be – от 74.4 до 6.2 Бк/кг сухой массы.</p> <p>В вершине залива (ст. № 1) отмечено повышенное накопление ^{226}Ra, ^{232}Th и ^{238}U, природных радионуклидов, сопряженных между собой, относящихся к литосферным элементам. Их повышенное накопление водорослями обусловлено стоком рек Кола и Тулома.</p>	<p>influence of technogenic radiation than on other bay areas and «Gremikha» Branch. FSUE «Atomflot» is located in this area.</p> <p>^{90}Sr beta emitter concentration is insignificant. Its concentration range is from 0.4 to 0.85 Bq/kg of dry weight. In samples from Kola Bay (Mishukov Cape) radionuclide concentration is twice higher than in Yokangsky Raid Strait.</p> <p>Natural radionuclides measurements of ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{238}U and kosmogenny ^7Be allowed to reveal concentrations ranges characteristic for this look in Murman foreshore. ^{40}K specific activity varies in limits from 590 to 127; ^{226}Ra - from 6.1 to 0.8; ^{232}Th - from 8.9 to 1.5; ^{238}U - from 9.5 to 1.0; ^7Be - from 74.4 to 6.2 Bq/kg of dry weight.</p> <p>In the top of the bay (st. № 1) the increased accumulation of ^{226}Ra, ^{232}Th and ^{238}U is noted, natural radionuclides interfaced among themselves related to lithospheric elements. Their increased accumulation by algae is due to the drain of Kola and Tuloma rivers.</p>
--	--

Таблица 3.3

Удельная активность радионуклидов в водорослях *F. vesiculosus* в районе транзита ОЯТ, Бк/кг сухой массы. Июль-октябрь 2018 г.

Место отбора пробы	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
губа Белокаменная (ст. № 6)	<МДА	<МДА	<МДА	6.2±0.9	—	237±20	1.4±0.2	1.5±0.2	1.3±0.2
мыс Мишуков (ст. № 3)	<МДА	1.0±0.2	1.2±0.5	23.2±3.9	0.85±0.11	468±32	2.1±0.4	2±0.4	2.3±0.4
мыс Абрам (ст. № 2)	<МДА	<МДА	1.7±0.5	74.4±14	—	314±28	2±0.4	5.4±0.5	4.3±0.6
вершина Кольского залива (ст. № 1)	1.1±0.2	<МДА	<МДА	9.6±6.2	—	346±20	6.1±0.5	8.9±0.5	9.5±1.4
губа Тоня (ст. № 8)	<МДА	<МДА	<МДА	49.3±5.3	—	389±23	2.2±0.2	2.7±0.2	2.1±0.3
губа Сайда	0.5±0.2	<МДА	<МДА	49.9±8.3	—	441±34	3.5±0.5	4.3±0.4	3.4±0.6
пролив Йоканьгский рейд (отд. Гремиха)	<МДА	<МДА	<МДА	34.9±5.0	0.39±0.05	127±13	0.8±0.2	2.2±0.2	1.0±0.1
пролив Йоканьгский рейд (отд. Гремиха)	<МДА	<МДА	<МДА	37.7±5.5	0.41±0.05	590±41	1.7±0.4	3±0.4	1.8±0.5

Table 3.3

Radionuclides specific activity in *F. vesiculosus* algae in SNF transit area, Bq/kg of dry weight. July-October, 2018

Place of sample selection	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
Belokamennaya Bay (st. № 6)	< MDA	< MDA	< MDA	6.2±0.9	—	237±20	1.4±0.2	1.5±0.2	1.3±0.2
Mishukov Cape (st. № 3)	< MDA	1.0±0.2	1.2±0.5	23.2±3.9	0.85±0.11	468±32	2.1±0.4	2±0.4	2.3±0.4
Abram Cape (st. № 2)	< MDA	< MDA	1.7±0.5	74.4±14	—	314±28	2±0.4	5.4±0.5	4.3±0.6
Kola Bay top (st. № 1)	1.1±0.2	< MDA	< MDA	9.6±6.2	—	346±20	6.1±0.5	8.9±0.5	9.5±1.4
Tonya Bay (st. № 8)	< MDA	< MDA	< MDA	49.3±5.3	—	389±23	2.2±0.2	2.7±0.2	2.1±0.3
Saida Bay	0.5±0.2	< MDA	< MDA	49.9±8.3	—	441±34	3.5±0.5	4.3±0.4	3.4±0.6
Yokangsky Raid Strait (Gremikha Branch)	< MDA	< MDA	< MDA	34.9±5.0	0.39±0.05	127±13	0.8±0.2	2.2±0.2	1.0±0.1
Yokangsky Raid Strait (Gremikha Branch)	< MDA	< MDA	< MDA	37.7±5.5	0.41±0.05	590±41	1.7±0.4	3±0.4	1.8±0.5

<p><i>Ascophillum nodosum</i> Водоросли <i>Ascophillum nodosum</i> также широко распространены в прибрежье, однако в тестовом сборе проб этого вида было меньше, чем <i>F. vesiculosus</i>. Однако содержание техногенных гамма-излучающих радионуклидов в этих водорослях аналогично. Измеренная удельная активность в большинстве проб была ниже МДА. Результаты представлены в табл. 3.4 и в Приложении В2. Значимые концентрации отдельных техногенных радионуклидов – ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ¹⁵²Eu, обнаружены в пробах единично в губах Белокаменная (ст. № 6) и Сайда, у мыса Мишуков, ¹⁵²Eu - в губе Тоня (ст. № 8) и в районе мыса Абрам (ст. № 2). Удельная активность радионуклидов в образцах <i>A. nodosum</i> и <i>F. vesiculosus</i> одинакова. Водоросль <i>A. nodosum</i> собрана не в вершине Кольского залива. Поэтому повышенная концентрация природных радионуклидов ²²⁶Ra, ²³²Th и ²³⁸U в исследуемых образцах не было обнаружено (табл. 3.4).</p>	<p><i>Ascophillum nodosum</i> <i>Ascophillum nodosum</i> algae are also widely distributed in the foreshore, however this species samples were less than <i>F. vesiculosus</i> in test collection. However, the content of technogenic gamma-emitting radionuclides in these algae is similarly. Measured specific activity was lower of MDA in most samples. Results are presented in Table 3.4 and in Annex B2. Significant concentrations of separate technogenic radionuclides - ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ¹⁵²Eu, are found in samples single in Bays of Belokamennaya (st. № 6) and Saida, at Mishukov Cape, ¹⁵²Eu - in Tonya Bay (st. № 8) and in the area of Abram Cape (st. № 2). Radionuclides specific activity in samples of <i>A. nodosum</i> and <i>F. vesiculosus</i> is the same. <i>A. nodosum</i> alga is collected not at the top of Kola Bay. Therefore, the increased concentration of natural radionuclides of ²²⁶Ra, ²³²Th and ²³⁸U was not found in studied samples (Table 3.4).</p>
---	---

Таблица 3.4

Удельная активность радионуклидов в водорослях *A. nodosum* в Кольском заливе и проливе Йоканьгский рейд, Бк/кг сухой массы. Июль-октябрь 2018 г.

Место отбора пробы	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
губа Белокаменная (ст. № 6)	0.3±0.1	<МДА	<МДА	<МДА	—	350±29	1.1±0.2	2±0.2	1.2±0.2
мыс Мишуков (ст. № 3)	0.5±0.1	<МДА	<МДА	39±9.3	0.53±0.07	639±44	2.3±0.6	2.7±0.4	3.0±0.7
мыс Абрам (ст. № 2)	<МДА	<МДА	1.0±0.5	4.8±1.1	—	334±29	1.9±0.5	5.6±0.2	1.0±0.2
губа Тоня (ст. № 8)	<МДА	<МДА	1.0±0.6	7.3±1.5	0.45±0.06	303±19	2.4±0.2	1.5±0.1	2.2±0.6
губа Сайда	<МДА	<МДА	<МДА	28.2±7.0	0.1±0.01	337±23	1.6±0.5	2.1±0.4	2.0±0.4
пролив Йоканьгский рейд (отд. Гремиха)	<МДА	<МДА	<МДА	<МДА	0.48±0.06	285±25	1.8±0.6	1.4±0.4	1.1±0.4

Table 3.4

Radionuclides specific activity in *A. nodosum* algae in Kola Bay and Yokangsky Raid Strait, Bq/kg of dry weight. July-October, 2018

Place of sample selection	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
Belokamennaya Bay (st. № 6)	0.3±0.1	<MDA	<MDA	<MDA	—	350±29	1.1±0.2	2±0.2	1.2±0.2
Mishukov Cape (st. № 3)	0.5±0.1	<MDA	<MDA	39±9.3	0.53±0.07	639±44	2.3±0.6	2.7±0.4	3.0±0.7
Abram Cape (st. № 2)	<MDA	<MDA	1.0±0.5	4.8±1.1	—	334±29	1.9±0.5	5.6±0.2	1.0±0.2
Tonya Bay (st. № 8)	<MDA	<MDA	1.0±0.6	7.3±1.5	0.45±0.06	303±19	2.4±0.2	1.5±0.1	2.2±0.6
Saida Bay	<MDA	<MDA	<MDA	28.2±7.0	0.1±0.01	337±23	1.6±0.5	2.1±0.4	2.0±0.4
Yokangsky Raid Strait (Gremikha Branch)	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	0.48±0.06	285±25	1.8±0.6	1.4±0.4	1.1±0.4

Редкие виды водорослей

Водоросли видов *Fucus distichus* и *Palmaria palmata* представлены в тестовых борках по одной пробе, несмотря на относительно широкое распространение этих видов на других участках тестируемой области.

Удельная активность радионуклидов в образцах этих водорослей представлена в таблице 3.5 и в Приложении В3. Удельная активность техногенных гамма-излучающих радионуклидов ниже МДА. Уровень содержания ^{90}Sr очень низкий. Загрязненность этих видов целом соответствует загрязненности фукоидов.

Концентрации природных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U соответствует участкам, находящимся под влиянием речного стока.

Rare species of algae

Algae of the species *Fucus distichus* and *Palmaria palmata* are represented in test boras by one sample, despite the relatively widespread distribution of these species on other site of the tested area. Specific activity of radionuclides in samples of these algae is presented in Table 3.5 and in Annex B3. Specific activity of technogenic gamma-emitting radionuclides is lower of MDA. ^{90}Sr content level is very low. The contamination of these species in general corresponds to fucoids pollutions.

Concentrations of natural radionuclides of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U correspond to sites being under the influence of river drain.

Таблица 3.5

Удельная активность радионуклидов в пробах редких видов водорослей: *F. distichus*, *P. palmata*, *L. saccharina* на участках транзита ОЯТ, Бк/кг сухой массы.
Июль-октябрь 2018 г.

Место отбора пробы	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
<i>Fucus distichus</i>									
губа Белокаменная (ст. № 6)	<МДА	<МДА	<МДА	57.5±2.3	0.13±0.02	1151±97	11.1±2.4	1.7±2.4	22.6±4.9
<i>Palmaria palmata</i>									
пролив Йоканьгский рейд (отд. Гремиха)	<МДА	<МДА	<МДА	23.7±5.0	—	2153±58	7.5±1.7	6.4±3.6	38.6±9.9
<i>Laminaria. saccharina</i>									
губа Белокаменная (ст. № 6)	<МДА	<МДА	<МДА	<МДА	—	3016±183	4.1±2.8	13.7±2.5	17.0±5.9
мыс Абрам (ст. № 2)	<МДА	<МДА	<МДА	<МДА	—	615±46	1.8±0.3	5.6±0.5	2.1±0.4

Table 3.5

Specific activity of radionuclides in samples of rare algae species: *F. distichus*, *P. palmata*, *L. saccharina* on SNF transit sites, Bq/kg of dry weight.
July-October, 2018

Place of sample selection	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
<i>Fucus distichus</i>									
Belokamennaya Bay (st. № 6)	<MDA	<MDA	<MDA	57.5±2.3	0.13±0.02	1151±97	11.1±2.4	1.7±2.4	22.6±4.9
<i>Palmaria palmata</i>									
Yokangsky Raid Strait (Gremikha Branch)	<MDA	<MDA	<MDA	23.7±5.0	—	2153±58	7.5±1.7	6.4±3.6	38.6±9.9
<i>Laminaria. saccharina</i>									
Belokamennaya Bay (st. № 6)	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	—	3016±183	4.1±2.8	13.7±2.5	17.0±5.9
Abram Cape (st. № 2)	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	—	615±46	1.8±0.3	5.6±0.5	2.1±0.4

<p>Пробы водоросли <i>Laminaria saccharina</i> собраны в глубинной зоне литорали (ст. 2, 6). На участок у мыса Абрам (ст. № 2) может распространяться влияние ФГУП «Атомфлот». В талломах водоросли <i>L. saccharina</i>, обитающей Кольского залива, удельная активность техногенных гамма-излучающих радионуклидов была ниже МДА, что отличает их от фукоидов <i>Fucaceae</i>, обитающих в этом же районе в «зоне» осушки. Природные радионуклиды, варьировали в диапазонах: ⁴⁰K – 615-3016; ²²⁶Ra – 1.8-4.1; ²³²Th – 5.6-13.7; ²³⁸U – 2.1-17.0; ⁷Be – < МДА Бк/кг сухой массы. Результаты представлены в таблице 3.5 и в Приложении В3.</p>	<p>Samples of <i>Laminaria saccharina</i> algae are collected in the deep zone of littoral (st. 2, 6). The influence of FSUE «Atomflot» can extend on the site at Abram Cape (st. № 2). In alga tallomas of <i>L. saccharina</i> living in Kola Bay, the specific activity of technogenic gamma-emitting radionuclides was below of MDA which distinguishes them from <i>Fucaceae</i> fucoids living in the same area in the drying «zone». Natural radionuclides varied in ranges: ⁴⁰K - 615-3016; ²²⁶Ra – 1.8-4.1; ²³²Th – 5.6-13.7; ²³⁸U – 2.1-17.0; ⁷Be - < MDA Bq/kg of dry weight. The results are represented in Table 3.5 and in Annex B3.</p>
--	--

3.4.2. Содержание техногенных радионуклидов в бентосных организмах

Из бентосной фауны для исследований отобраны пробы моллюсков-фильтраторов *Mytilus edulis* и высших раков *Gammaridea*. Моллюски *M. edulis* (обыкновенная мидия) отобраны в Кольском заливе (губа Белокаменная, ст. № 6; мыс Абрам, ст. № 2; губа Сайда) и проливе Йоканьгский рейд (Гремиха). Гаммариды собраны на разных участках в губе Тоня (ст. № 8), в губе Сайда и проливе Йоканьгский рейд (Гремиха) (рис. 3.10).

Жизненные циклы организмов бентоса в среднем составляют 4–9 лет [15]. В течение своей жизни обитатели морского дна в процессе дыхания и питания извлекают из придонных вод и донных отложений не только питательные вещества, но и загрязнения, в том числе и радиоактивные частицы

3.4.2. Content of technogenic radionuclides in benthic organisms

Samples of mollusks filtration organisms *Mytilus edulis* and the highest crayfish *Gammaridea* were collected from benthic fauna for research. Molluscs *M. edulis* (ordinary mussel) are selected in Kola Bay (Belokamennaya Bay, st. № 6; Abram Cape, st. № 2; Saida Bay) and Yokangsky Raid Strait (Gremikha). Gammaridas are collected at different sites in Tonya Bay (st. № 8), in Saida Bay and Yokangsky Raid Strait (Gremikha) (Fig. 3.10).

Life cycles of benthos organisms average 4–9 years [15]. During their life seabed inhabitants in process of breathing and nutrition extract from benthonic waters and bottom sediments not only nutrients but also contaminants including radioactive particles.



Gammaridea



Mollusc *Mytilus edulis*

Рис. 3.10. Образцы бентофауны, собранные для радиоэкологических исследований / Fig. 3.10. Bentofauna samples collected for radioecological researches

Моллюск *Mytilus edulis*

Содержание техногенных гамма-излучающих радионуклидов в мидиях на исследуемых участках низкое, измеренная удельная активность в большинстве проб ниже МДА. Результаты представлены в табл. 3.6 и в Приложении В4.

У мыса Абрам и в проливе Йоканьгский рейд обнаружены низкие, но достоверно значимые концентрации ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{152}Eu и ^7Be . Для данного вида

***Mytilus edulis* mollusk**

The content of technogenic gamma-emitting radionuclides in mussels is low on the studied sites, the measured specific activity in most samples is lower of MDA. The results are presented in Table 3.6 and in Annex B4.

Low but authentically significant concentrations of ^{137}Cs , ^{90}Sr and ^{152}Eu and ^7Be are found at Abram Cape and in Yokangsky Raid Strait. The specific activity of ^{40}K varies

<p>удельная активность ^{40}K варьирует в пределах от 25 до 389; ^{226}Ra – от 1,3 до 5,2; ^{232}Th – от 1.6 до 5.6; ^{238}U от 1.5 до 6.1; ^7Be от <МДА до 1,3 Бк/кг сырой массы.</p> <p>Ракообразные <i>Gammaridea</i></p> <p>В исследуемых видах ракообразных содержание техногенных гамма-излучающих радионуклидов представлено в табл. 3.7 и в Приложении В5. Измеренная удельная активность ^{137}Cs в пробах ниже МДА, за исключением одного вида – <i>Gammarus</i> sp., концентрация радионуклида составляет 1 Бк/кг. Проба была отобрана в губе Тоня, ст. № 8.</p> <p>Даже при незначительном количестве проб можно предположить, что на отдельных участках в Кольском заливе можно обнаружить техногенные радионуклиды в бентосных ракообразных в незначительной концентрации.</p> <p>Удельная активность ^{40}K в ракообразных варьирует в пределах от 40 до 151; ^{226}Ra – от 2.4 до 5.9; ^{238}Th – от 0.8 до 11.3; ^{238}U – от 2.2 до 12.1; ^7Be – от <МДА до 7.8 Бк/кг сырой массы.</p>	<p>for this species in limits from 25 to 389; ^{226}Ra - from 1.3 to 5.2; ^{232}Th - from 1.6 to 5.6; ^{238}U from 1.5 to 6.1; ^7Be from <MDA to 1.3 Bq/kg of crude weight.</p> <p>Crustacean <i>Gammaridea</i></p> <p>In studied species of crustaceans the content of technogenic gamma-emitting radionuclides is given in Table 3.7 and in Annex B5. The measured specific activity of ^{137}Cs in samples is below MDA, except for one species - <i>Gammarus</i> sp., the concentration of radionuclide is 1 Bq/kg. The sample was taken in Tonya Bay, st. No. 8.</p> <p>It is possible to assume that even with a small number of samples on certain sites in Kola Bay it is possible to find technogenic radionuclides in benthic crustaceans at insignificant concentration.</p> <p>The specific activity of ^{40}K in crustaceans varies in limits from 40 to 151; ^{226}Ra – from 2.4 to 5.9; ^{238}Th - from 0.8 to 11.3; ^{238}U - from 2.2 to 12.1; ^7Be - from <MDA to 7.8 Bq/kg of crude weight.</p>
--	--

Таблица 3.6

Удельная активность радионуклидов в моллюсках *M. edulis*, Бк/кг сырой массы.
Июль-октябрь 2018 г.

Место отбора пробы	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
губа Белокаменная (ст. № 6)	<МДА	<МДА	<МДА	<МДА	—	389±5 2	1.3±0. 1	1.6±0. 1	1.5±0. 2
мыс Абрам (ст. № 2)	0.2±0. 1	<МДА	<МДА	1.3±0. 7	0.54±0.0 7	25±4.2	1.8±0. 1	2.7±0. 2	2.0±0. 2
губа Сайда	<МДА	<МДА	<МДА	<МДА	—	123±1 3	2±0.4	2.2±0. 3	1.0±0. 2
пролив Йоканьгский рейд (отд. Гремиха)	0.4±0. 1	<МДА	0.7±0. 3	<МДА	1.15±0.1 5	48±10	5.2±0. 4	5.6±0. 4	6.1±0. 5

Table 3.6

Specific activity of radionuclides in *M. edulis* mollusks, Bq/kg of crude weight.
July-October, 2018

Place of sample selection	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
Belokamennaya Bay (st. № 6)	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	—	389±5 2	1.3±0. 1	1.6±0. 1	1.5±0. 2
Abram Cape (st. № 2)	0.2±0.1	<MDA	<MDA	1.3±0. 7	0.54±0.0 7	25±4.2	1.8±0. 1	2.7±0. 2	2.0±0. 2
Saida Bay	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	—	123±1 3	2±0.4	2.2±0. 3	1.0±0. 2
Yokangsky Raid Strait (Gremikha Branch)	0.4±0.1	<MDA	0.7±0. 3	<MDA	1.15±0.1 5	48±10	5.2±0. 4	5.6±0. 4	6.1±0. 5

Таблица 3.7

Удельная активность радионуклидов в видах *Gammaridae*, Бк/кг сырой массы.
Июль-октябрь 2018 г.

Место отбора пробы	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
губа Тоня (ст. № 8)	1.0±0.5	<МДА	0.4±0.1	5.3±0.1	—	142±39	5.9±2	11.3±3.8	2.7±0.4
пролив Йоканьгский рейд (отд. Гремиха)	<МДА	<МДА	<МДА	<МДА	—	151±39	3.9±2.2	6.7±2.2	2.2±0.4
Губа Сайда	<МДА	<МДА	<МДА	<МДА	—	112±26	2.4±1.4	0.8±0.4	12.1±2.9

Table 3.7

Specific activity of radionuclides in *Gammaridae* species, Bq/kg of crude weight.
July-October, 2018

Place of sample selection	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
Tonya Bay (st. № 8)	1.0±0.5	< MDA	0.4±0.1	5.3±0.1	—	142±39	5.9±2	11.3±3.8	2.7±0.4
Yokangsky Raid Strait (Gremikha Branch)	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	—	151±39	3.9±2.2	6.7±2.2	2.2±0.4
Saida Bay	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	—	112±26	2.4±1.4	0.8±0.4	12.1±2.9

Таким образом, результаты исследования позволили выявить общий фон и локальные различия в загрязненности техногенными изотопами распространенных и относительно редко расселенных видов морского фито- и зообентоса, которые могут служить индикаторными видами при многолетних радиоэкологических наблюдениях. Наиболее репрезентативными видами индикаторами следует считать водоросли-макрофиты *F. vesiculosus* и *A. Nodosum*.

Сравнение содержания техногенных радионуклидов ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr , ^{152}Eu в морских организмах, собранных в районах транзита отработавшего ядерного топлива, показало низкую степень загрязнения. Однако, на территории Кольского залива в гидробионтах, среда обитания которых связана с морским дном, чаще встречаются изотопы, характерные для радиоактивных отходов. В настоящее время наиболее выражено влияние атомной инфраструктуры на морскую биоту прослеживается на участке мыс Абрам – мыс Мишуков. По данным наблюдений 2012-2014 гг. к такому же участку относится акватория губы Андреева.

Thus research results allowed to reveal general background and local differences in technogenic isotopes contamination of widespread and relatively rarely settled species of marine phyto- and zoobenthos which can serve as indicator species at long-term radioecological observations. Algae-macrophytes *F. vesiculosus* and *A. Nodosum* should be considered the most representative types of indicators.

Content comparison of technogenic radionuclides of ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr , ^{152}Eu showed low pollution extent in the marine organisms collected in transit areas of spent nuclear fuel. However, isotopes characteristic for radioactive wastes are met more often on Kola Bay area in hydrobionts which habitat is related to the seabed. At present the nuclear infrastructure influence is most expressed on marine biota traced on the site of Abram Cape – Mishukov Cape. Andreeva Bay water area belongs to the same site according to the observations of 2012-2014.

4. Осадконакопление и хронология радиоактивного загрязнения донных отложений в районе эвакуации ОЯТ

Высокие уровни радиоактивного загрязнения Кольского и Мотовского залива были выявлены в середине 1990-х гг. В 1995-1999 годах в Кольском и Мотовском заливах поверхностные донные отложения практически повсеместно содержали ^{60}Co (0.5-1.0 Бк/кг сух. м.), ^{137}Cs (1-24 Бк/кг сух. м.) и $^{239,240}\text{Pu}$ (0.8-1.6 Бк/кг сух. м.). При приближении к атомным базам удельная активность указанных радионуклидов в осадках заметно возрастала, также появлялись изотопы ^{134}Cs , ^{125}Sb и ^{154}Eu [16, 17, 18]. Информация о более ранних периодах радиоактивного загрязнения Кольского и Мотовского залива получена с помощью реконструкций с использованием геохронологических методов [17, 19, 20].

В настоящее время проводится эвакуация накопленных в береговых хранилищах и технических базах ОЯТ (ПВХ «губа Андреева», «отделение Гремиха») на ФГУП «Атомфлот» и других РАО – в СЗЦ «губа Сайда». В связи с этим геохронологическое изучение загрязнения донных отложений дополняет представления о современном фоне радиоактивности участков перегрузочных операций и транзита ОЯТ (рис. 1.1; 2.1).

Радиометрические измерения полученных слоев осадков выполнен в лабораториях ММБИ КНЦ РАН и МГУ им. М.В. Ломоносова. В донных осадках проанализировано содержание ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr , ^{152}Eu , ^{241}Am , ^{60}Co , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U (см. раздел 2).

Результаты измерений содержания искусственных и естественных радионуклидов в слоях колонок донных отложений, отобранных в Кольском и Мотовском заливах Баренцева моря вдоль путей транспортировки отработавшего ядерного топлива из губы Андреева на территорию ФГУП «Атомфлот» представлены в Приложениях С 1-8.

4. Sedimentation and radioactive contamination chronology of bottom sediments in the area of SNF evacuation

Radioactive contamination high levels of Kola and Motovsky Bays were revealed in the mid-1990s. Superficial bottom sediments almost everywhere contained ^{60}Co (0.5-1.0 Bq/kg of dry weight), ^{137}Cs (1-24 Bq/kg of dry w.) and $^{239,240}\text{Pu}$ (0.8-1.6 Bq/kg of dry w.) in 1995-1999 years in Kola and Motovsky Bays. When approaching atomic bases the specific activity of specified radionuclides in precipitations considerably increased, also isotopes of ^{134}Cs , ^{125}Sb and ^{154}Eu appeared [16, 17, 18]. Information on earlier periods of Kola and Motovsky Bays radioactive contamination was obtained by reconstructions using geochronological methods [17, 19, 20].

At present SNF evacuation is carried out accumulated in onshore storages and technical bases (TSP «Andreeva Bay», «Gremikha Branch») on FSUE «Atomflot» and other RW - in NWC «Saida Bay». In this connection geochronological study of bottom sediments contamination supplements representations about the modern background of sites radioactivity of reloading operations and transit of SNF (Fig. 1.1; 2.1).

Radiometric measurements of received deposits layers were carried out in the laboratories of MMBI KSC RAS and Moscow State University named after Lomonosov M.V. Content of ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr , ^{152}Eu , ^{241}Am , ^{60}Co , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U is analysed in bottom deposits (see Section 2).

Content observed data of artificial and natural radionuclides in columns layers of bottom sediments selected in Kola and Motovsky Bays of the Barents Sea along ways of spent nuclear fuel transportation from Andreeva Bay to the territory of FSUE «Atomflot» are presented in Annexes C 1-8.

4.1 Вертикальное распределение радионуклидов в донных отложениях

Исследованные донные отложения представлены различными илами с

4.1 Vertical distribution of radionuclides in bottom sediments

Bottom sediments studied are represented by various silts with impurity of fine-grained

примесью тонко-зернистого песка и остатками бентосных животных, иногда встречаются включения мелкого гравия. Отличительной особенностью донных отложений из Южного колена Кольского залива является присутствие угольной пыли (рис. 4.1).

sand and the remains of benthic animals, sometimes small gravels inclusions are met. A distinctive feature of bottom sediments from the Southern part of Kola Bay is the presence of coal dust (Fig. 4.1).



Рис. 4.1. Керн донных отложений, взятых в Кольском заливе. Включения гравия в слоях осадков. /

Fig. 4.1. Core of bottom sediments taken in Kola Bay. Gravels inclusions in sediments layers.

Анализ результатов измерений активности искусственных радионуклидов в колонках донных отложений, отобранных в Кольском и Мотовском заливах в 2017 г. показал, что единственным стабильно определяющимся во всех слоях радионуклидом является ^{137}Cs . Поэтому именно вертикальный профиль содержания ^{137}Cs в кернах донного осадка можно считать ретроспективным, хронологически подтвержденным показателем воздействия загрязнения, характеризующим его продолжительность и периодичность. Содержание других гамма-излучающих радионуклидов ^{241}Am , ^{60}Co , ^{134}Cs и ^{152}Eu во всех слоях было ниже минимально детектируемой активности. Для сравнения

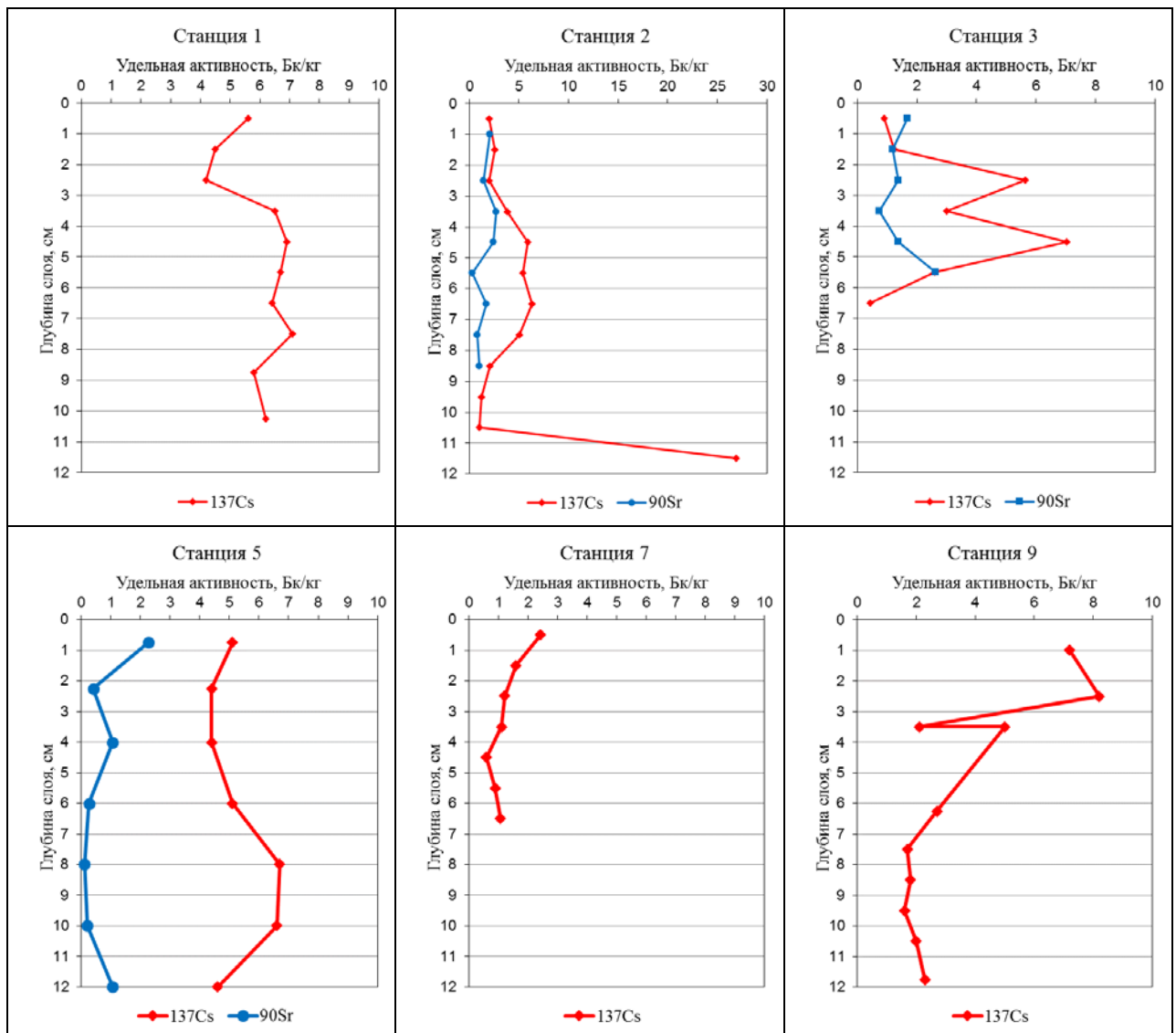
Measurements results analysis of artificial radionuclides activity in bottom sediments columns selected in Kola and Motovsky Bays in 2017 showed that ^{137}Cs is the only radionuclide steadily defined in all layers. Therefore, just the vertical profile of ^{137}Cs content in bottom deposit cores can be considered a retrospective, chronologically confirmed indicator of contamination influence characterizing its duration and periodicity. Content of other gamma radiating radionuclides of ^{241}Am , ^{60}Co , ^{134}Cs and ^{152}Eu was below minimum detected activity in all layers. For comparison it can be noted that in the column from the Middle part of Kola Bay studied in the late 1990s, ^{60}Co isotope was steadily detected in all deposit layers at depths

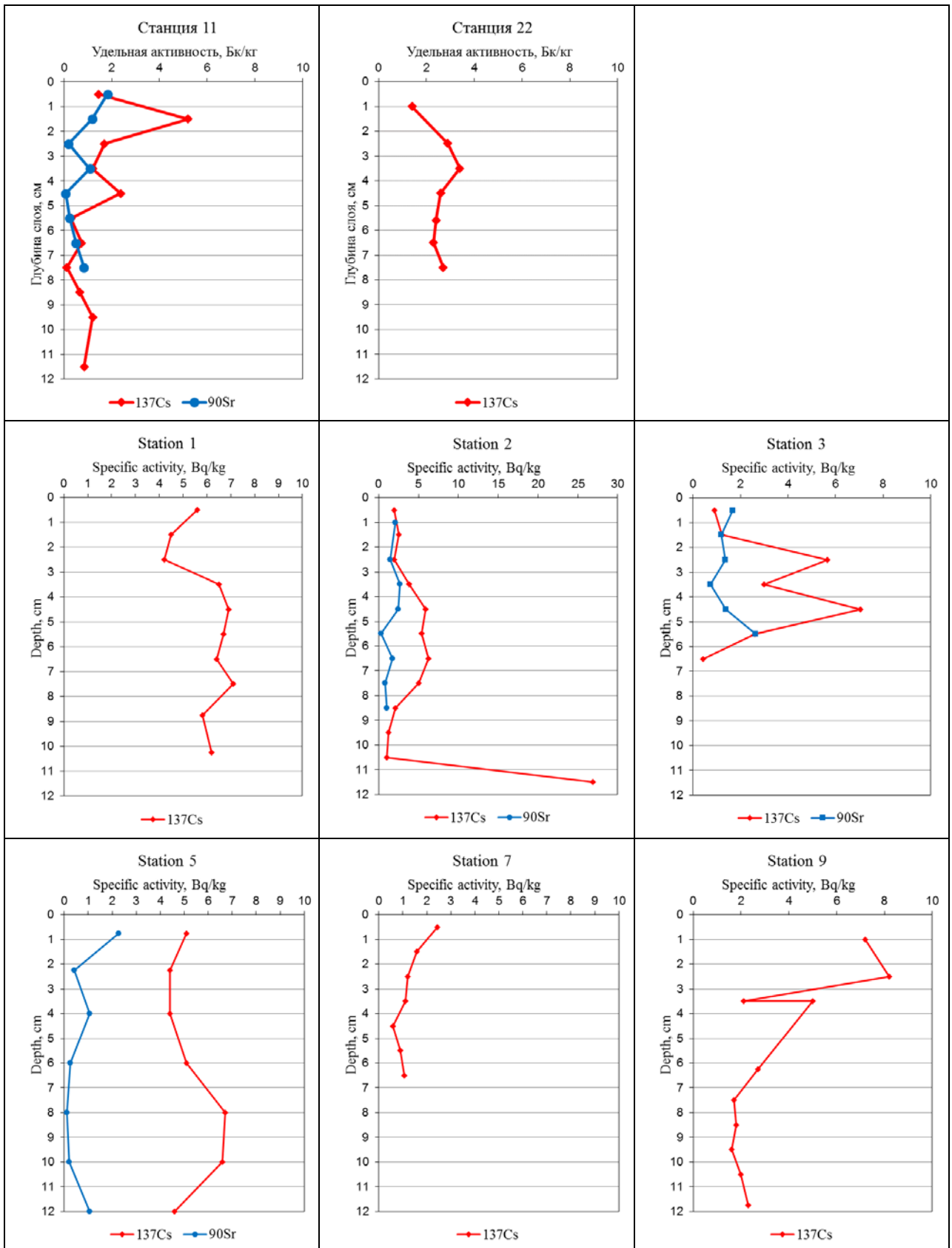
можно отметить, что в колонке из Среднего колена Кольского залива, исследованной в конце 1990-х гг., изотоп ^{60}Co устойчиво детектировался во всех слоях осадка на глубинах от 2 до 10 см [17]. Удельная активность ^{90}Sr в измеренных в 2017 г. пробах очень мала и приближается к пределам чувствительности применяемых аналитических методов. Количественные измерения содержания изотопов плутония, ^{238}Pu и $^{239,240}\text{Pu}$, удалось выполнить только для отдельных слоев.

Распределение техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в слоях донного осадка Мотовского и Кольского залива Баренцева моря показано на рис. 4.2.

from 2 to 10 cm [17]. ^{90}Sr specific activity is very small in samples measured in 2017 and approaches sensitivity limits of applied analytical methods. Quantitative measurements of plutonium isotopes contents, ^{238}Pu and $^{239,240}\text{Pu}$, were succeeded to execute only for individual layers.

The distribution of technogenic radionuclides of ^{137}Cs and ^{90}Sr in bottom deposit layers of Motovskiy and Kola Bays of the Barents Sea is shown on Fig. 4.2.





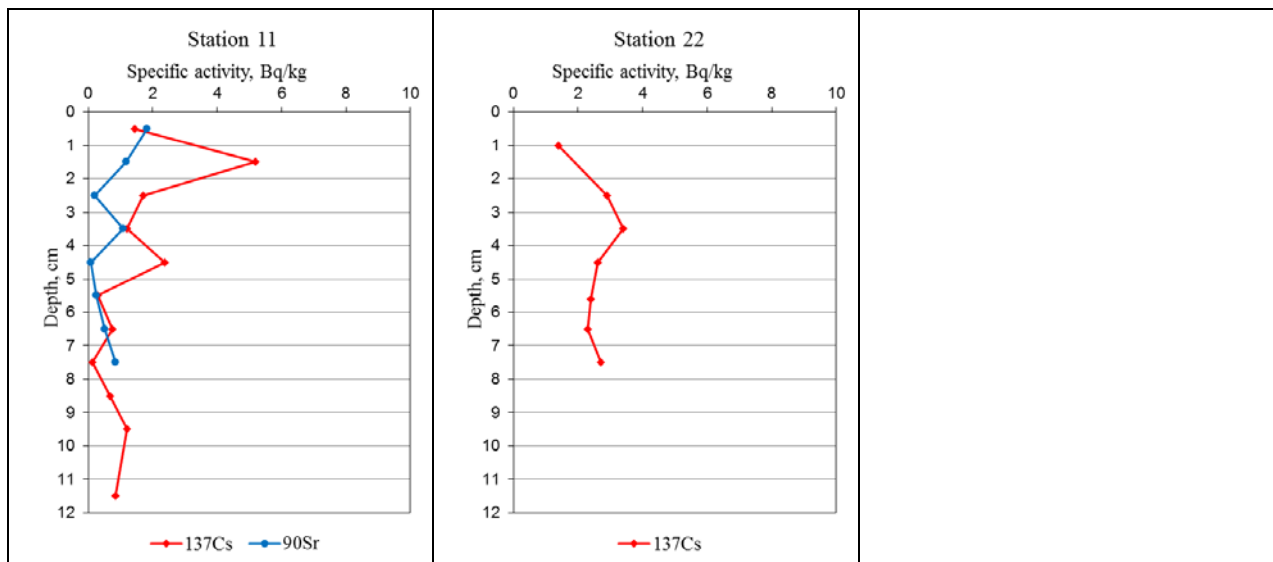


Рис. 4.2. Вертикальное распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в колонках донных отложений, 2017 г. /
 Fig. 4.2. Vertical distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr in bottom sediments columns, 2017

Можно отметить, что ^{90}Sr в слоях донных отложений распределен равномерно. Содержание этого радионуклида в четырех колонках, для которых выполнены прецизионные измерения, варьирует в узком интервале 0.1-2.7 Бк/кг и в среднем составляет 1.1 ± 0.8 Бк/кг. Распределение ^{137}Cs в вертикальном профиле отличается большей неравномерностью. Особенно это характерно для станций 2, 3, 9 и 11, где профили концентраций имеют осциллирующий характер, при этом разброс наблюдаемых значений, как правило, не велик и не выходит за пределы диапазона 0.1-8.2 Бк/кг. При таком узком интервале значений не удается выделить общих закономерностей в положении локальных минимумов и максимумов концентраций и изменении содержания ^{137}Cs с глубиной. Колонка донных отложений со станции 2 отличается от других колонок. Здесь в слое 11-12 см зарегистрирован максимум удельной активности ^{137}Cs – 26.9 Бк/кг, в 8 раз выше среднего содержания в слоях.

Наблюдаемые различия в динамике поступления и накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr обусловлены не только эмиссией, но и геохимическими свойствами изотопов. Распространение ^{90}Sr в морской среде в большей степени определяется объемом жидкого стока и высокой подвижностью в водных растворах, что ведет к

It can be noted that ^{90}Sr is distributed evenly in bottom sediments layers. This radionuclide content in four columns for which precision measurements are executed varies 0.1-2.7 Bq/kg in a narrow interval and averages 1.1 ± 0.8 Bq/kg. ^{137}Cs distribution in the vertical profile differs in bigger unevenness. Especially it is characteristic for stations 2, 3, 9 and 11 where concentrations profiles have oscillating character, at the same time the dispersion of observed values is, as a rule, not big and does not exceed range limit of 0.1-8.2 Bq/kg. With such a narrow range of values it is not possible to identify common patterns in the position of local minimums and maximums of concentrations and change of ^{137}Cs content with depth. Column of bottom sediments from station 2 differs from other columns. The maximum of ^{137}Cs specific activity – 26.9 Bq/kg is registered here in 11-12 cm layer, 8 times higher average content in layers.

The observed differences in the dynamics of the arrival and accumulation of ^{137}Cs and ^{90}Sr are caused not only by emission but also by the geochemical properties of isotopes. ^{90}Sr spread in the marine environment is more determined by the volume of liquid drain and the high mobility in aqueous solutions which leads to concentrations levelling both in

выравниванию концентраций как в слоях осадков по профилю, так и по площади. На распределение ^{137}Cs в большей степени влияет сток взвешенных веществ, оседание и перераспределение которых определяет неравномерность его накопления донными отложениями [20, 21]

precipitations layers by profile and area. ^{137}Cs distribution is influenced more by a drain of suspended substances which subsidence and redistribution determines unevenness of its accumulation by bottom sediments [20, 21]

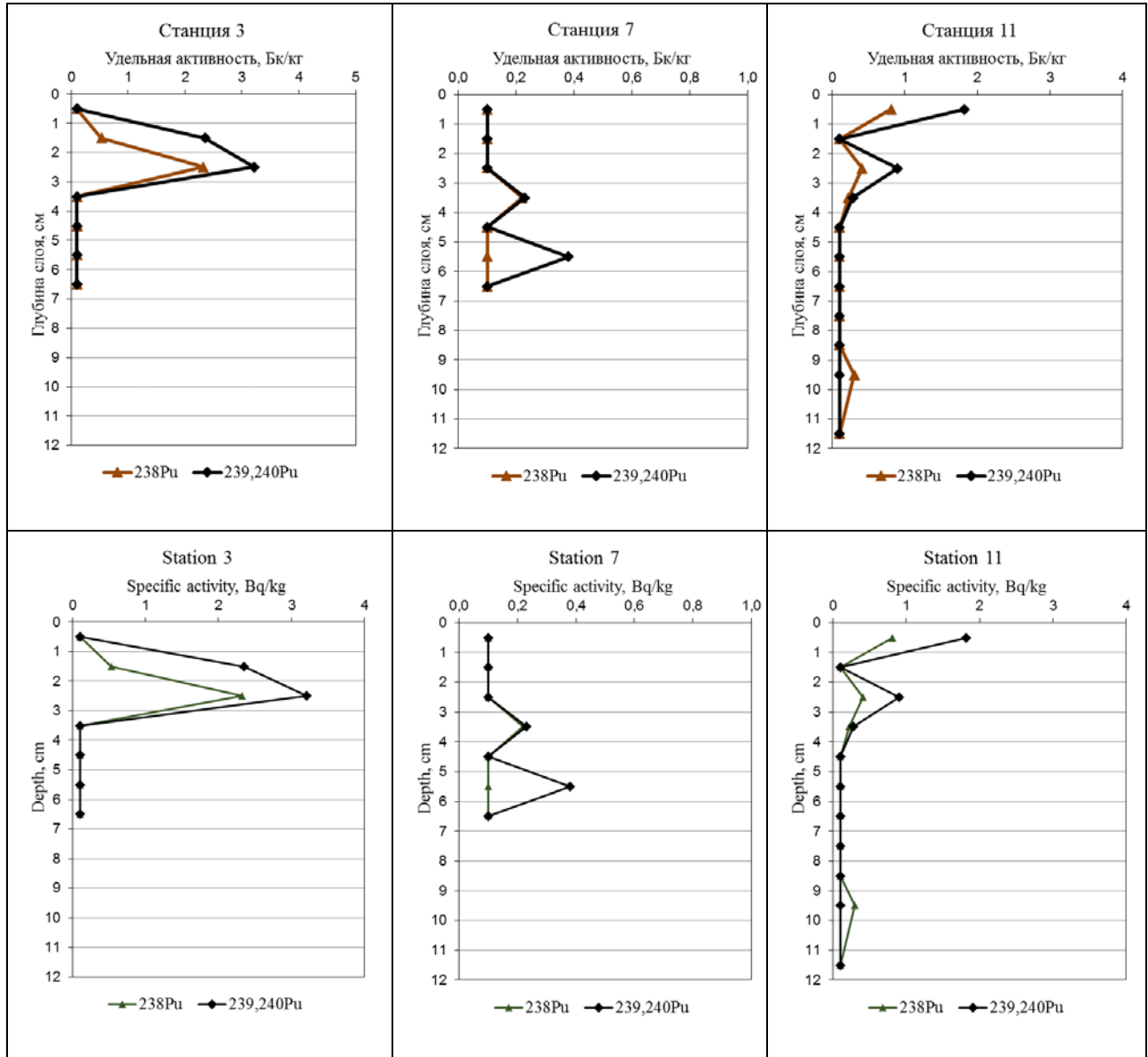


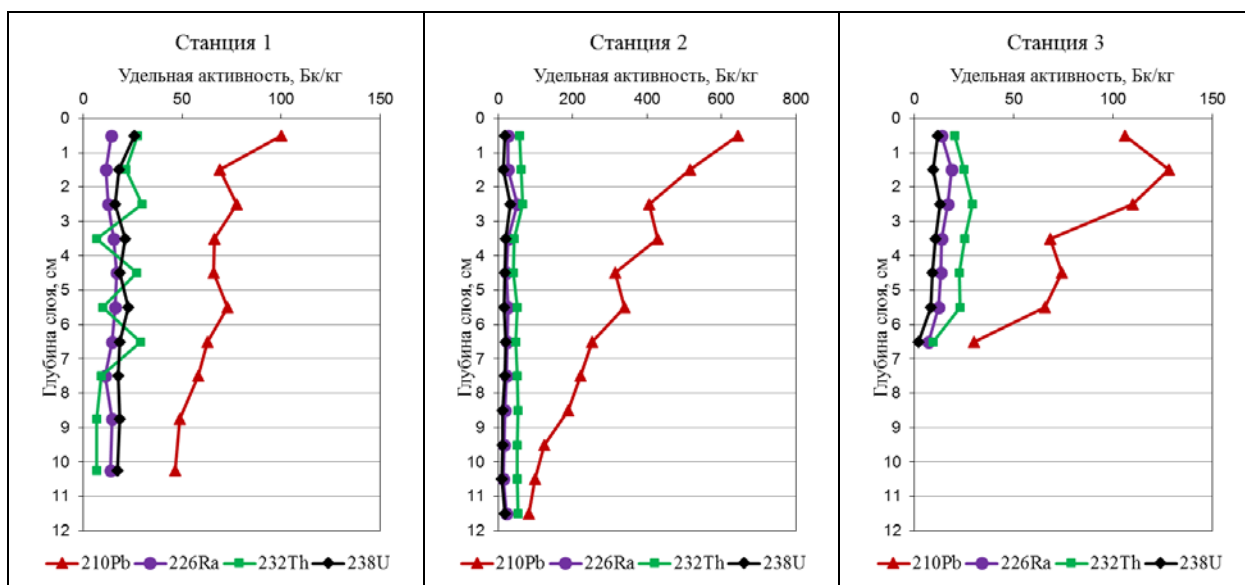
Рис. 4.3. Вертикальное распределение ^{238}Pu и $^{239,240}\text{Pu}$ в колонках донных отложений, 2017 г./
Fig. 4.3. Vertical distribution of ^{238}Pu and $^{239,240}\text{Pu}$ in bottom sediments columns, 2017

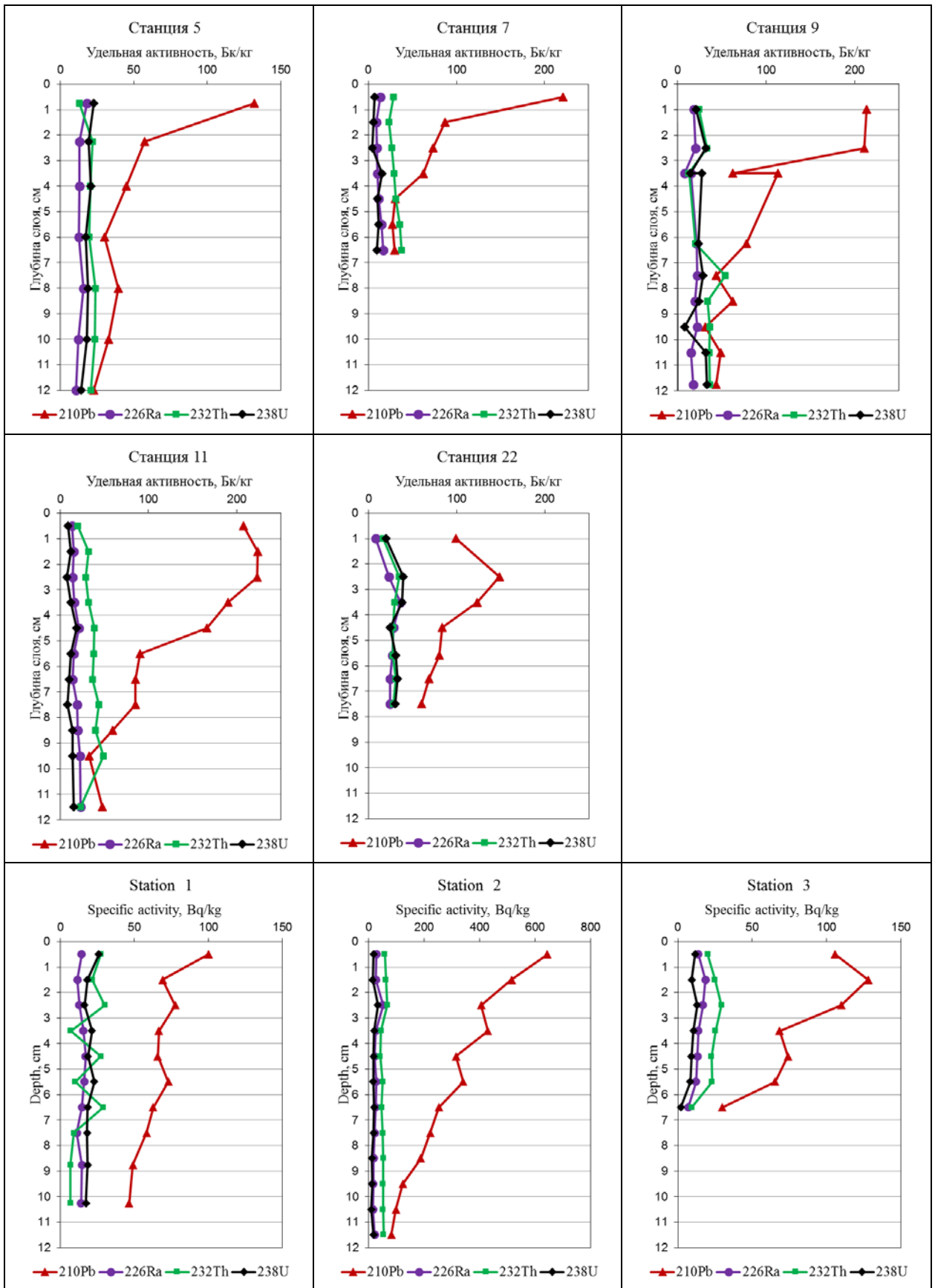
Исследования вертикального распределения плутония в колонках на станциях 2, 3, 7, и 11 показали, что по всей глубине осадки содержат минимальные количества изотопов ^{238}Pu и $^{239,240}\text{Pu}$ (рис. 4.3, Приложения С2, С3, С5, С7). Значимые концентрации измерены лишь в нескольких слоях на станциях 3, 7 и 11. Средняя

A research of plutonium vertical distribution in columns at stations 2, 3, 7, and 11 showed that deposits contained minimum amounts of ^{238}Pu and $^{239,240}\text{Pu}$ isotopes on all depth (Fig. 4.3, Annexes C2, C3, C5, C7). Significant concentrations are measured only in a few layers at stations 3, 7 and 11. The average specific activity of ^{238}Pu and $^{239,240}\text{Pu}$

удельная активность ^{238}Pu и $^{239,240}\text{Pu}$ в этих колонках составила $0.69\pm 0,75$ и $1.16\pm 1,16$ Бк/кг сухой массы, соответственно. Максимальная глубина распространения изотопов плутония в кернах – 9–10 см (Приложение С7). Наибольшим содержанием ^{238}Pu (2.32 Бк/кг) и $^{239,240}\text{Pu}$ (3.21 Бк/кг) характеризуются осадки в слое 2–3 см на станции 3 вблизи РТП «Атомфлот». Полученные в 2017 г. данные хорошо согласуются с результатами, полученными в исследованиях 1990-х гг. [18]. Изотопное соотношение $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ в этих слоях в среднем составило 0.60. Это существенно выше, чем в глобальных атмосферных выпадениях – 0.019 и в сбросах радиохимического завода в Селлафилде (Великобритания) – 0.26 [22, 23]. Можно предположить, что появление изотопов плутония связано с деятельностью РТП «Атомфлот».

in these columns was $0,69\pm 0,75$ and 1.16 ± 1.16 Bq/kg of dry weight, respectively. The maximum depth of plutonium isotopes distribution in cores - 9–10 cm (Annex C7). The largest content of ^{238}Pu (2.32 Bq/kg) and $^{239,240}\text{Pu}$ (3.21 Bq/kg) characterizes deposits in 2–3 cm layer at station 3 near distribution transformer substation (DTS) "Atomflot". The data obtained in 2017 are well coordinated with the results obtained in the research of the 1990s [18]. $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ isotopic ratio in these layers averaged 0,60. This is significantly higher than in the global atmospheric losses – 0.019 and in the discharges of the radiochemical plant in Sellafield (UK) – 0.26 [22, 23]. It can be assumed that the appearance of plutonium isotopes is related to DTS "Atomflot" activity.





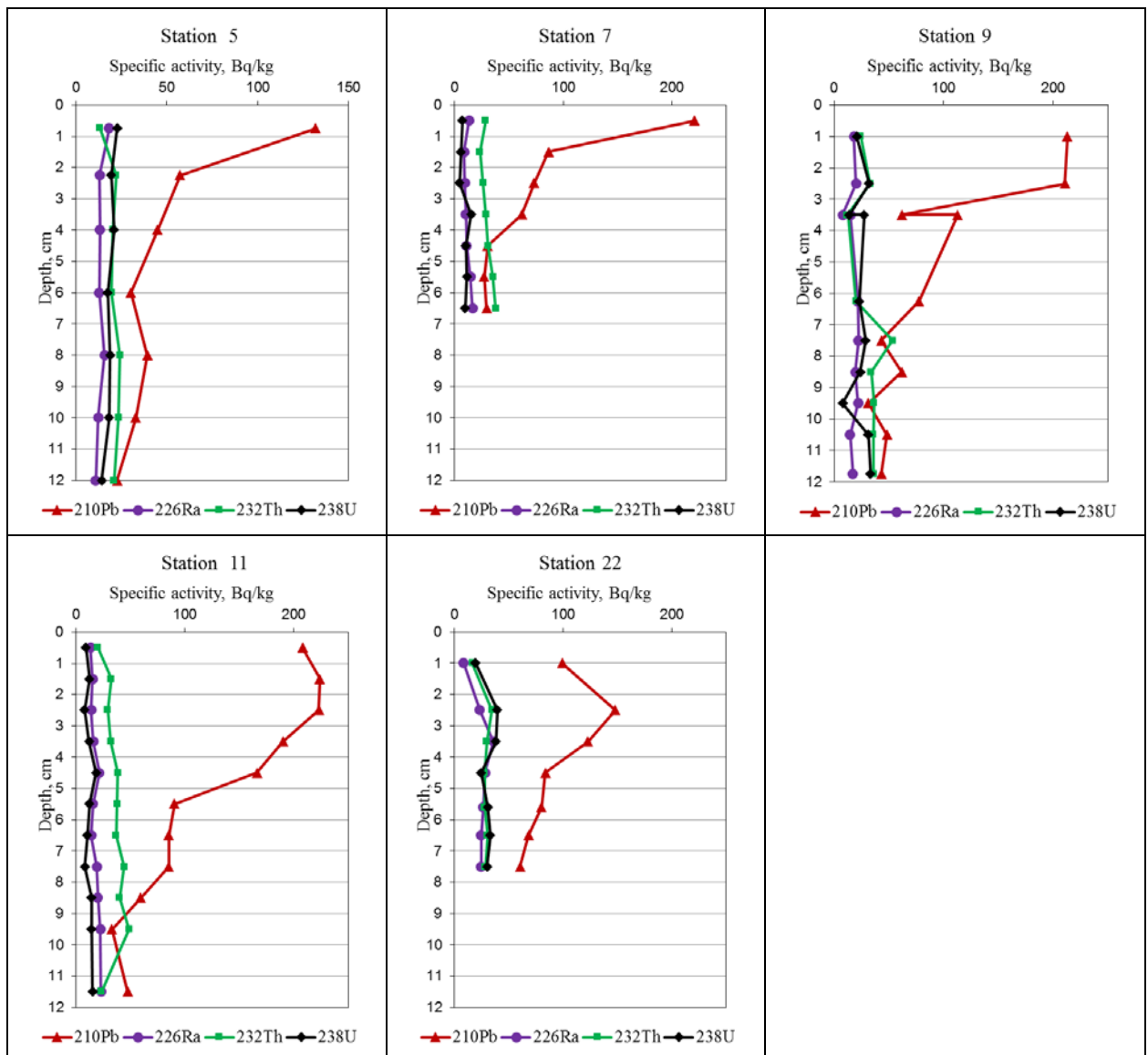


Рис. 4. 4. Вертикальное распределение естественных радионуклидов в колонках донных отложений, 2017 г. /

Fig. 4. 4. Vertical distribution of natural radionuclides in bottom sediments columns, 2017

<p>Вертикальные профили распределения радионуклидов естественного происхождения (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{238}U и ^{210}Pb) в донных отложениях Кольского и Мотовского заливов Баренцева моря приведены на рис. 4.4. Уровни естественных радионуклидов ^{226}Ra, ^{232}Th и ^{238}U на вертикальных профилях в разных районах морского побережья не имеют значимых отличий. Удельная активность ^{226}Ra варьирует в диапазоне от 7.0 до 51.6 Бк/кг сухой массы; ^{232}Th - от 6.7 до 66.7 Бк/кг; ^{238}U - от 2.0 до 39.4 Бк/кг. Выраженных тенденций в изменении содержания радионуклидов с глубиной не</p>	<p>Vertical profiles of radionuclides distribution of natural origin (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{238}U and ^{210}Pb) in bottom sediments of Kola and Motovsky Bays of the Barents Sea are given on Fig. 4.4. Natural radionuclides levels of ^{226}Ra, ^{232}Th and ^{238}U on vertical profiles in different areas of the marine foreshore have no significant differences. ^{226}Ra specific activity ranges from 7.0 to 51.6 Bq/kg of dry weight; ^{232}Th - from 6.7 to 66.7 Bq/kg; ^{238}U - from 2.0 to 39.4 Bq/kg. The expressed trends in the change of radionuclides content with depth are not found. The specific activity of one more natural radionuclide ^{40}K in bottom sediments of the explored foreshore areas</p>
--	--

обнаруживается. Удельная активность еще одного естественного радионуклида ^{40}K в донных отложениях исследованных районов побережья варьирует в широких пределах от 177 до 1250 Бк/кг (в среднем 766 ± 212 Бк/кг) без закономерных изменений по вертикальному профилю (Приложения С2-8). В распределении ^{210}Pb во всех исследованных колонках прослеживается устойчивая тенденция снижения удельной активности радионуклида с глубиной. Это является признаком стабильности процессов осадконакопления и дает возможность провести датировку слоев донного осадка, а также количественно оценить скорость современного осадконакопления.

varies over a wide range from 177 to 1250 Bq/kg (on average 766 ± 212 Bq/kg) without natural changes on a vertical profile (Annex C2-8). A steady tendency of radionuclide specific activity decrease with depth is traced in ^{210}Pb distribution in all studied columns. This is a sign of sedimentation processes stability and allows dating of bottom deposit layers and also estimating quantitatively modern sedimentation rate.

4.2. Датирование современных донных осадков по ^{210}Pb

Определение средней скорости осадконакопления в изучаемом районе проводилось методом датирования современных донных отложений по неравновесному ^{210}Pb [11].

Метод датирования современных донных отложений по ^{210}Pb основан на нарушении равновесия в ряду продуктов распада ^{238}U . Свинец-210 имеет короткий период полураспада — 22,3 года, поэтому позволяет исследовать процессы в пределах последнего столетия. Свинец-210 образуется при распаде ^{222}Rn — дочернего продукта распада ^{226}Ra . Часть радона поступает в атмосферу из горных пород, содержащих уран и радий. При распаде ^{222}Rn в атмосфере образуется поток ^{210}Pb на подстилающую поверхность с атмосферными осадками. Этот поток можно считать постоянным для данного места в некотором временном интервале. В водоемах ^{210}Pb связывается с взвешенным веществом и оседает на дно. В профиле ненарушенных донных осадков активность ^{210}Pb постепенно убывает по закону радиоактивного распада, пока не доходит до значения, равновесного с ^{226}Ra , распадающемся в донном осадке. Во внутренних слоях осадка наблюдается экспоненциальное уменьшение активности ^{210}Pb с глубиной, по которому можно определить скорость осадконакопления и возраст слоев осадка.

4.2. Dating of modern bottom deposits of ^{210}Pb

The ^{210}Pb method of sediment age-dating was used to determine the average sedimentation rate [11].

The ^{210}Pb age-dating method is based on a disequilibrium among the decay products of ^{238}U . Lead-210 has a short half-life - 22.3 years, which is used to explore processes and events within the last century. Lead-210 is formed by the decay of ^{222}Rn which is a daughter decay product of ^{226}Ra . Some radon enters the atmosphere from rocks containing uranium and radium. During the decay of ^{222}Rn , ^{210}Pb is formed. Lead-210 sorbs onto particles that deposit on the seafloor sediment surface. The flux of ^{210}Pb to the sediment surface can be considered constant for a given area and time interval. ^{210}Pb activity in undisturbed sediments gradually decreases by radioactive decay until it reaches equilibrium with the activity of ^{226}Ra in bottom sediments. In undisturbed sediment cores, an exponential decrease of ^{210}Pb activity with sediment depth is observed. This makes it possible to determine the sedimentation rate and the age of the sediment layer.

<p>Основные предположения, на которых базируется использованная методика датирования осадочных слоев:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Поток избыточного ^{210}Pb в донные осадки постоянен; - Скорость накопления осадков постоянна во времени; - Постседиментационная миграция в осадки отсутствует; - Активность ^{210}Pb, обусловленная распадом ^{226}Ra в осадках не меняется с глубиной. <p>Материалом исследования послужили колонки ненарушенных донных отложений, разделенные на тонкие слои (0–0.5 см или 0–1 см), достаточные для обеспечения приемлемого временного разрешения интервалов датирования.</p> <p>При выполнении всех основных предположений метода датирования активность избыточного ^{210}Pb в осадке возрастом t определяется соотношением:</p> $A_x = A_0 e^{-\lambda x/v}$ <p>где A_x – активность избыточного ^{210}Pb в слое на глубине x см ниже поверхности раздела осадок–вода, A_0 – активность избыточного ^{210}Pb в поверхностном слое осадка, λ – постоянная распада ^{210}Pb (0.031 год⁻¹), v – скорость осадконакопления (см/год).</p> <p>Для получения средней скорости седиментации было проведено определение ^{210}Pb по длине исследуемой колонки.</p>	<p>The main assumptions on which the used method of sedimentary layers dating is based:</p> <ul style="list-style-type: none"> - The flow of excess ^{210}Pb into the bottom deposits is constant; - Deposits accumulation rate is constant in time; - There is no post-sedimentation migration to deposits; - ^{210}Pb activity caused by ^{226}Ra decay in deposits does not change with depth. <p>We used columns of undisturbed bottom sediments, sectioned into thin layers (0–0.5 cm and 0–1 cm) to ensure an acceptable time resolution for the dated sediment intervals.</p> <p>When the key assumptions of the age-dating method are met, we determined the activity of excess ^{210}Pb in the sediment of age t by the simple relation:</p> $A_x = A_0 e^{-\lambda x/v},$ <p>where A_x – is the activity of excess ^{210}Pb at a layer x cm below the surface sediment-water interface, A_0 – is the activity of excess ^{210}Pb in the surface sediment layer, λ – the decay constant of ^{210}Pb (0.031 year⁻¹) v – sedimentation rate (cm/yr).</p> <p>To determine an average sedimentation rate we conducted ^{210}Pb dating analysis along the length of the sediment column.</p>
--	--

<p>4.3. Скорость осадконакопления и хронология загрязнения</p> <p>Результаты датирования современных донных отложений Кольского и Мотовского заливов по неравновесному ^{210}Pb приведены на рис. 4.5, в таблицах 4.1–4.8 и Приложении D. Исследованные колонки осадков охватывают исторический период от 30 до 100 лет, что хорошо укладывается во временные пределы применимости выбранного метода датирования.</p> <p>Отличительной особенностью исследуемых колонок является отсутствие выраженных максимумов содержания каких-либо антропогенных радионуклидов, по которым можно было бы провести уточнение результатов датировок.</p>	<p>4.3. Sedimentation rate and pollution chronology</p> <p>Modern bottom sediments dating results of Kola and Motovsky Bays on nonequilibrium ^{210}Pb are given on Fig. 4.5, in Table 4.1–4.8 and Annex D. Studied deposits columns cover a historical period from 30 to 100 years which fits well within the time limits of selected dating method applicability.</p> <p>The distinctive feature of the studied columns is the absence of the expressed contents maxima of any anthropogenic radionuclides on which specification of datings results could be carried out.</p>
--	---

Таблица 4.1

Станция 1. Результаты датирования слоев донного осадка в колонках по содержанию радиоизотопов ^{210}Pb , ^{226}Ra и ^{137}Cs . Кольский залив, октябрь 2017 г.

Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы			Дата, год
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–1	59.1±2.8	14.4±1.7	7.7±1.7	2017
1–2	38.9±2.8	11.4±1.8	6.5±1.5	2014
2–3	45.8±5.5	12.8±2.5	5.6±2.0	2011
3–4	38.9±1.9	15.4±1.5	8.8±1.9	2008
4–5	40.6±3.3	17.0±2.5	9.0±2.1	2004
5–6	43.3±2.1	16.1±1.6	9.4±2.0	2001
6–7	37.7±4.4	14.6±2.5	8.1±2.2	1998
7–8	35.2±2.4	11.0±1.6	9.2±2.1	1995
8–9.5	28.8±1.7	14.6±8.5	7.9±1.7	1991
9.5–11	27.8±1.3	14.0±1.0	8.3±1.7	1986

Table 4.1

Station 1. Dating results of bottom deposit layers in columns by radioisotopes content of ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs . Kola Bay, October 2017

Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight			Date, year
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–1	59.1±2.8	14.4±1.7	7.7±1.7	2017
1–2	38.9±2.8	11.4±1.8	6.5±1.5	2014
2–3	45.8±5.5	12.8±2.5	5.6±2.0	2011
3–4	38.9±1.9	15.4±1.5	8.8±1.9	2008
4–5	40.6±3.3	17.0±2.5	9.0±2.1	2004
5–6	43.3±2.1	16.1±1.6	9.4±2.0	2001
6–7	37.7±4.4	14.6±2.5	8.1±2.2	1998
7–8	35.2±2.4	11.0±1.6	9.2±2.1	1995
8–9.5	28.8±1.7	14.6±8.5	7.9±1.7	1991
9.5–11	27.8±1.3	14.0±1.0	8.3±1.7	1986

Таблица 4.2

Станция 2. Результаты датирования слоев донного осадка в колонках по содержанию радиоизотопов ^{210}Pb , ^{226}Ra и ^{137}Cs , Кольский залив, октябрь 2017 г.

Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы			Дата, год
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–1	644.0±14.0	27.3±1.8	2.0±0.8	2017
1–2	515.0±12.0	25.4±2.3	2.6±0.7	2011
2–3	405.0±8.8	51.6±1.2	2.0±0.4	2004
3–4	429.0±10.0	25.5±1.5	3.8±0.5	1998
4–5	314.0±6.1	21.6±1.0	5.9±0.4	1992
5–6	340.0±2.6	26.1±0.9	5.4±0.1	1985
6–7	253.0±9.9	24.8±0.9	6.3±0.6	1979
7–8	222.0±9.3	21.8±1.4	5.0±0.7	1973
8–9	188.0±8.5	17.1±1.1	2.1±0.3	1967
9–10	123.0±5.4	16.5±2.3	1.2±0.1	1960
10–11	98.2±6.5	14.8±1.9	1.0±0.1	1954
11–12	81.4±8.9	21.7±1.6	26.9±2.4	1948

Table 4.2

Station 2. Dating results of bottom deposit layers in columns by radioisotopes content of ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs , Kola Bay, October 2017

Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight			Date, year
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–1	644.0±14.0	27.3±1.8	2.0±0.8	2017
1–2	515.0±12.0	25.4±2.3	2.6±0.7	2011
2–3	405.0±8.8	51.6±1.2	2.0±0.4	2004
3–4	429.0±10.0	25.5±1.5	3.8±0.5	1998
4–5	314.0±6.1	21.6±1.0	5.9±0.4	1992
5–6	340.0±2.6	26.1±0.9	5.4±0.1	1985
6–7	253.0±9.9	24.8±0.9	6.3±0.6	1979
7–8	222.0±9.3	21.8±1.4	5.0±0.7	1973
8–9	188.0±8.5	17.1±1.1	2.1±0.3	1967
9–10	123.0±5.4	16.5±2.3	1.2±0.1	1960
10–11	98.2±6.5	14.8±1.9	1.0±0.1	1954
11–12	81.4±8.9	21.7±1.6	26.9±2.4	1948

Таблица 4.3

Станция 3. Результаты датирования слоев донного осадка в колонках по содержанию радиоизотопов ^{210}Pb , ^{226}Ra и ^{137}Cs , Кольский залив, октябрь 2017 г.

Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы			Дата, год
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–1	106.0±6.0	13.7±0.9	0.9±0.3	2018
1–2	128.0±14.0	18.6±1.9	1.2±0.4	2011
2–3	110.0±8.0	16.9±1.1	5.7±0.7	2004
3–4	68.5±2.9	13.7±1.1	3.0±0.4	1997
4–5	74.1±5.3	13.2±0.9	7.0±0.5	1989
5–6	65.5±4.9	12.3±1.0	2.6±0.4	1982
6–7	29.8±4.2	7.0±0.8	0.4±0.2	1975

Table 4.3

Station 3. Dating results of bottom deposit layers in columns by radioisotopes content of ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs , Kola Bay, October 2017

Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight			Date, year
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–1	106.0±6.0	13.7±0.9	0.9±0.3	2018
1–2	128.0±14.0	18.6±1.9	1.2±0.4	2011
2–3	110.0±8.0	16.9±1.1	5.7±0.7	2004
3–4	68.5±2.9	13.7±1.1	3.0±0.4	1997
4–5	74.1±5.3	13.2±0.9	7.0±0.5	1989
5–6	65.5±4.9	12.3±1.0	2.6±0.4	1982
6–7	29.8±4.2	7.0±0.8	0.4±0.2	1975

Таблица 4.4

Станция 5. Результаты датирования слоев донного осадка в колонках по содержанию радиоизотопов ^{210}Pb , ^{226}Ra и ^{137}Cs , Кольский залив, октябрь 2017 г.

Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы			Дата, год
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–1.5	132.0±16.1	18.1±1.6	5.1±1.0	2017
1.5–3	57.2±7.1	12.9±0.9	4.4±0.6	2009
3–5	44.9±7.0	13.1±1.1	4.4±0.8	2000
5–7	30.2±4.3	12.7±0.9	5.1±0.6	1990
7–9	39.3±7.0	15.7±1.1	6.7±1.7	1979
9–11	32.8±4.6	12.1±0.9	6.6±7.4	1969
11–13	22.6±4.2	10.8±0.8	4.6±0.9	1959

Table 4.4

Station 5. Dating results of bottom deposit layers in columns by radioisotopes content of ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs , Kola Bay, October 2017

Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight			Date, year
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–1.5	132.0±16.1	18.1±1.6	5.1±1.0	2017
1.5–3	57.2±7.1	12.9±0.9	4.4±0.6	2009
3–5	44.9±7.0	13.1±1.1	4.4±0.8	2000
5–7	30.2±4.3	12.7±0.9	5.1±0.6	1990
7–9	39.3±7.0	15.7±1.1	6.7±1.7	1979
9–11	32.8±4.6	12.1±0.9	6.6±7.4	1969
11–13	22.6±4.2	10.8±0.8	4.6±0.9	1959

Таблица 4.5

Станция 7. Результаты датирования слоев донного осадка в колонках по содержанию радиоизотопов ^{210}Pb , ^{226}Ra и ^{137}Cs , Кольский залив, октябрь 2017 г.

Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы			Дата, год
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–1	221.0±7.5	13.5±1.1	2.4±0.4	2017
1–2	86.7±5.1	8.9±1.2	1.6±0.4	2002
2–3	73.2±4.3	9.6±2.1	1.2±0.2	1986
3–4	62.1±5.6	10.4±1.6	1.1±0.1	1971
4–5	30.4±3.5	11.3±0.7	0.6±0.1	1956
5–6	27.2±2.4	14.8±3.1	0.9±0.2	1941
6–7	29.6±6.2	16.7±0.9	1.1±0.1	1925

Table 4.5

Station 7. Dating results of bottom deposit layers in columns by radioisotopes content of ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs , Kola Bay, October 2017

Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight			Date, year
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–1	221.0±7.5	13.5±1.1	2.4±0.4	2017
1–2	86.7±5.1	8.9±1.2	1.6±0.4	2002
2–3	73.2±4.3	9.6±2.1	1.2±0.2	1986
3–4	62.1±5.6	10.4±1.6	1.1±0.1	1971
4–5	30.4±3.5	11.3±0.7	0.6±0.1	1956
5–6	27.2±2.4	14.8±3.1	0.9±0.2	1941
6–7	29.6±6.2	16.7±0.9	1.1±0.1	1925

Таблица 4.6

Станция 9. Результаты датирования слоев донного осадка в колонках по содержанию радиоизотопов ^{210}Pb , ^{226}Ra и ^{137}Cs , Кольский залив, октябрь 2017 г.

Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы			Дата, год
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–2	213.3±22.8	18.1±1.1	7.2±0.9	2017
2–3	210.8±25.3	19.9±1.7	8.2±2.6	2009
3–4	61.8±7.0	7.8±0.8	2.1±0.4	2000
4–5.5	113±13.4	14.9±1.3	5.0±0.7	1992
5.5–7	77.7±7.0	21.5±2.4	2.7±0.3	1983
7–8	43.3±1.9	22.2±3.4	1.7±0.2	1975
8–9	61.8±2.1	19.4±3.1	1.8±0.2	1966
9–10	31.2±6.5	22.1±1.9	1.6±0.4	1958
10–11	48.2±7.3	14.6±1.6	2.0±0.3	1949
11–12.5	43.3±9.0	17.2±1.8	2.3±0.8	1941

Table 4.6

Station 9. Dating results of bottom deposit layers in columns by radioisotopes content of ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs , Kola Bay, October 2017

Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight			Date, year
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–2	213.3±22.8	18.1±1.1	7.2±0.9	2017
2–3	210.8±25.3	19.9±1.7	8.2±2.6	2009
3–4	61.8±7.0	7.8±0.8	2.1±0.4	2000
4–5.5	113±13.4	14.9±1.3	5.0±0.7	1992
5.5–7	77.7±7.0	21.5±2.4	2.7±0.3	1983
7–8	43.3±1.9	22.2±3.4	1.7±0.2	1975
8–9	61.8±2.1	19.4±3.1	1.8±0.2	1966
9–10	31.2±6.5	22.1±1.9	1.6±0.4	1958
10–11	48.2±7.3	14.6±1.6	2.0±0.3	1949
11–12.5	43.3±9.0	17.2±1.8	2.3±0.8	1941

Таблица 4.7

Станция 11. Результаты датирования слоев донного осадка в колонках по содержанию радиоизотопов ^{210}Pb , ^{226}Ra и ^{137}Cs , Кольский залив, октябрь 2017 г.

Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы			Дата, год
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–1	208.0±7.7	13.1±1.1	1.4±0.5	2017
1–2	224.0±9.7	15.3±1.2	5.2±0.6	2008
2–3	223.0±9.8	13.9±1.2	1.7±0.5	1999
3–4	190.0±7.5	15.9±1.2	1.2±0.1	1990
4–5	166.0±7.3	21.4±0.7	2.4±0.6	1982
5–6	90.4±6.4	15.4±1.3	0.3±0.1	1973
6–7	85.2±6.1	13.7±0.6	0.7±0.2	1964
7–8	85.1±3.5	19.1±0.4	0.1±0.1	1955
8–9	59.2±5.8	19.9±1.1	0.7±0.2	1946
9–10	32.8±5.8	22.3±1.3	1.2±0.1	1937
10–13	47.5±7.2	22.9±1.5	0.9±0.3	1919

Table 4.7

Station 11. Dating results of bottom deposit layers in columns by radioisotopes content of ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs , Kola Bay, October 2017

Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight			Date, year
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–1	208.0±7.7	13.1±1.1	1.4±0.5	2017
1–2	224.0±9.7	15.3±1.2	5.2±0.6	2008
2–3	223.0±9.8	13.9±1.2	1.7±0.5	1999
3–4	190.0±7.5	15.9±1.2	1.2±0.1	1990
4–5	166.0±7.3	21.4±0.7	2.4±0.6	1982
5–6	90.4±6.4	15.4±1.3	0.3±0.1	1973
6–7	85.2±6.1	13.7±0.6	0.7±0.2	1964
7–8	85.1±3.5	19.1±0.4	0.1±0.1	1955
8–9	59.2±5.8	19.9±1.1	0.7±0.2	1946
9–10	32.8±5.8	22.3±1.3	1.2±0.1	1937
10–13	47.5±7.2	22.9±1.5	0.9±0.3	1919

Таблица 4.8

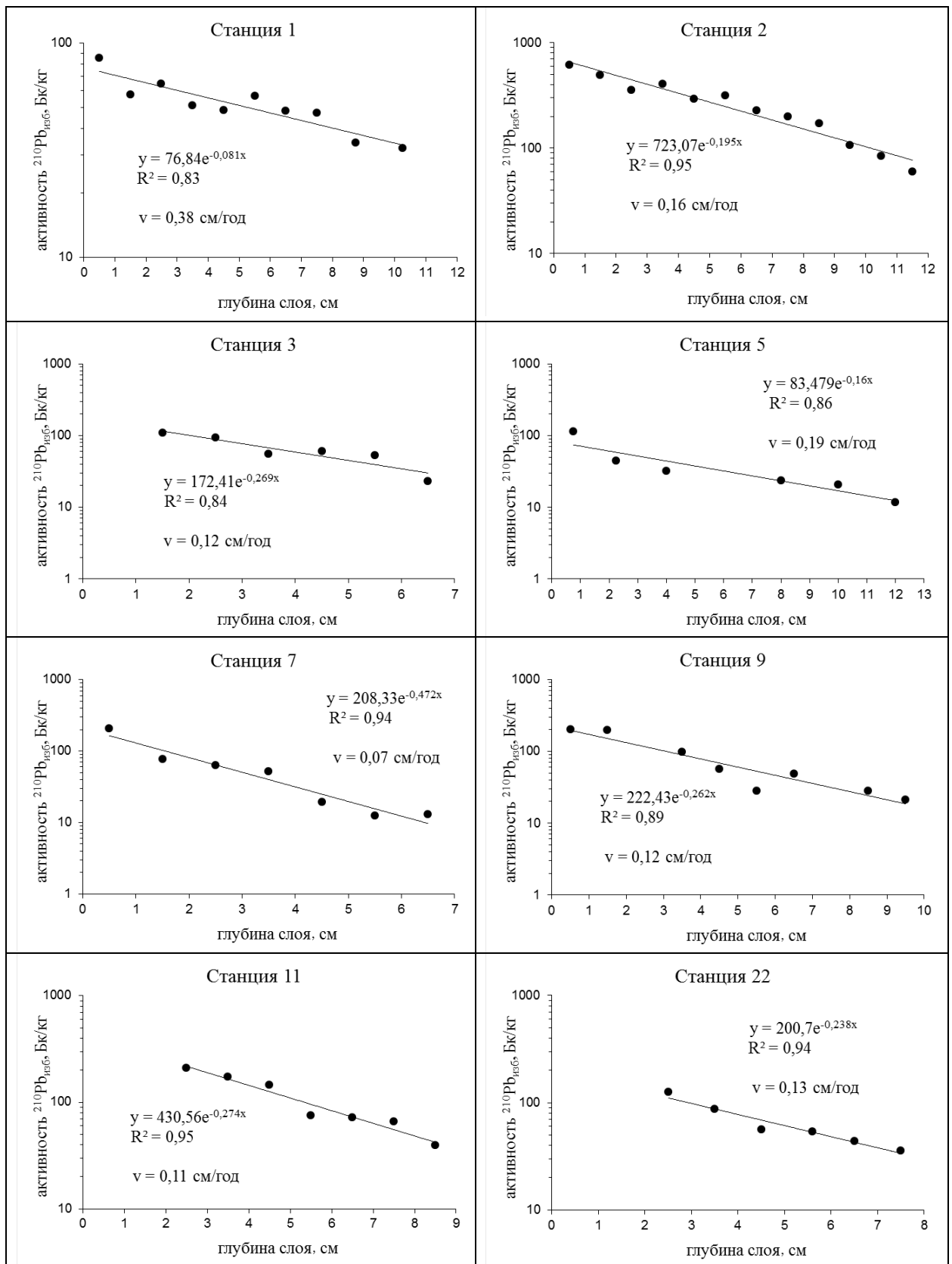
Станция 22. Результаты датирования слоев донного осадка в колонках по содержанию радиоизотопов ^{210}Pb , ^{226}Ra и ^{137}Cs , Мотовский залив, октябрь 2017 г.

Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы			Дата, год
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–2	99.4±10.5	8.3±0.5	1.4±0.2	2017
2–3	148.2±18.0	23.4±1.7	2.9±0.6	2005
3–4	123.0±14.1	35.8±2.2	3.4±0.5	1998
4–5	83.8±11.1	28.1±1.9	2.6±0.3	1990
5–6	80.1±9.6	26.7±1.5	2.4±0.4	1982
6–7	68.3±9.4	24.5±1.8	2.3±0.4	1975
7–8	60.4±9.3	24.6±1.4	2.7±0.4	1967

Table 4.8

Station 22. Dating results of bottom deposit layers in columns by radioisotopes content of ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs , Motovsky Bay, October 2017

Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight			Date, year
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–2	99.4±10.5	8.3±0.5	1.4±0.2	2017
2–3	148.2±18.0	23.4±1.7	2.9±0.6	2005
3–4	123.0±14.1	35.8±2.2	3.4±0.5	1998
4–5	83.8±11.1	28.1±1.9	2.6±0.3	1990
5–6	80.1±9.6	26.7±1.5	2.4±0.4	1982
6–7	68.3±9.4	24.5±1.8	2.3±0.4	1975
7–8	60.4±9.3	24.6±1.4	2.7±0.4	1967



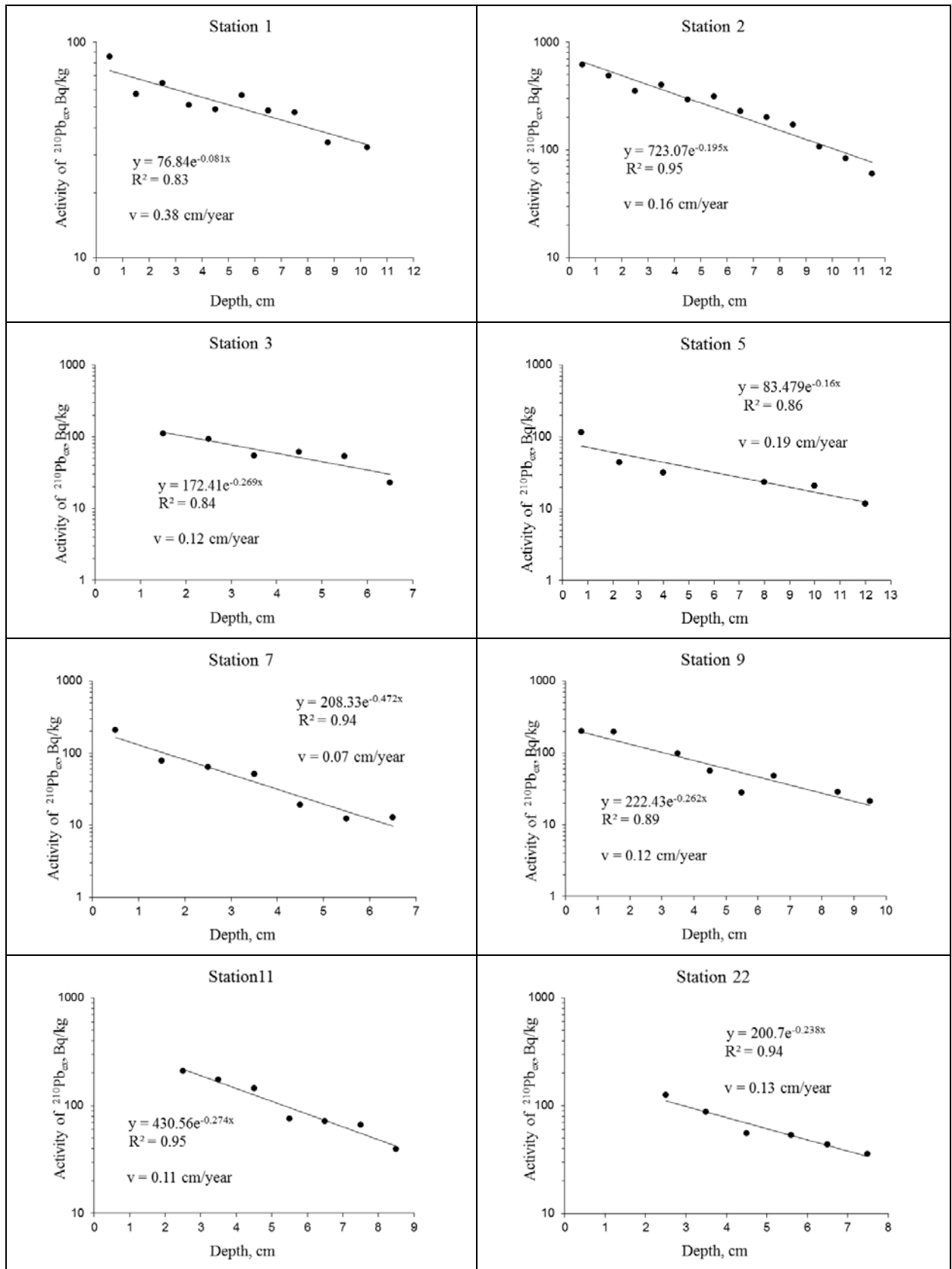


Рис. 4.5. Вертикальное распределение избыточного ^{210}Pb в донных отложениях Кольского и Мотовского заливов и расчетная скорость осадконакопления /
 Fig. 4.5. Vertical distribution of excess ^{210}Pb in the bottom sediments of Kola and Motovsky Bays and calculated rate of sedimentation

Ранее, в исследованиях 1995 г и 2012-2014 гг., в колонках донных отложений из Кольского Мотовского заливов обнаруживались два пика содержания ^{137}Cs . Один из пиков соответствует середине 1960-х годов - времени максимальных выпадений антропогенных радионуклидов из атмосферы. Второй пик в 1986 году соответствует аварии на Чернобыльской АЭС [17, 20]. Однако чем больше времени проходит, тем более сглаженными становятся распределения антропогенных радионуклидов по глубине донных осадков. Этому способствуют постоянное образование молодых осадков и заглубление загрязненных слоев, физические процессы радиоактивного распада, перемешивание с другими слоями в результате биотурбации, химическая диффузия, процессы переноса с поровыми водами и пр.

Согласно результатам расчетов, единственный выраженный максимум содержания ^{137}Cs в слое 11-12 см на станции 2 (Кольский залив), составивший 26.9 Бк/кг, по временной шкале (табл. 2, Приложение В2) относится к концу 1940-х гг. На станции 3 относительно повышенное поступление изотопов плутония ($^{239,240}\text{Pu}$ – 3.21 Бк/кг; ^{238}Pu – 2.32 Бк/кг) относится к началу 2000-х годов. Обе станции находятся в зоне возможного влияния ФГУП «Атомфлот». Максимум ^{137}Cs не может датироваться ранее 1960 года, когда предприятие начало свою деятельность. Наблюдаемое смещение по временной шкале, обусловлено постседиментационной миграцией ^{137}Cs за счет его высокой подвижности. Этими же процессами можно объяснить обнаружение минимальных количеств ^{137}Cs в слоях осадка, относящихся к периоду до появления ядерного оружия (станции 7, 9, 11).

По результатам расчетов скорость осадконакопления изменяется в разных частях района исследований от 0.07 до 0.38 см/год (рис. 4.5). Максимальное осадконакопление 0.38 см/год наблюдается на станции 1 в кутовой части Кольского залива и связано с впадением двух крупных рек – Колы и Туломы, выносящих значительное количество взвеси. На станции 7, расположенной в Среднем колене Кольского залива, расчетная скорость

Two peaks of ^{137}Cs content were found in bottom sediments columns from Kola, Motovsky Bays earlier in research of 1995 and 2012-2014. One of peaks corresponds to mid-1960s - time of the maximum losses of anthropogenic radionuclides from the atmosphere. The second peak in 1986 corresponds to the accident at the Chernobyl nuclear power plant [17, 20]. However, the more time passes the smoother anthropogenic radionuclides distribution becomes in bottom deposits depth. This is facilitated by the constant formation of young deposits and the deepening of contaminated layers, physical processes of radioactive decay, mixing with other layers as a result of bioturbation, chemical diffusion, transport processes with pore waters and etc.

The only expressed maximum of ^{137}Cs content in 11-12 cm layer at station 2 (Kola Bay) which was 26.9 Bq/kg according to the time scale (Table 2, Appendix B2) refers to the late 1940s according to calculations results. At Station 3 relatively increased plutonium isotopes intake ($^{239,240}\text{Pu}$ – 3.21 Bq/kg; ^{238}Pu – 2.32 Bq/kg) refers to the early 2000s. Both stations are in possible influence zone of FSUE «Atomflot». The maximum of ^{137}Cs cannot be dated until 1960 when the enterprise started its activity. The observed shift on a time scale caused by post-sedimentation migration of ^{137}Cs due to its high mobility. Same processes can explain the detection of ^{137}Cs minimal amounts in deposit layers related to the period prior to nuclear weapons emergence (stations 7, 9, 11).

Sedimentation speed changes in different parts of researches area from 0,07 to 0,38 cm/year according to calculations results (Fig. 4.5). The maximum sedimentation of 0.38 cm/year is observed at station 1 in the head part of Kola Bay and is related to the fall of two major rivers - Kola and Tuloma taking out a significant amount of suspension. The calculated rate of sedimentation appeared a minimum of 0.07 cm/year at station 7 located in the Middle Part of the Kola Bay, i.e. this

осадконакопления оказалась минимальной 0,07 см/год, т.е. этот район является зоной транзита осадочного вещества. Скорости осадконакопления в других точках исследования изменяются от 0.11 до 0.19 см/год. В целом, полученные значения хорошо согласуются с ранее опубликованными данными по скоростям осадконакопления в Кольском и Мотовском заливах [19, 21].

Таким образом, методом геохронологических исследований донных отложений изучены процессы современного осадконакопления в различных районах Кольского залива. Максимальные скорости осадконакопления, около 0.38 см/год, характерны для вершины Кольского залива. На других участках скорости осадконакопления в 2-5 раза ниже. Проведен анализ профиля концентрации искусственных радионуклидов в слоях донных отложений. В сравнении с ранее проведенными исследованиями отмечается сокращение спектра радионуклидов, которые содержатся в разных слоях донных отложений. Профили вертикального распределения радиоизотопов приобретают более сглаженный характер. Эта тенденция указывает на благополучную радиоэкологическую ситуацию в последние десятилетия. Уже проведенные операции по транзиту ОЯТ из хранилищ пункта временного хранения в губе Андреева и отделения «Гремиха» в настоящее время не привели к каким-либо ее изменениям.

area is a transit zone of the sedimentary substance. Sedimentation rate vary from 0.11 to 0.19 cm/year at other research points. In general the obtained values are well coordinated with the previously published data on sedimentation rate in Kola and Motovsky Bays [19, 21].

Thus geochronological research method of bottom sediments studied modern sedimentation processes in different areas of Kola Bay. Maximum sedimentation rate of about 0,38 cm/year are typical for the top of the Kola Bay. Sedimentation rates are 2-5 times lower on other sites. Concentration profile analysis of artificial radionuclides was carried out in bottom sediments layers. Compared to the previous conducted research it is noted a reduction of radionuclides range which contained in different bottom sediments layers. Profiles of radioisotopes vertical distribution become smoother. This trend indicates a safe radioecological situation in the last decades. Already performed operations on SNF transit from the storages of the temporary storage point in Andreeva Bay and «Gremikha» Branch have not led to any changes in it at present.

Заклучение

В результате полевых и лабораторных работ и камеральных исследований, проведенных в 2017-2020 гг. определен текущий уровень концентраций радионуклидов в морской среде по маршруту эвакуации отработавшего ядерного топлива из хранилищ в губе Андреева и отделения «Гремиха» в Кольский залив.

Радионуклидное загрязнение акватории, донных осадков и бентосных гидробионтов дифференцировано, но везде оценивается как низкое. В прибрежных районах наблюдается тенденция на сокращение спектра техногенных радионуклидов в глубинных слоях донного осадка и сглаживание наблюдавшихся ранее пиков их экстремальных концентраций. Распространенные и относительно редко расселенные виды морского фито- и зообентоса *F. vesiculosus* и *A. Nodosum*, *M. edulis* могут служить индикаторами при многолетних радиоэкологических наблюдениях.

В настоящее время в прибрежной зоне открытого моря на участках транзита ОЯТ существуют два источника техногенных радионуклидов, которые формируют радиоэкологический фон. Это хранилище радиоактивных отходов в губе Андреева и суммарный сток Кольского залива, в котором располагаются несколько объектов инфраструктуры атомного флота.

Радиоактивные загрязнения попадающие в Мотовский залив из губы Андреева перераспределяются по акватории залива в восточном направлении к его устью со снижением концентрации радионуклидов. В Кольском заливе происходит накопление попадающих в донные осадки загрязнений в среднем и северном коленах залива в соответствии с рельефом дна. Радионуклиды во взвешенном состоянии выносятся из залива стоковым течением в открытое море. Хранилища РАО и ОЯТ в губе Сайда и проливе Йоканьгский рейд (отделение «Гремиха») не оказывают в настоящее время существенного влияния на загрязнение морской воды и донных осадков.

Conclusion

As a result of sampling, laboratory studies and analytical research work carried out in 2017-2020, we determined the current level of radionuclides concentrations in the marine environment is determined by an escape route of spent nuclear fuel from storages in Andreeva Bay and «Gremikha» Branch to Kola Bay.

Radionuclide pollution of water area, bottom deposits and benthic hydrobionts is differentiated but estimated as low everywhere. There is a tendency in coastal areas of reducing technogenic radionuclides spectrum in bottom deposits deep layers and smoothing observed earlier peaks of their extreme concentrations. Common and relatively rarely settled species of marine phyto- and zoobenthos *F. vesiculosus* and *A. Nodosum*, *M. edulis* can serve as indicators in many years of radioecological observations.

Currently two sources of technogenic radionuclides exist in the high sea coastal zone at SNF transit sites which form a radioecological background. This is the radioactive wastes storage in Andreeva Bay and the total runoff of Kola Bay in which several infrastructure facilities of the nuclear fleet are located.

Radioactive contaminations falling in Motovsky Bay from Andreeva Bay are redistributed along the bay water area in the eastern direction to its estuary with a decrease of radionuclides concentration. In Kola Bay there is accumulation of pollutions falling in bottom deposits in the middle and northern parts of the bay in accordance with the bottom relief. Radionuclides in suspended condition are carried out from the bay by drain flow into the open sea. RW and SNF storages in Saida Bay and Yokangsky Raid Strait («Gremikha» Branch) do not currently have a significant impact on the pollution of marine water and bottom deposits.

<p>Радиоэкологическая ситуацию в последние десятилетия в Мурманском прибрежье оценивается как благополучная. Уже проведенные операции по транзиту ОЯТ из хранилищ пункта временного хранения в губе Андреева и отделения «Гремиха» в настоящее время не привели к каким-либо ее изменениям.</p>	<p>Radioecological situation in Murmansk foreshore has been assessed as safe in the last decades. Already performed operations on SNF transit from the storages of the temporary storage point in Andreeva Bay and «Gremikha» Branch have not led to any changes in it at present.</p>
---	--

Литература

1. Ильин Г.В., Касаткина Н.Е., Моисеев Д.В., Усягина И.С. Объекты инфраструктуры атомного флота как источник радиоактивного загрязнения Баренцева моря (на примере хранилища отходов в губе Андреева). – 2017, т. 122. вып. 2, с. 108–114.
2. Ильин Г.В., Усягина И.С., Касаткина Н.Е. Радиоэкологическое состояние морской и наземной среды в районе губы Андреева. – Там же, 2015, т. 118, вып. 3, с. 168–174.
3. Лоция Баренцева моря. Ч.2. СПб.: Изд. ГУНИО. 1995. 462 с.
4. Research of present radioactivity levels in the physical environment and biota in the area of the Andreeva Bay. Report. Murmansk. MMBI RAS, 2015
5. Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Отв. ред. академик Г.Г.Матишов. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. – 265 С.
6. Кольский залив и нефть: биота карты уязвимости, загрязнение. Ред. А.А. Шавыкин; ММБИ КНЦ РАН. – СПб.: Реноме, 2018. DOI:10.25990/renomespb.w0pj-zq52
7. Remez, V.P., Zheltonozhko, E.V., Sapozhnikov, Y.A., 1998. The experience of using Anfezh sorbent for recovery of radioactive caesium from sea water. Radiat. Prot. Dosim. 75 (1-4), 77-78.
8. Johnson, B.E., Santschi, P.H., Addleman, R.S., Douglas, M., Davidson, J.D., Fryxell, G.E., Schwantes, J.M., 2011. Collection of fission and activation product elements from fresh and ocean waters: a comparison of traditional and novel sorbents. Appl. Radiat. Isot. 69, 205-216.
9. Методика сорбционного концентрирования радионуклидов цезия с помощью целлюлозно-неорганического сорбента типа «АНФЕЖ» из водных растворов. Утв. Межведомственной комиссией по радиационному контролю природной среды при Гидромете СССР 30.10.91 г.

References

1. Ilyin G.V., Kasatkina N.E., Moiseev D.V., Usyagina I.S. Objekty infrastruktury atomnogo flota kak istochnik radioaktivnogo zagryazneniya Barentseva morya (na primere hranilischa othodov v gube Andreeva). 2017. [Nuclear fleet infrastructure facilities as a source of radioactive contamination of the Barents Sea (on the example of waste storages in Andreeva Bay)]. - Atomnaya energiya. 122 (2), p. 108-114. (In Russian).
2. Ilyin G.V., Usyagina I.S., Kasatkina N.E. Radioekologicheskoe sostoyanie morskoyi i nazemnoy sredy v raione guby Andreeva. 2015. [Radioecological State of the Marine and Terrestrial Environment around Andreeva Bay]. Atomnaya energiya. 118(3), p. 168-174 (In Russian).
3. Locija Barenceva morya. 1995. [Sailing directions of the Barents Sea]. Part. 2. St.-Petersburg: Publishers The government of navigation and oceanography. p. 462 (In Russian).
4. Research of present radioactivity levels in the physical environment and biota in the area of the Andreeva Bay. Report. Murmansk. MMBI RAS, 2015
5. *Kol'sky zaliv: okeanografiya, biologiya, ekosistemy, pollutanty.* 1997. [Kola Bay: oceanography, biology, ecosystems, pollutants]. Academician G.G.Matishov (Ed.). Apatity: Publishers KSC Russian Academy of Sciences, p. 265 (In Russian).
6. *Kol'sky zaliv i neft:biota karty uyazvimosti, zagryaznenie.* 2018. [Kola Bay and oil: biota vulnerability maps, pollution]. A.A. Shavykin (Ed.). MMBI KSC RAS. - SPb.: Renome. DOI:10.25990/renomespb.w0pj-zq52 (In Russian).
7. Remez, V.P., Zheltonozhko, E.V., Sapozhnikov, Y.A., 1998. The experience of using Anfezh sorbent for recovery of radioactive caesium from sea water. Radiat. Prot. Dosim. 75 (1-4), 77-78.
8. Johnson, B.E., Santschi, P.H., Addleman, R.S., Douglas, M., Davidson, J.D., Fryxell, G.E., Schwantes, J.M., 2011. Collection of fission and activation product elements from

10. Методика выполнения измерений активности (удельной активности) гамма-излучающих радионуклидов в счетных образцах с применением спектрометра энергии гамма-излучения CANBERRA с программным обеспечением GENIE 2000. СПб: Изд. ООО «НТЦ «РАДЭК», 2009. 43 с.
11. Алиев Р. А., Калмыков С. Н. Радиоактивность: Учебное пособие. — СПб.:Издательство «Лань», 2013. — 304 с.
12. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Ильин Г.В. и др. Современная радиоэкологическая нагрузка на морскую среду Западной Арктики. – В сб. Морские экосистемы и сообщества в условиях современных климатических изменений. СПб: Реноме, 2014, с.76–98.
13. Ильин Г.В., Матишов Д.Г., Касаткина Н.Е. Формирование антропогенного загрязнения и экосистемное здоровье морей Российской Арктики// Комплексные исследования больших морских экосистем России. Апатиты: Изд. КНЦ РАН. 2011. С. 277-325.
14. Матишов Г.Г., Ильин Г.В., Касаткина Н.Е., Усягина И.С. и др. К оценке воздействия аварийных выбросов АЭС «Фукусима-1» на моря Западной Арктики (на примере Баренцева моря) // Доклады академии наук. 2012. Т. 446, № 4. С. 448–452.
15. Зенкевич Л. А. Биология морей СССР. — М.: Изд-во АН СССР, 1963.— 740 с.
16. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Намятов А.А., Зуев А.Н. Кириллова Е.Э. Радионуклиды в экосистемах залива и прилегающих акваторий // Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. С. 208-234.
17. Matishov G., Matishov D., Namjatov A., Carroll J., Dahle S. Anthropogenic radionuclides in Kola and Motovsky Bays of the Barents Sea, Russia // J. Environ. Radioactivity. V. 43. 1999. P.77–78.
18. Matishov, D.G., Matishov, G.G., 2004. fresh and ocean waters: a comparison of traditional and novel sorbents. Appl. Radiat. Isot. 69, 205-216.
9. *Metodika sorbcionnogo koncentrirovaniya radionuklidov ceziya s pomosh'ju cellulozno-neorganicheskogo sorbenta tipa «ANFEZH» iz vodnyh rastvorov.* 1991. [Technique of ¹³⁷Cs sorption concentration from the water solutions using a cellulose-inorganic sorbent «ANFEZh»] Approved by Inter-departmental Commission on radiation monitoring of the natural environment (30.10.91) (In Russian).
10. *Metodika vypolneniya izmerenij aktivnosti (udel'noj aktivnosti) gamma-izluchauschih radionuklidov v schetnyh obrazcah s primeneniem spektrometra energii gamma-izlucheniya CANBERRA s programmym obespecheniem GENIE 2000.* 2009. [Measurements technique of activity (specific activity) gamma- radionuclides in samples with application of a spectrometer of energy of gamma radiation CANBERRA with software GENIE 2000]. St.-Petersburg: Publishers “Scientifically technical centre «RADEK» p.43 (In Russian).
11. Aliev R. A., Kalmykov S. N. *Radioaktivnost': Uchebnoe posobie.* 2013. [Radioactivity: teaching aid]. St.-Petersburg: Publishers «Lan'»: p. 304 (In Russian).
12. Matishov G.G., Matishov D.G., Ilyin G.V. and others. *Sovremennaya radioekologicheskaya nagruzka na morskuyu sredu Zapadnoy Arktiki.-V sb. Morskie ekosistemy i soobschestva v usloviyah sovremennyh klimaticheskikh izmenenii.* 2014. [Modern radioecological load on the marine environment of the Western Arctic.- In the collection Marine ecosystems and communities in today 's climate changes environment]. SPb: Renome, p.76-98. (In Russian).
13. Ilyin G.V., Matishov D.G., Kasatkina N.E. *Formirovanie antropogennogo zagryazneniya i ekosistemnoe zdorovje morej Rossijskoy Arktiki // Kompleksnye issledovaniya bol'shih morskikh ekosistem Rossii.* 2011. [Formation of the technogenic

<p>Radioecology in the Northern European Seas. Springer-Verlag, Germany, ISBN 978-3540201977.</p> <p>19. Матишов Д.Г., Касаткина Н.Е., Усягина И.С., Павельская Е.В., Дерябин А.А. Искусственные радионуклиды в экосистеме // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. М.: Наука. 2009. С. 313- 332.</p> <p>20. Ilyin G.V., Kasatkina N.E., Moiseev D.V., Usyagina I.S. Infrastructure Objects of the Nuclear Fleet as Sources of Radioactive Contamination of the Barents Sea: Waste Repository in Guba Andreeva // Atomic Energy. – 2017. – Vol. 122, No. 2, pp.131–137.</p> <p>21. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля / Пер. с англ. / Под ред. Ф. Уорнера и Р. Харрисона/. М.: Мир, 1999. 512 с.</p> <p>22. Lindahl P., Lee S-H., Worsfold P., Keith-Roach M. Plutonium isotopes as tracers for ocean processes: A review. – Marine Environmental Res., 2010, V. 69, № 2, p. 73–84.</p> <p>23. Matishov G.G., Kasatkina N.E., Leppanen A.P., Matishov D.G., Solatie D. New Data on the Concentration of Plutonium Isotopes in the Sediments of the Barents Sea // Doklady Earth Sciences. 2011. V. 440, N 2P. 1445–1448.</p>	<p>pollution and health of marine ecosystems of the Russian Arctic // Comprehensive analysis of big marine ecosystems of Russia]. Apatity: Publishers Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences. p. 277-325. (In Russian).</p> <p>14. Matishov G.G., Ilyin G.V., Kasatkina N.E., Usyagina I.S. and others. http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1162772 <i>K otsenke vozdeystviya avarijnyh vybrosov AES "Fukusima-1" na morya Zapadnoy Arktiki (na primere Barentseva morya) // Doklady akademii nauk.</i> 2012. [Assessment of impact from "Fukushima-1" nuclear plant accidental emission on Western Arctic seas (Barents Sea case study)]. Reports of Russian Academy of Sciences. 446(4). p. 448-452. (In Russian).</p> <p>15. Zenkevich L. A. <i>Biologiya morey SSSR.</i> 1963. [Biology of the USSR Seas]. – Moscow: Publishers Academy of Sciences of the USSR. p. 740 (In Russian).</p> <p>16. Matishov G.G., Matishov D.G., Namyatov A.A., Zuev A.N., Kirillova E.E. <i>Radionuklidy v ekosistemah zaliva i priliegnuschih akvatorii // Kolsky zaliv: okeanografiya, biologiya, ekosistemy, pollutanty.</i> 1997. [Radionuclides in the ecosystems of the Bay and adjacent waters // Kola Bay: oceanography, biology, ecosystems, pollutants]. Apatites: Publishers Russian Academy of Sciences, p. 208-234. (In Russian).</p> <p>17. Matishov G., Matishov D., Namjatov A., Carroll J., Dahle S. Antropogenic radionuclides in Kola and Motovsky Bays of the Barents Sea, Russia // J. Environ. Radioactivity. V. 43. 1999. P.77–78.</p> <p>18. Matishov, D.G., Matishov, G.G., 2004. Radioecology in the Northern European Seas. Springer-Verlag, Germany, ISBN 978-3540201977.</p> <p>19. Matishov D.G., Kasatkina N.E., Usyagina I.S., Pavelskaya E.V., Deryabin A.A. <i>Iskustvennye radionuklidy v ekosisteme // Kolskii zaliv: osvoenie i ratsionalnoe prirodopolzovanie.</i> 2009. [Artificial radionuclides in the ecosystem//Kola Bay: development and rational environmental management]. Moscow: Science. p. 313 -</p>
--	---

	<p>332. (In Russian).</p> <p>20. Ilyin G.V., Kasatkina N.E., Moiseev D.V., Usyagina I.S. Infrastructure Objects of the Nuclear Fleet as Sources of Radioactive Contamination of the Barents Sea: Waste Repository in Guba Andreeva // Atomic Energy. – 2017. – Vol. 122, No. 2, pp.131–137.</p> <p>21. <i>Puti migratsii iskusstvennyh radionuklidov v okruzhauschey srede. Radioekologiya posle Chernobylya.</i> 1999. [Artificial radionuclides migration pathways in the environment. Radioecology after Chernobyl] / Translation from English / Under ed. F. Warner and R. Harrison/. Moscow: World, p. 512</p> <p>22. Lindahl P., Lee S-H., Worsfold P., Keith-Roach M. Plutonium isotopes as tracers for ocean processes: A review. – Marine Environmental Res., 2010, V. 69, № 2, p. 73–84.</p> <p>23. Matishov G.G., Kasatkina N.E., Leppanen A.P., Matishov D.G., Solatie D. New Data on the Concentration of Plutonium Isotopes in the Sediments of the Barents Sea // Doklady Earth Sciences. 2011. V. 440, N 2P. 1445–1448.</p>
--	---

ПРИЛОЖЕНИЯ / ANNEXES

Приложение А / Annex A

Результаты химико-лабораторного анализа проб воды и донных отложений /
Chemical laboratory analysis results of water and bottom sediments samples

Приложение А 1 /
Annex A 1

Объемная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в верхнем слое воды в Кольском и Мотовском заливах,
2017 г. /

Volumetric activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the upper layer of water in Kola and Motovsky Bays,
2017

№ станции	Дата	Глубина, Горизонт,		Координаты		Объёмная активность, Бк/м ³	
		м	м	с.ш.	в.д.	^{137}Cs	^{90}Sr
Кольский залив							
1	31.10.17	11.1	0	68°56.956'	33°00.764'	0.8 ± 0.2	4.22±0.3
			11.1			1.3 ± 0.2	13.3±1.9
2	30.10.17	33.3	0	68°58.818'	33°02.690'	1.6 ± 0.4	5.1±0.8
3	30.10.17	25.0	0	69°01.611'	33°02.322'	1.6 ± 0.2	—
			25.0			2.0 ± 0.4	5.6±0.6
5	30.10.17	42.7	0	69°04.279'	33°07.246'	2.3 ± 0.4	—
7	30.10.17	98.0	0	69°06.028'	33°21.660'	1.2 ± 0.6	10.8±0.9
			98.0			2.5 ± 0.9	<МДА
9	29.10.17	97.0	0	69°11.377'	33°33.890'	2.8 ± 0.1	10.6±.6
			97.0	69°11.377'	33°33.890'	1.0 ± 0.2	7.2±1.4
11	29.10.17	163.0	0	69°14.796'	33°33.155'	2.7 ± 0.2	8.2±0.7
			163.0			2.7 ± 0.2	9.8±1.6
12	29.10.17	217.0	0	69°16.546'	33°32.538'	3.8 ± 0.1	<МДА
Мотовский залив							
16	28.10.17	116.0	0	69°26.216'	33°15.097'	1.1 ± 0.2	1.8 ± 0.1
			116.0			0.5 ± 0.3	4.4 ± 0.3
17	28.10.17	60.0	0	69°28.641'	33°04.537'	0.6 ± 0.2	2.5 ± 0.2
			60.0			1.8 ± 0.3	15.0±2.7
18	27.10.17	56.0	0	69°28.200'	32°53.051'	2.1 ± 0.4	2.4±0.3
19	27.10.17	42.0	0	69°29.360'	32°39.815'	1.7 ± 0.3	6.4±0.9
20	27.10.17	138.0	0	69°29.975'	32°35.698'	1.7 ± 0.9	2.5±0.45
			138.0			0.4 ± 0.2	12.8±1.8
21	27.10.17	134.0	0	69°31.093'	32°34.008'	2.3 ± 0.7	—
22	27.10.17	211.0	0	69°34.40'	32°29.35'	3.3 ± 0.5	5.2±0.4
23	28.10.17	253.0	0	69°32.138'	32°56.728'	2.1 ± 0.5	17.3±1.3
24	28.10.17	278.0	0	69°30.640'	33°00.542'	0.3 ± 0.0	6.4±0.9
25	28.10.17	40.0	0	69°22.028'	33°30.114'	2.5 ± 0.1	0.5±0.02
			40.0			2.2 ± 0.8	<МДА

№ station	Date	Depth, m	Horizon, m	Coordinates		Volumetric activity, Bq/m ³	
				N	E	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Kola Bay							
1	31.10.17	11.1	0	68°56.956'	33°00.764'	0.8 ± 0.2	4.22±0.3
			11.1			1.3 ± 0.2	13.3±1.9
2	30.10.17	33.3	0	68°58.818'	33°02.690'	1.6 ± 0.4	5.1±0.8
3	30.10.17	25.0	0	69°01.611'	33°02.322'	1.6 ± 0.2	—
			25.0			2.0 ± 0.4	5.6±0.6
5	30.10.17	42.7	0	69°04.279'	33°07.246'	2.3 ± 0.4	—
7	30.10.17	98.0	0	69°06.028'	33°21.660'	1.2 ± 0.6	10.8±0.9
			98.0			2.5 ± 0.9	< MDA
9	29.10.17	97.0	0	69°11.377'	33°33.890'	2.8 ± 0.1	10.6±.6
			97.0	69°11.377'	33°33.890'	1.0 ± 0.2	7.2±1.4
11	29.10.17	163.0	0	69°14.796'	33°33.155'	2.7 ± 0.2	8.2±0.7
			163.0			2.7 ± 0.2	9.8±1.6
12	29.10.17	217.0	0	69°16.546'	33°32.538'	3.8 ± 0.1	< MDA
Motovsky Bay							
16	28.10.17	116.0	0	69°26.216'	33°15.097'	1.1 ± 0.2	1.8 ± 0.1
			116.0			0.5 ± 0.3	4.4 ± 0.3
17	28.10.17	60.0	0	69°28.641'	33°04.537'	0.6 ± 0.2	2.5 ± 0.2
			60.0			1.8 ± 0.3	15.0±2.7
18	27.10.17	56.0	0	69°28.200'	32°53.051'	2.1 ± 0.4	2.4±0.3
19	27.10.17	42.0	0	69°29.360'	32°39.815'	1.7 ± 0.3	6.4±0.9
20	27.10.17	138.0	0	69°29.975'	32°35.698'	1.7 ± 0.9	2.5±0.45
			138.0			0.4 ± 0.2	12.8±1.8
21	27.10.17	134.0	0	69°31.093'	32°34.008'	2.3 ± 0.7	—
22	27.10.17	211.0	0	69°34.40'	32°29.35'	3.3 ± 0.5	5.2±0.4
23	28.10.17	253.0	0	69°32.138'	32°56.728'	2.1 ± 0.5	17.3±1.3
24	28.10.17	278.0	0	69°30.640'	33°00.542'	0.3 ± 0.0	6.4±0.9
25	28.10.17	40.0	0	69°22.028'	33°30.114'	2.5 ± 0.1	0.5±0.02
			40.0			2.2 ± 0.8	< MDA

Приложение А 2 /
Annex A 2

Объемная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в верхнем слое воды в губе Сайда, 2018г. /
Volumetric activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the upper layer of water in Saida Bay, 2018

№ станции	Дата	Глубина, м	Координаты		Объемная активность, Бк/м ³	
			с.ш.	в.д.	^{137}Cs	^{90}Sr
1	23.10.18	0	6914.892	3313.383	2.3 ± 0.3	1.3±0.1
№ station	Date	Depth, m	Coordinates		Volumetric activity, Bq/m ³	
			N	E	^{137}Cs	^{90}Sr
1	23.10.18	0	6914.892	3313.383	2,3 ± 0,3	1,3±0,1

Приложение А 3 /
Annex A 3

Объемная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в верхнем слое воды в проливе Йоканьгский рейд (отделение Гремиха), 2018 г. /
Volumetric activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the upper layer of water in Yokangsky Raid Strait («Gremikha» Branch), 2018

№ станции	Дата	Глубина, м	Координаты		Объемная активность, Бк/м ³	
			с.ш.	в.д.	^{137}Cs	^{90}Sr
1	30.9.18	0	6803.61602	3931.21302	1.4 ± 0.8	4.5± 0.6
4	30.9.18	0	6804.54002	3927.81498	1.1 ± 0.3	1.98± 0.6

№ station	Date	Depth, m	Coordinates		Volumetric activity, Bq/m ³	
			N	E	^{137}Cs	^{90}Sr
1	30.9.18	0	6803.61602	3931.21302	1.4 ± 0.8	4.5± 0.6
4	30.9.18	0	6804.54002	3927.81498	1.1 ± 0.3	1.98± 0.6

Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в верхнем слое донных отложений (0-2 см) в Кольском и Мотовском заливах 2017-2018 г. /

Specific activity of natural and technogenic radionuclides in the upper layer of bottom sediments (0-2 cm) in Kola and Motovsky Bays 2017-2018

№ станции	Дата	Глубина, м.	Координаты		Удельная активность, Бк/кг сухой массы									
			с.ш.	в.д.	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U	¹⁵² Eu
Кольский залив														
1	31.10.17	11.1	68°56.956'	33°00.764'	4.7±0.7	0.39±0.07	538±32	21.1±1.8	36.3±5.4	< МДА	2.0±0.8	11.8±1.1	7.9±1.1	<МДА
2	30.10.17	33.3	68°58.818'	33°02.690'	9.4±1.5	1.13±0.22	644±40	29.6±2.5	—	—	—	14.8±1.5	—	<МДА
3	30.10.17	25.0	69°01.611'	33°02.322'	3.8±0.7	0.28±0.02	536±32	19.6±1.6	—	—	—	9.6±1.0	—	<МДА
5	30.10.17	42.7	69°04.279'	33°07.246'	6.7±1.2	2.10±0.32	664±40	27.1±2.3	181±8.0	0.9±0.5	1.4±0.8	13.0±1.3	9.4±0.7	6.6±0.9
6	30.10.17	65.0	69°04.351'	33°11.316'	6.7±1.2	0.20±0.03	641±38	26.3±2.2	—	—	—	11.6±1.1	—	5.1 ± 0.9
7	30.10.17	98.0	69°06.028'	33°21.660'	5.5±0.8	0.26±0.01	723±43	28.2±2.4	—	—	—	13.5±1.2	—	1.1 ± 0.3
8	29.10.17	161.0	69°08.178'	33°25.934'	7.9±1.3	0.33±0.05	713±44	31.1±2.8	—	—	—	16.9±1.7	—	<МДА
9	29.10.17	97.0	69°11.377'	33°33.890'	8.8±1.5	1.87±0.26	848±50	33.8±2.5	581±13.8	< МДА	<МДА	14.7±1.5	15.2±1.6	6.4±0.7
11	29.10.17	163.0	69°14.796'	33°33.155'	1.0±0.2	1.28±0.10	147±73	7.9±0.7	—	—	—	3.4±0.4	—	<МДА
13	29.10.17	30.0	69°16.116'	33°27.569'	<0.2	0.53±0.10	424±25	12.0±1.0	—	—	—	5.3±0.6	—	<МДА
14	28.10.17	63.7	69°17.021'	33°28.115'	0.4±0.2	0.44±0.06	462±28	13.2±1.2	44±2.4	1.0±0.2	3.5±1.6	6.6±0.8	2.3±0.1	<МДА
Мотовский залив														
15	28.10.17	60.0	69°25.011'	33°28.580'	<0.2	1.03±0.16	162±11	4.5±0.4	10.2±1.9	< МДА	<МДА	2.5±0.3	1.2±0.1	<МДА
16	28.10.17	116.0	69°26.216'	33°15.097'	<0.2	1.00±0.15	513±36	13.5±1.4	163±12	0.2±0.03	3.6±1.6	7.7±0.9	18.4±4.5	3.9±0.9
18	27.10.17	56.0	69°28.200'	32°53.051'	0.8±0.1	0.83±0.15	709±41	32.2±2.3	54.6±6.5	< МДА	0.3±0.03	14.3±1.1	10.4±0.7	3.4±0.5
19	27.10.17	42.0	69°29.360'	32°39.815'	1.1±0.2	0.29±0.02	760±50	35.4±2.9	41.49±4.4	< МДА	<МДА	14.6±1.3	11.7±0.8	5.5±0.8
20	27.10.17	138.0	69°29.975'	32°35.698'	1.6±0.3	1.01±0.16	583±61	22.4±1.8	154±7.5	< МДА	<МДА	10.5±0.8	5.3±0.4	2.5±0.3
21	27.10.17	134.0	69°31.093'	32°34.008'	1.5±0.2	0.09±0.02	813±48	34.7±2.8	145±5.7	< МДА	<МДА	16.2±1.2	16.4±1.9	3.5±0.4
22	27.10.17	211.0	69°34.40'	32°29.350'	3.4±0.6	1.76±0.10	942±57	34.6±2.9	212±8.1	< МДА	0.5±0.1	20.6±1.8	21.2±2.0	7.0±1.0
23	28.10.17	253.0	69°32.138'	32°56.728'	1.7±0.3	0.27±0.05	707±41	22.8±1.8	213±7.1	< МДА	<МДА	14.5±1.1	21.1±1.8	3.5±0.4
24	28.10.17	278.0	69°30.640'	33°00.542'	5.9±0.9	1.05±0.17	1277±76	50.5±4.5	378±10	< МДА	<МДА	31.6±2.4	9.7±1.2	9.2±1.5
25	28.10.17	40.0	69°22.028'	33°30.114'	0.2±0.1	0.14±0.02	520±31	15.4±1.3	59.9±4.5	< МДА	<МДА	7.5±0.7	2.9±0.2	<МДА

№ station	Date	Depth. m	Coordinates		Specific activity. Bq/kg of dry weight									
			N	E	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U	¹⁵² Eu
Kola Bay														
1	31.10.17	11.1	68°56.956'	33°00.764'	4.7±0.7	0.39±0.07	538±32	21.1±1.8	36.3±5.4	< MDA	2.0±0.8	11.8±1.1	7.9±1.1	< MDA
2	30.10.17	33.3	68°58.818'	33°02.690'	9.4±1.5	1.13±0.22	644±40	29.6±2.5	—	—	—	14.8±1.5	—	< MDA
3	30.10.17	25.0	69°01.611'	33°02.322'	3.8±0.7	0.28±0.02	536±32	19.6±1.6	—	—	—	9.6±1.0	—	< MDA
5	30.10.17	42.7	69°04.279'	33°07.246'	6.7±1.2	2.10±0.32	664±40	27.1±2.3	181±8.0	0.9±0.5	1.4±0.8	13.0±1.3	9.4±0.7	6.6±0.9
6	30.10.17	65.0	69°04.351'	33°11.316'	6.7±1.2	0.20±0.03	641±38	26.3±2.2	—	—	—	11.6±1.1	—	5.1 ± 0.9
7	30.10.17	98.0	69°06.028'	33°21.660'	5.5±0.8	0.26±0.01	723±43	28.2±2.4	—	—	—	13.5±1.2	—	1.1 ± 0.3
8	29.10.17	161.0	69°08.178'	33°25.934'	7.9±1.3	0.33±0.05	713±44	31.1±2.8	—	—	—	16.9±1.7	—	< MDA
9	29.10.17	97.0	69°11.377'	33°33.890'	8.8±1.5	1.87±0.26	848±50	33.8±2.5	581±13.8	< MDA	< MDA	14.7±1.5	15.2±1.6	6.4±0.7
11	29.10.17	163.0	69°14.796'	33°33.155'	1.0±0.2	1.28±0.10	147±73	7.9±0.7	—	—	—	3.4±0.4	—	< MDA
13	29.10.17	30.0	69°16.116'	33°27.569'	<0.2	0.53±0.10	424±25	12.0±1.0	—	—	—	5.3±0.6	—	< MDA
14	28.10.17	63.7	69°17.021'	33°28.115'	0.4±0.2	0.44±0.06	462±28	13.2±1.2	44±2.4	1.0±0.2	3.5±1.6	6.6±0.8	2.3±0.1	< MDA
Motovsky Bay														
15	28.10.17	60.0	69°25.011'	33°28.580'	<0.2	1.03±0.16	162±11	4.5±0.4	10.2±1.9	< MDA	< MDA	2.5±0.3	1.2±0.1	< MDA
16	28.10.17	116.0	69°26.216'	33°15.097'	<0.2	1.00±0.15	513±36	13.5±1.4	163±12	0.2±0.03	3.6±1.6	7.7±0.9	18.4±4.5	3.9±0.9
18	27.10.17	56.0	69°28.200'	32°53.051'	0.8±0.1	0.83±0.15	709±41	32.2±2.3	54.6±6.5	< MDA	0.3±0.03	14.3±1.1	10.4±0.7	3.4±0.5
19	27.10.17	42.0	69°29.360'	32°39.815'	1.1±0.2	0.29±0.02	760±50	35.4±2.9	41.49±4.4	< MDA	< MDA	14.6±1.3	11.7±0.8	5.5±0.8
20	27.10.17	138.0	69°29.975'	32°35.698'	1.6±0.3	1.01±0.16	583±61	22.4±1.8	154±7.5	< MDA	< MDA	10.5±0.8	5.3±0.4	2.5±0.3
21	27.10.17	134.0	69°31.093'	32°34.008'	1.5±0.2	0.09±0.02	813±48	34.7±2.8	145±5.7	< MDA	< MDA	16.2±1.2	16.4±1.9	3.5±0.4
22	27.10.17	211.0	69°34.40'	32°29.350'	3.4±0.6	1.76±0.10	942±57	34.6±2.9	212±8.1	< MDA	0.5±0.1	20.6±1.8	21.2±2.0	7.0±1.0
23	28.10.17	253.0	69°32.138'	32°56.728'	1.7±0.3	0.27±0.05	707±41	22.8±1.8	213±7.1	< MDA	< MDA	14.5±1.1	21.1±1.8	3.5±0.4
24	28.10.17	278.0	69°30.640'	33°00.542'	5.9±0.9	1.05±0.17	1277±76	50.5±4.5	378±10	< MDA	< MDA	31.6±2.4	9.7±1.2	9.2±1.5
25	28.10.17	40.0	69°22.028'	33°30.114'	0.2±0.1	0.14±0.02	520±31	15.4±1.3	59.9±4.5	< MDA	< MDA	7.5±0.7	2.9±0.2	< MDA

Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в верхнем слое донных отложений (0-2 см) в губе Сайда, 2018 г. /
Specific activity of natural and technogenic radionuclides in the upper layer of bottom sediments (0-2 cm) in Saida Bay, 2018

№ станции	Дата	Глубина, м.	Координаты		Удельная активность, Бк/кг сухой массы									
			с.ш.	в.д.	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U	¹⁵² Eu
губа Сайда														
1	23.10.18	littoral	68°56.956'	33°00.764'	1.7±0.4	0.46±0.1	1094±94	28.3±2.7	—	< МДА	<МДА	13.6±1.3	—	< МДА
2	23.10.18	littoral	68°58.818'	33°02.690'	1.4±0.4	0.69±0.1	429±34	11.2±1.3	—	< МДА	<МДА	6.9±.0	—	< МДА

№ station	Date	Depth, m	Coordinates		Specific activity, Bq/kg of dry weight									
			N	E	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U	¹⁵² Eu
Saida Bay														
1	23.10.18	littoral	68°56.956'	33°00.764'	1.7±0.4	0.46±0.1	1094±94	28.3±2.7	—	< MDA	<MDA	13.6±1.3	—	< MDA
2	23.10.18	littoral	68°58.818'	33°02.690'	1.4±0.4	0.69±0.1	429±34	11.2±1.3	—	< MDA	<MDA	6.9±.0	—	< MDA

Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в верхнем слое донных отложений (0-2 см) в проливе Йоканьгский рейд (отделение «Гремиха»), 2018 /

Specific activity of natural and technogenic radionuclides in the upper layer of bottom sediments (0-2 cm) in Yokangsky Raid Strait ("Gremikha" Branch), 2018

№ станции	Дата	Глубина, м.	Координаты		Удельная активность, Бк/кг сухой массы									
			с.ш.	в.д.	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U	¹⁵² Eu
Пролив Йоканьгский рейд (отделение «Гремиха»)														
1	30.10.18	littoral	68°56.956'	33°00.764'	2.8±0.3	0.2±0.03	771±61	27.5±2.8	—	<МДА	<МДА	24.0±3.6	—	<МДА
2	30.10.18	littoral	68°58.818'	33°02.690'	2.0±0.2	0.8±0.1	623±55	20.4±2.2	—	<МДА	<МДА	27.1±2.5	—	<МДА

№ station	Date	Depth, m	Coordinates		Specific activity, Bq/kg of dry weight									
			N	E	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U	¹⁵² Eu
Yokangsky Raid Strait ("Gremikha" Branch)														
1	30.10.18	littoral	68°56.956'	33°00.764'	2.8±0.3	0.2±0.03	771±61	27.5±2.8	—	<MDA	<MDA	24.0±3.6	—	<MDA
2	30.10.18	littoral	68°58.818'	33°02.690'	2.0±0.2	0.8±0.1	623±55	20.4±2.2	—	<MDA	<MDA	27.1±2.5	—	<MDA

Приложение В / Annex В

Результаты химико-лабораторного анализа проб морской биоты /
Chemical laboratory analysis results of marine biota samples

Приложение В 1 /
Annex В 1

Удельная активность радионуклидов в водорослях *F. vesiculosus* в районе транзита ОЯТ,
Бк/кг сухой массы. Июль-октябрь 2018 г. /
Radionuclides specific activity in algae *F. vesiculosus* in SNF transit area, Bq/kg of dry weight.
July-October 2018

Место отбора пробы	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
губа Белокаменная (ст. № 6)	<МДА	<МДА	<МДА	6.2±0.9	—	237±20	1.4±0.2	1.5±0.2	1.3±0.2
мыс Мишуков (ст. № 3)	<МДА	1.0±0.2	1.2±0.5	23.2±3.9	0.85±0.11	468±32	2.1±0.4	2±0.4	2.3±0.4
мыс Абрам (ст. № 2)	<МДА	<МДА	1.7±0.5	74.4±14	—	314±28	2±0.4	5.4±0.5	4.3±0.6
вершина Кольского залива (ст. № 1)	1.1±0.2	<МДА	<МДА	9.6±6.2	—	346±20	6.1±0.5	8.9±0.5	9.5±1.4
губа Тоня (ст. № 8)	<МДА	<МДА	<МДА	49.3±5.3	—	389±23	2.2±0.2	2.7±0.2	2.1±0.3
губа Сайда	0.5±0.2	<МДА	<МДА	49.9±8.3	—	441±34	3.5±0.5	4.3±0.4	3.4±0.6
пролив Йокангский рейд (отд. Гремиха)	<МДА	<МДА	<МДА	34.9±5.0	0.39±0.05	127±13	0.8±0.2	2.2±0.2	1.0±0.1
пролив Йокангский рейд (отд. Гремиха)	<МДА	<МДА	<МДА	37.7±5.5	0.41±0.05	590±41	1.7±0.4	3±0.4	1.8±0.5

Place of sample selection	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
Belokamennaya Bay (st. № 6)	< MDA	<MDA	<MDA	6.2±0.9	—	237±20	1.4±0.2	1.5±0.2	1.3±0.2
Mishukov Cape (st. № 3)	< MDA	1.0±0.2	1.2±0.5	23.2±3.9	0.85±0.11	468±32	2.1±0.4	2±0.4	2.3±0.4
Abram Cape (st. № 2)	< MDA	<MDA	1.7±0.5	74.4±14	—	314±28	2±0.4	5.4±0.5	4.3±0.6
Kola Bay top (st. № 1)	1.1±0.2	<MDA	<MDA	9.6±6.2	—	346±20	6.1±0.5	8.9±0.5	9.5±1.4
Tonya Bay (st. № 8)	< MDA	<MDA	<MDA	49.3±5.3	—	389±23	2.2±0.2	2.7±0.2	2.1±0.3
Saida Bay	0.5±0.2	<MDA	<MDA	49.9±8.3	—	441±34	3.5±0.5	4.3±0.4	3.4±0.6
Yokangsky Raid Strait («Gremikha» Br.)	< MDA	<MDA	<MDA	34.9±5.0	0.39±0.05	127±13	0.8±0.2	2.2±0.2	1.0±0.1
Yokangsky Raid Strait («Gremikha» Br.)	< MDA	<MDA	<MDA	37.7±5.5	0.41±0.05	590±41	1.7±0.4	3±0.4	1.8±0.5

Удельная активность радионуклидов в водорослях *A. nodosum* в районе транзита ОЯТ,
Бк/кг сухой массы. Июль-октябрь 2018 г. /
Specific activity of radionuclides in algae *A. nodosum* in SNF transit area, Bq/kg of dry weight.
July-October 2018

№ ст.	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
губа Белокаменная (ст. № 6)	0.3±0.1	<МДА	<МДА	<МДА	—	350±29	1.1±0.2	2±0.2	1.2±0.2
мыс Мишуков (ст. № 3)	0.5±0.1	<МДА	<МДА	39±9.3	0.53±0.07	639±44	2.3±0.6	2.7±0.4	3.0±0.7
мыс Абрам (ст. № 2)	<МДА	<МДА	1.0±0.5	4.8±1.1	—	334±29	1.9±0.5	5.6±0.2	1.0±0.2
губа Тоня (ст. № 8)	<МДА	<МДА	1.0±0.6	7.3±1.5	0.45±0.06	303±19	2.4±0.2	1.5±0.1	2.2±0.6
губа Сайда	<МДА	<МДА	<МДА	28.2±7.0	0.1±0.01	337±23	1.6±0.5	2.1±0.4	2.0±0.4
пролив Йоканьгский рейд (отд. Гремиха)	<МДА	<МДА	<МДА	<МДА	0.48±0.06	285±25	1.8±0.6	1.4±0.4	1.1±0.4

№ st.	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
Belokamennaya Bay (st. № 6)	0.3±0.1	< MDA	< MDA	< MDA	—	350±29	1.1±0.2	2±0.2	1.2±0.2
Mishukov Cape (st. № 3)	0.5±0.1	< MDA	< MDA	39±9.3	0.53±0.07	639±44	2.3±0.6	2.7±0.4	3.0±0.7
Abram Cape (st. № 2)	< MDA	< MDA	1.0±0.5	4.8±1.1	—	334±29	1.9±0.5	5.6±0.2	1.0±0.2
Tonya Bay (st. № 8)	< MDA	< MDA	1.0±0.6	7.3±1.5	0.45±0.06	303±19	2.4±0.2	1.5±0.1	2.2±0.6
Saida Bay	< MDA	< MDA	< MDA	28.2±7.0	0.1±0.01	337±23	1.6±0.5	2.1±0.4	2.0±0.4
Yokangsky Raid Strait («Gremikha» Br.)	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	0.48±0.06	285±25	1.8±0.6	1.4±0.4	1.1±0.4

Удельная активность радионуклидов в пробах редких видов водорослей: *F. distichus*,
Palmaria palmata, *L. saccharina* на участках транзита ОЯТ, Бк/кг сухой массы.

Июль-октябрь 2018 г. /

Specific activity of radionuclides in samples of rare species algae: *F. distichus*, *Palmaria palmata*, *L. saccharina* on SNF transit sites, Bk/kg of dry weight.

July-October 2018

№ ст.	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
<i>Fucus distichus</i>									
губа Белокаменная (ст. № 6)	<МДА	<МДА	<МДА	57.5±2.3	0.13±0.02	1151±97	11.1±2.4	1.7±2.4	22.6±4.9
<i>Palmaria palmata</i>									
пролив Йоканьгский рейд (отд. Гремиха)	<МДА	<МДА	<МДА	23.7±5.0	—	2153±58	7.5±1.7	6.4±3.6	38.6±9.9
<i>Laminaria. saccharina</i>									
губа Белокаменная (ст. № 6)	<МДА	<МДА	<МДА	<МДА	—	3016±183	4.1±2.8	13.7±2.5	17.0±5.9
мыс Абрам (ст. № 2)	<МДА	<МДА	<МДА	<МДА	—	615±46	1.8±0.3	5.6±0.5	2.1±0.4

№ st.	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
<i>Fucus distichus</i>									
Belokamennaya Bay (st. № 6)	< MDA	< MDA	< MDA	57.5±2.3	0.13±0.02	1151±97	11.1±2.4	1.7±2.4	22.6±4.9
<i>Palmaria palmata</i>									
Yokangsky Raid Strait («Gremikha» Br.)	< MDA	< MDA	< MDA	23.7±5.0	—	2153±58	7.5±1.7	6.4±3.6	38.6±9.9
<i>Laminaria. saccharina</i>									
Belokamennaya Bay (st. № 6)	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	—	3016±183	4.1±2.8	13.7±2.5	17.0±5.9
Abram Cape (st. № 2)	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	—	615±46	1.8±0.3	5.6±0.5	2.1±0.4

Удельная активность радионуклидов в моллюсках *M. edulis*, Бк/кг сырой массы.

Июль-октябрь 2018 г. /

Specific activity of radionuclides in *M. edulis* mollusks, Bq/kg of raw weight.

July-October 2018

Место отбора пробы	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
губа Белокаменная (ст. № 6)	<МДА	<МДА	<МДА	<МДА	—	389±5 2	1.3±0. 1	1.6±0. 1	1.5±0. 2
мыс Абрам (ст. № 2)	0.2±0. 1	<МДА	<МДА	1.3±0. 7	0.54±0.0 7	25±4.2	1.8±0. 1	2.7±0. 2	2.0±0. 2
губа Сайда	<МДА	<МДА	<МДА	<МДА	—	123±1 3	2±0.4	2.2±0. 3	1.0±0. 2
пролив Йоканьгский рейд (отд. Гремиха)	0.4±0. 1	<МДА	0.7±0. 3	<МДА	1.15±0.1 5	48±10	5.2±0. 4	5.6±0. 4	6.1±0. 5

Place of sample selection	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
Belokamennaya Bay (st. № 6)	< MDA	<MDA	< MDA	< MDA	—	389±5 2	1.3±0. 1	1.6±0. 1	1.5±0. 2
Abram Cape (st. № 2)	0.2±0. 1	<MDA	< MDA	1.3±0. 7	0.54±0.0 7	25±4.2	1.8±0. 1	2.7±0. 2	2.0±0. 2
Saida Bay	< MDA	<MDA	< MDA	< MDA	—	123±1 3	2±0.4	2.2±0. 3	1.0±0. 2
Yokangsky Raid Strait ("Gremikha" Branch)	0.4±0. 1	<MDA	0.7±0. 3	< MDA	1.15±0.1 5	48±10	5.2±0. 4	5.6±0. 4	6.1±0. 5

Приложение В 5 /
Annex В 5

Удельная активность радионуклидов в видах *Gammaridae*, Бк/кг сырой массы.
Июль-октябрь 2018 г. /
Specific activity of radionuclides in *Gammaridae* species, Bq/kg of raw weight.
July-October 2018

Место отбора пробы	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
губа Тоня (ст. № 8)	1.0±0.5	<МДА	0.4±0.1	5.3±0.1	—	142±39	5.9±2	11.3±3.8	2.7±0.4
пролив Йоканьгский рейд (отд. Гремиха)	<МДА	<МДА	<МДА	<МДА	—	151±39	3.9±2.2	6.7±2.2	2.2±0.4
Губа Сайда	<МДА	<МДА	<МДА	<МДА	—	112±26	2.4±1.4	0.8±0.4	12.1±2.9

Place of sample selection	Cs-137	Cs-134	Eu-152	Be-7	Sr-90	K-40	Ra-226	Th-232	U-238
Tonya Bay (st. № 8)	1.0±0.5	< MDA	0.4±0.1	5.3±0.1	—	142±39	5.9±2	11.3±3.8	2.7±0.4
Yokangsky Raid Strait («Gremikha» Br.)	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	—	151±39	3.9±2.2	6.7±2.2	2.2±0.4
Saida Bay	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	—	112±26	2.4±1.4	0.8±0.4	12.1±2.9

Приложение С / Annex C

Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в колонках донных отложений /
Specific activity of natural and technogenic radionuclides in bottom sediments columns

Приложение C1 /
Annex C1

Станция № 1. Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в слоях донных отложений. Кольский залив, октябрь 2017 /
Station № 1. Specific activity of natural and technogenic radionuclides in bottom sediments layers. Kola Bay, October 2017

Станция №, координаты	Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы								
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U
№ 1 φ =68.94933 с.ш. λ=033.01267 в.д.	0–1	5.6±0.8	—	921±72	27.3±2.7	100±12.2	—	—	14.4±1.7	26.0±3.9
	1–2	4.5±0.8	—	524±46	21.5±2.4	69±11.7	—	—	11.4±1.8	18.2±4.5
	2–3	4.2±0.4	—	774±74	29.9±3.5	77.6±11.0	—	—	12.8±2.5	16.2±5.5
	3–4	6.5±1.0	—	914±71	6.9±0.8	66.5±8.7	—	—	15.4±1.5	21.3±3.3
	4–5	6.9±1.7	—	900±75	27.2±2.8	65.8±13.9	—	—	17.0±2.5	18.5±4.7
	5–6	6.7±0.8	—	996±77	10.0±1.0	72.9±9.3	—	—	16.1±1.6	22.8±3.5
	6–7	6.4±0.6	—	925±81	28.9±3.2	62.8±17.1	—	—	14.6±2.5	18.4±5.6
	7–8	7.1±1.0	—	922±73	9.1±1.1	58.2±10.1	—	—	11.0±1.6	17.9±3.9
	8–9.5	5.8±0.6	—	745±57	6.7±5.9	48.9±5.4	—	—	14.6±8.5	18.3±2.3
9.5–11	6.2±0.7	—	778±60	6.7±0.7	46.4±5.5	—	—	14.0±1.0	17.2±2.4	

Удельная активность ¹³⁴Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ²⁴¹Am во всех измеренных пробах меньше МДА.

Station №, coordinates	Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight								
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U
№ 1 φ =68.94933 N λ=033.01267 E	0–1	5.6±0.8	—	921±72	27.3±2.7	100±12.2	—	—	14.4±1.7	26.0±3.9
	1–2	4.5±0.8	—	524±46	21.5±2.4	69±11.7	—	—	11.4±1.8	18.2±4.5
	2–3	4.2±0.4	—	774±74	29.9±3.5	77.6±11.0	—	—	12.8±2.5	16.2±5.5
	3–4	6.5±1.0	—	914±71	6.9±0.8	66.5±8.7	—	—	15.4±1.5	21.3±3.3
	4–5	6.9±1.7	—	900±75	27.2±2.8	65.8±13.9	—	—	17.0±2.5	18.5±4.7
	5–6	6.7±0.8	—	996±77	10.0±1.0	72.9±9.3	—	—	16.1±1.6	22.8±3.5
	6–7	6.4±0.6	—	925±81	28.9±3.2	62.8±17.1	—	—	14.6±2.5	18.4±5.6
	7–8	7.1±1.0	—	922±73	9.1±1.1	58.2±10.1	—	—	11.0±1.6	17.9±3.9
	8–9.5	5.8±0.6	—	745±57	6.7±5.9	48.9±5.4	—	—	14.6±8.5	18.3±2.3
9.5–11	6.2±0.7	—	778±60	6.7±0.7	46.4±5.5	—	—	14.0±1.0	17.2±2.4	

Specific activity of ¹³⁴Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ²⁴¹Am is less than MDA in all measured samples.

Станция № 2. Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в слоях донных отложений. Кольский залив, октябрь 2017 /
Station № 2. Specific activity of natural and technogenic radionuclides in bottom sediments layers. Kola Bay, October 2017

Станция №, координаты	Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы								
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U
№2 φ = 68.98033°с.ш. λ = 33.04483°в.д.	0–1	2.0±0.8	2.1±0.3	977±16	57.7±3.3	644.0±14.0	<0.1	<0.1	27.3±1.8	17.2±2.1
	1–2	2.6±0.7		986±15	62.1±4.7	515.0±12.0	<0.1	<0.1	25.4±2.3	14.2±1.3
	2–3	2.0±0.4	1.4±0.2	1252±16	66.7±4.5	405.0±8.8	<0.1	<0.1	51.6±1.2	32.4±2.1
	3–4	3.8±0.5	2.7±0.2	838±12	43.9±2.4	429.0±10.0	<0.1	<0.1	25.5±1.5	19.6±2.3
	4–5	5.9±0.4	2.4±0.4	915±9	40.6±1.8	314.0±6.1	<0.1	<0.1	21.6±1.0	17.4±2.1
	5–6	5.4±0.1	0.3±0.1	941±7	50.2±1.0	340.0±2.6	<0.1	<0.1	26.1±0.9	16.2±1.1
	6–7	6.3±0.6	1.7±0.1	822±14	46.4±2.7	253.0±9.9	<0.1	<0.1	24.8±0.9	19.6±2.1
	7–8	5.0±0.7	0.8±0.1	801±13	50.4±2.0	222.0±9.3	<0.1	<0.1	21.8±1.4	17.7±2.5
	8–9	2.1±0.3	1.0±0.2	791±11	52.3±2.3	188.0±8.5	<0.1	<0.1	17.1±1.1	11.2±2.6
	9–10	1.2±0.1	—	658±10	50.9±1.7	123.0±5.4	<0.1	<0.1	16.5±2.3	12.3±1.2
	10–11	1.0±0.1	—	857±11	51.2±2.6	98.2±6.5	<0.1	<0.1	14.8±1.9	9.3±1.0
	11–12	26.9±2.4	—	848±15	53.4±3.0	81.4±8.9	<0.1	<0.1	21.7±1.6	17.5±1.8

Удельная активность ¹³⁴Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ²⁴¹Am во всех измеренных пробах меньше МДА.

Station №, coordinates	Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight								
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U
№2 φ = 68.98033° N λ = 33.04483° E.	0–1	2.0±0.8	2.1±0.3	977±16	57.7±3.3	644.0±14.0	<0.1	<0.1	27.3±1.8	17.2±2.1
	1–2	2.6±0.7		986±15	62.1±4.7	515.0±12.0	<0.1	<0.1	25.4±2.3	14.2±1.3
	2–3	2.0±0.4	1.4±0.2	1252±16	66.7±4.5	405.0±8.8	<0.1	<0.1	51.6±1.2	32.4±2.1
	3–4	3.8±0.5	2.7±0.2	838±12	43.9±2.4	429.0±10.0	<0.1	<0.1	25.5±1.5	19.6±2.3
	4–5	5.9±0.4	2.4±0.4	915±9	40.6±1.8	314.0±6.1	<0.1	<0.1	21.6±1.0	17.4±2.1
	5–6	5.4±0.1	0.3±0.1	941±7	50.2±1.0	340.0±2.6	<0.1	<0.1	26.1±0.9	16.2±1.1
	6–7	6.3±0.6	1.7±0.1	822±14	46.4±2.7	253.0±9.9	<0.1	<0.1	24.8±0.9	19.6±2.1
	7–8	5.0±0.7	0.8±0.1	801±13	50.4±2.0	222.0±9.3	<0.1	<0.1	21.8±1.4	17.7±2.5
	8–9	2.1±0.3	1.0±0.2	791±11	52.3±2.3	188.0±8.5	<0.1	<0.1	17.1±1.1	11.2±2.6
	9–10	1.2±0.1	—	658±10	50.9±1.7	123.0±5.4	<0.1	<0.1	16.5±2.3	12.3±1.2
	10–11	1.0±0.1	—	857±11	51.2±2.6	98.2±6.5	<0.1	<0.1	14.8±1.9	9.3±1.0
	11–12	26.9±2.4	—	848±15	53.4±3.0	81.4±8.9	<0.1	<0.1	21.7±1.6	17.5±1.8

Specific activity of ¹³⁴Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ²⁴¹Am is less than MDA in all measured samples.

Станция № 3. Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в слоях донных отложений. Кольский залив, октябрь 2017 /
Station № 3. Specific activity of natural and technogenic radionuclides in bottom sediments layers. Kola Bay, October 2017

Станция №, координаты	Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы								
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U
№3 φ = 69.02683°с.ш. λ = 033.03867°в.д	0–1	0.9±0.3	1.7±0.3	533±9	20.2±1.6	106.0±6.0	<0.1	<0.1	13.7±0.9	11.7±0.7
	1–2	1.2±0.4	1.2±0.1	539±18	24.9±3.8	128.0±14.0	0.53±0.16	2.35±0.37	18.6±1.9	9.3±1.1
	2–3	5.7±0.7	1.4±0.3	557±10	29.3±2.3	110.0±8.0	2.32±0.26	3.21±0.63	16.9±1.1	12.9±2.3
	3–4	3.0±0.4	0.7±0.1	548±9	25.3±1.7	68.5±2.9	<0.1	<0.1	13.7±1.1	10.4±1.0
	4–5	7.0±0.5	1.4±0.3	440±8	22.6±1.7	74.1±5.3	<0.1	<0.1	13.2±0.9	9.1±0.9
	5–6	2.6±0.4	2.6±0.4	425±8	23.1±1.5	65.5±4.9	<0.1	<0.1	12.3±1.0	8.3±0.9
	6–7	0.4±0.2	—	177±8	9.4±1.1	29.8±4.2	<0.1	<0.1	7.0±0.8	2.0±0.1

Удельная активность ¹³⁴Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ²⁴¹Am во всех измеренных пробах меньше МДА.

Station №, coordinates	Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight								
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U
№3 φ = 69.02683°N λ = 033.03867°E	0–1	0.9±0.3	1.7±0.3	533±9	20.2±1.6	106.0±6.0	<0.1	<0.1	13.7±0.9	11.7±0.7
	1–2	1.2±0.4	1.2±0.1	539±18	24.9±3.8	128.0±14.0	0.53±0.16	2.35±0.37	18.6±1.9	9.3±1.1
	2–3	5.7±0.7	1.4±0.3	557±10	29.3±2.3	110.0±8.0	2.32±0.26	3.21±0.63	16.9±1.1	12.9±2.3
	3–4	3.0±0.4	0.7±0.1	548±9	25.3±1.7	68.5±2.9	<0.1	<0.1	13.7±1.1	10.4±1.0
	4–5	7.0±0.5	1.4±0.3	440±8	22.6±1.7	74.1±5.3	<0.1	<0.1	13.2±0.9	9.1±0.9
	5–6	2.6±0.4	2.6±0.4	425±8	23.1±1.5	65.5±4.9	<0.1	<0.1	12.3±1.0	8.3±0.9
	6–7	0.4±0.2	—	177±8	9.4±1.1	29.8±4.2	<0.1	<0.1	7.0±0.8	2.0±0.1

Specific activity of ¹³⁴Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ²⁴¹Am is less than MDA in all measured samples

Станция № 5. Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в слоях донных отложений. Кольский залив, октябрь 2017 / Station № 5. Specific activity of natural and technogenic radionuclides in bottom sediments layers. Kola Bay, October 2017

Станция №, координаты	Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы								
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U
№ 5 φ = 69.07133° с.ш. λ = 33.12083° в.д.	0–1.5	5.1±1.0	2.3±0.4	1005±79	13.1±1.3	132.0±16.1	—	—	18.1±1.6	22.6±4.3
	1.5–3	4.4±0.6	0.4±0.1	669±52	22.0±1.5	57.2±7.1	—	—	12.9±0.9	19.3±2.9
	3–5	4.4±0.8	1.1±0.2	677±54	20.3±1.4	44.9±7.0	—	—	13.1±1.1	20.9±4.2
	5–7	5.1±0.6	0.3±0.1	612±47	19.5±1.3	30.2±4.3	—	—	12.7±0.9	17.4±2.5
	7–9	6.7±1.7	0.1±0.1	617±49	24.1±1.7	39.3±7.0	—	—	15.7±1.1	18.8±4.0
	9–11	6.6±7.4	0.2±0.1	629±49	23.4±1.5	32.8±4.6	—	—	12.1±0.9	18.2±2.5
	11–13	4.6±0.9	1.1±0.2	1005±79	20.8±1.4	22.6±4.2	—	—	10.8±0.8	14.2±2.4

Удельная активность ¹³⁴Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ²⁴¹Am во всех измеренных пробах меньше МДА.

Station №, coordinates	Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight								
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U
№ 5 φ = 69.07133° N λ = 33.12083° E	0–1.5	5.1±1.0	2.3±0.4	1005±79	13.1±1.3	132.0±16.1	—	—	18.1±1.6	22.6±4.3
	1.5–3	4.4±0.6	0.4±0.1	669±52	22.0±1.5	57.2±7.1	—	—	12.9±0.9	19.3±2.9
	3–5	4.4±0.8	1.1±0.2	677±54	20.3±1.4	44.9±7.0	—	—	13.1±1.1	20.9±4.2
	5–7	5.1±0.6	0.3±0.1	612±47	19.5±1.3	30.2±4.3	—	—	12.7±0.9	17.4±2.5
	7–9	6.7±1.7	0.1±0.1	617±49	24.1±1.7	39.3±7.0	—	—	15.7±1.1	18.8±4.0
	9–11	6.6±7.4	0.2±0.1	629±49	23.4±1.5	32.8±4.6	—	—	12.1±0.9	18.2±2.5
	11–13	4.6±0.9	1.1±0.2	1005±79	20.8±1.4	22.6±4.2	—	—	10.8±0.8	14.2±2.4

Specific activity of ¹³⁴Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ²⁴¹Am is less than MDA in all measured samples.

Станция № 7. Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в слоях донных отложений. Кольский залив, октябрь 2017 /
Station № 7. Specific activity of natural and technogenic radionuclides in bottom sediments layers. Kola Bay, October 2017

Станция №, координаты	Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы								
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U
№ 7 φ = 69.10050° с.ш. λ = 33.36100° в.д.	0–1	2.4±0.4	<20	519±9	28.5±2.0	221.0±7.5	<0.1	<0.1±0	13.5±1.1	7.2±0.9
	1–2	1.6±0.4	<20	508±8	23.4±1.5	86.7±5.1	<0.1	<0.1±0	8.9±1.2	5.9±0.8
	2–3	1.2±0.2	<20	486±10	26.5±5.4	73.2±4.3	<0.1	<0.1±0	9.6±2.1	4.7±1.1
	3–4	1.1±0.1	<20	512±10	29.1±3.6	62.1±5.6	0.22±0.07	0.23±0.01	10.4±1.6	15.5±3.2
	4–5	0.6±0.1	<20	540±6	30.9±1.0	30.4±3.5	<0.1	<0.1±0	11.3±0.7	10.5±1.0
	5–6	0.9±0.2	<20	612±12	35.4±0.9	27.2±2.4	<0.1	0.38±0.04	14.8±3.1	11.4±1.1
	6–7	1.1±0.1	<20	659±10	37.9±1.8	29.6±6.2	<0.1	<0.1±0	16.7±0.9	9.9±0.9

Удельная активность ¹³⁴Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ²⁴¹Am во всех измеренных пробах меньше МДА.

Station №, coordinates	Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight								
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U
№ 7 φ = 69.10050° N λ = 33.36100° E	0–1	2.4±0.4	<20	519±9	28.5±2.0	221.0±7.5	<0.1	<0.1±0	13.5±1.1	7.2±0.9
	1–2	1.6±0.4	<20	508±8	23.4±1.5	86.7±5.1	<0.1	<0.1±0	8.9±1.2	5.9±0.8
	2–3	1.2±0.2	<20	486±10	26.5±5.4	73.2±4.3	<0.1	<0.1±0	9.6±2.1	4.7±1.1
	3–4	1.1±0.1	<20	512±10	29.1±3.6	62.1±5.6	0.22±0.07	0.23±0.01	10.4±1.6	15.5±3.2
	4–5	0.6±0.1	<20	540±6	30.9±1.0	30.4±3.5	<0.1	<0.1±0	11.3±0.7	10.5±1.0
	5–6	0.9±0.2	<20	612±12	35.4±0.9	27.2±2.4	<0.1	0.38±0.04	14.8±3.1	11.4±1.1
	6–7	1.1±0.1	<20	659±10	37.9±1.8	29.6±6.2	<0.1	<0.1±0	16.7±0.9	9.9±0.9

Specific activity of ¹³⁴Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ²⁴¹Am is less than MDA in all measured samples.

Станция № 9. Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в слоях донных отложений. Кольский залив, октябрь 2017 /
Station № 9. Specific activity of natural and technogenic radionuclides in bottom sediments layers. Kola Bay, October 2017

Станция №, координаты	Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы								
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U
№ 9 φ = 69.18967°с.ш. λ = 33.56483°в.д.	0–2	7.2±0.9	—	756±18	24.2±1.6	213.3±22.8	—	—	18.1±1.1	20.8±2.9
	2–3	8.2±2.6	—	985±81	32.9±2.6	210.8±25.3	—	—	19.9±1.7	31.9±6.1
	3–4	2.1±0.4	—	178±18	12.0±1.1	61.8±7.0	—	—	7.8±0.8	14.0±2.0
	4–5,5	5.0±0.7	—	842±66	13.0±1.2	113±13.4	—	—	14.9±1.3	27.3±3.9
	5,5–7	2.7±0.3	—	791±64	19.9±2.2	77.7±7.0	—	—	21.5±2.4	23.0±7.4
	7–8	1.7±0.2	—	1087±96	53.4±5.4	43.3±1.9	—	—	22.2±3.4	28.7±7.9
	8–9	1.8±0.2	—	845±84	33.8±3.5	61.8±2.1	—	—	19.4±3.1	23.9±7.1
	9–10	1.6±0.4	—	964±76	36.4±2.5	31.2±6.5	—	—	22.1±1.9	7.9±2.4
	10–11	2.0±0.3	—	960±76	35.8±2.5	48.2±7.3	—	—	14.6±1.6	31.4±4.5
11–12,5	2.3±0.8	—	937±75	36.0±2.6	43.3±9.0	—	—	17.2±1.8	33.1±5.2	

Удельная активность ¹³⁴Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ²⁴¹Am во всех измеренных пробах меньше МДА.

Station №, coordinates	Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight								
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U
№ 9 φ = 69.18967°N λ = 33.56483°E	0–2	7.2±0.9	—	756±18	24.2±1.6	213.3±22.8	—	—	18.1±1.1	20.8±2.9
	2–3	8.2±2.6	—	985±81	32.9±2.6	210.8±25.3	—	—	19.9±1.7	31.9±6.1
	3–4	2.1±0.4	—	178±18	12.0±1.1	61.8±7.0	—	—	7.8±0.8	14.0±2.0
	4–5,5	5.0±0.7	—	842±66	13.0±1.2	113±13.4	—	—	14.9±1.3	27.3±3.9
	5,5–7	2.7±0.3	—	791±64	19.9±2.2	77.7±7.0	—	—	21.5±2.4	23.0±7.4
	7–8	1.7±0.2	—	1087±96	53.4±5.4	43.3±1.9	—	—	22.2±3.4	28.7±7.9
	8–9	1.8±0.2	—	845±84	33.8±3.5	61.8±2.1	—	—	19.4±3.1	23.9±7.1
	9–10	1.6±0.4	—	964±76	36.4±2.5	31.2±6.5	—	—	22.1±1.9	7.9±2.4
	10–11	2.0±0.3	—	960±76	35.8±2.5	48.2±7.3	—	—	14.6±1.6	31.4±4.5
11–12,5	2.3±0.8	—	937±75	36.0±2.6	43.3±9.0	—	—	17.2±1.8	33.1±5.2	

Specific activity of ¹³⁴Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ²⁴¹Am is less than MDA in all measured samples.

Станция № 11. Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в слоях донных отложений. Кольский залив, октябрь 2017 /
Station № 11. Specific activity of natural and technogenic radionuclides in bottom sediments layers. Kola Bay, October 2017

Станция №, координаты	Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы								
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U
№ 11 φ = 69.24667°с.ш. λ= 033.55267°в.д.	0–1	1.4±0.5	1.8±0.1	531±9	19.9±1.8	208.0±7.7	0.81±0.12	1.82±0.6	13.1±1.1	9.1±0.8
	1–2	5.2±0.6	1.2±0.2	619±21	32.2±2.1	224.0±9.7	<0.1	<0.1±0	15.3±1.2	12.1±1.1
	2–3	1.7±0.5	0.2±0.1	570±12	28.9±2.5	223.0±9.8	0.41±0.08	0.9±0.09	13.9±1.2	7.7±0.5
	3–4	1.2±0.1	1.1±0.2	536±11	31.9±2.2	190.0±7.5	0.22±0.02	0.28±0.06	15.9±1.2	11.8±1.3
	4–5	2.4±0.6	0.1±0.1	707±11	38.5±2.2	166.0±7.3	<0.1	<0.1±0	21.4±0.7	18.3±1.1
	5–6	0.3±0.1	0.2±0.1	713±10	37.8±1.6	90.4±6.4	<0.1	<0.1±0	15.4±1.3	12.2±2.1
	6–7	0.7±0.2	0.5±0.1	546±9	36.9±1.9	85.2±6.1	<0.1	<0.1±0	13.7±0.6	10.4±1.2
	7–8	0.1±0.1	0.8±0.1	717±6	44.1±1.3	85.1±3.5	<0.1	<0.1±0	19.1±0.4	8.1±0.2
	8–9	0.7±0.2	—	718±10	40.1±1.8	59.2±5.8	<0.1	<0.1±0	19.9±1.1	14.1±0.8
	9–10	1.2±0.1	—	706±11	48.8±2.4	32.8±5.8	0.3±0.03	0.1±0.03	22.3±1.3	14.2±2.1
10–13	0.9±0.3	—	368±8	23.1±1.0	47.5±7.2	<0.1	<0.1±0	22.9±1.5	15.3±2.6	

Удельная активность ¹³⁴Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ²⁴¹Am во всех измеренных пробах меньше МДА.

Station №, coordinates	Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight								
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U
№ 11 φ = 69.24667°N λ= 033.55267°E	0–1	1.4±0.5	1.8±0.1	531±9	19.9±1.8	208.0±7.7	0.81±0.12	1.82±0.6	13.1±1.1	9.1±0.8
	1–2	5.2±0.6	1.2±0.2	619±21	32.2±2.1	224.0±9.7	<0.1	<0.1±0	15.3±1.2	12.1±1.1
	2–3	1.7±0.5	0.2±0.1	570±12	28.9±2.5	223.0±9.8	0.41±0.08	0.9±0.09	13.9±1.2	7.7±0.5
	3–4	1.2±0.1	1.1±0.2	536±11	31.9±2.2	190.0±7.5	0.22±0.02	0.28±0.06	15.9±1.2	11.8±1.3
	4–5	2.4±0.6	0.1±0.1	707±11	38.5±2.2	166.0±7.3	<0.1	<0.1±0	21.4±0.7	18.3±1.1
	5–6	0.3±0.1	0.2±0.1	713±10	37.8±1.6	90.4±6.4	<0.1	<0.1±0	15.4±1.3	12.2±2.1
	6–7	0.7±0.2	0.5±0.1	546±9	36.9±1.9	85.2±6.1	<0.1	<0.1±0	13.7±0.6	10.4±1.2
	7–8	0.1±0.1	0.8±0.1	717±6	44.1±1.3	85.1±3.5	<0.1	<0.1±0	19.1±0.4	8.1±0.2
	8–9	0.7±0.2	—	718±10	40.1±1.8	59.2±5.8	<0.1	<0.1±0	19.9±1.1	14.1±0.8
	9–10	1.2±0.1	—	706±11	48.8±2.4	32.8±5.8	0.3±0.03	0.1±0.03	22.3±1.3	14.2±2.1
10–13	0.9±0.3	—	368±8	23.1±1.0	47.5±7.2	<0.1	<0.1±0	22.9±1.5	15.3±2.6	

Specific activity of ¹³⁴Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ²⁴¹Am is less than MDA in all measured samples.

Станция № 22. Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в слоях донных отложений. Мотовский залив, октябрь 2017 /
Station № 22. Specific activity of natural and technogenic radionuclides in bottom sediments layers. Motovsky Bay, October 2017

Станция №, координаты	Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы								
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U
№ 22 φ = 69.57333° с.ш. λ = 32.48917° в.д.	0–2	1.4±0.2	—	562±43	16.5±10.9	99.4±10.5	—	—	8.3±0.5	19.6±2.2
	2–3	2.9±0.6	—	998±77	34.6±2.8	148.2±18.0	—	—	23.4±1.7	39.4±7.6
	3–4	3.4±0.5	—	1049±82	29.7±2.0	123.0±14.1	—	—	35.8±2.2	38.2±5.1
	4–5	2.6±0.3	—	930±73	27.8±2.0	83.8±11.1	—	—	28.1±1.9	24.6±4.3
	5–6	2.4±0.4	—	933±72	27.9±1.8	80.1±9.6	—	—	26.7±1.5	30.9±4.1
	6–7	2.3±0.4	—	926±73	30.6±2.1	68.3±9.4	—	—	24.5±1.8	33.1±5.1
	7–8	2.7±0.4	—	877±68	28.5±1.9	60.4±9.3	—	—	24.6±1.4	30.1±4.0

Удельная активность ¹³⁴Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ²⁴¹Am во всех измеренных пробах меньше МДА.

Station №, coordinates	Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight								
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²¹⁰ Pb	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²²⁶ Ra	²³⁸ U
№ 22 φ = 69.57333° N λ = 32.48917° E	0–2	1.4±0.2	—	562±43	16.5±10.9	99.4±10.5	—	—	8.3±0.5	19.6±2.2
	2–3	2.9±0.6	—	998±77	34.6±2.8	148.2±18.0	—	—	23.4±1.7	39.4±7.6
	3–4	3.4±0.5	—	1049±82	29.7±2.0	123.0±14.1	—	—	35.8±2.2	38.2±5.1
	4–5	2.6±0.3	—	930±73	27.8±2.0	83.8±11.1	—	—	28.1±1.9	24.6±4.3
	5–6	2.4±0.4	—	933±72	27.9±1.8	80.1±9.6	—	—	26.7±1.5	30.9±4.1
	6–7	2.3±0.4	—	926±73	30.6±2.1	68.3±9.4	—	—	24.5±1.8	33.1±5.1
	7–8	2.7±0.4	—	877±68	28.5±1.9	60.4±9.3	—	—	24.6±1.4	30.1±4.0

Specific activity of ¹³⁴Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ²⁴¹Am is less than MDA in all measured samples.

Приложение D / Annex D

Результаты датирования слоев донного осадка в колонках по содержанию радионуклидов ^{210}Pb , ^{226}Ra и ^{137}Cs , Кольский и Мотовский заливы, октябрь 2017 г. /
 Dating results of bottom deposit layers in columns on the content of ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs radioisotopes, Kola and Motovsky Bays, October 2017

Станция № 1 / Station № 1

Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы			Дата, год
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–1	59.1±2.8	14.4±1.7	7.7±1.7	2017
1–2	38.9±2.8	11.4±1.8	6.5±1.5	2014
2–3	45.8±5.5	12.8±2.5	5.6±2.0	2011
3–4	38.9±1.9	15.4±1.5	8.8±1.9	2008
4–5	40.6±3.3	17±2.5	9.0±2.1	2004
5–6	43.3±2.1	16.1±1.6	9.4±2.0	2001
6–7	37.7±4.4	14.6±2.5	8.1±2.2	1998
7–8	35.2±2.4	11.0±1.6	9.2±2.1	1995
8–9,5	28.8±1.7	14.6±8.5	7.9±1.7	1991
9,5–11	27.8±1.3	14.0±1.0	8.3±1.7	1986

Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight			Date, year
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–1	59.1±2.8	14.4±1.7	7.7±1.7	2017
1–2	38.9±2.8	11.4±1.8	6.5±1.5	2014
2–3	45.8±5.5	12.8±2.5	5.6±2.0	2011
3–4	38.9±1.9	15.4±1.5	8.8±1.9	2008
4–5	40.6±3.3	17±2.5	9.0±2.1	2004
5–6	43.3±2.1	16.1±1.6	9.4±2.0	2001
6–7	37.7±4.4	14.6±2.5	8.1±2.2	1998
7–8	35.2±2.4	11.0±1.6	9.2±2.1	1995
8–9,5	28.8±1.7	14.6±8.5	7.9±1.7	1991
9,5–11	27.8±1.3	14.0±1.0	8.3±1.7	1986

Станция № 2 / Station № 2

Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы			Дата, год
	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs	
0–1	644.0±14.0	27.3±1.8	2.0±0.8	2017
1–2	515.0±12.0	25.4±2.3	2.6±0.7	2011
2–3	405.0±8.8	51.6±1.2	2.0±0.4	2004
3–4	429.0±10.0	25.5±1.5	3.8±0.5	1998
4–5	314.0±6.1	21.6±1.0	5.9±0.4	1992
5–6	340.0±2.6	26.1±0.9	5.4±0.1	1985
6–7	253.0±9.9	24.8±0.9	6.3±0.6	1979
7–8	222.0±9.3	21.8±1.4	5.0±0.7	1973
8–9	188.0±8.5	17.1±1.1	2.1±0.3	1967
9–10	123.0±5.4	16.5±2.3	1.2±0.1	1960
10–11	98.2±6.5	14.8±1.9	1.0±0.1	1954
11–12	81.4±8.9	21.7±1.6	26.9±2.4	1948

Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight			Date, year
	²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	
0–1	644.0±14.0	27.3±1.8	2.0±0.8	2017
1–2	515.0±12.0	25.4±2.3	2.6±0.7	2011
2–3	405.0±8.8	51.6±1.2	2.0±0.4	2004
3–4	429.0±10.0	25.5±1.5	3.8±0.5	1998
4–5	314.0±6.1	21.6±1.0	5.9±0.4	1992
5–6	340.0±2.6	26.1±0.9	5.4±0.1	1985
6–7	253.0±9.9	24.8±0.9	6.3±0.6	1979
7–8	222.0±9.3	21.8±1.4	5.0±0.7	1973
8–9	188.0±8.5	17.1±1.1	2.1±0.3	1967
9–10	123.0±5.4	16.5±2.3	1.2±0.1	1960
10–11	98.2±6.5	14.8±1.9	1.0±0.1	1954
11–12	81.4±8.9	21.7±1.6	26.9±2.4	1948

Станция № 3 / Station № 3

Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы			Дата, год
	²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	
0–1	106.0±6.0	13.7±0.9	0.9±0.3	2018
1–2	128.0±14.0	18.6±1.9	1.2±0.4	2011
2–3	110.0±8.0	16.9±1.1	5.7±0.7	2004
3–4	68.5±2.9	13.7±1.1	3.0±0.4	1997
4–5	74.1±5.3	13.2±0.9	7.0±0.5	1989
5–6	65.5±4.9	12.3±1.0	2.6±0.4	1982
6–7	29.8±4.2	7.0±0.8	0.4±0.2	1975

Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight			Date, year
	²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	
0–1	106.0±6.0	13.7±0.9	0.9±0.3	2018
1–2	128.0±14.0	18.6±1.9	1.2±0.4	2011
2–3	110.0±8.0	16.9±1.1	5.7±0.7	2004
3–4	68.5±2.9	13.7±1.1	3.0±0.4	1997
4–5	74.1±5.3	13.2±0.9	7.0±0.5	1989
5–6	65.5±4.9	12.3±1.0	2.6±0.4	1982
6–7	29.8±4.2	7.0±0.8	0.4±0.2	1975

Станция № 5 / Station № 5

Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы			Дата, год
	²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	
0–1.5	132.0±16.1	18.1±1.6	5.1±1.0	2017
1.5–3	57.2±7.1	12.9±0.9	4.4±0.6	2009
3–5	44.9±7.0	13.1±1.1	4.4±0.8	2000
5–7	30.2±4.3	12.7±0.9	5.1±0.6	1990
7–9	39.3±7.0	15.7±1.1	6.7±1.7	1979
9–11	32.8±4.6	12.1±0.9	6.6±7.4	1969
11–13	22.6±4.2	10.8±0.8	4.6±0.9	1959

Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight			Date, year
	²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	
0–1.5	132.0±16.1	18.1±1.6	5.1±1.0	2017
1.5–3	57.2±7.1	12.9±0.9	4.4±0.6	2009
3–5	44.9±7.0	13.1±1.1	4.4±0.8	2000
5–7	30.2±4.3	12.7±0.9	5.1±0.6	1990
7–9	39.3±7.0	15.7±1.1	6.7±1.7	1979
9–11	32.8±4.6	12.1±0.9	6.6±7.4	1969
11–13	22.6±4.2	10.8±0.8	4.6±0.9	1959

Станция № 7 / Station № 7

Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы			Дата, год
	²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	
0–1	221.0±7.5	13.5±1.1	2.4±0.4	2017
1–2	86.7±5.1	8.9±1.2	1.6±0.4	2002
2–3	73.2±4.3	9.6±2.1	1.2±0.2	1986
3–4	62.1±5.6	10.4±1.6	1.1±0.1	1971
4–5	30.4±3.5	11.3±0.7	0.6±0.1	1956
5–6	27.2±2.4	14.8±3.1	0.9±0.2	1941
6–7	29.6±6.2	16.7±0.9	1.1±0.1	1925

Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight			Date, year
	²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	
0–1	221.0±7.5	13.5±1.1	2.4±0.4	2017
1–2	86.7±5.1	8.9±1.2	1.6±0.4	2002
2–3	73.2±4.3	9.6±2.1	1.2±0.2	1986
3–4	62.1±5.6	10.4±1.6	1.1±0.1	1971
4–5	30.4±3.5	11.3±0.7	0.6±0.1	1956
5–6	27.2±2.4	14.8±3.1	0.9±0.2	1941
6–7	29.6±6.2	16.7±0.9	1.1±0.1	1925

Станция № 9 / Station № 9

Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы			Дата, год
	²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	
0–2	213.3±22.8	18.1±1.1	7.2±0.9	2017
2–3	210.8±25.3	19.9±1.7	8.2±2.6	2009
3–4	61.8±7.0	7.8±0.8	2.1±0.4	2000
4–5,5	113±13.4	14.9±1.3	5.0±0.7	1992
5,5–7	77.7±7.0	21.5±2.4	2.7±0.3	1983
7–8	43.3±1.9	22.2±3.4	1.7±0.2	1975
8–9	61.8±2.1	19.4±3.1	1.8±0.2	1966
9–10	31.2±6.5	22.1±1.9	1.6±0.4	1958
10–11	48.2±7.3	14.6±1.6	2.0±0.3	1949
11–12,5	43.3±9.0	17.2±1.8	2.3±0.8	1941

Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight			Date, year
	²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	
0–2	213.3±22.8	18.1±1.1	7.2±0.9	2017
2–3	210.8±25.3	19.9±1.7	8.2±2.6	2009
3–4	61.8±7.0	7.8±0.8	2.1±0.4	2000
4–5,5	113±13.4	14.9±1.3	5.0±0.7	1992
5,5–7	77.7±7.0	21.5±2.4	2.7±0.3	1983
7–8	43.3±1.9	22.2±3.4	1.7±0.2	1975
8–9	61.8±2.1	19.4±3.1	1.8±0.2	1966
9–10	31.2±6.5	22.1±1.9	1.6±0.4	1958
10–11	48.2±7.3	14.6±1.6	2.0±0.3	1949
11–12,5	43.3±9.0	17.2±1.8	2.3±0.8	1941

Станция № 11 / Station № 11

Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы			Дата, год
	²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	
0–1	208.0±7.7	13.1±1.1	1.4±0.5	2017
1–2	224.0±9.7	15.3±1.2	5.2±0.6	2008
2–3	223.0±9.8	13.9±1.2	1.7±0.5	1999
3–4	190.0±7.5	15.9±1.2	1.2±0.1	1990
4–5	166.0±7.3	21.4±0.7	2.4±0.6	1982
5–6	90.4±6.4	15.4±1.3	0.3±0.1	1973
6–7	85.2±6.1	13.7±0.6	0.7±0.2	1964
7–8	85.1±3.5	19.1±0.4	0.1±0.1	1955
8–9	59.2±5.8	19.9±1.1	0.7±0.2	1946
9–10	32.8±5.8	22.3±1.3	1.2±0.1	1937
10–13	47.5±7.2	22.9±1.5	0.9±0.3	1919

Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight			Date, year
	²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	
0–1	208.0±7.7	13.1±1.1	1.4±0.5	2017
1–2	224.0±9.7	15.3±1.2	5.2±0.6	2008
2–3	223.0±9.8	13.9±1.2	1.7±0.5	1999
3–4	190.0±7.5	15.9±1.2	1.2±0.1	1990
4–5	166.0±7.3	21.4±0.7	2.4±0.6	1982
5–6	90.4±6.4	15.4±1.3	0.3±0.1	1973
6–7	85.2±6.1	13.7±0.6	0.7±0.2	1964
7–8	85.1±3.5	19.1±0.4	0.1±0.1	1955
8–9	59.2±5.8	19.9±1.1	0.7±0.2	1946
9–10	32.8±5.8	22.3±1.3	1.2±0.1	1937
10–13	47.5±7.2	22.9±1.5	0.9±0.3	1919

Станция № 22 / Station № 22

Слой, см	Удельная активность, Бк/кг сухой массы			Дата, год
	²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	
0–2	99.4±10.5	8.3±0.5	1.4±0.2	2017
2–3	148.2±18.0	23.4±1.7	2.9±0.6	2005
3–4	123.0±14.1	35.8±2.2	3.4±0.5	1998
4–5	83.8±11.1	28.1±1.9	2.6±0.3	1990
5–6	80.1±9.6	26.7±1.5	2.4±0.4	1982
6–7	68.3±9.4	24.5±1.8	2.3±0.4	1975
7–8	60.4±9.3	24.6±1.4	2.7±0.4	1967

Layer, cm	Specific activity, Bq/kg of dry weight			Date, year
	²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	
0–2	99.4±10.5	8.3±0.5	1.4±0.2	2017
2–3	148.2±18.0	23.4±1.7	2.9±0.6	2005
3–4	123.0±14.1	35.8±2.2	3.4±0.5	1998
4–5	83.8±11.1	28.1±1.9	2.6±0.3	1990
5–6	80.1±9.6	26.7±1.5	2.4±0.4	1982
6–7	68.3±9.4	24.5±1.8	2.3±0.4	1975
7–8	60.4±9.3	24.6±1.4	2.7±0.4	1967