



**РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ
СОСТОЯНИЕ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
В ПРИБРЕЖЬЕ МУРМАНА**

**RADIOECOLOGICAL STATE
OF ENVIRONMENT
IN THE MURMAN
COASTAL AREA**

**МУРМАНСК–MURMANSK
2021**

Содержание

Введение	3
1. Современные риски обращения с радиоактивными отходами	4
2. Инфраструктура атомного флота	8
3. Радиоэкологический мониторинг в прибрежье Мурмана	14
4. Радиоэкологическое состояние морской среды	22
5. Оценка загрязнения биоты	46
6. Геохронология радиоактивного загрязнения донных отложений в прибрежье	52
7. Оценка социального воздействия	58
Заключение. Передача знаний и повышение информированности	64
Литература и ссылки	66
Благодарности	69

Contents

Introduction	3
1. Modern risks of radioactive waste management	4
2. Infrastructure of the nuclear fleet	8
3. Radioecological monitoring in the Murman coastal area	14
4. Radioecological state of the marine environment	22
5. Assessment of biota pollution	46
6. Geochronology of radioactive contamination of bottom sediments in the coastal area	52
7. Social impact assessment	58
Conclusion. Knowledge transfer and awareness raising	64
References	66
Acknowledgments	69

Введение

В настоящее время в отдельных районах Арктики сконцентрировано опасное "постъядерное" наследие. К нему относятся захоронения радиоактивных отходов и береговая инфраструктура гражданского и военного атомного флота. Здесь сосредоточены ядерные энергетические источники и радиоактивные отходы (РАО). В то время, как современные методы использования атомной энергии намного более технологичны, и сопровождаются модернизацией и совершенствованием инфраструктуры безопасного обращения с ядерными отходами, важнейшей задачей стала ликвидация накопленного опасного наследия. При этом риски радиационного загрязнения при любых эпизодических инцидентах с использованием источников радиоактивности и при обращении с радиоактивными отходами требуют постоянного изучения и мониторинга.

Прибрежная зона Баренцева моря отличается от открытых морских акваторий высокой социальной востребованностью и максимальной хозяйственной освоенностью населением. Связанное с этим наличие множества источников радиоактивного излучения определяет необходимость постоянного контроля состояния морской среды в прибрежье.

В 2012–2020 гг. были реализованы российско-норвежские научно-исследовательские проекты, направленные на изучение радиоэкологического состояния окружающей среды в прибрежье Мурмана. Основными исполнителями проектов выступали Мурманский морской биологический институт Российской академии наук (ММБИ РАН) и норвежская исследовательская компания "Акваплан-нива". Исследования были проведены при финансовой поддержке Правительственного плана действий по атомной безопасности и охране окружающей среды под управлением Норвежского агентства по радиационной и атомной безопасности (DSA).

В настоящем издании в научно-популярной форме представлены основные результаты, полученные в ходе выполнения этих работ.

Introduction

At present, a dangerous "post-nuclear" legacy is concentrated in certain regions of the Arctic. It includes the disposal of radioactive waste and the coastal infrastructure of the civil and military nuclear fleet. Nuclear power sources and radioactive waste (RW) are concentrated here. While modern methods of using atomic energy are much more technological, and are accompanied by the modernization and improvement of the infrastructure for the safe management of nuclear waste, the most important task has become the elimination of the accumulated hazardous legacy. At the same time, the risks of radiation pollution in any episodic incidents involving the use of radioactivity sources and in the management of radioactive waste require constant study and monitoring.

The coastal zone of the Barents Sea differs from open sea areas in high social demand and maximum economic development by the population. The associated presence of many sources of radioactive radiation determines the need for constant monitoring of the state of the marine environment in the coastal area.

In 2012–2020, Russian-Norwegian research projects were implemented aimed at studying radioecological state of the environment of the Murman coastal area. The projects were carried out by the Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences (MMBI RAS) and Norwegian research company Akvaplan-niva, and supported financially by the Governmental Action plan on Nuclear Safety and Environmental Protection managed by the Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority (DSA).

In this publication, in popular science form, we present the main results obtained in the course of the implementation of these projects.

1. Современные риски обращения с радиоактивными отходами

В Западном секторе Российской Арктики Баренцево море оказалось наиболее подверженным радиоактивному загрязнению вследствие проводимых ранее ядерных испытаний, высокой концентрации объектов инфраструктуры атомного флота и разгрузки потоков северо-атлантических течений, которые переносят загрязнения европейских радиохимических предприятий.

Радиационное загрязнение Мурманского побережья зависит не только от фонового загрязнения поступающих сюда вод Баренцева моря. Значимым фактором для побережья являются локальные источники радиации, к которым относятся объекты инфраструктуры гражданского и военного атомного флотов. Среди них наиболее значимыми с точки зрения радиоэкологического риска являются хранилища РАО в губе Андреева на западе Мурманского побережья, в губе Сайда в

Кольском заливе и в губе Гремиха на востоке Мурманского побережья (рис. 1.1).

Наиболее высокий риск эмиссии радионуклидов связан с техническим состоянием пунктов хранения РАО и вывозом РАО из хранилищ в губах Андреева и Гремиха в Мурманск. Хранилище в губе Андреева эксплуатируется около 60 лет. В прошлом участки его территории загрязнялись в результате инцидентов с утечкой жидких и с просыпаниями твердых РАО на открытой площадке хранения. Так, в 1982 г. объем радиоактивных утечек составил приблизительно 37 ТБк. Дополнительный риск загрязнения создают активные операции по эвакуации радиоактивных отходов из губы Андреева и Гремихи в Мурманск, где упаковки с опасными отходами перегружаются на железнодорожный транспорт (рис. 1.2; 1.3).

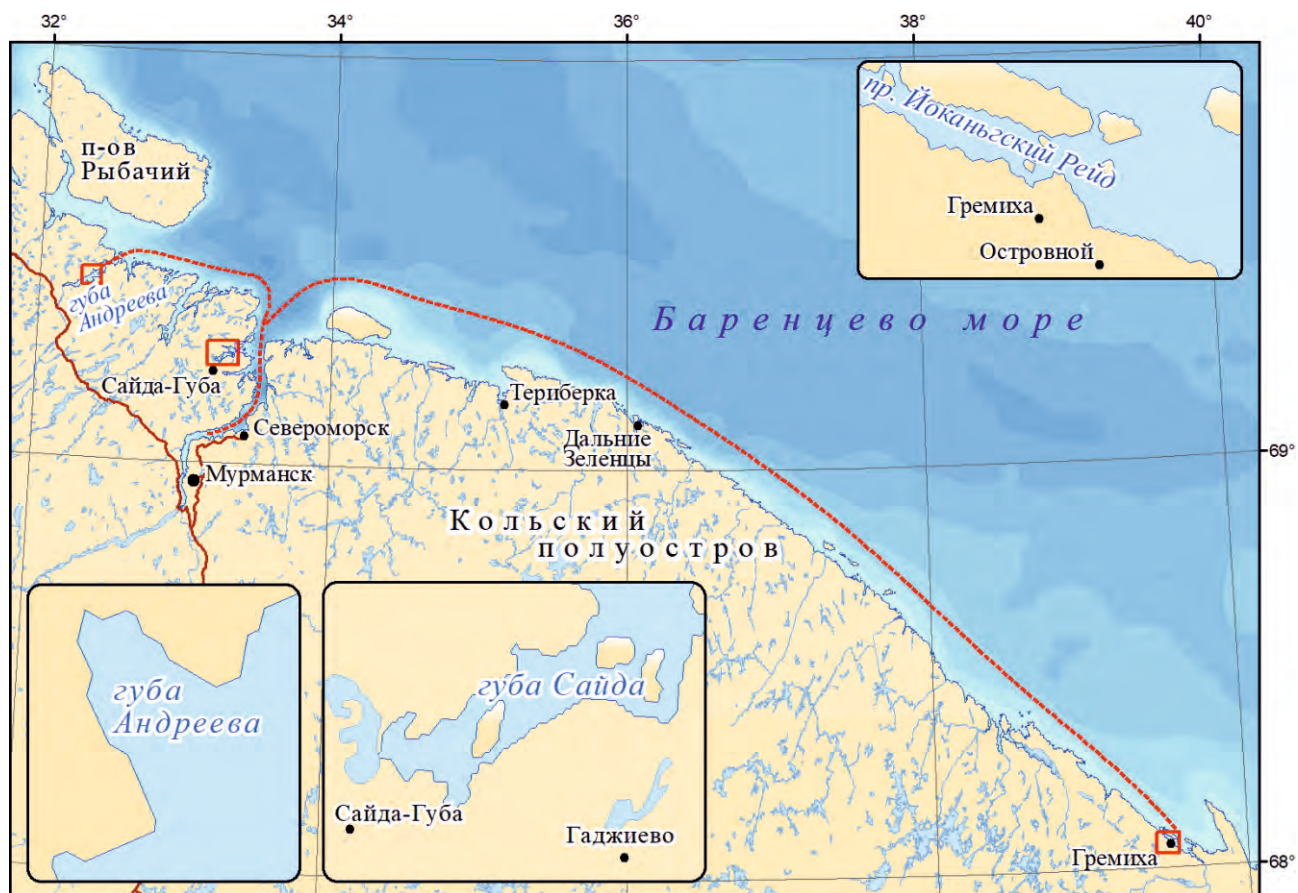


Рис. 1.1. Маршруты транспортировки и зоны риска радиационного загрязнения в прибрежье Кольского полуострова

1. Modern risks of radioactive waste management

In the Western sector of the Russian Arctic, the Barents Sea turned out to be the most susceptible to radioactive contamination due to previous nuclear tests, high concentration of the nuclear fleet infrastructure objects and unloading of the North Atlantic currents that carry pollution from European radiochemical plants.

Radiation pollution of the Murmansk coastal area depends not only on the background pollution of the incoming Barents Sea waters. Local sources of radiation, which include infrastructure facilities of the civil and military atomic fleets, are a significant factor for the coastal area. Among them, the most significant in terms of radioecological risk are storage facilities for RW in Andreeva Bay in the west of the Murmansk coast, in Sayda Bay in the Kola Bay and in Gremikha Bay in the east of the Murmansk coast (Fig. 1.1).

The highest risk of radionuclide emission is associated with the technical state of the radioactive waste storage facilities and their removal from storage facilities in the Andreeva and Gremikha bays to Murmansk. The Andreeva Bay storage facility has been in operation for about 60 years. In the past, parts of its territory were contaminated as a result of incidents with leakage of liquid and with spillage of solid RW in an open storage area. So, in 1982 the volume of radioactive leaks amounted to approximately 37 TBq. An additional risk of contamination is created by active operations to evacuate radioactive waste from Andreeva and Gremikha bays to Murmansk, where packages with hazardous waste are loaded onto railroad transport (Fig. 1.2; 1.3).

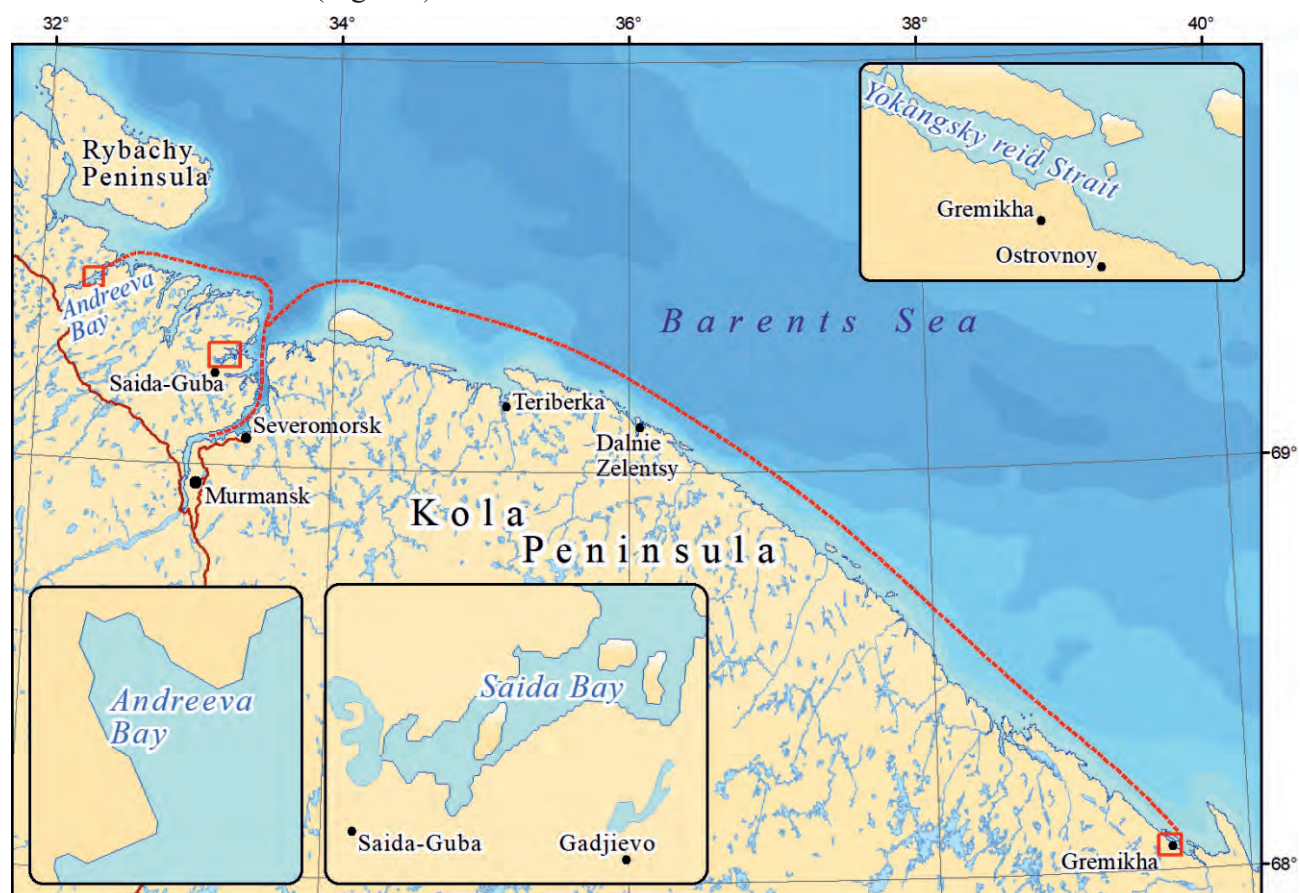


Fig. 1.1. Transportation routes and zones of risk of radiation pollution in the coast of the Kola Peninsula



Рис. 1.2. Специализированное судно «Россита», предназначенное для перевозки упаковок с отработавшим ядерным топливом (фото из открытых источников)

Fig. 1.2. Specialized vessel "Rossita", designed to transport packages with spent nuclear fuel (photo from open sources)

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

Чтобы получить новые данные и проанализировать радиоэкологическое состояние баренцевоморского побережья в 2013–2014 годах, а затем в 2017–2019 годах ММБИ провел исследования современного радиоэкологического состояния экосистем и тенденций в динамике накопления радионуклидов. Сбор материалов выполнен в ряде крупных губ Кольского побережья. Наиболее подробные исследования выполнены на участке интенсивного трансфера отходов – в Мотовском и Кольском заливах, в губе Гремиха. Изучено распространение ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu и $^{239,240}\text{Pu}$ в донных отложениях, в верхнем и глубинных

слоях вод, в биоте. Также были изучены гидрологические процессы, определяющие распространение загрязнителей в Мотовском заливе.

По результатам исследований можно оценить возможное влияние потенциально опасных погрузочно-разгрузочных и транспортных операций с радиоактивными отходами. Очевидно, что актуальность этих исследований сохранится в течение всего периода деятельности хранилищ и будет сохраняться какой-то длительный период после вывоза накопленных запасов ОЯТ и реабилитации территории.



Рис. 1.3. Перегрузка транспортных упаковочных контейнеров с отработавшим ядерным топливом на специализированное судно «Россита». Хранилище ядерных отходов в губе Андреева (фото из открытых источников)

Fig. 1.3. Transfer of transport packaging containers with spent nuclear fuel to the specialized vessel "Rossita". Nuclear waste storage facility in Andreeva Bay (photo from open sources)

Another component of the radiation hazard risks arises during the disposal and putting into long-term storage in Sayda Bay of reactor compartments of nuclear submarines and compartments of service vessels.

In order to obtain new data and analyze the radioecological state of the Barents Sea coast in 2013–2014, and then in 2017–19, MMBI conducted research on the current radioecological state of ecosystems and trends in the dynamics of radionuclide accumulation. The collection of materials was carried out in a number of large bays of the Kola coast. The most detailed studies were carried out in the area of intensive waste transfer - in Motovsky and Kola bays, in Gremikha Bay.

The distribution of ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu and $^{239,240}\text{Pu}$ in the upper and deeper water layers, bottom sediments and biota has been studied. The hydrological processes in the Motovsky Bay, which determine the spread of pollutants, were also studied.

Based on the research results, it is possible to assess the possible impact of potentially hazardous handling and transport operations with radioactive waste. Obviously, the relevance will remain during the entire period of the storage facilities and will remain for some long period after the removal of the accumulated stocks of spent nuclear fuel and the rehabilitation of the territory.

2. Инфраструктура атомного флота

Губа Андреева. На берегу губы Андреева расположен один из объектов ядерной инфраструктуры – «Площадка временного хранения РАО в губе Андреева» (ПВХ). Хранилище было введено в строй в 1961 г. Оно предназначено для временного хранения отработавших тепловыделяющих сборок ядерных энергетических установок, жидких и твердых радиоактивных отходов. Этот объект является одним из крупнейших в Европе хранилищ, предназначенных для складирования отработавшего ядерного топлива. Он считался самым опасным в плане радиации на всем протяжении «холодной» войны (рис. 2.1).

В июне 2017 г. начал вывоз РАО из временного хранилища морским путем через Мотовский и Кольский заливы в Мурманск. 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 возможных изменениях под воздействием природных или техногенных факторов в местах перегрузки отходов и по маршруту морских перевозок.

Хранилище РАО в губе Сайда. Предназначено для подготовки (кондиционирования) и длительного хранения реакторных отсеков подводных лодок, высокоактивных конструкций других судов и возникающих при этих операциях ТРО и ЖРО (рис. 2.2).



Рис. 2.1. Площадка временного хранения РАО в губе Андреева
(источник: <https://murmansk.ru/225>)

Fig. 2.1. Site for the temporary storage of radioactive waste in Andreeva Bay
(source: <https://murmansk.ru/225>)

2. Infrastructure of the nuclear fleet

Andreeva Bay. On the shore of Andreeva Bay, one of the nuclear infrastructure facilities is located - the "Site for the temporary storage of radioactive waste in Andreeva Bay" (STS). The storage was put into operation in 1961. It is intended for temporary storage of spent fuel assemblies of nuclear power plants, liquid and solid radioactive waste. This facility is one of the largest storage facilities in Europe for the storage of spent nuclear fuel. It was considered the most dangerous in terms of radiation throughout the Cold War (Fig. 2.1).

In June 2017, the transportation of radioactive waste from the temporary storage facility by sea through the Motovsky and Kola bays to Murmansk began. The removal of containers with spent nuclear fuel on a

specialized container ship "Rossita" to the base of the Federal State Unitary Enterprise "Rosatomflot" in the Kola Bay will continue as planned for about 10 years. In accordance with this, it becomes necessary to obtain information about the radioecological state of the marine environment and possible changes under the influence of natural or man-made factors in the places of waste transfer and along the route of sea transportation.

Radioactive waste storage facility in Sayda Bay. Designed for preparation (conditioning) and long-term storage of reactor compartments of submarines and highly active structural other ships and SRW and LRW arising during these operations (Fig. 2.2).



Рис. 2.2. «Региональный центр по обращению с радиоактивными отходами Сайда-Губа» СЗЦ «СевРАО» (фото из открытых источников)

Fig. 2.2. "The Sayda Bay Regional Center for Radioactive Waste Management" SZTs "SevRAO" (photo from open sources)

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. Однако утилизация атомных субмарин и хранение на плаву блоков с ядерными реакторами начались 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 следующие операции:

- установка на сухое хранение реакторных отсеков АПЛ;
- хранение блок-упаковок, с отсеками судов атомного ледокольного флота и технического обслуживания;
- кондиционирование (фрагментация, прессование, водоструйная и химическая очистка, паспортизация) и долговременное хранение всех видов РАО.

Центр в Сайда-Губе будет принимать отходы, поступающие из губы Андреева и хранилища в Гремихе. Он 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 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 в проливе Йоканьгский рейд, выходящем в Святоносский залив Баренцева моря (рис. 1.1). В непосредственной близости от хранилища расположена жилая зона обслуживающего персонала и их семей – город Островной. Отделение удалено от г. Мурманска к северо-востоку на 280 км и на 350 км к востоку 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 (рис. 2.3).

Данные по радиационной обстановке на территории береговой технической базы (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 все поврежденные, некондиционные (аварийные) части реакторных установок. На судне «Россита» вывезено 180 м³ ТРО из 500 м³, размещенных в хранилище. 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". Одновременно проводится реабилитация территории хранилища.

Sayda Bay is a lateral arm of the Kola Bay located 60 km north of Murmansk (Fig. 1.1). The long-term storage facility (LCC) of the nuclear submarine's reactor compartments in Sayda Bay was established in 2004. However, the disposal of nuclear submarines and the storage of units afloat with nuclear reactors began in 1990. The modern long-term storage facility was created within the framework of the Global Partnership program to eliminate the nuclear legacy and was opened in 2011 as the Sayda-Guba Regional Center for Radioactive Waste Management of the SevRAO SZTs. At present, the Center is one of the three largest and most modern storage facilities for radioactive waste with a long service life.

It performs the following operations:

- installation for dry storage of nuclear submarine reactor compartments;
- storage of block packages, with compartments of the nuclear icebreaker fleet and maintenance vessels;
- Conditioning (fragmentation, pressing, water-jet and chemical treatment, certification) and long-term storage of all types of radioactive waste.

The center in Sayda Bay will receive waste from Andreeva Bay and the storage facility in Gremikha. It was built on the basis of a residential settlement where the employees of the Center live. The village of Gadzhievo, the city of Aleksandrovsk, the city of Snezhnogorsk and the Nerpa shipyard (SRZ) are located in close proximity to it. At the Nerpa shipyard, submarines and technological support vessels are being dismantled, blocks and block packages are being prepared for storage.

The Gremikha branch of the North-West Center SevRAO was reorganized from the coastal technical base of the Northern Fleet, which has been operating since 1958. The department is located on the northeastern coast of the Kola Peninsula, on the shore of the

Chervyanoy Bay in the Yoganskiy Reid Strait, which overlooks the Svyatonos Bay of the Barents Sea (Fig. 1.1). In the immediate vicinity of the storage facility there is a living area for the staff and their families - the city of Ostrovnoy. The department is located at a distance of 280 km from Murmansk to the northeast and 350 km to the east of the entrance to the Kola Bay. The Gremikha branch does not have any land lines.

The main function of the department is the storage of spent nuclear fuel (SNF), including the fuel of nuclear reactors with a liquid metal coolant and radioactive waste (Fig. 2.3).

Data on the radiation situation on the territory of the coastal technical base (BTB) in Gremikha are scarce. An ecologically significant hazard is posed by the SRW temporary storage site with casks with spent fuel assemblies and high-level SRW located on it.

Removal of nuclear waste began in 2008 as part of a joint project between Rosatom and the French Atomic Energy Commission. To date, all SFAs of reactors with a liquid metal coolant (898 SFAs) have been removed from the storage facility, including all damaged, substandard (emergency) parts of the reactor facilities have been unloaded and dismantled. The Rossita vessel removed 180 m³ of SRW from the 500 m³ stored in the storage facility. The completion of the evacuation of all spent fuel assemblies will be completed in 2022. The spent nuclear fuel is delivered to the storage site of FSUE Atomflot in Murmansk with subsequent shipment to PA Mayak for reprocessing. At the same time, rehabilitation is being carried out on the territory of the storage facility.

Кольский залив. Кольский залив Баренцева моря имеет многофункциональное социальное значение для Баренц-региона в целом. Его акватория и побережье используются в гражданских и военных целях. Протяженность залива равна 57 км. В залив впадают две крупные реки – Кола и Тулома и множество мелких водотоков. 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.

Кольский залив является важнейшей транспортной артерией севера России и логистическим центром морской Арктики.

В Кольском заливе находится ФГУП «Атомфлот» – база атомных ледоколов и конечный пункт морской транспортировки РАО из хранилищ в губе Андреева и «Гремиха». В том числе, на предприятии проводят операции по обращению с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. Предприятие расположено в двух километрах от северной границы города Мурманска.

Вся инфраструктура морской атомной энергетики, находящаяся в Кольском заливе генерирует потенциальные риски радиационного загрязнения морской среды и среды обитания населения Мурманской области и прилегающих районов.



Рис. 2.3. Схема размещения Отделения «Гремиха» Северо-Западного центра «СевРАО» (по данным сервиса Google карты)

Kola Bay. The Kola Bay of the Barents Sea has multifunctional social significance for the Barents Region as a whole. Its waters and coastline are used for civil and military purposes. The length of the bay is 57 km. Two large rivers, the Kola and Tuloma, and many small streams flow into the bay. The river runoff provides a constant flow from the bay to the open sea and renewal of waters. 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.

The Kola Bay is the most important transport artery in the north of Russia and the logistics center of the maritime Arctic. FSUE

Atomflot is located in the Kola Bay - the base of nuclear icebreakers and the final point of sea transportation of radioactive waste from storage facilities in Andreeva Bay and Gremikha. In particular, the enterprise carries out operations for the management of radioactive waste and spent nuclear fuel. The enterprise is located two kilometers from the northern border of the city of Murmansk.

The entire infrastructure of the marine nuclear power industry located in the Kola Bay generates potential risks of radiation pollution of the marine environment and the habitat of the population of the Murmansk region and adjacent areas.

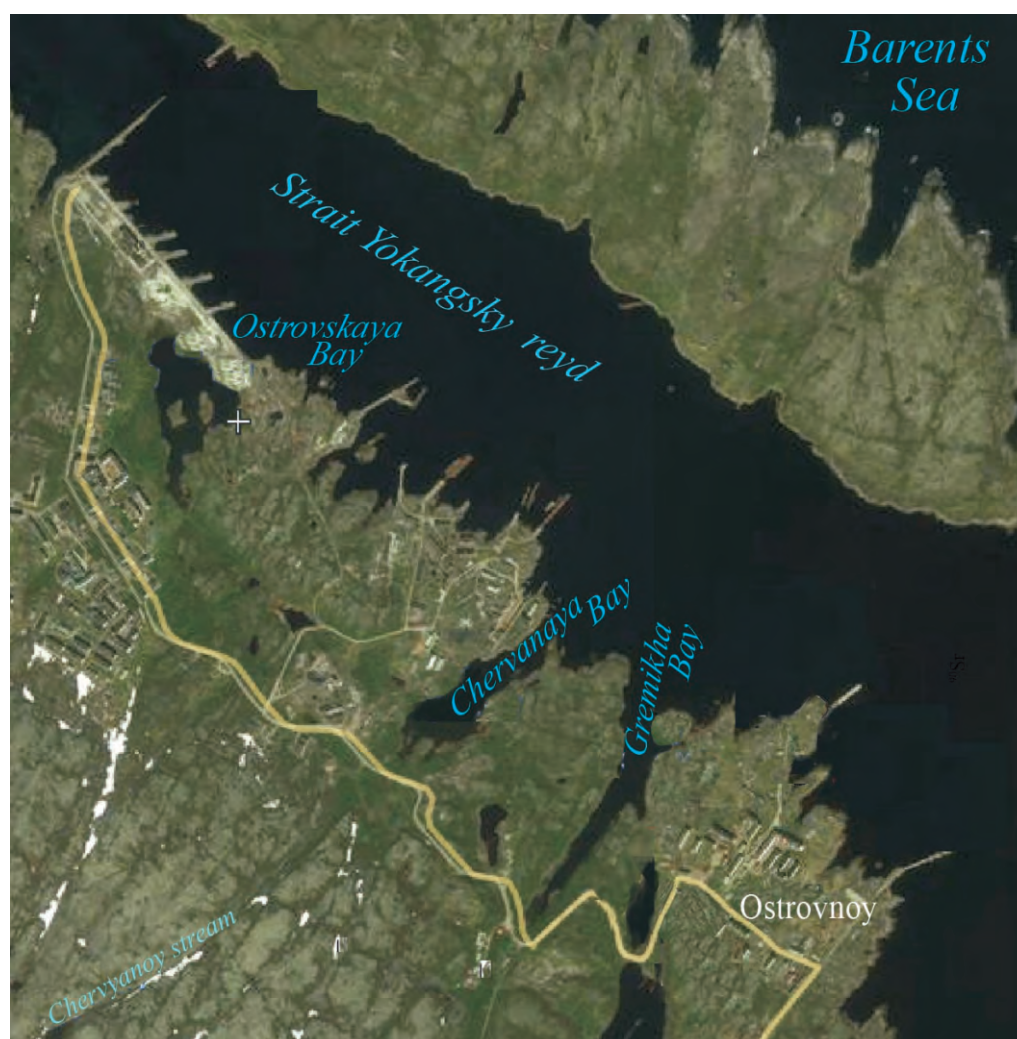


Fig. 2.3. Layout of the "Gremikha" Branch of the North-West Center "SevRAO" (according to the Google maps service)

3. РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В ПРИБРЕЖЬЕ МУРМАНА 2013–2014

ЭКСПЕДИЦИЯ НА МАЛОМЕРНОМ СУДНЕ «ВИКИНГ-2» В АВГУСТЕ 2013 Г.

Маршрут экспедиции включал станции в Кольском заливе, в губах Вичаны, Ура, Ара и Западная Лица (рис. 3.1). Целью было проведение исследований в прибрежной зоне Баренцева моря. Отбор проб производился на 16 станциях, а также было выполнено 4 СТД-профилирования.

Сбор, обработка и анализ проб проводились с использованием общепринятых международных методов. Пробы воды, поверхностного слоя (0–2 см) и кернов донных отложений, литоральных водорослей-макрофитов были доставлены в лабораторию ММБИ для радиоизотопного анализа. Всего: 14 проб воды, 16 проб поверхностного слоя (0–2 см) и 9 кернов донных отложений, 4 пробы водорослей.

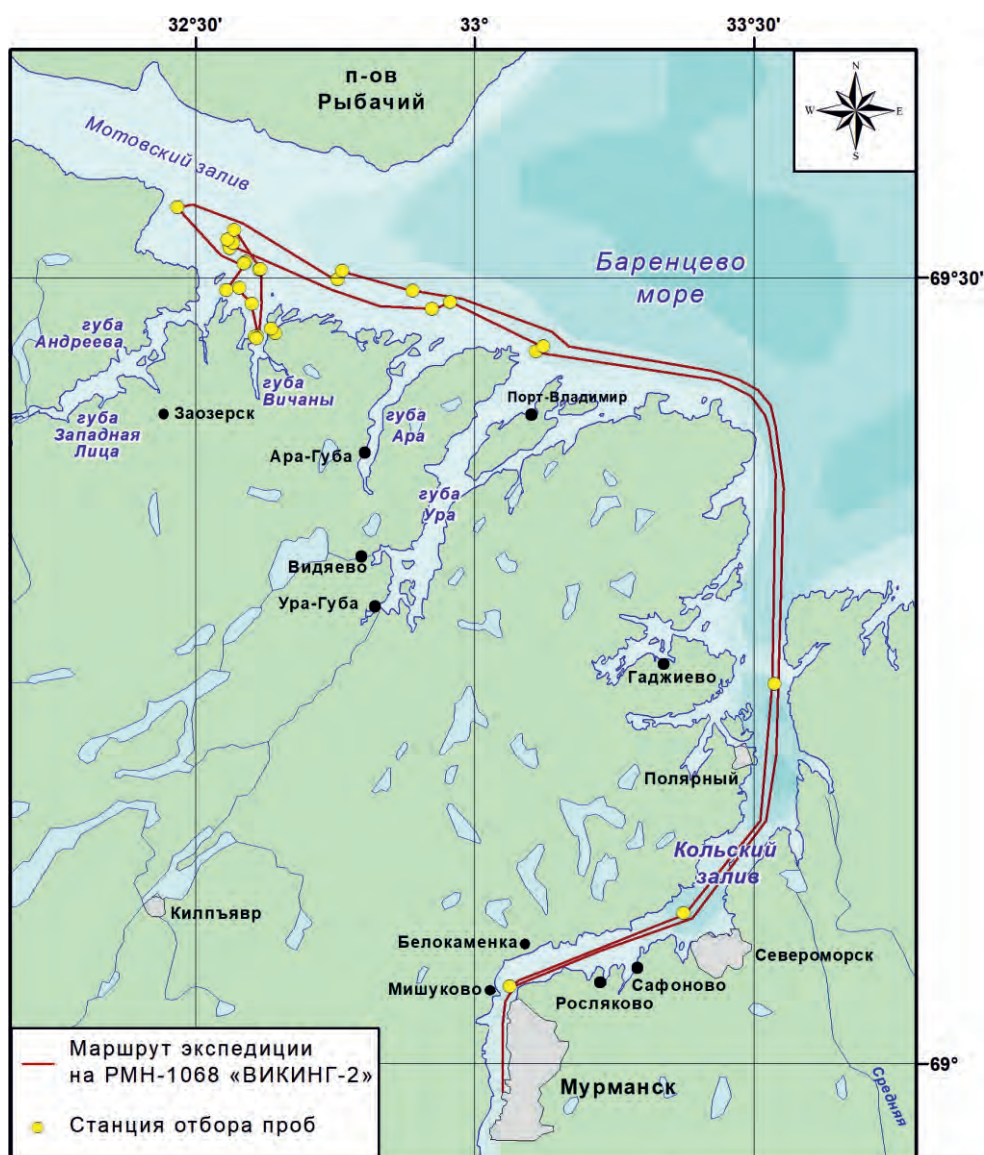


Рис. 3.1. Маршрут экспедиции на маломерном судне «Викинг-2», 4-9 августа 2013 г.

3. RADIOECOLOGICAL MONITORING IN THE MURMAN COASTAL AREA 2013–2014

EXPEDITION ON BOARD SMALL BOAT “VIKING-2” IN AUGUST 2013

The expedition route included stations in the Kola, Vichany, Ura, Ara and Zapadnaya Litsa Bays (Fig. 3.1). The aim was to conduct research in the coastal zone of the Barents Sea. Sampling was performed at 16 stations as well as 4 CTD-profiles were done.

The collection, processing and analysis of samples was carried out using generally accepted international sampling and analysis methods. Samples of water, the surface sediment layer (0–2 cm), sediment cores, and littoral macrophytes were delivered for radioactive isotope analysis in MMBI laboratory. In total: 14 samples of water, 16 samples of surface layer (0–2 cm) and 9 cores of bottom sediments, and 4 samples of algae.

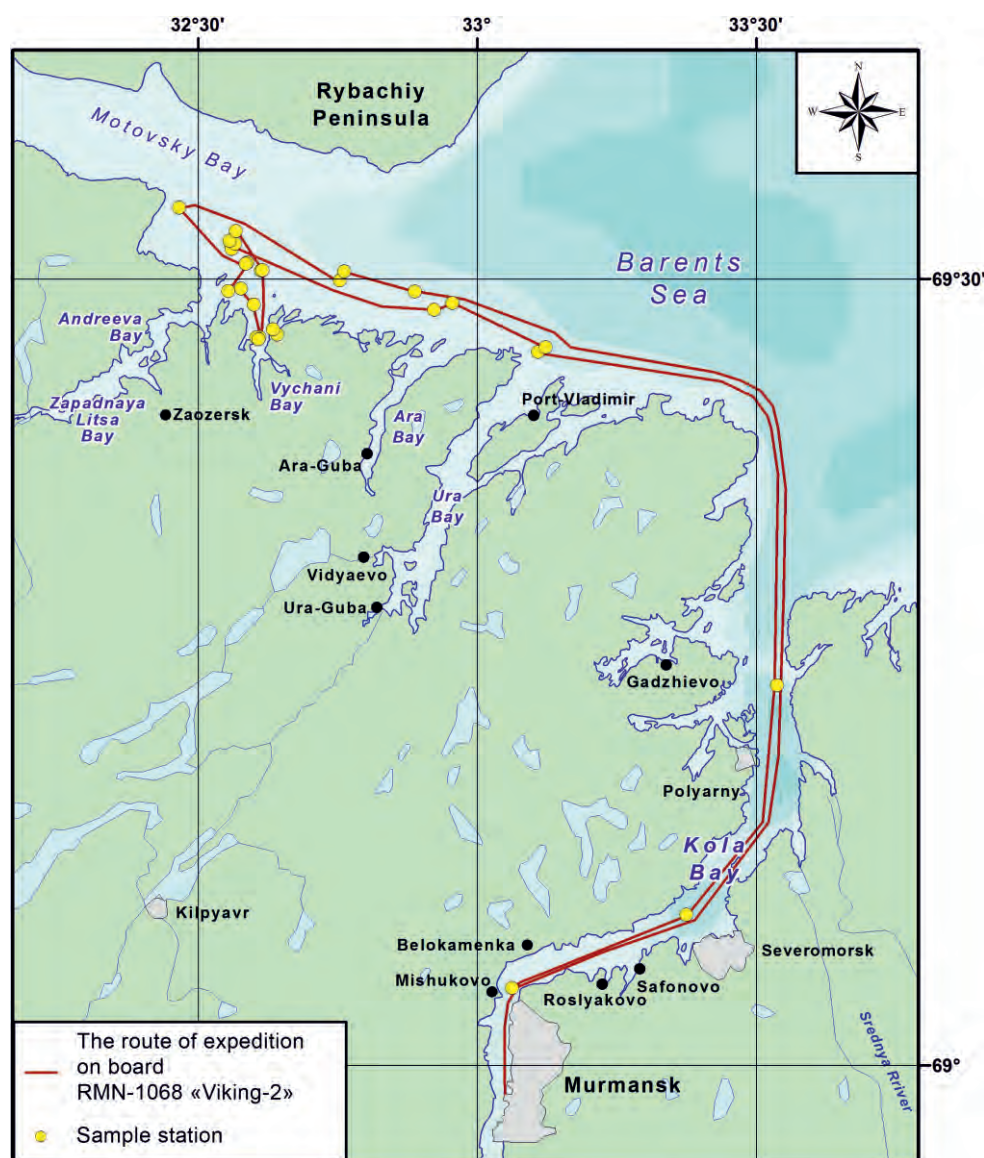


Fig. 3.1. Route of expedition on board small boat “Viking-2”, August 4-9, 2013

ЭКСПЕДИЦИЯ В ГУБУ АНДРЕЕВА, ОКТЯБРЬ 2014 Г.

Цель экспедиции – отбор проб воды, донных отложений и макрофитов в губе Андреева. Экспедиция состоялась 29 октября 2014 года. Место отбора проб на 3 станциях показано на рисунке 3.2.

Сбор, обработка и анализ проб проводились с применением общепризнанных международных методов и надлежащим образом откалиброванных инструментов, а также в соответствии со стандартными гидрометеорологическими методами. Пробы воды, поверхностного слоя (0–2 см) и керн донных отложений отложений, а также макрофитов и раковин моллюсков отбирались в прибрежной зоне. Всего было отобрано и проанализировано 3 пробы воды, 3 пробы поверхностного слоя (0–2 см) и 2 керн донных отложений, 3 пробы водорослей и 1 проба раковин мидий.

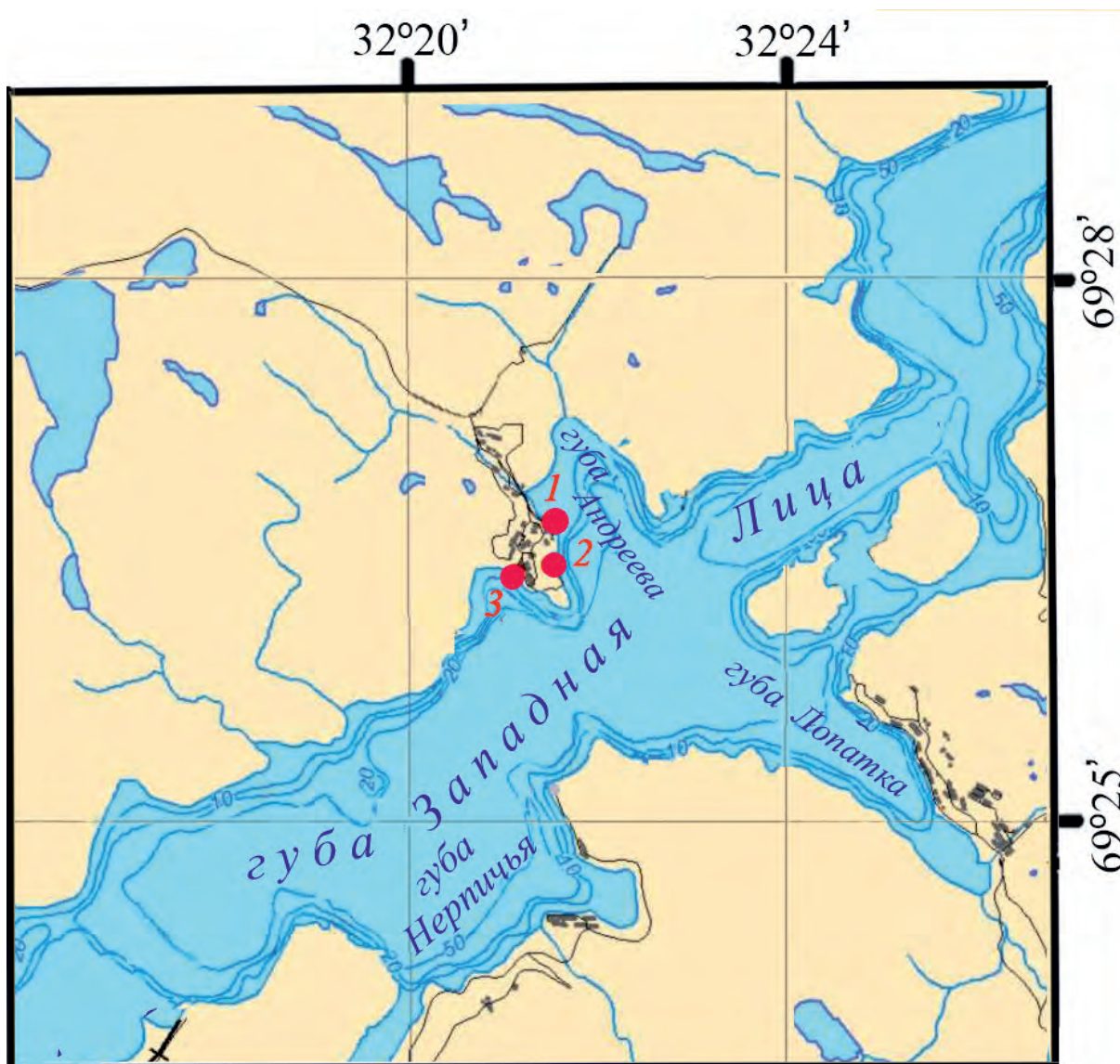


Рис. 3.2. Станции отбора проб в районе губы Андреева. 29 октября 2014 г.

EXPEDITION TO THE ANDREEVA BAY, OCTOBER 2014

The goal of this expedition was to conduct sampling of water, bottom sediment and macrophytes in the Andreeva Bay. The expedition was held on October 29, 2014. The location of sampling at 3 stations is shown in Figure 3.2.

Collection, processing and analysis of the samples was conducted by applying accepted international methods and properly calibrated instruments, as well as in accordance with standard hydrometeorological methods. Water, surface layer (0–2 cm) and core of bottom sediment as well as macrophytes and mollusk shells were sampled from the littoral zone. In total 3 samples of water, 3 samples of surface layer (0–2 cm) and 2 cores of bottom sediments, 3 samples of algae, and 1 sample of mussel shells were taken and analyzed.

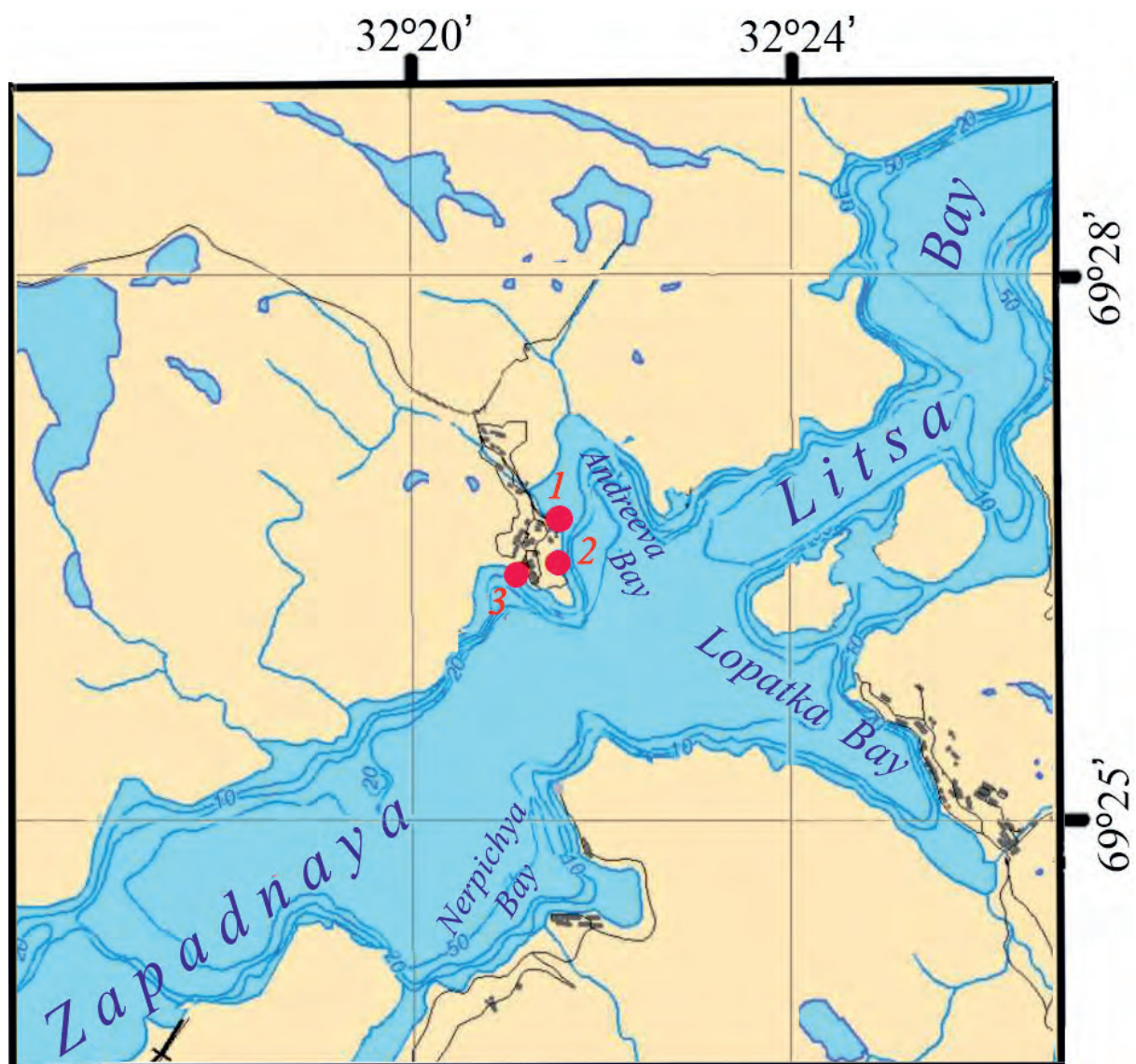


Fig. 3.2. Sampling stations in the area of Andreeva Bay. October 29, 2014

ОТБОР РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБ В 2017–2018 ГГ.

В 2017–2018 гг. ММБИ проводил отбор проб по 3 основным направлениям (рис. 3.3):

- морская экспедиция на НИС «Дальние Зеленцы» в Кольский и Мотовский заливы;
- морские исследования на маломерных плавсредствах в губе Сайда;
- прибрежные экспедиции на морском

пассажирамском транспорте в ЗАТО Островной (Гремиха).

Сбор, обработка и анализ проб проводились с применением общепринятых международных методов и надлежащим образом откалиброванных инструментов, а также в соответствии со стандартными гидрометеорологическими методами.

ЭКСПЕДИЦИЯ НА НИС «ДАЛЬНИЕ ЗЕЛЕНЦЫ» В ОКТЯБРЕ 2017 Г.

Экспедиция проводилась 26–31 октября 2017 г. в Кольском и Мотовском заливах (рис. 3.3). Ее цель заключалась в отборе проб воды и донных отложений, проведении STD-профилирования на 25 станциях вдоль маршрута морской транспортировки ОЯТ от хранилища в губе

Андреева до площади хранения ФГУП «Атомфлот» и Мурманского порта.

Всего отобрано и доставлено в лабораторию ММБИ 51 проба воды с разных глубин, 36 проб поверхностного слоя (0–2 см) и 13 кернов донных отложений.

ЭКСПЕДИЦИЯ В ГУБУ САЙДА (КОЛЬСКИЙ ЗАЛИВ)

Экспедиция проводилась в период с 23 по 26 октября 2018 г. на автотранспорте и маломерных плавсредствах (резиновая лодка) (рис. 3.3). Целью экспедиции было проведение радиоэкологических исследований в акватории бухты, определение потенциальной радиационной

опасности в доступных для исследования точках.

Всего отобрано и доставлено в лабораторию 4 пробы воды, 2 пробы поверхностного слоя (0–2 см) донных отложений и 3 пробы водорослей.

ЭКСПЕДИЦИЯ В РАЙОН ХРАНИЛИЩА ОЯТ В ГРЕМИХЕ

Экспедиция проводилась в период с 26 сентября по 1 октября 2018 года. Хранилище ОЯТ филиала «Гремиха» не имеет автомобильного сообщения. На акватории пролива Йоканьгский рейд, где расположено хранилище, не допускается проход морских судов коммерческого и научного назначения. Судно регулярного пассажирского сообщения «Клавдия Еланская» использовалось в качестве платформы для доставки экспедиции, вышедшей из порта Мурманск (рис. 3.3).

Целью экспедиции - проведение научных радиоэкологических исследований в акватории пролива Йоканьгский Рейд в доступных для исследования точках акватории, прилегающей к месту хранения ОЯТ и ТРО.

Всего отобрано и доставлено в лабораторию 4 пробы воды, 2 пробы поверхностного слоя (0–2 см) и керн донных отложений и 3 пробы водорослей.

RADIOECOLOGICAL SAMPLING IN 2017-2018

During 2017–2018 MMBI conducted sampling in 3 main areas (Fig. 3.3):

- marine expedition on board RV Dalnie Zelentsy in the Kola and Motovsky Bays;
- marine research on small-scale watercraft in the Saida Bay;
- coastal expeditions using marine passenger transport in Ostrovnoy/Gremikha.

Collection, processing and analysis of the samples was conducted by applying accepted international methods and properly calibrated instruments, as well as in accordance with standard hydrometeorological methods

EXPEDITION ON BOARD RESEARCH VESSEL DALNIE ZELENTSY, OCTOBER 2017

The expedition was conducted during 26–31 October 2017 in the Kola and Motovsky Bays (Fig. 3.3). The purpose was to sample water and bottom sediments, make CTD-profiling in 25 stations along the routes of SNF sea transportation from the storage in Andreeva Bay to Murmansk on FSUE Atomflot storage site.

In total 51 samples of water from different depths, 36 samples of surface layer (0–2 cm) and 13 cores of bottom sediments were taken and delivered to laboratory.

EXPEDITION TO THE SAIDA BAY (KOLA BAY)

The expedition was conducted during the period of 23 October and 26 October 2018 by road transport and small watercrafts (rubber boat) (Fig. 3.3). The aim of the expedition was to conduct radioecological research in the water area of the bay, to determine the potential radiation hazard at points accessible for research.

In total 4 samples of water, 2 samples of surface layer (0–2 cm) of bottom sediments, and 3 samples of algae were taken and delivered to laboratory

EXPEDITION TO THE AREA OF GREMIKHA SNF STORAGE

The expedition was conducted during the period of 26 September - 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 platform of the expedition delivery leaving the port of Murmansk (Fig. 3.3).

The purpose of the 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.

In total 4 samples of water, 2 samples of surface layer (0–2 cm) and kern of bottom sediments, and 3 samples of algae were taken and delivered to laboratory.

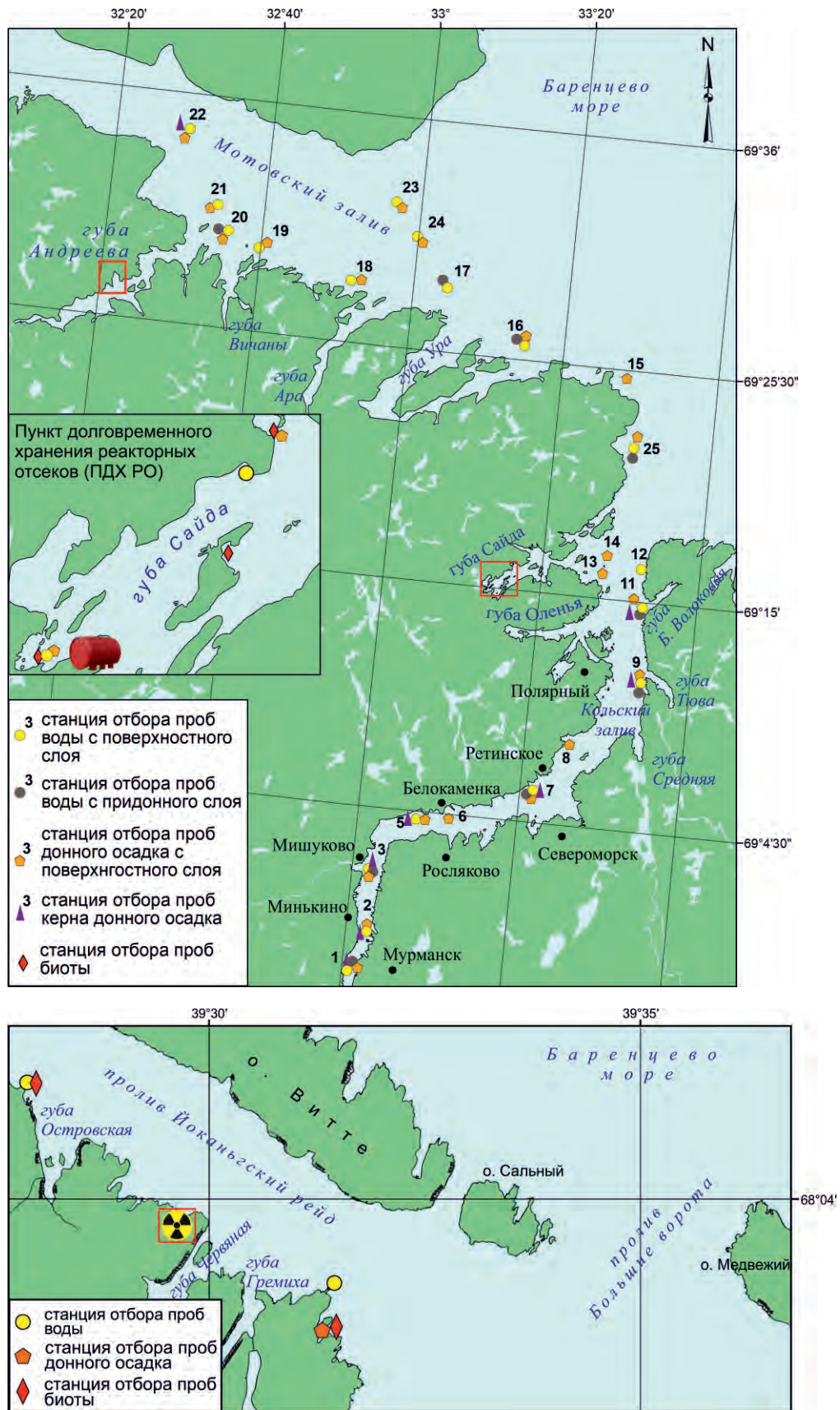


Рис. 3.3. Районы экспедиционных исследований и места отбора проб воды, донных отложений и биоты в 2017-2018 гг

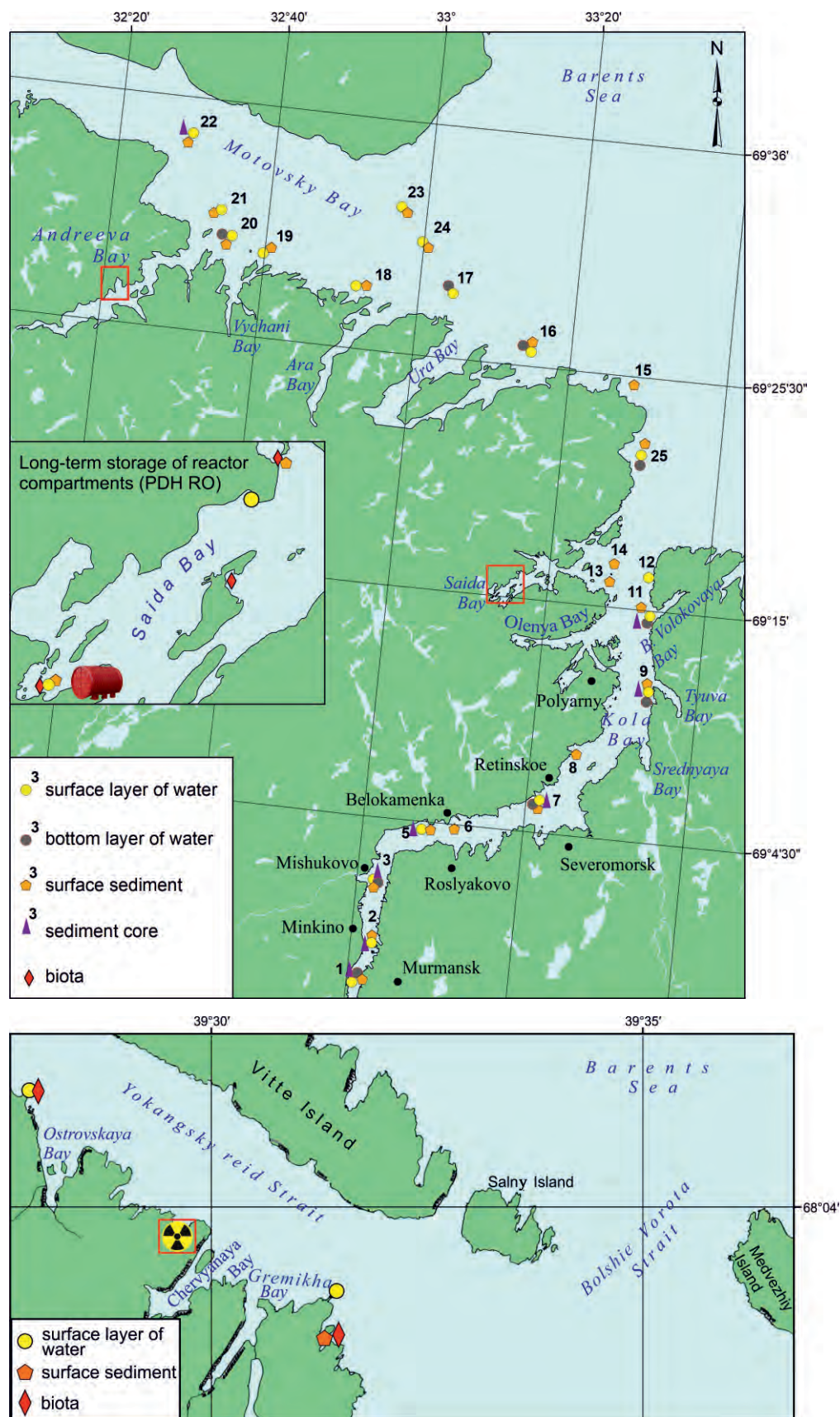


Fig. 3.3. Areas of expeditionary research and points of water, bottom sediments, and biota sampling. 2017-2018

4. Радиоэкологическое состояние морской среды

4.1. Состояние водной среды.

Современное радиоэкологическое состояние Баренцева моря обусловлено, прежде всего, переносом радиоактивных загрязнителей из Северной Атлантики. Они поступают в Баренцево море и Арктический бассейн с ветвями Северо-Атлантического течения. В основном это сбросы в Ирландское море стоков комбината “Селлафилд”. В 1990-е годы сбросы североευропейскими радиохимическими предприятиями были практически прекращены. Однако поток атлантических и прибрежных вод из Норвежского моря остается в числе основных факторов радиационного загрязнения, формирующих радиоэкологический фон Баренцева моря. В связи с этим, при мониторинге радиационного загрязнения необходимо изучать термохалинную структуру водных масс. Воды атлантического происхождения имеют более высокую температуру и соленость. Индикатором материкового стока является более низкая соленость водных масс.

Дополнительным фактором, формирующим радиоэкологический фон являются глобальные атмосферные выпадения.

Основной поток цезия и стронция поступает в Баренцево море через границу м. Нордкап – о. Медвежий (The Barents Opening). Далее радиоактивные вещества распространяются в акватории моря со струями теплых течений. Происходит их перераспределение и смешение. Важнейшую роль в перемешивании вод, в диссипации и перераспределении поступающих в западную часть моря радиоактивных загрязнителей играют гидрологические фронты, разделяющие воды с разными свойствами. В результате этих процессов, в прибрежных заливах и фьордах формируется фон радиоцезия на уровне 1.5–2 Бк/м³ (рис. 4.1). В разных участках береговой зоны

на него влияют такие факторы, как эмиссия радиации от локальных источников и береговой сток. Рассмотрим 2 таких прибрежных участка: губа Западная Лица и Кольский залив.

Губа Западная Лица.

Из местных источников наибольший риск загрязнения создают стоки, переносимые в море от хранилища в губе Андреева. Этот риск вызван не только с возможными утечками загрязненной воды, как в 1982 г., он связан также с потенциальной опасностью операций по вывозу ОЯТ из хранилища. Кроме этого, в губе Западная Лица размещаются объекты инфраструктуры атомного флота. Суммарный сток из губы Западная Лица попадает в Мотовский залив (рис. 4.2).

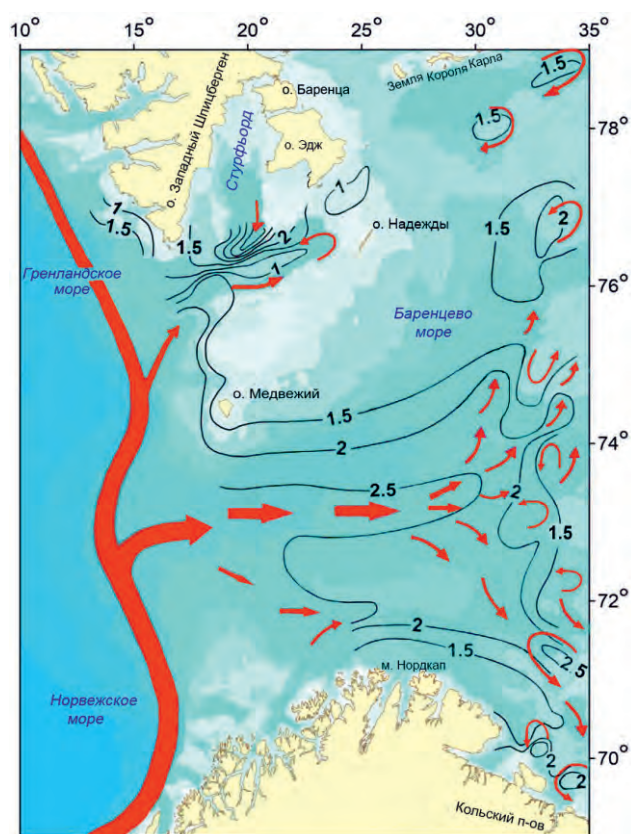


Рис. 4.1. Схема поступления техногенных радионуклидов в западную часть Баренцева моря и уровни ¹³⁷Cs в воде, Бк/м³

4. Radioecological state of the marine environment

4.1. The state of the aquatic environment.

The current radioecological state of the Barents Sea is primarily caused by the transfer of radioactive contaminants from the North Atlantic. They enter the Barents Sea and the Arctic Basin with branches of the North Atlantic Current. Basically, these are the discharges of wastewater from the Sellafield plant into the Irish Sea. In the 1990s, discharges from Northern European radiochemical plants were practically stopped. However, the inflow of Atlantic and coastal waters from the Norwegian Sea remains among the main factors of radiation pollution that form the radioecological background of the Barents Sea. In this regard, during radiation pollution monitoring, it is necessary to study the thermohaline structure of water masses. The waters of Atlantic origin have a higher temperature and salinity. The indicator of continental runoff is the lower salinity of water masses.

An additional factor that forms the radioecological background is atmospheric fallout of the western transfer.

The main inflow of cesium and strontium enters the Barents Sea through the border of the North Cape – Bear Island (The Barents Opening). Further, radioactive substances spread in the sea area with streams of warm currents. They are redistributed and mixed. The most important role in the mixing of waters, in the dissipation and redistribution of radioactive contaminants entering the western part of the sea is played by hydrological fronts separating waters with different properties. As a result of these processes, in the coastal bays and fjords, the background of radiocaesium is formed at a level of 1.5–2 Bq / m³ (Fig. 4.1). In different parts of the coastal zone, it is influenced by such factors as radiation emission

from local sources and coastal runoff. Consider 2 such coastal areas: the Zapadnaya Litsa Bay and the Kola Bay.

Zapadnaya Litsa Bay.

From local sources, the greatest risk of pollution is caused by runoff transported to the sea from the storage facility in the Andreeva Bay. This risk is caused not only by the possible leakage of contaminated water, as in 1982, it is also associated with the potential danger of operations to remove spent nuclear fuel from the storage facility. In addition, the infrastructure objects of the nuclear fleet are located in the Zapadnaya Litsa Bay. The total runoff from the Zapadnaya Litsa Bay enters to the Motovsky Bay (Fig. 4.2).

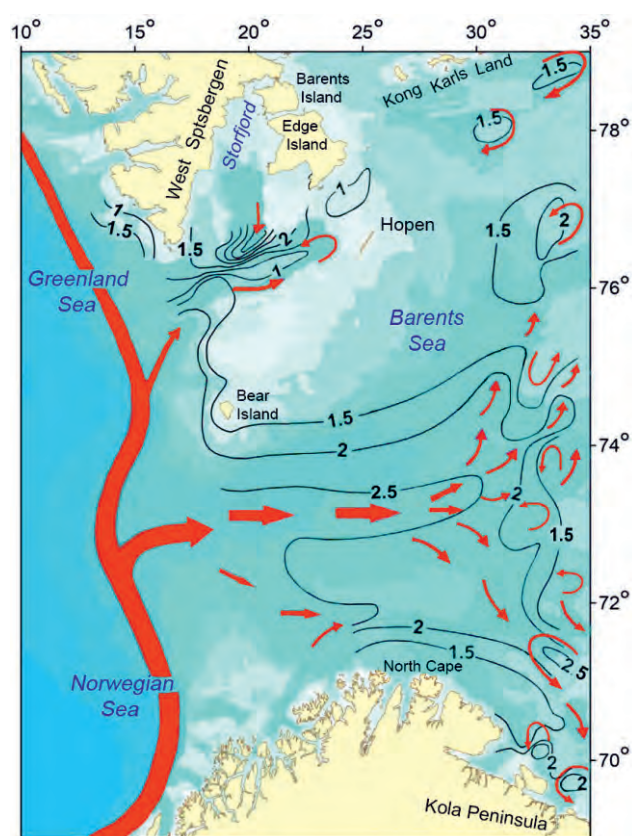


Fig. 4.1. Inflow of technogenic radionuclides into the western part of the Barents Sea and levels of ¹³⁷Cs in water, Bq/m³

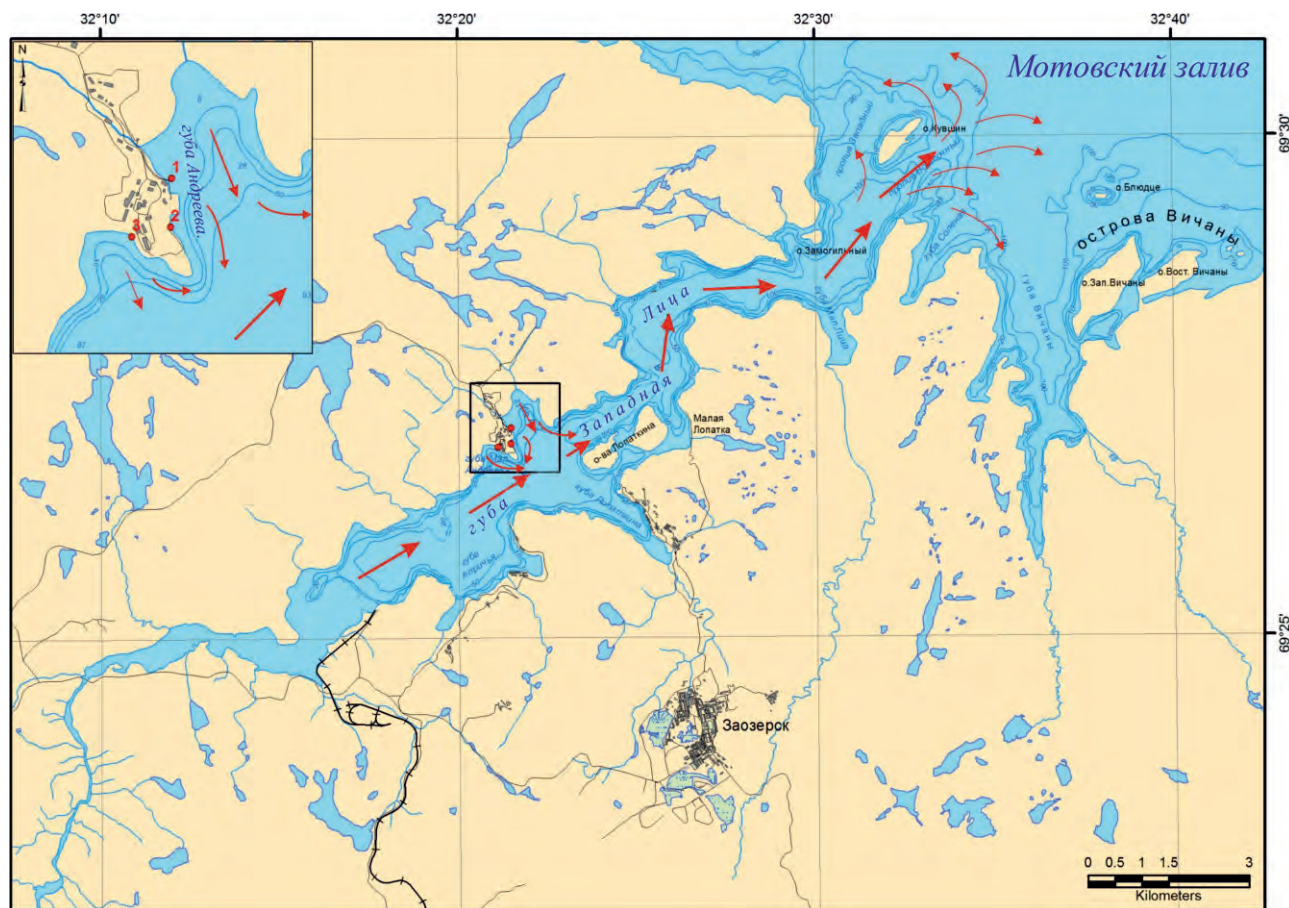


Рис. 4.2. Схематическое направление стоков из губ Андреева и Западная Лица в Мотовский залив

Вьяснить как распространяются радиоактивные стоки из губ в Мотовском заливе помогает изучение карт и вертикальных профилей распределения солёности морской воды (рис. 4.3, 4.4, 4.5).

Распресненные воды вместе с радионуклидами (цезий-137) из губы Западная Лица поступают в Мотовский залив в верхнем слое до глубин 40–50 м. В Мотовском заливе они смешиваются с более солёными водами Баренцева моря (рис. 4.3–4.6).



Рис. 4.3. Измерение вертикального профиля температуры и солёности с помощью СТД-зонда
Fig. 4.3. Measurement of temperature and salinity vertical profile using a CTD probe

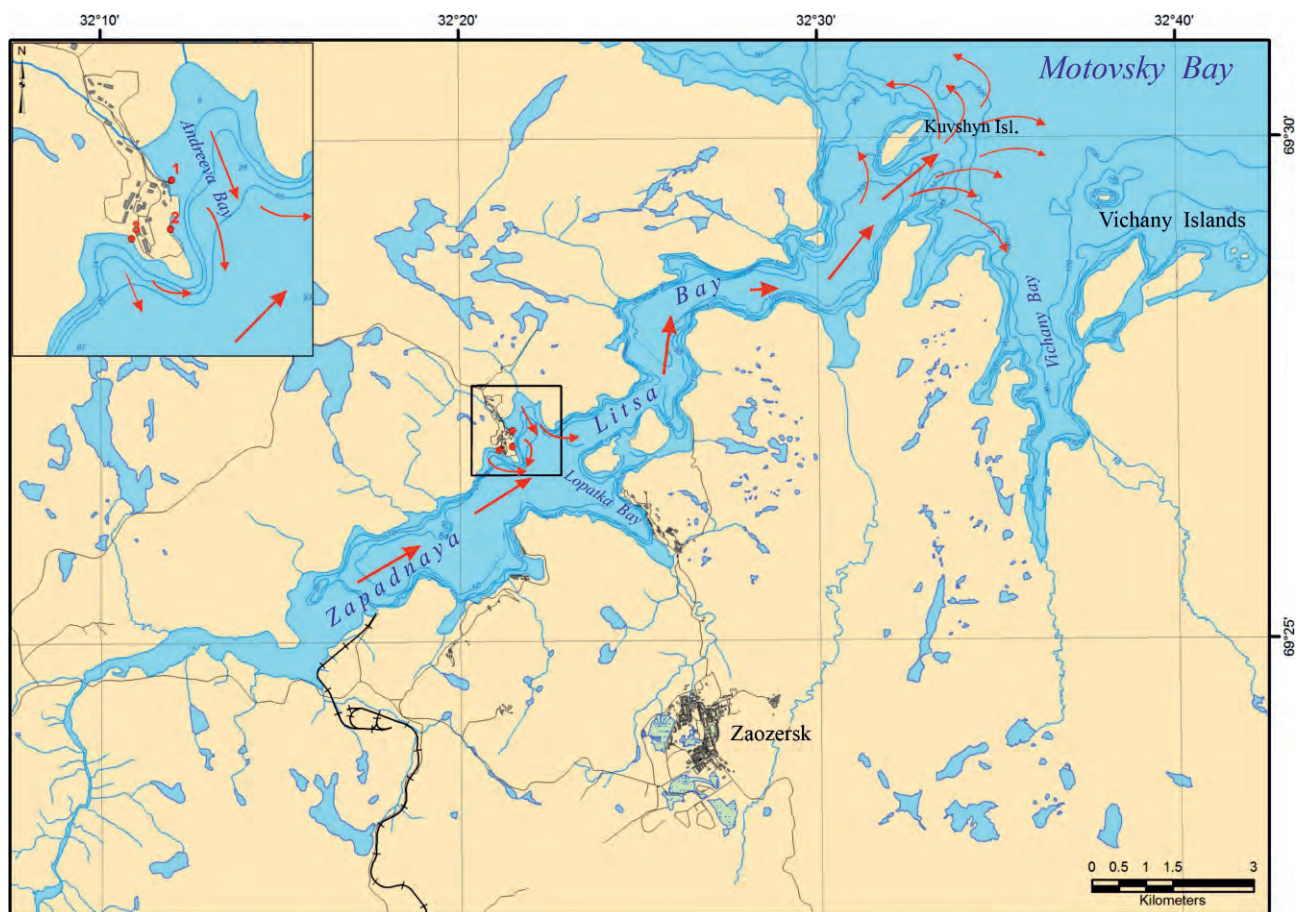


Fig. 4.2. Outflow directions from the Andreeva Bay and Zapadnaya Litsa Bay to the Motovskiy Bay

The study of maps and vertical profiles of seawater salinity distribution (Fig. 4.3, 4.4, 4.5) helps to find out how radioactive runoff from the bays of the Motovskiy Bay spreads.

Freshened water together with radionuclides (cesium-137) from the Zapadnaya Litsa Bay enter to the Motovskiy Bay in the upper layer down to a depth of 40–50 m. In the Motovskiy Bay it mixes with the saline Barents Sea waters (Fig. 4.3–4.6).



Рис. 4.4. Отбор проб морской воды
Fig. 4.4. Sea water sampling

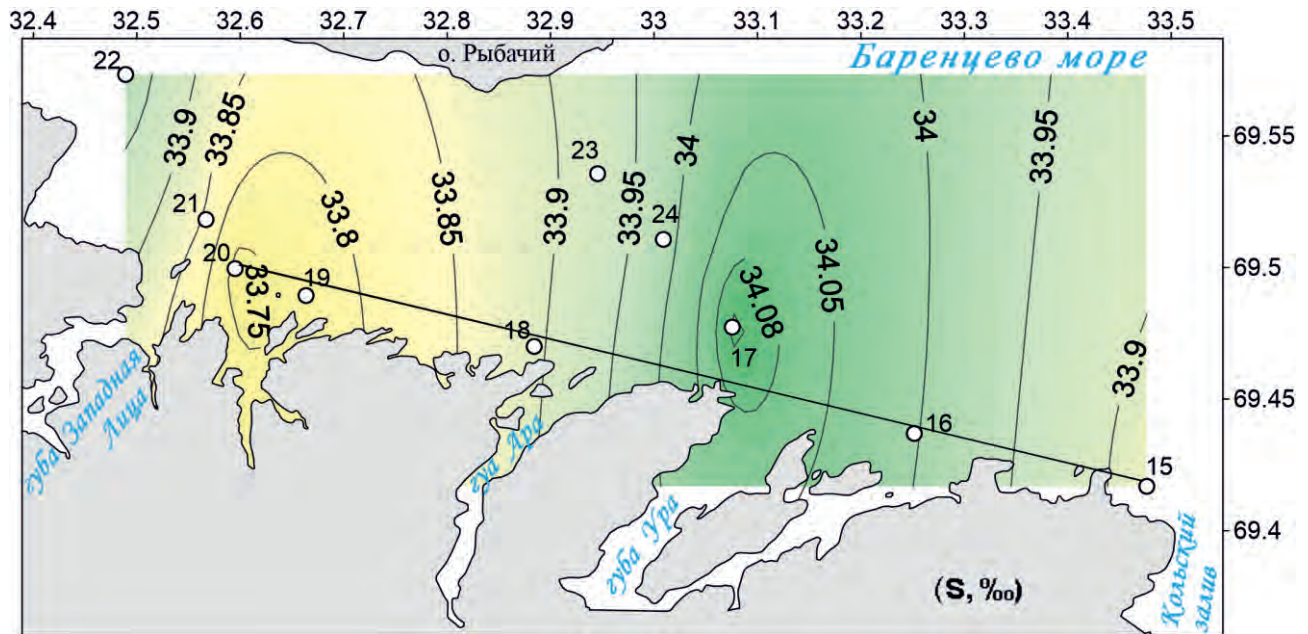


Рис. 4.5. Распределение солёности (‰) в поверхностном слое воды в Мотовском заливе, 2017 г. Черной линией обозначено направление вертикального разреза

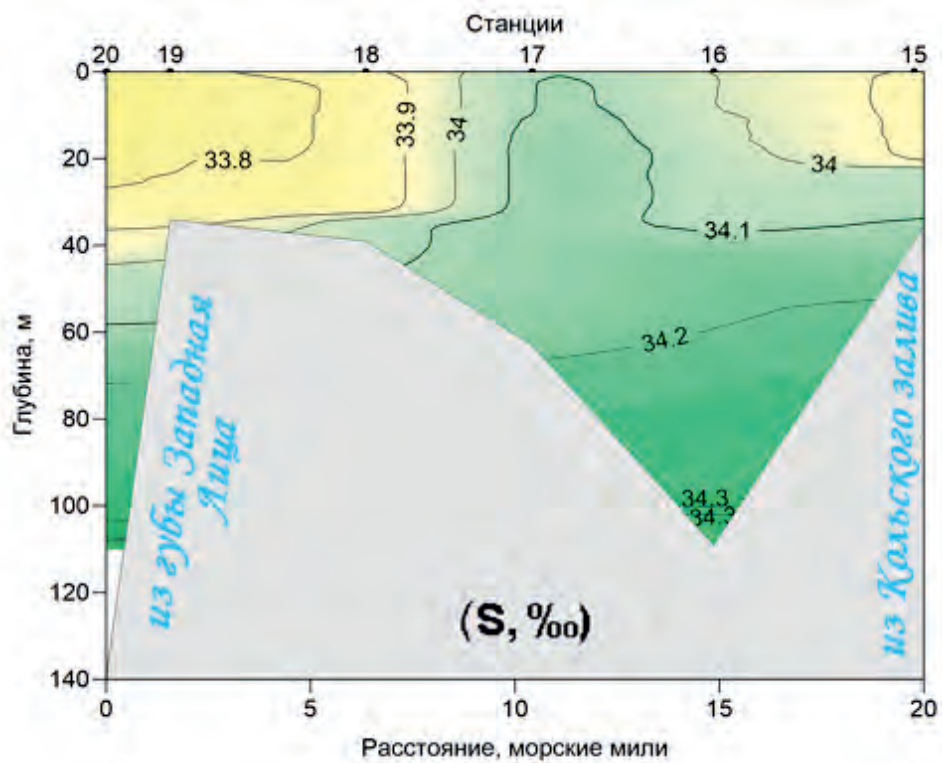


Рис. 4.6. Распределение солёности воды (‰) на вертикальном разрезе в Мотовском заливе. Линия разреза показана на рисунке 4.3.

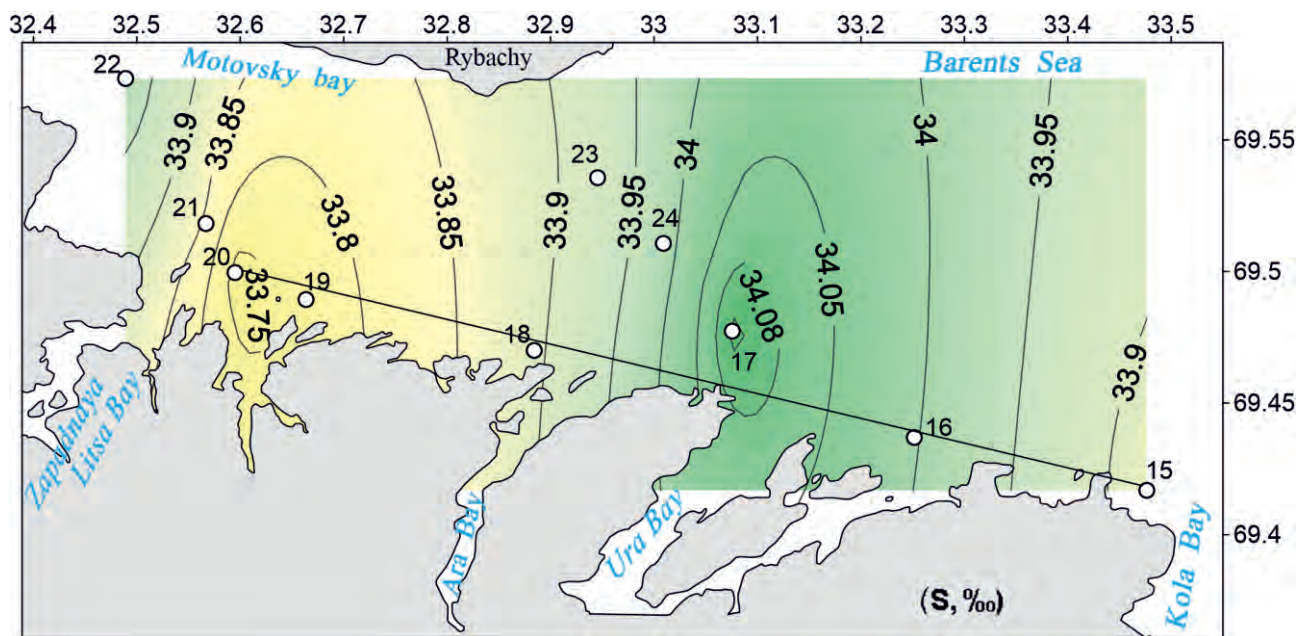


Fig. 4.5. Distribution of water salinity (‰) in the surface layer in the Motovskiy Bay, 2017. The black line indicates the direction of the vertical section

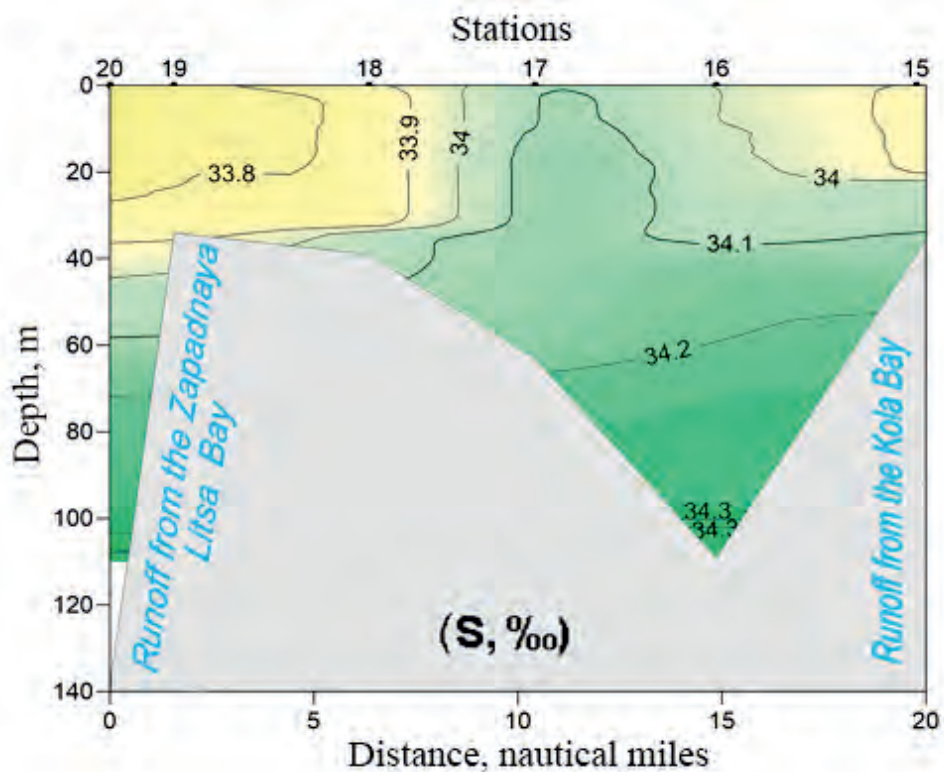


Fig. 4.6. Distribution of water salinity (‰) on a vertical section in the Motovskiy Bay. The section line is shown in Figure 4.3.

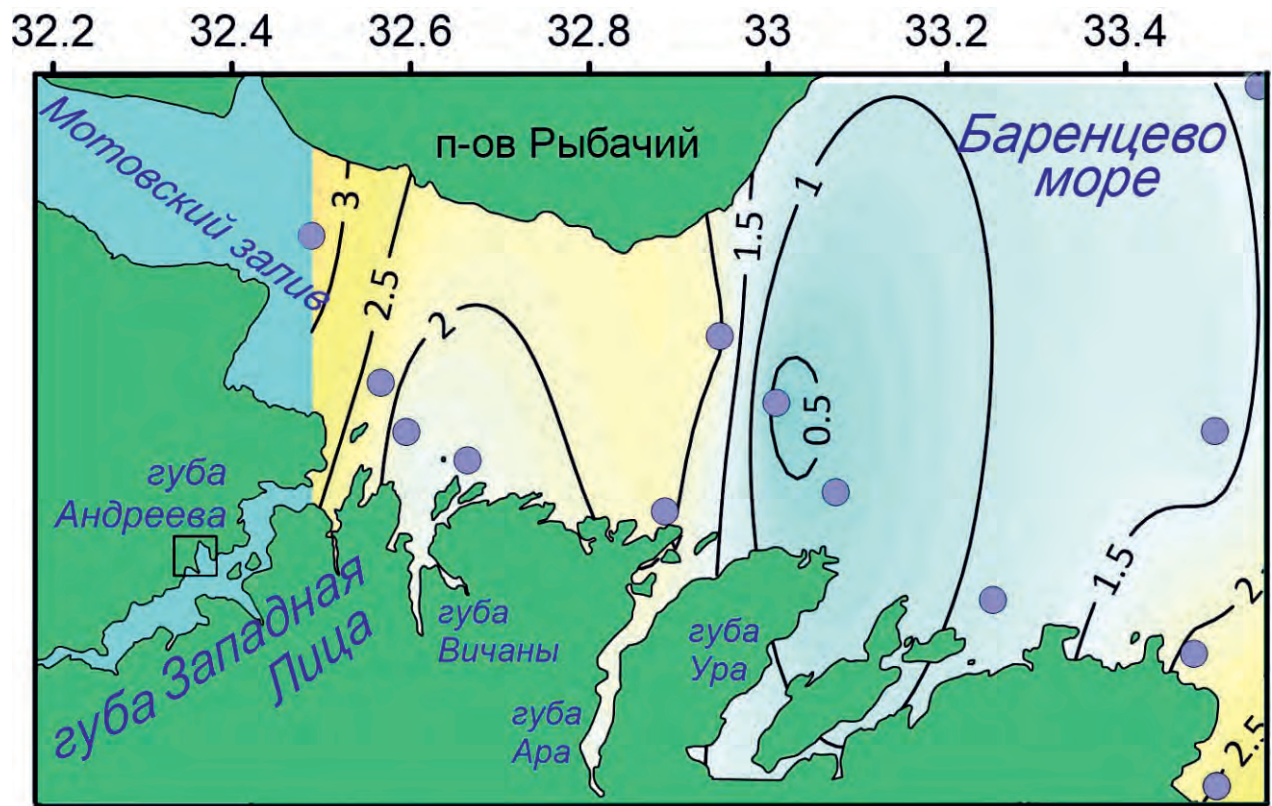


Рис. 4.7. Распределение радиоизотопа ^{137}Cs (Бк/м³) в поверхностном слое воды в Мотовском заливе, 2017 г.

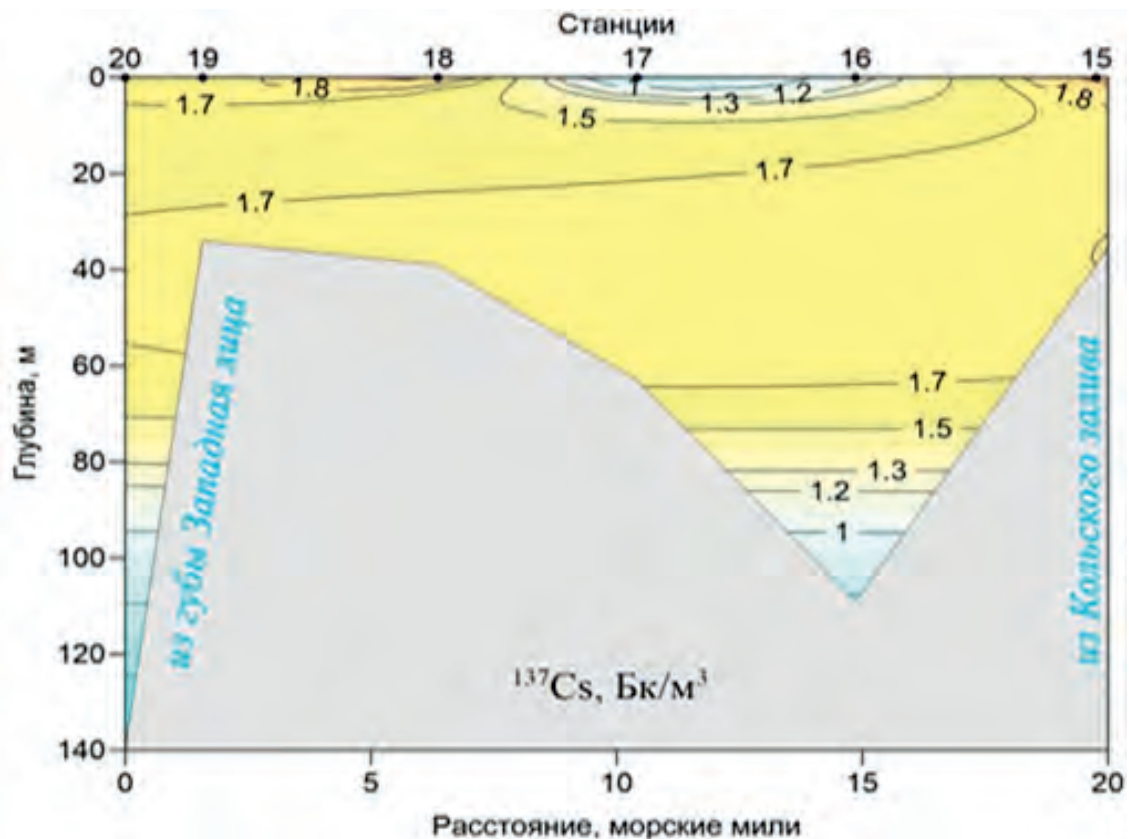


Рис. 4.8. Распределение объемной активности ^{137}Cs на вертикальном разрезе в Мотовском заливе, Бк/м³. Линия разреза показана на рисунке 4.3.

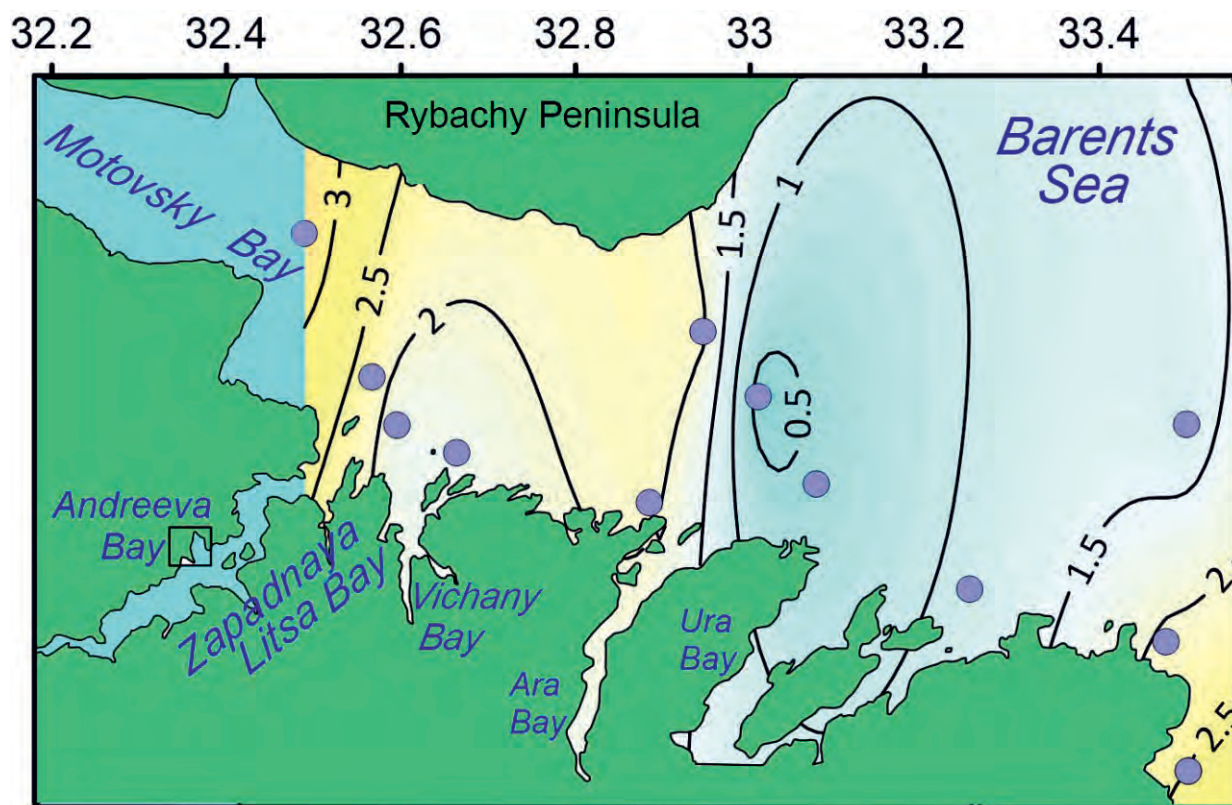


Fig. 4.7. Distribution of the ^{137}Cs (Bq/m^3) radioisotope in the surface water layer in the Motovsky Bay, 2017

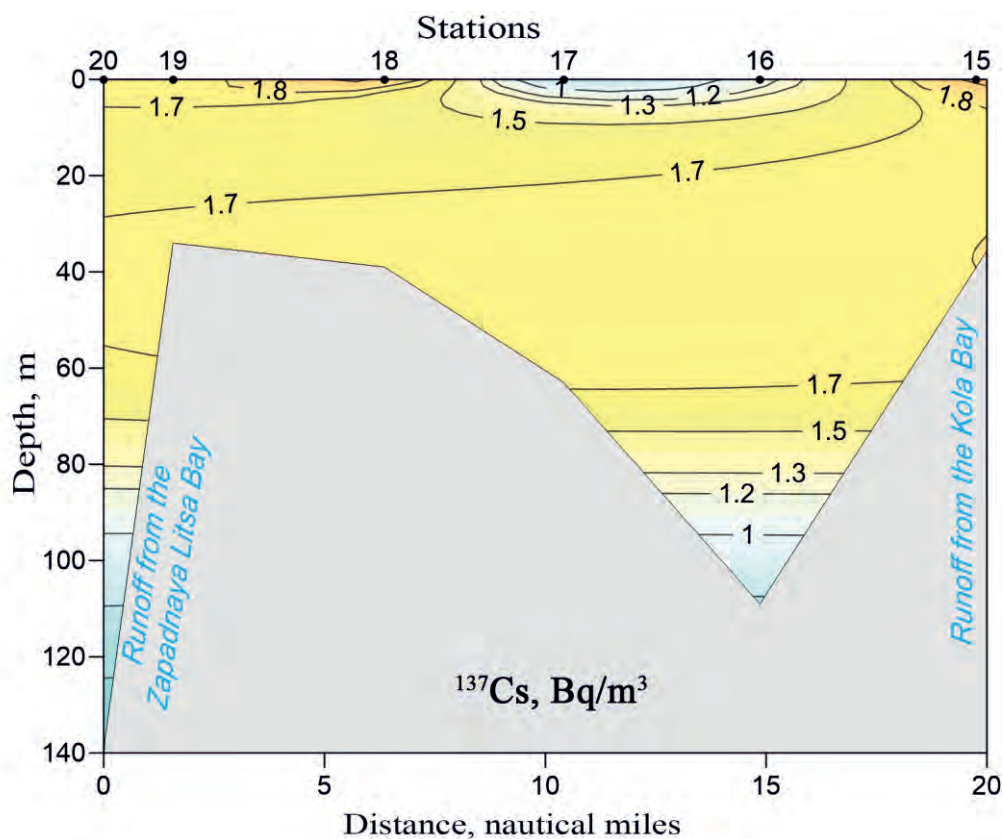


Fig. 4.8. Distribution of the volumetric activity of ^{137}Cs in the vertical section in the Motovsky Bay, Bq/m^3 . The section line is shown in Figure 4.7.

Кольский залив.

Сток радионуклидов из Кольского залива обусловлен суммарным влиянием объектов инфраструктуры военного атомного флота в губах Пала, Оленья, Сайда, а также ФГУП «Атомфлот». В районе разгрузки стока из этих губ в Кольском заливе содержание радиоизотопов повышено и в верхнем и в придонном слоях воды. В связи с этим, на выходе из Кольского залива концентрация цезия и стронция остается более высокой, чем в Мотовском заливе.(рис. 4.9, 4.10).

Соленость и уровни ^{137}Cs в воде Кольского залива статистически достоверно взаимосвязаны. Но эта связь, по-видимому, отражает скопление ядерной инфраструктуры именно в северном колене Кольского залива, где воды более соленые.

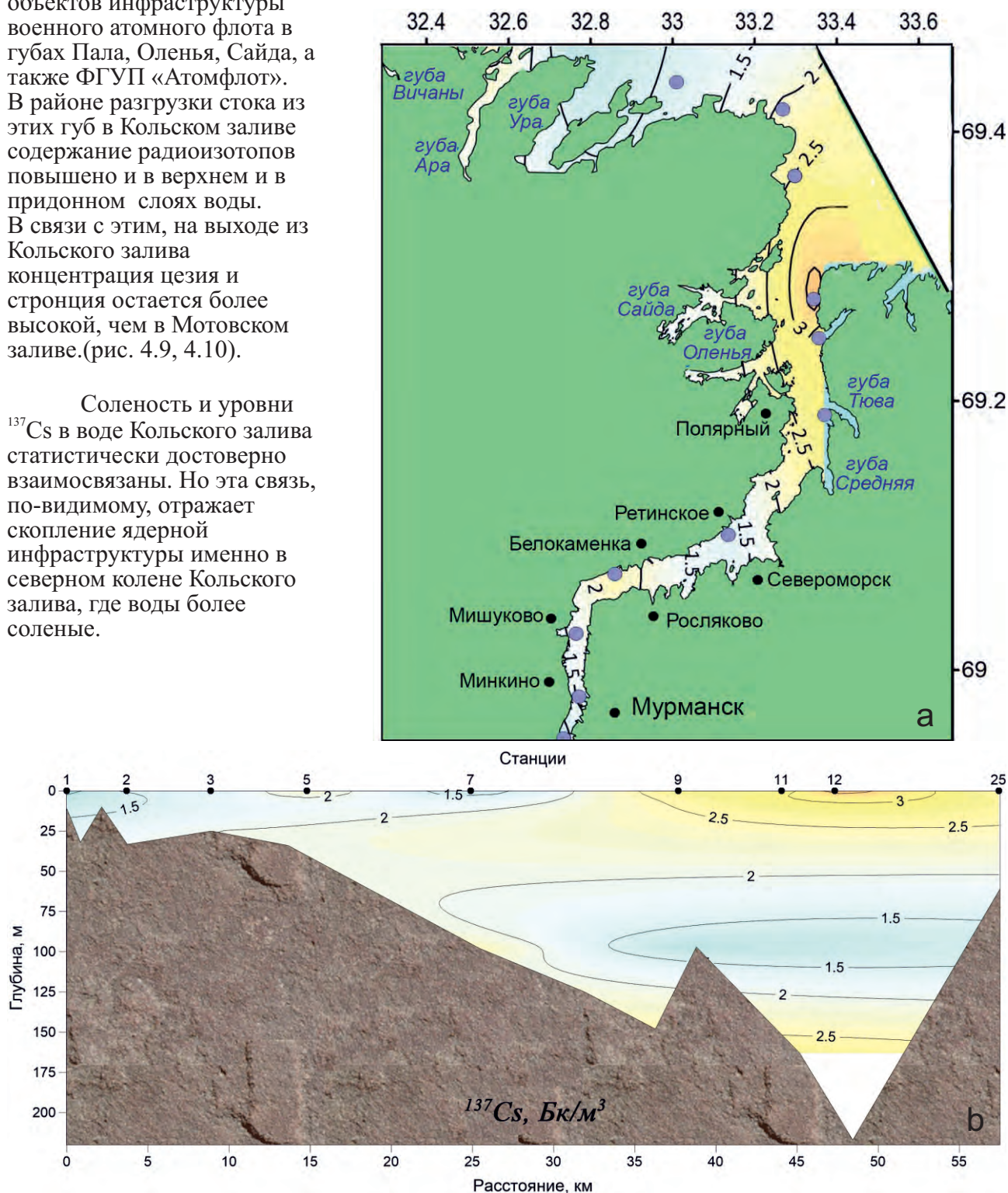


Рис. 4.9. Объёмная активность ^{137}Cs в воде Кольского залива, 2017 г.

a – поверхностный слой воды;

b – вертикальный профиль от южного колена (ст.1) до выхода из залива (ст. 25).

Kola Bay.

The runoff of radionuclides from the Kola Bay is caused by the total influence of the infrastructure objects of the military nuclear fleet in the Pala, Olenya, Sayda bays, as well as FSUE Atomflot. In the area of discharge from these bays in the Kola Bay, levels of radioisotopes are increased both in the upper and in the bottom layers of the water. In this regard, at the exit from the Kola Bay, levels of cesium and strontium remains higher than in the Motovsky Bay. (Fig. 4.9, 4.10).

Salinity and ^{137}Cs levels in the water of the Kola Bay are statistically reliably related. But this connection, apparently, reflects the accumulation of nuclear infrastructure precisely in the northern part of the Kola Bay, where the waters are more saline.

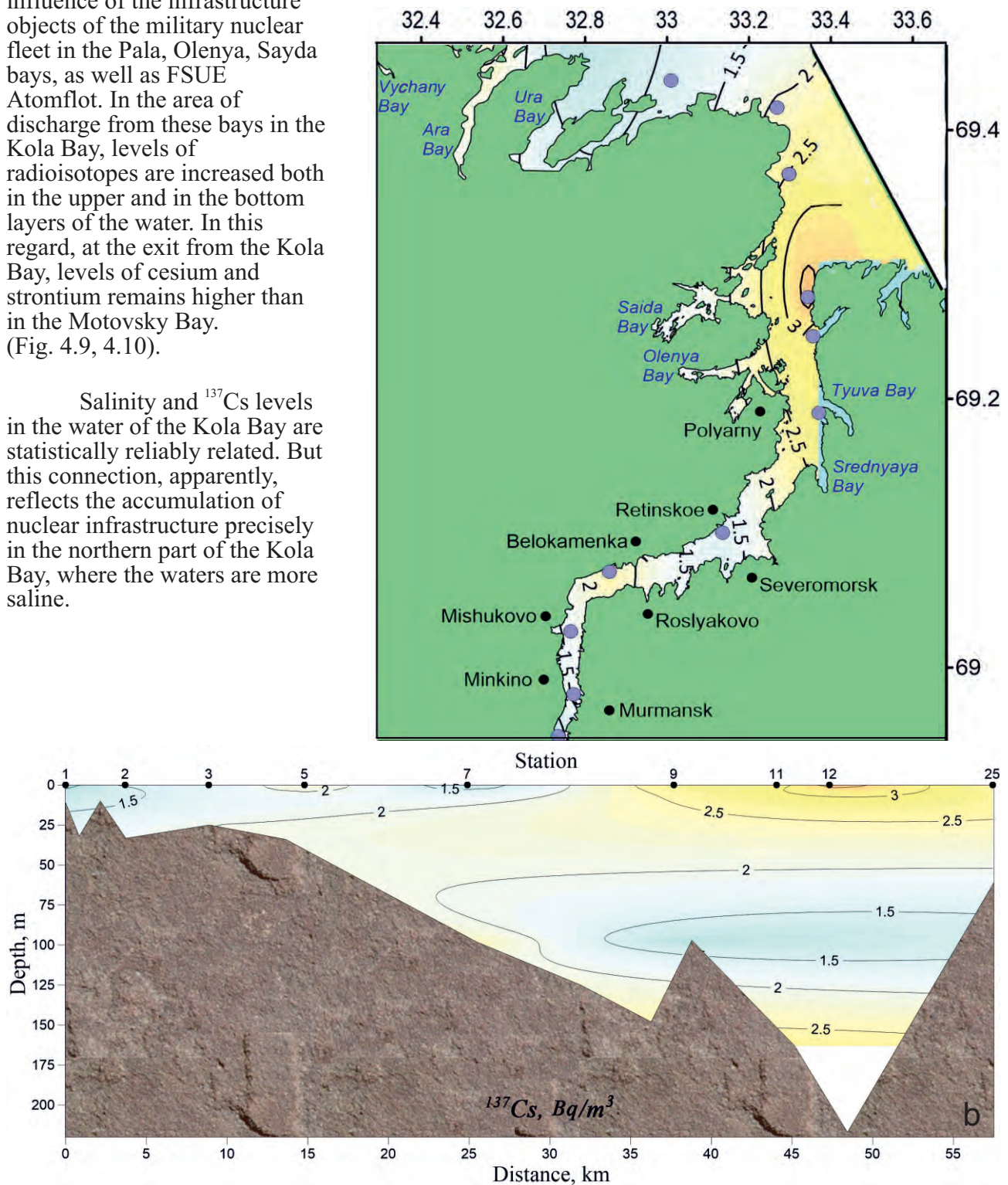


Fig. 4.9. Volume activity of ^{137}Cs in the water of the Kola Bay, 2017
 a – surface layer;
 b – vertical profile from the southern part (station 1) to the exit from the bay (station 25).

В целом, в прибрежье Мурмана уровни искусственных радионуклидов в воде близки к фоновым для Баренцева моря значениям.

Локальные повышения уровней обусловлены береговым стоком и вихрями адвекции вод атлантического происхождения (рис. 4.8).

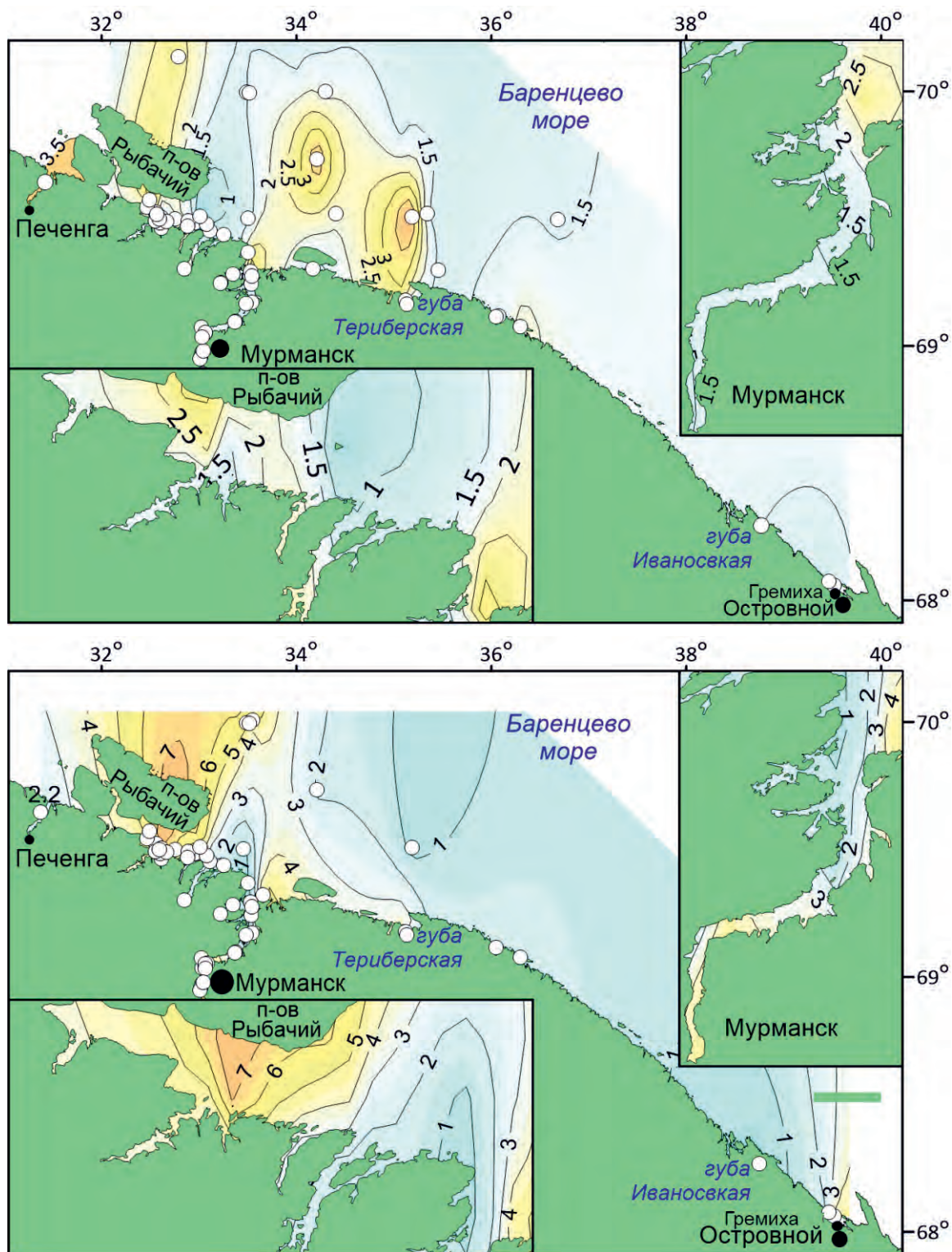


Рис. 4.10. Уровни объёмной активности радионуклидов в верхнем слое воды в прибрежье Мурмана: а – ^{137}Cs , Бк/м³; б – ^{90}Sr , Бк/м³.

In general, in the Murman coastal area, the levels of artificial radionuclides in the water are close to the background values for the Barents Sea.

Local level increases are caused by coastal runoff and eddies advection of Atlantic origin waters (Fig. 4.8).

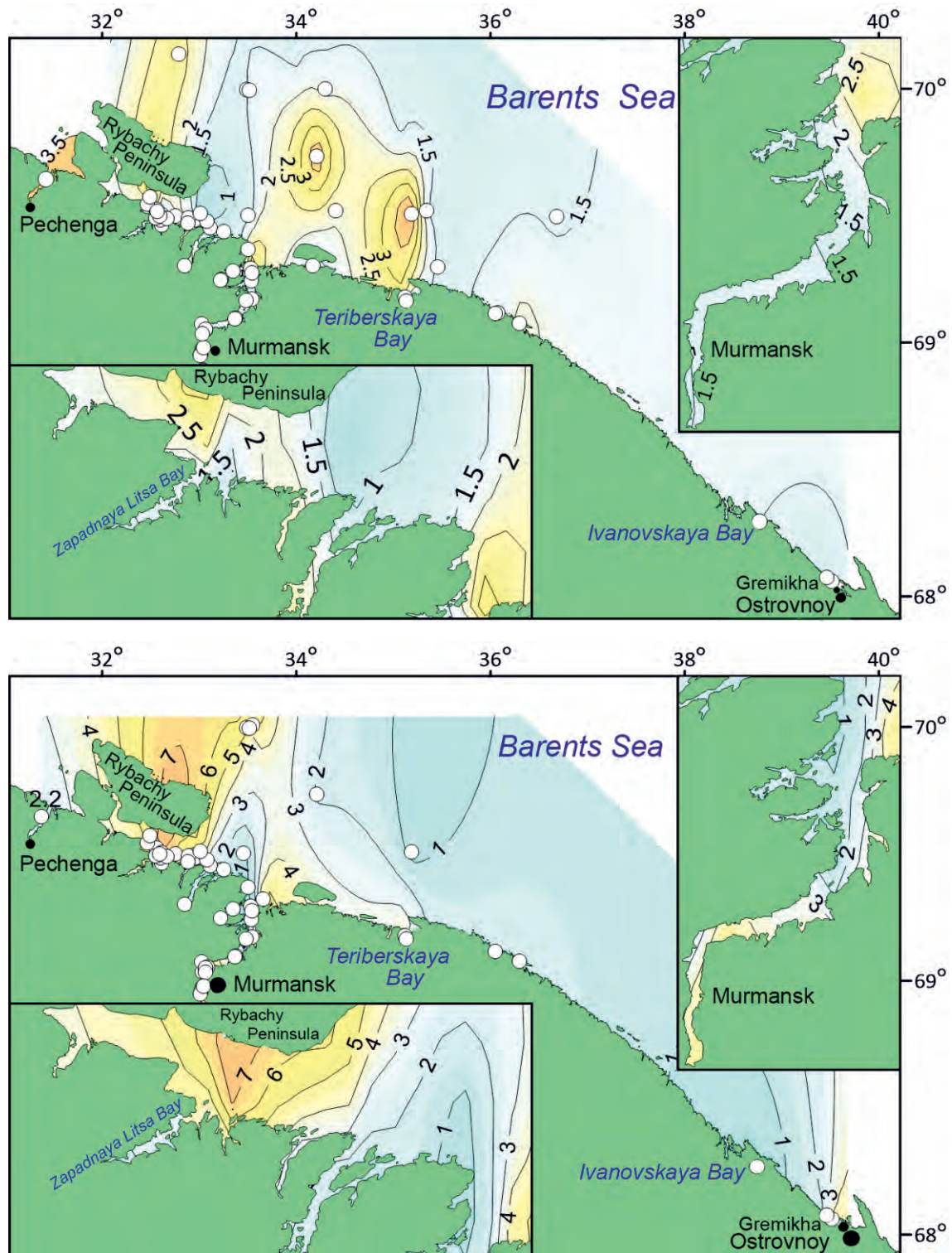


Fig. 4.10. Levels of volumetric activity of radionuclides in the upper layer of water in the Murman coastal area: a – ^{137}Cs , Bq/m^3 ; b – ^{90}Sr , Bq/m^3 .

4.2. Состояние донных отложений.

Радионуклиды в донных осадках.

Донные отложения накапливают техногенные радионуклиды в результате сорбции изотопов минеральными частицами из окружающей воды или накопления опадающей на дно минеральной взвеси. В процессе трансформации осадков в осадочную породу идет перманентный обмен радионуклидами между водной средой и минералами в жидкой фазе донного осадка. В результате часть попавших в

осадок радиоактивных веществ оказывается захороненной в более глубокие слои донных отложений. Частично эти вещества возвращаются в водную среду в результате переотложения и взмучивания (барботации) верхнего слоя осадков течениями. Происходит вторичное загрязнение водной среды (рис. 4.11, 4.12). Наибольшую потенциальную опасность загрязненные донные отложения представляют в качестве субстрата обитания в биотопах донных животных и рыб.

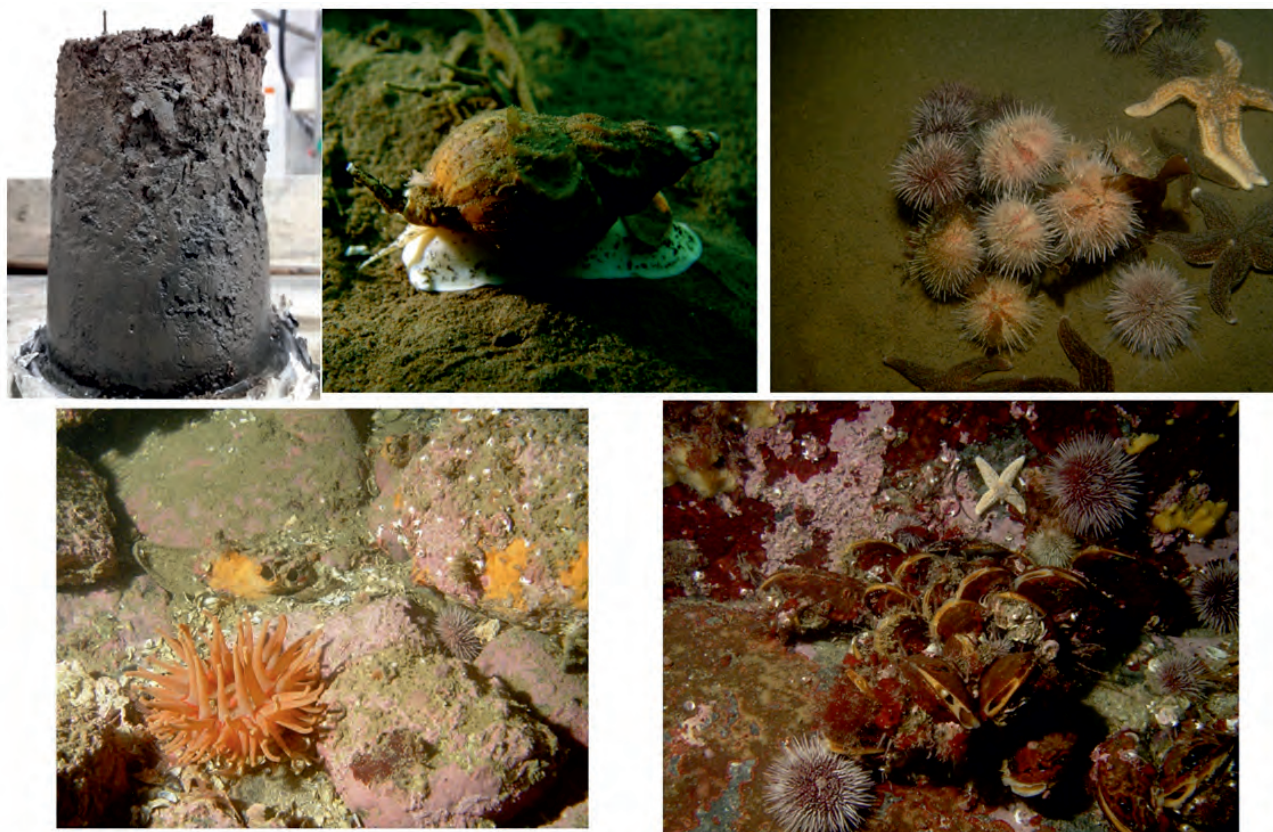


Рис. 4.11. Образец исследуемого донного грунта с включениями обитающей в нем фауны. Образцы бентических биотопов прибрежной зоны Кольского полуострова

Fig. 4.11 A sample of the investigated bottom sediments with inclusions of the fauna inhabiting it. Samples of benthic biotopes of the coastal zone of the Kola Peninsula

Радионуклиды в осадках на участках импактного загрязнения.

В осадках побережья в целом, так же, как и в воде, наблюдается долговременное влияние местных источников.

Губа Андреева. Остаточное проникновение радионуклидов в морскую

среду в районе хранилища и в настоящее время делает участок губы Андреева наиболее загрязненным по сравнению с другими участками побережья. Здесь сохраняется относительно повышенный локальный фон концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr (рис. 4.13).

**4.2. The state of bottom sediments.
Radionuclides in bottom sediments.**

Bottom sediments accumulate technogenic radionuclides as a result of the sorption of isotopes by mineral particles from the surrounding water or the accumulation of a mineral suspension falling to the bottom. During the transformation of sediments into sedimentary rock, there is a permanent exchange of radionuclides between the water and minerals in the liquid phase of the bottom sediment. As a result, part of the radioactive substances fallen in the sediment is buried in deeper layers of bottom sediments. Partially, these substances return to the aquatic environment as a result of redeposition and turbidity (bubbling) of the upper layer of sediments by currents. So secondary pollution

of the aquatic environment occurs (Fig. 4.11, 4.12). Contaminated bottom sediments represent the greatest potential danger as a habitat in biotopes of benthic animals and fish.

Radionuclides in sediments in impact pollution areas.

In the sediments of the coastal area as a whole, as well as in the water, there is a long-term influence of local sources.

Andreeva Bay. The residual penetration of radionuclides into the marine environment in the storage area is still making the Andreeva Bay area the most polluted in comparison with other coastal areas. Here, a relatively increased local background of ^{137}Cs and ^{90}Sr levels remains (Fig. 4.13).



*Рис. 4.12. Отбор керн донного осадка из дночерпателя ван Вина с помощью пластиковой трубки
Fig. 4.12. Sediment core sampling from van Veen grab with a plastic core tube*

Было отмечено, что загрязнение акватории имеет периодический, сезонный характер. Загрязнение современного слоя осадков вблизи хранилища фрагментарно. Высокие концентрации локализованы вблизи

точечных источников радионуклидов, таких, как, ручьи в местных бухтах и старые просыпи отходов у пирса. При этом уровни техногенных радионуклидов здесь не превышают безопасных значений.

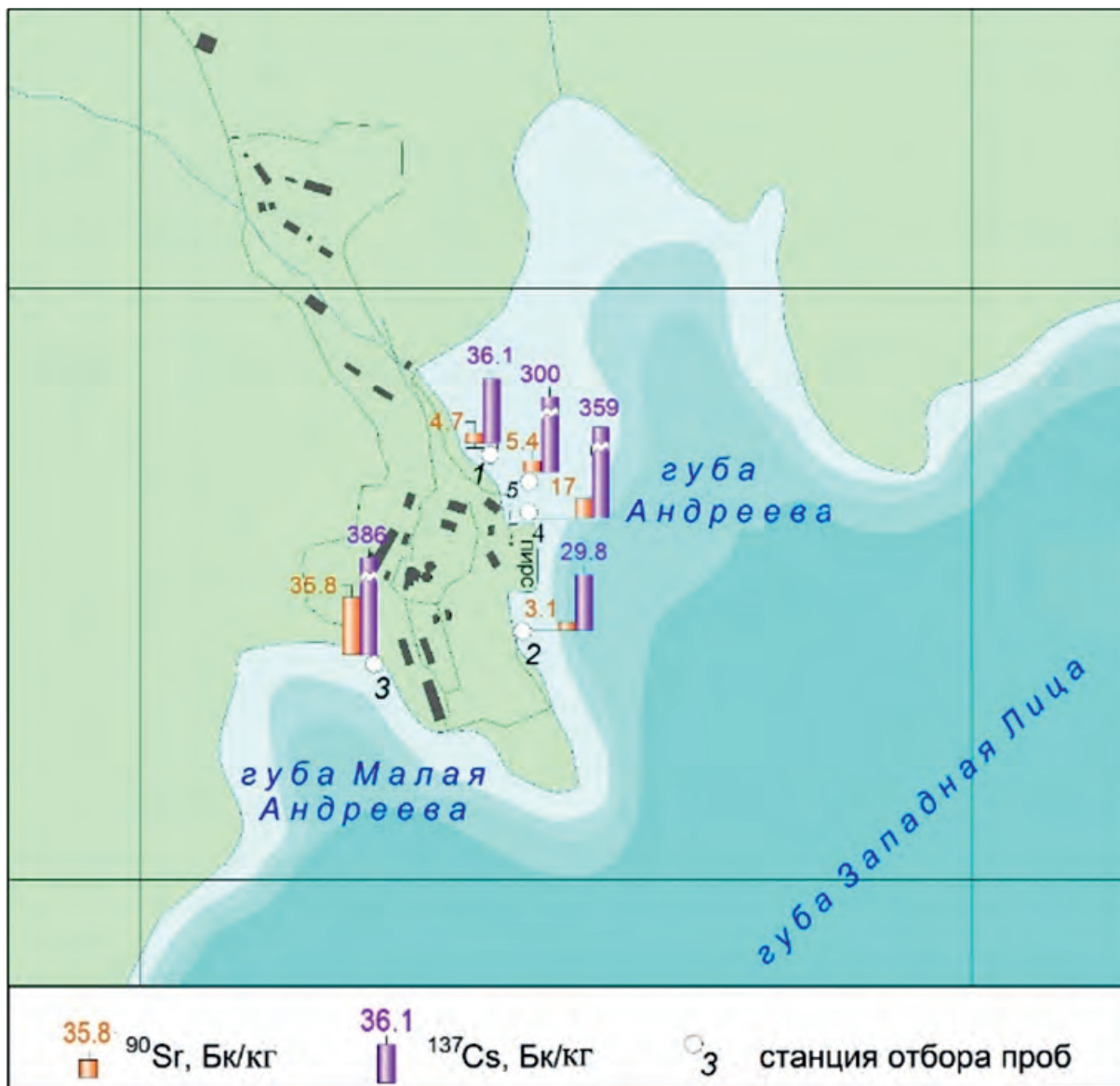


Рис. 4.13. Уровни радионуклидов в верхнем (0–2 см) слое донных отложений вблизи хранилища РАО в губе Андреева (Бк/кг сухой массы), 2013 г.

It was noted that the pollution of the water area is of a periodic, seasonal nature. Contamination of the modern sediment layer near the storage is fragmentary. High concentrations are localized near point sources

of radionuclides, such as streams in local bays and old waste spills at the pier. At the same time, the levels of technogenic radionuclides here do not exceed safe values.

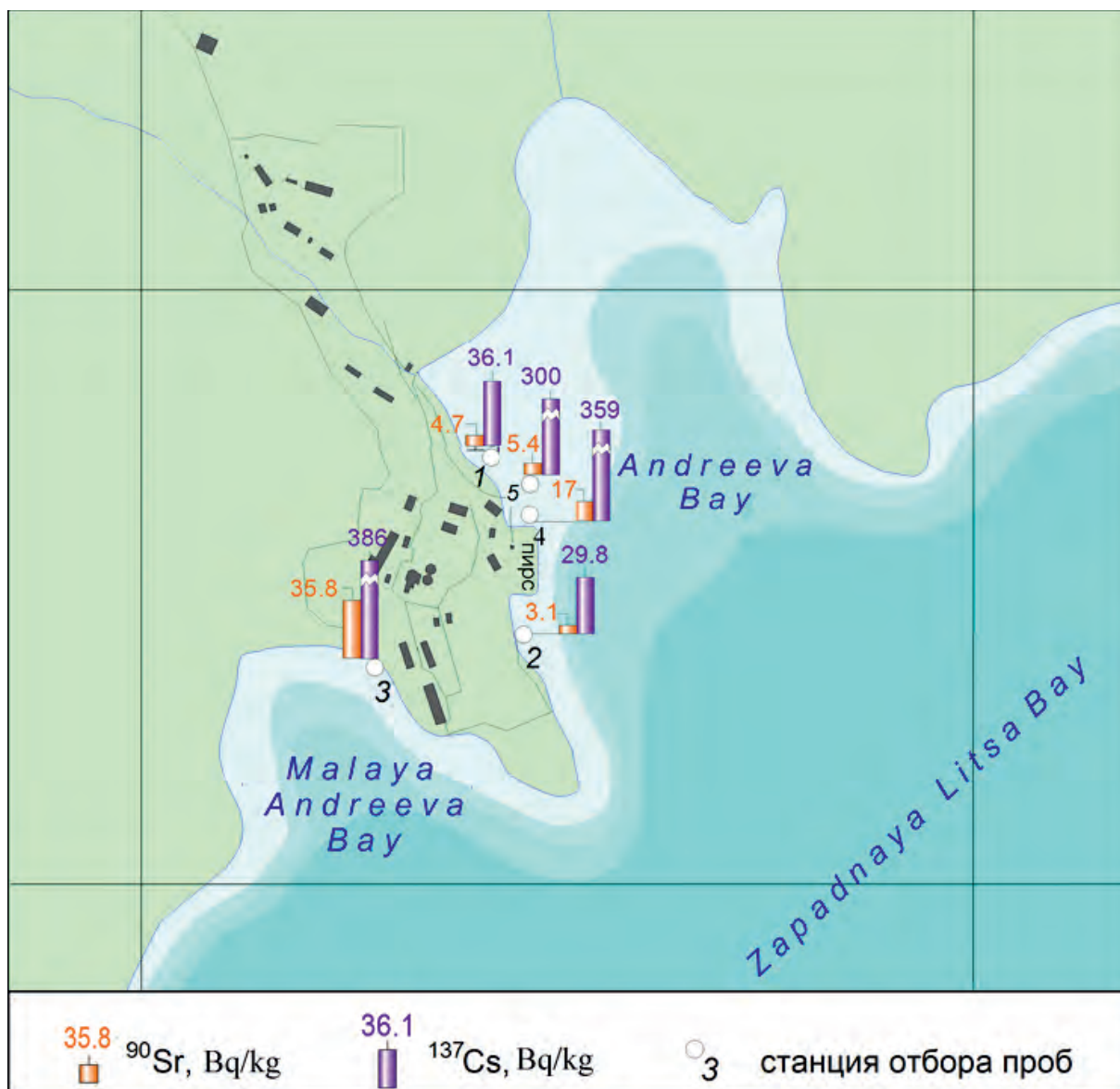


Fig. 4.13. Radionuclide levels in the upper (0–2 cm) layer of bottom sediments near the radioactive waste storage facility in Andreeva Bay (Bq/kg dry weight), 2013

Мотовский залив. В осадках Мотовского залива относительно повышенные концентрации цезия ассоциируются с углублениями дна. Рост удельной активности происходит от устья

губы Западная Лица в восточном направлении, вместе с увеличением глубины и аккумуляцией на дне тонкодисперсной взвеси (рис. 4.14).

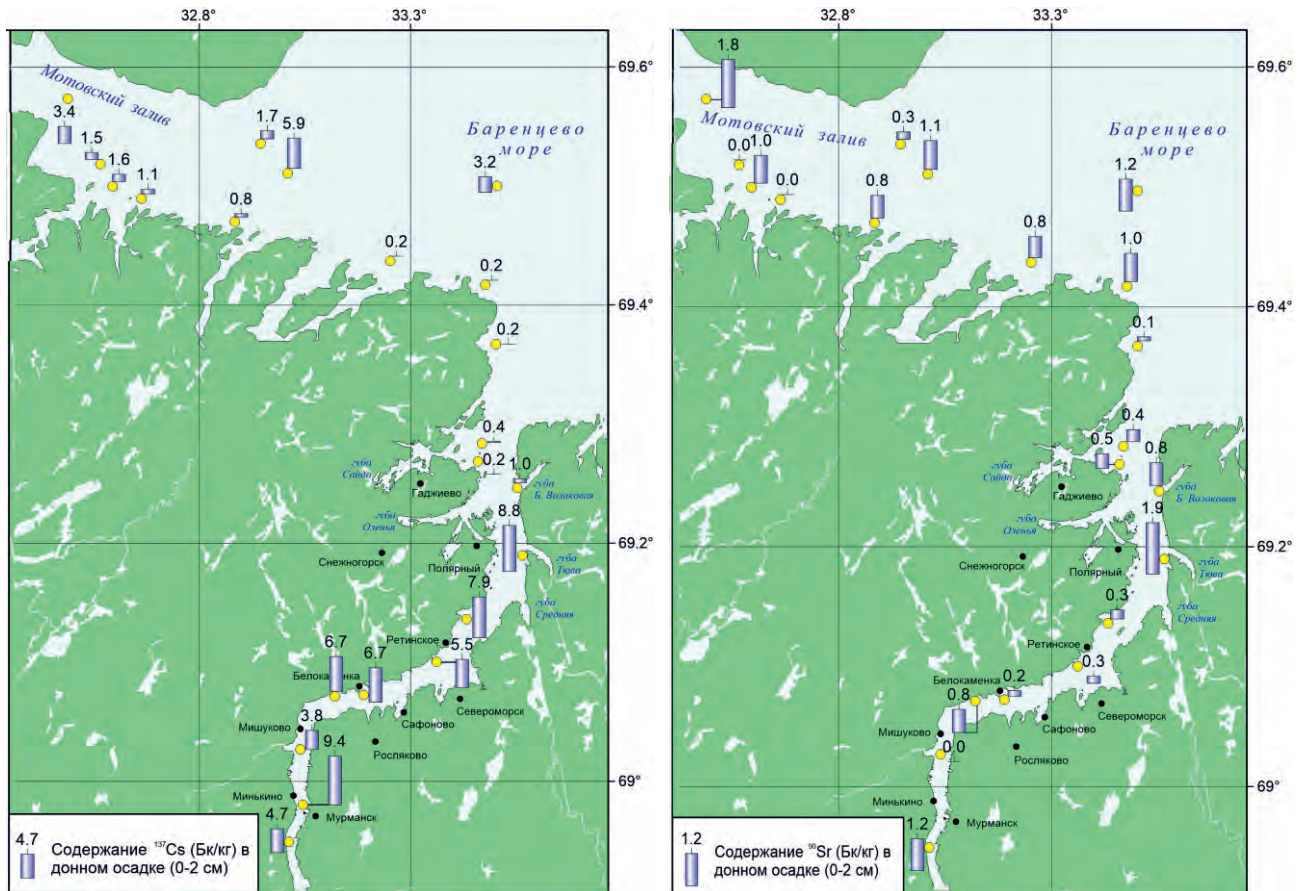


Рис. 4.14. Удельная активность ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в верхнем (0–2 см) слое донного осадка Мотовского и Кольского заливов, Бк/кг сухой массы. 2017 г.

Motovsky Bay. In the sediments of Motovskiy Bay, relatively increased concentrations of cesium are associated with depressions in the bottom. An increase in

specific activity occurs from the mouth of the Zapadnaya Litsa Bay eastward, together with an increase in depth and accumulation of fine suspended matter at the bottom (Fig. 4.14).

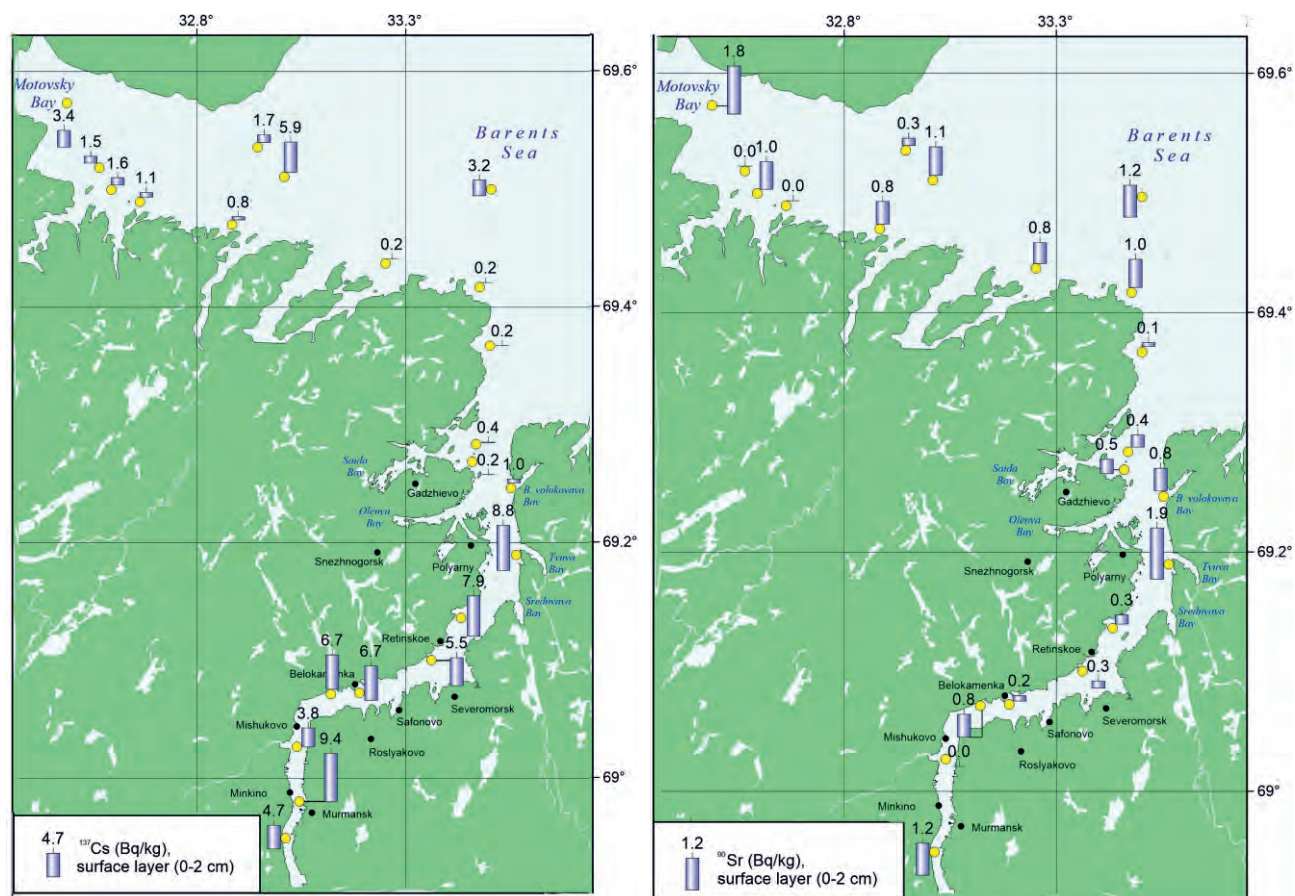


Fig. 4.14. Specific activity of ^{137}Cs (a) and ^{90}Sr (b) in the upper (0–2 cm) layer of the bottom sediment in the Motovskiy and Kola bays, Bq/kg dry weight. 2017

Кольский залив.

Глубина Кольского залива растет от южного к северному колену. На выходе из залива находится характерный для продольного профиля дна фьордов порог (рис. 4.10). Из-за этого порога накопление осадочного материала происходит в глубокой части залива. Соответственно концентрация радионуклидов повышена в

донных осадках его средней и северной частей (рис. 4.14). В итоге оказывается, что осадки в Кольском заливе более загрязнены, чем в Мотовском заливе (рис. 4.15). Но в целом уровень загрязнения низкий, несравнимо ниже, чем в осадках близ хранилища в губе Андреева. Радиоизотопы плутония ^{238}Pu и $^{239,240}\text{Pu}$ встречаются в осадках эпизодически в очень низкой концентрации.

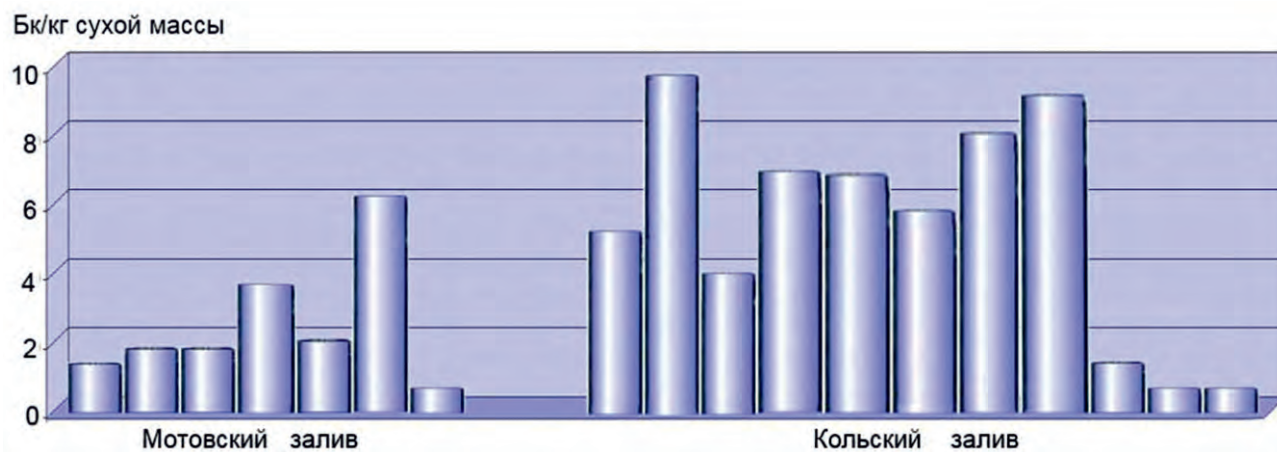


Рис. 4.15. Удельная активность ^{137}Cs в осадках Кольского и Мотовского заливов, 2017 г.

Kola Bay.

The depth in Kola Bay increases from the southern part to the northern part. At the exit from the bay, there is a bottom rise typical for longitudinal profile of the fjord bottom (Fig. 4.10). Because of bottom rise, the accumulation of sedimentary material occurs in the deep part of the bay. Accordingly, the levels of radionuclides are increased in the bottom

sediments of its middle and northern parts (Fig. 4.14). As a result, it turns out that the sediments in the Kola Bay are more polluted than in the Motovsky Bay (Fig. 4.15). But on the whole, the level of pollution is low, incomparably lower than in the sediments near the storage facility in Andreeva Bay. Plutonium radioisotopes ^{238}Pu and $^{239,240}\text{Pu}$ are occasionally found in sediments in very low levels.

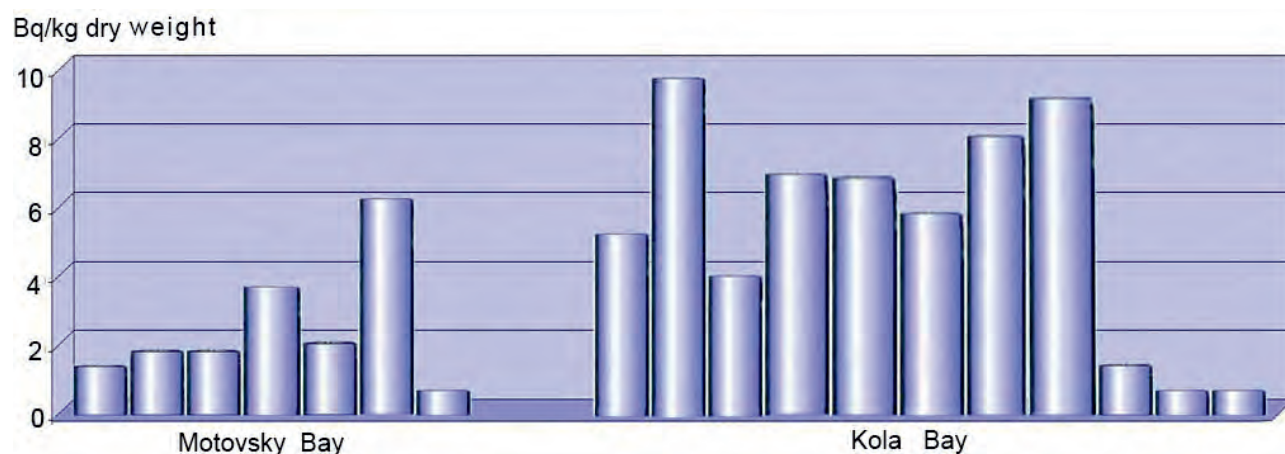


Fig. 4.15. ^{137}Cs specific activity in sediments of the Kola and Motovsky bays, 2017

Пролив Йоканьгский рейд (отделение «Гремиха»).

Гидрологический режим пролива Йоканьгский рейд, где расположено хранилище РАО «Гремиха», характеризуется активной гидродинамикой. В результате этого здесь сохраняется низкий уровень радиационного загрязнения среды в отличие от других потенциальных зон импактного радиационного загрязнения. Донный грунт здесь представлен в основном каменным

материалом с включениями илистых песков. Такие отложения плохо удерживают возможные загрязнения. Поэтому лишь вблизи расположения технологической площадки отделения «Гремиха» отмечается относительное повышение содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в донном осадке (рис. 4.16). Однако такое повышение статистически незначимо и соответствует общему фону радиационного загрязнения побережья (рис. 4.17).

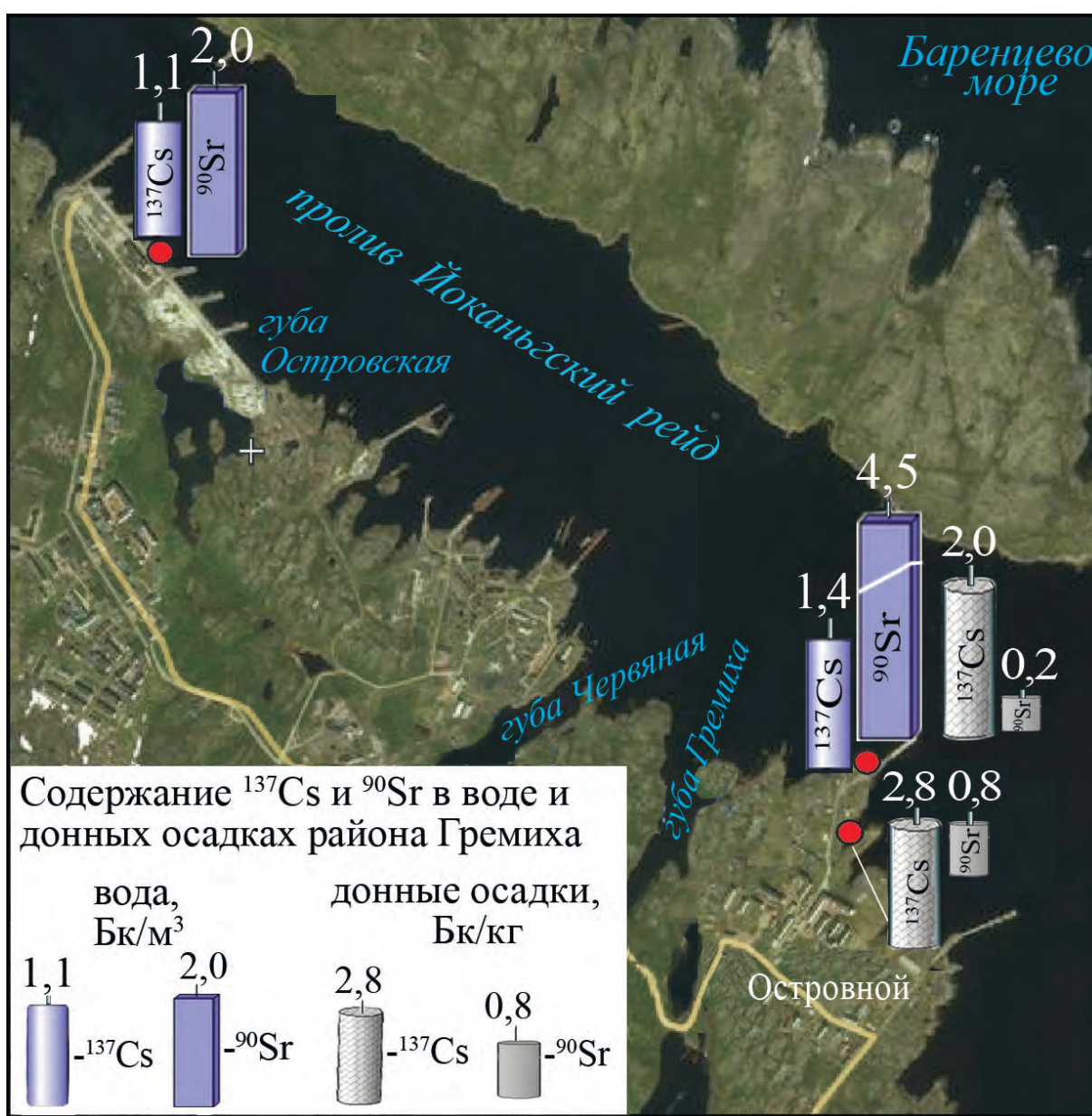


Рис. 4.16. Уровни радионуклидов в воде и донных осадках вблизи отделения «Гремиха», 2018 г.

Yokangsky Raid Strait (Gremikha branch).

The hydrological regime of the Yokangsky raid strait, where the RAO Gremikha storage facility is located, is characterized by active hydrodynamics. As a result, a low level of radiation pollution of the environment remains here, in contrast to other potential zones of impact radiation pollution. Here bottom sediments are mainly represented by stone material with inclusions of silty sands.

Such deposits do not retain potential contamination. Therefore, only near the location of the technological site of the Gremikha branch is a relative increase of ^{137}Cs and ^{90}Sr levels in the bottom sediment noted (Fig. 4.16). However, such an increase is statistically insignificant and corresponds to the general background of radiation pollution of the coastal area. (Fig. 4.17).

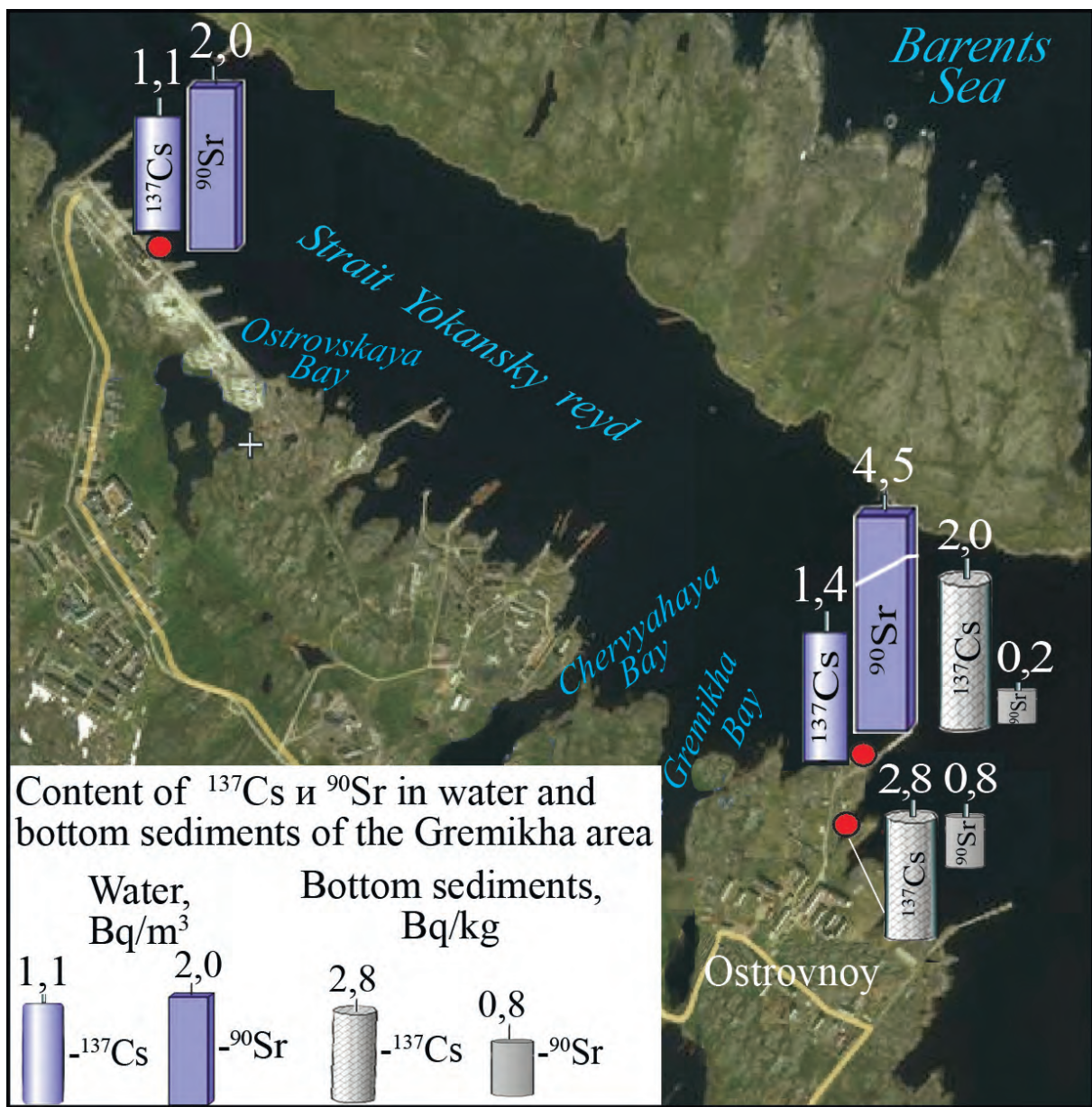


Fig. 4.16. The levels of radionuclides in water and bottom sediments near the Gremikha branch, 2018

Прибрежье Мурмана.

В донных осадках прибрежья в целом, также как и в воде, наблюдается долговременное влияние местных источников радионуклидов и залива атлантических вод.

Атлантические воды создают радиоактивные отметки в геохимических характеристиках осадочных слоев. Они будут сохраняться некоторое время, пока эти осадки не будут размыты и рассеяны на окружающей территории или захоронены под слоем новейших отложений.

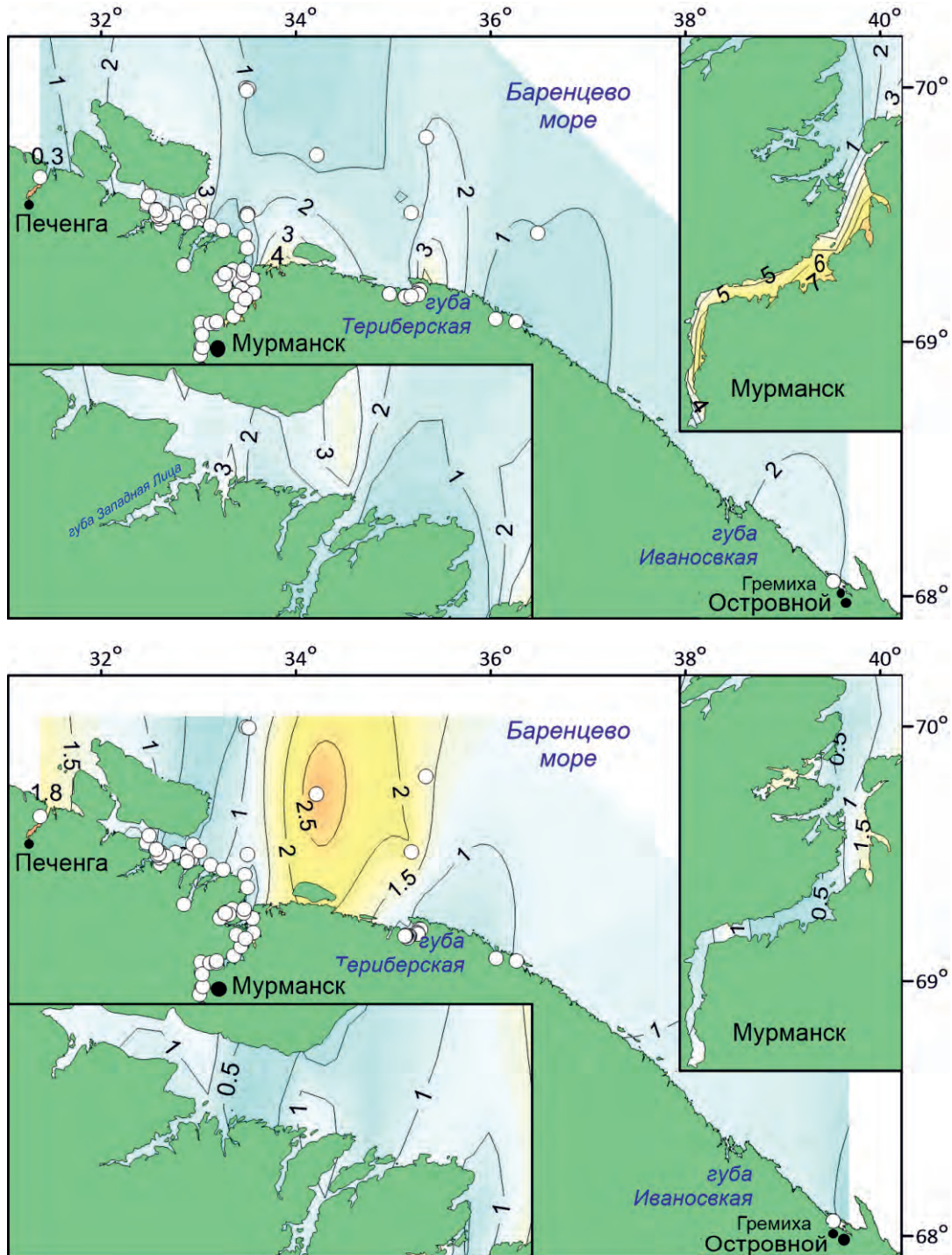


Рис. 4.17. Удельная активность ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б), Бк/кг сухой массы, в донных осадках прибрежья Мурмана, 2017 г.

Murman Coastal Area.

In the bottom sediments of the coastal area as a whole, as well as in the water, a long-term influence of local radionuclides sources and Atlantic waters inflow is observed.

Atlantic waters create radioactive markers in the geochemical characteristics of sedimentary layers. They will persist for some time until these sediments are eroded and dispersed in the surrounding area or buried under newest sediments.

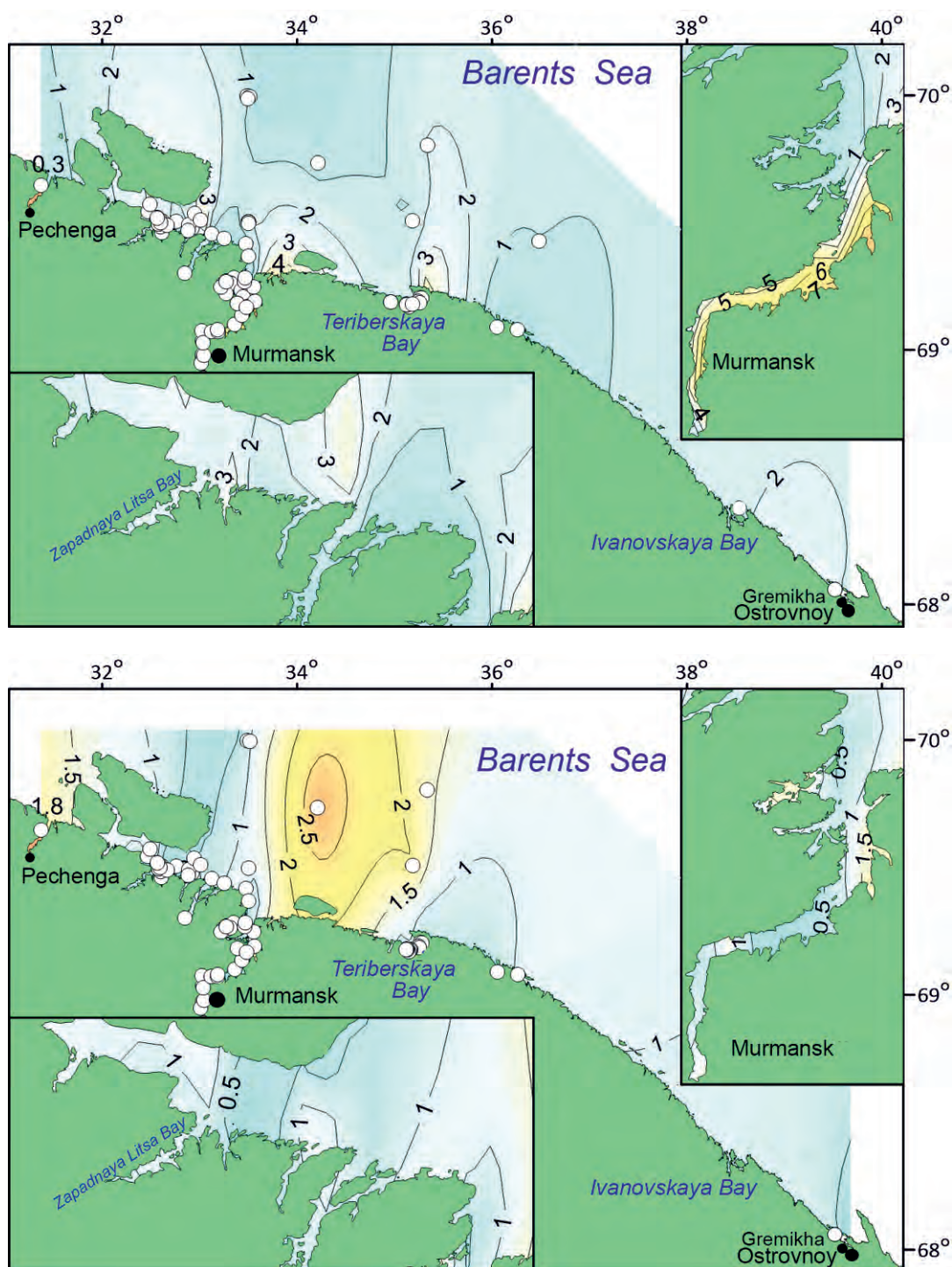


Fig. 4.17. Specific activity of ^{137}Cs (a) and ^{90}Sr (b), Bq/kg dry weight, in bottom sediments of the Murman coastal area, 2017

5. Оценка загрязнения биоты

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, поэтому именно водоросли часто используются в исследованиях радиоактивного загрязнения водоемов (рис. 5.1).

Водоросли семейства фукусов (*Fucaceae*) наиболее распространены в открытом побережье Мурмана, в губах и заливах.

Fucus vesiculosus - самый массовый по распространенности и биомассе вид фукусов, обитающий на обсыхающей части литорали. Пробы этого вида собраны на всех станциях в Кольском заливе, губе Сайда и проливе Йоканьгский рейд.

В большинстве проб *Fucus vesiculosus* измеренная удельная активность техногенных изотопов была ниже минимально детектируемой активности (МДА), регистрируемой аппаратурой. В губе Сайда и в вершине Кольского залива обнаружен ^{137}Cs , в районе мыса Мишуков и мыса Абрам – ^{134}Cs и ^{152}Eu . Содержание ^{137}Cs в водорослях в вершине Кольского залива было вдвое выше, чем в губе Сайда. Очевидно, что при очень низких концентрациях радионуклидов водоросли в районе мыса Мишуков и мыс Абрам испытывают большее влияние техногенного загрязнения, т.к. в данном районе расположено предприятие «Атомфлот». Активность бета-излучателя ^{90}Sr незначительна, при этом в пробах из Кольского залива (мыс Мишуков) концентрация радионуклида оказалась приблизительно вдвое выше, чем в проливе Йоканьгский рейд (рис. 5.2).



Fucus vesiculosus



Ascophillum nodosum

Рис. 5.1.а.
Образцы водорослей-макрофитов, собранные для радиоэкологических исследований

Fig. 5.1.a.
Algae-macrophytes samples collected for radioecological researches

5. Assessment of biota pollution

Seaweed-macrophytes ability to accumulate radioactive isotopes depends on radionuclides concentration in the water, seawater salinity and the time that plants spent on drying in atmosphere conditions. That is why macrophytes are often used in radioactive contamination research of water bodies (Fig. 5.1).

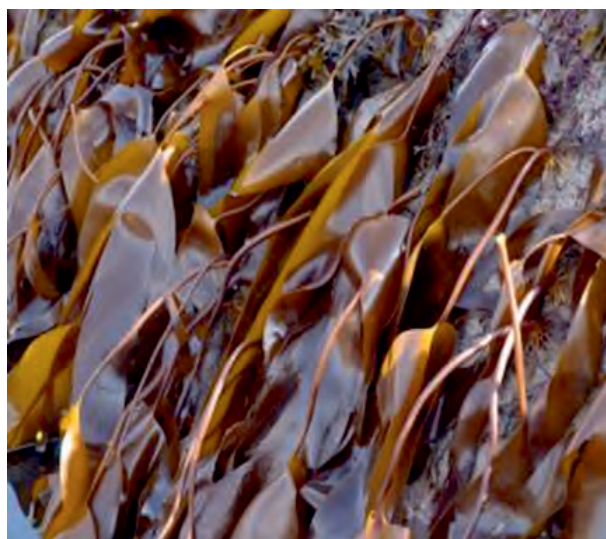
Algae of the family Fucaceae are the most common algae in the open part of Murman coastal area and in bays and inlets.

Fucus vesiculosus is most dominant species on occurrence and biomass that inhabits in the drying part of the littoral zone. Samples of this species were collected at all stations in the Kola Bay, Sayda Bay, and the Yokangsky raid Strait.

The measured specific activity of technogenic isotopes was lower than the minimum detectable activity (MDA) recorded by the equipment for the majority of *Fucus vesiculosus* samples. ^{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 and Abram Cape. ^{137}Cs content in algae at the top of the Kola Bay two times higher than in Saida Bay. Obviously that at very low radionuclides concentrations algae in the area of Mishukov Cape and Abram Cape experience greater influence of technogenic contamination, because of the presence of FSUE «Atomflot» in this area. The activity of beta emitter ^{90}Sr was insignificant, at the same time concentration of this radionuclide in the samples from the Kola Bay (Mishukov Cape) was approximately twice higher than in the Yokangsky Raid Strait (Fig. 5.2).



Fucus disticus



Laminaria saccharina

Рис. 5.1.б.
Образцы водорослей-макрофитов,
собранные для радиоэкологических
исследований

Fig. 5.1.b.
Algae-macrophytes samples
collected for radioecological researches

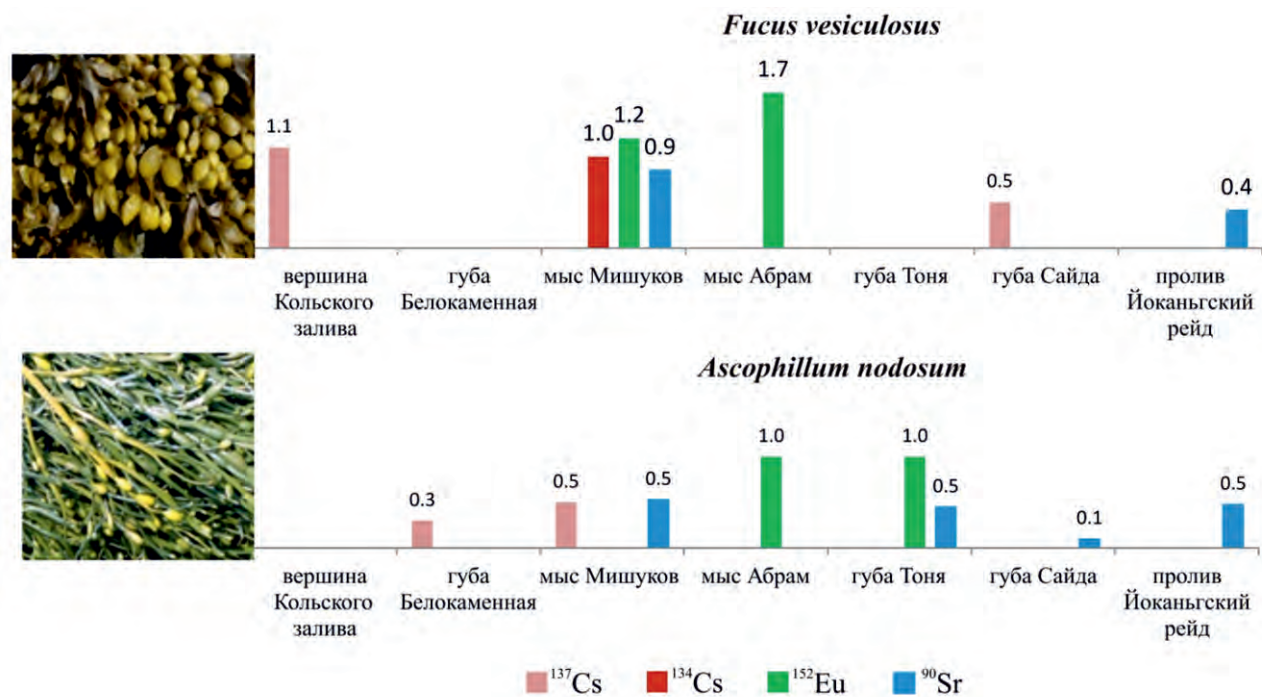


Рис. 5.2. Удельная активность искусственных радионуклидов в водорослях (Бк/кг сухой массы), июль-октябрь 2018 г.

Водоросли *Ascophillum nodosum* также широко распространены в прибрежье. Содержание техногенных гамма-излучающих радионуклидов в этих водорослях аналогично их содержанию в *Fucus vesiculosus* и редко превышают значения МДА. Значимые концентрации ^{137}Cs обнаружены в пробах *Ascophillum nodosum* из губы Белокаменная и района мыса Мишуков, ^{152}Eu присутствовал в водорослях из губы Тоня и района мыса Абрам. Содержание ^{90}Sr оказалось практически одинаковым в районе мыса Абрам, губе Тоня и проливе Йоканьгский рейд (рис. 5.2).

Пробы водоросли *Laminaria saccharina* собраны в глубинной зоне литорали. На участок у мыса Абрам может распространяться влияние предприятия «Атомфлот». Однако в талломах водоросли *Laminaria saccharina* из Кольского залива, удельная активность техногенных гамма-излучающих радионуклидов была ниже МДА, что отличает их от фукоидов, обитающих в этом же районе в «зоне» осушки.

Жизненные циклы организмов зообентоса в среднем составляют 4–9 лет. 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.

Для исследований в качестве тестовых бентосных организмов выбраны моллюски-фильтраторы *Mytilus edulis* – обыкновенная мидия, и бентосные ракообразные *Gammaridea*.

Содержание техногенных гамма-излучающих радионуклидов в мидиях *Mytilus edulis* на исследуемых участках низкое, измеренная удельная активность в большинстве проб ниже МДА. У мыса Абрам и в проливе Йоканьгский рейд обнаружены низкие, но достоверно значимые концентрации ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{152}Eu (рис. 5.3).

В исследуемых видах ракообразных содержание техногенных гамма-излучающих радионуклидов ниже МДА, за исключением гаммарусов из губы Тоня, в которых концентрация ^{137}Cs составляет 1 Бк/кг и обнаружено следовое количество ^{152}Eu (рис. 5.3).

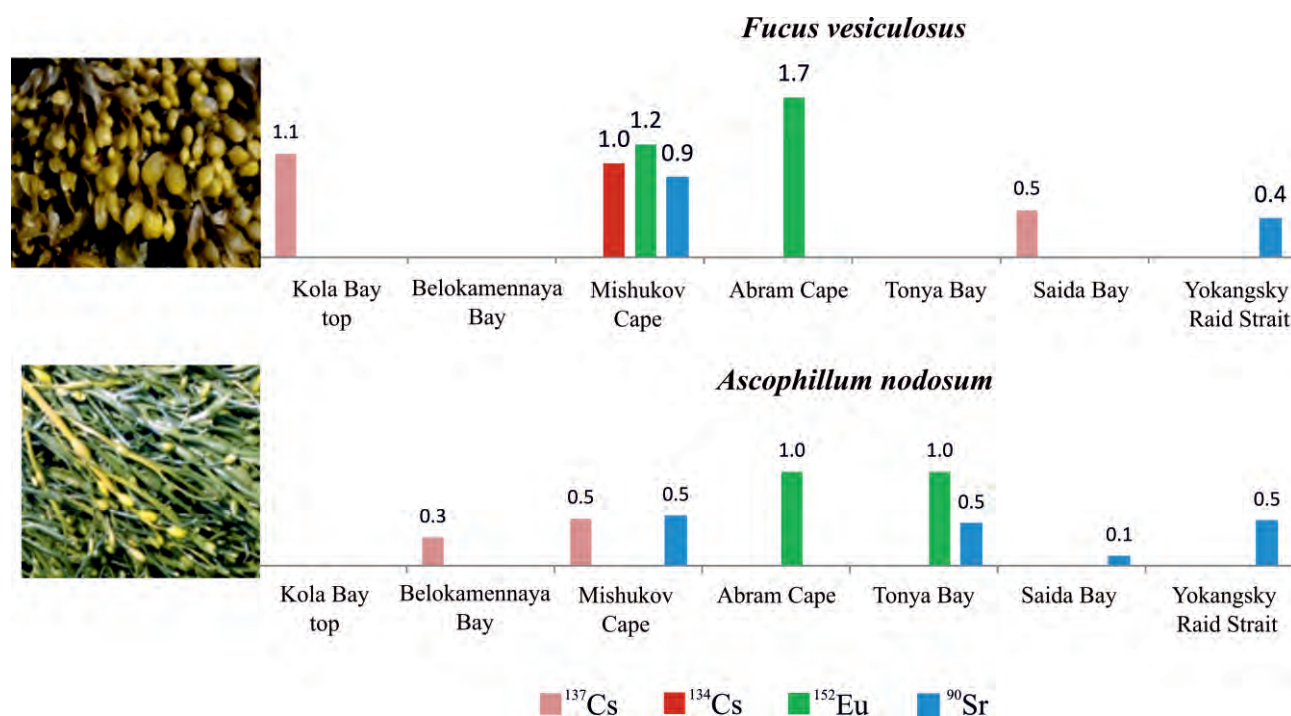


Fig. 5.2. Specific activity of artificial radionuclides in algae (Bq/kg dry weight), July-October 2018

Ascophillum nodosum algae are also widely distributed in the foreshore. The content of technogenic gamma-emitting radionuclides in these algae is similar to the content in *Fucus vesiculosus* and rarely exceeds the MDA value. Significant concentrations of ¹³⁷Cs were found in *Ascophillum nodosum* samples from Belokamennaya Bay and the area of Mishukov Cape. ¹⁵²Eu was present in algae from Tonya Bay and the area of Abram Cape. The content of ⁹⁰Sr turned out to be practically the same in the area of Abram Cape, Tonya Bay and the Yokangsky Raid Strait (Fig. 5.2).

Samples of *Laminaria saccharina* alga were collected in the deep zone of the littoral. The area near Abram Cape may be influenced by the Atomflot enterprise. However, the specific activity of technogenic gamma-emitting radionuclides in the thalli of *Laminaria saccharina* alga from the Kola Bay was lower than MDA, that distinguishes them from fucoids living in the same area in the "zone" of drying.

Life cycles of zoobenthos organisms are on average 4–9 years. During their life due to breathing and nutrition seabed inhabitants extract from near-bottom waters and bottom sediments not only nutrients but also contaminants including radioactive particles.

We used filter-feeding mollusks *Mytilus edulis* – the common mussel, and benthic crustaceans *Gammaridea* as test benthic organisms for the research.

The content of technogenic gamma-emitting radionuclides in *Mytilus edulis* mussels was very low within the studied areas, the measured specific activity in most samples was below MDA. Low but reliably significant concentrations of ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr and ¹⁵²Eu were found at Abram Cape and in the Yokangsk Raid Strait (Fig. 5.3).

The content of technogenic gamma-emitting radionuclides was lower than MDA in the studied crustacean species, with the only exception of gammarids from Tonya Bay, in which the ¹³⁷Cs concentration is 1 Bq/kg and a trace amount of ¹⁵²Eu was also found (Fig. 5.3).

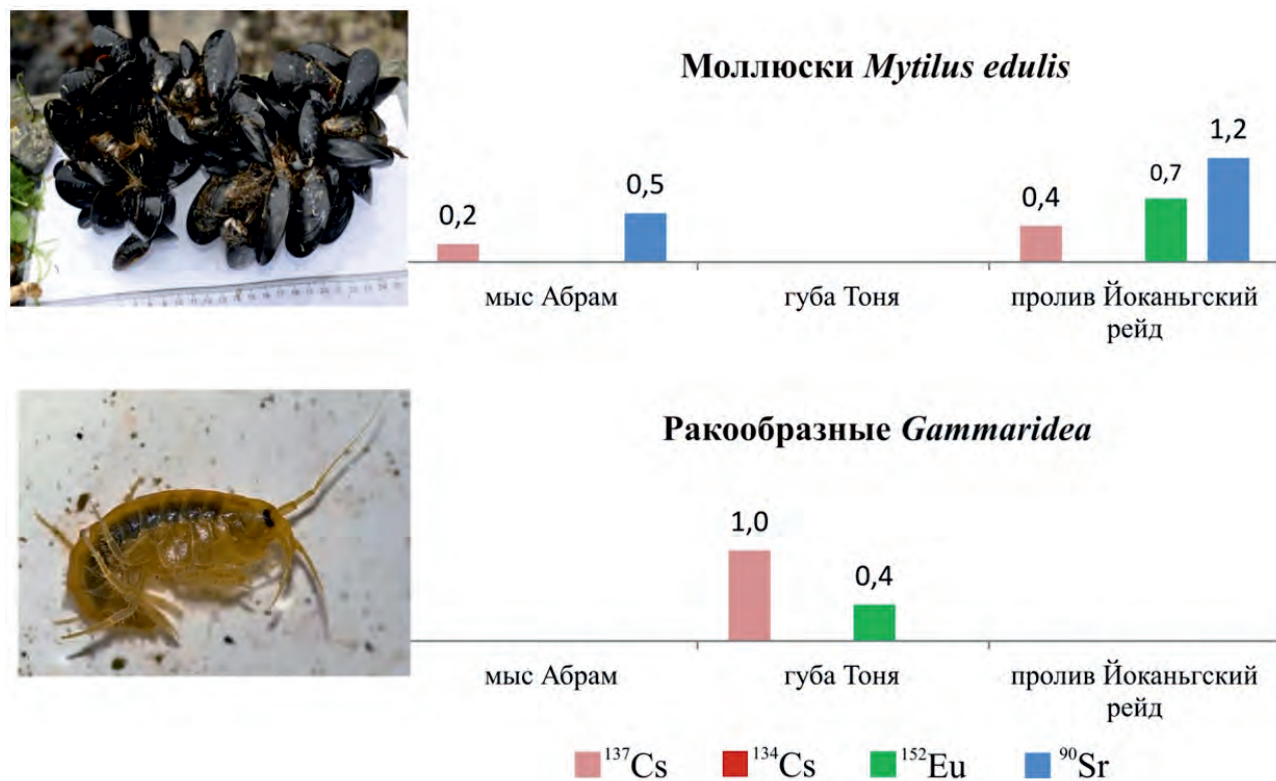


Рис. 5.3. Удельная активность искусственных радионуклидов в бентосных организмах (Бк/кг сухой массы), июль-октябрь 2018 г.

Таким образом, результаты исследования позволили оценить общий фон и выявить локальные различия в загрязненности техногенными изотопами распространенных и относительно редко расселенных видов морского фито- и зообентоса, которые могут служить индикаторными видами при многолетних радиэкологических наблюдениях.

Сравнение содержания техногенных радионуклидов 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 следовые количества изотопов, характерных для радиоактивных отходов.

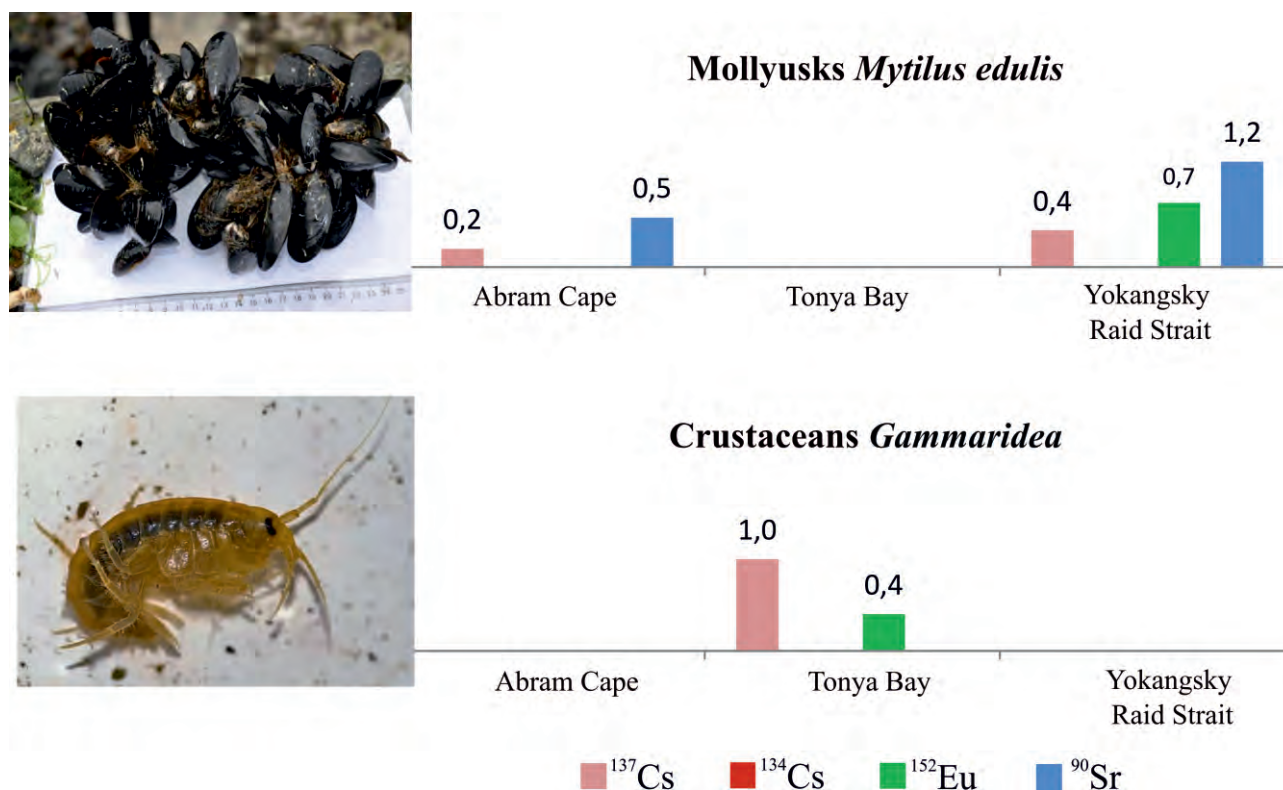


Fig. 5.3. Specific activity of artificial radionuclides in benthic organisms (Bq/kg dry weight), July-October 2018

The results of our study made it possible to estimate the general background and reveal the local differences in technogenic isotopes contamination of common and relatively rarely settled species of marine phyto- and zoobenthos, which can be used as an indicator species in long-term radioecological monitoring.

Comparison of technogenic radionuclides content in marine organisms collected in the areas of spent nuclear fuel transit showed low contamination level. However, on the territory of the Kola Bay trace amounts of radioactive waste isotopes in aquatic organisms whose habitat is associated with seabed were found more often.

6. Геохронология радиоактивного загрязнения донных отложений в прибрежье

Детальное изучение уровней радиоактивного загрязнения донных отложений Кольского и Мотовского заливов Баренцева моря началось не так давно, лишь середине 90-х гг. прошлого века.

Информация же о более ранних периодах истории становится доступной только благодаря реконструкциям, выполненным с использованием методов геохронологии.

В 2017 г. для геохронологических исследований было отобрано 8 колонок донных отложений (рис. 3.3). Донные отложения представлены различными илами с примесью тонко-зернистого песка, остатков бентосных животных и включениями мелкого гравия (рис. 6.1, 6.2). В донных отложениях из Южного колена Кольского залива также присутствовала угольная пыль. В 2017 г. единственным стабильно определяющимся во всех слоях радионуклидом был ^{137}Cs , удельная активность ^{90}Sr в пробах очень мала и приближалась к пределам чувствительности применяемых аналитических методов. Поэтому именно вертикальный профиль

содержания ^{137}Cs в кернах донного осадка можно считать надежным показателем загрязнения, характеризующим его продолжительность и периодичность (рис. 6.3).

Распределение ^{137}Cs по глубине отличается неравномерностью, однако выделить какие-либо общие закономерности в положении локальных минимумов и максимумов содержания ^{137}Cs не удалось. Колонка донных отложений со станции 2 в Кольском заливе заметно отличалась от других. Здесь в слое 11–12 см зарегистрирован максимум удельной активности ^{137}Cs – около 27 Бк/кг, что в 8 раз выше среднего содержания в других слоях (рис. 6.3).

Содержание гамма-излучающих радионуклидов, таких как ^{241}Am , ^{60}Co , ^{134}Cs и ^{152}Eu , во всех слоях было ниже минимально детектируемой активности. Для сравнения можно отметить, что в конце 1990-х гг. в колонке из Среднего колена Кольского залива изотоп ^{60}Co устойчиво детектировался во всех слоях осадка на глубинах от 2 до



Рис. 6.1. Колонка донных отложений из Кольского залива. Включения гравия в слоях осадков.

Fig. 6.1. Column of bottom sediments from Kola Bay. Gravel inclusions in sediment layers

6. Geochronology of radioactive contamination of bottom sediments in the coastal area

A detailed study of radioactive contamination levels in bottom sediments of Kola and Motovsky bays of the Barents Sea began not so long ago in the mid-1990s of the last century.

Information about earlier historical periods becomes available thanks to reconstructions made using geochronological methods only.

In 2017 we sampled 8 columns of bottom sediments for geochronological studies (Fig. 3.3). Bottom sediments were represented by various silts with impurities of fine-grained sand, benthic animals remains and small gravel inclusions (Fig. 6.1, 6.2). Coal dust was also present in the bottom sediments from the Southern part of Kola Bay.

In 2017 ^{137}Cs was the only radionuclide stably determined in all layers; the specific activity of ^{90}Sr in the samples was very low and close to sensitivity limits of the used analytical methods. Therefore the vertical profile of ^{137}Cs

content in bottom sediment cores can be considered as a reliable pollution indicator characterizing its duration and periodicity (Fig. 6.3).

The depth distribution of ^{137}Cs was uneven but it was not possible to identify any general regularities in the position of ^{137}Cs content local minima and maxima. The bottom sediment column from the Station 2 in the Kola Bay was significantly different from the others. The maximum ^{137}Cs specific activity about 27 Bq/kg was registered here in 11-12 cm layer, 8 times higher than average content in other layers. (Fig. 6.3).

The content of gamma-emitting radionuclides such as ^{241}Am , ^{60}Co , ^{134}Cs and ^{152}Eu in all layers was below the minimum detectable activity (MDA). For comparison we can note that at the end of the 1990s ^{60}Co isotope was stably detected in all layers of the column from the Middle part of Kola Bay at depths from 2 to 10 cm.



Рис. 6.2. Пластиковый пробоотборник и вырезанный керн донного осадка
Fig. 6.2. Plastic sampler and cut core of bottom deposit

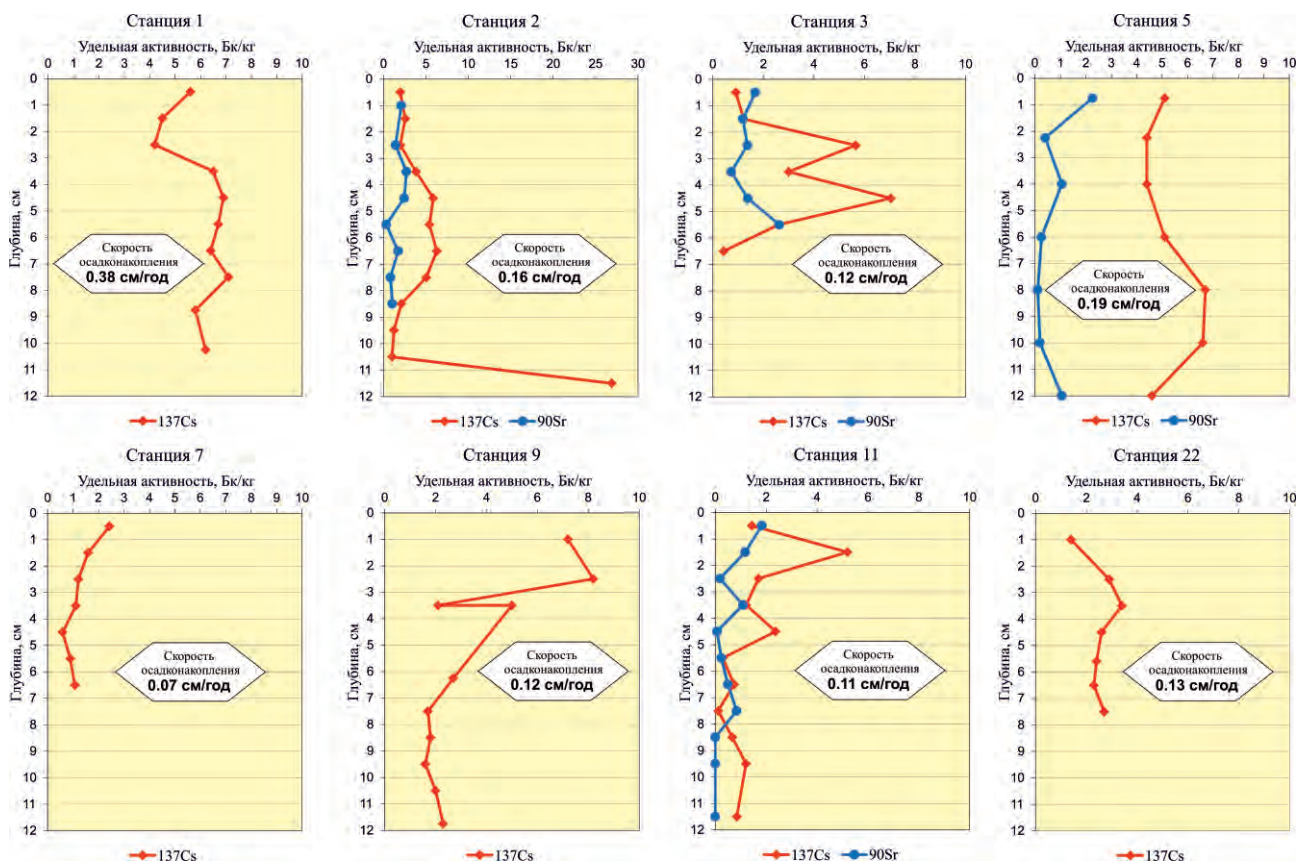


Рис. 6.3. Вертикальное распределение техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в донных осадках Кольского и Мотовского заливов Баренцева моря и средние скорости осадконакопления

Удельная активность изотопов плутония, ^{238}Pu и $^{239,240}\text{Pu}$, в слоях донных отложений была очень низкой, поэтому количественные измерения удалось выполнить лишь для отдельных слоев на трех станциях. Глубина распространения изотопов плутония в кернах составила 9–10 см. Наибольшее содержание ^{238}Pu (2.3 Бк/кг) и $^{239,240}\text{Pu}$ (3.2 Бк/кг) отмечено в слое осадка 2–3 см вблизи предприятия «Атомфлот». Изотопное соотношение $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ оказалось существенно выше, чем в глобальных атмосферных выпадениях и сбросах радиохимического завода в Селлафилде (Великобритания), поэтому можно предположить, что появление изотопов плутония связано с деятельностью ФГУП «Атомфлот».

Вертикальные распределения естественных радионуклидов ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{238}U в колонках донных осадков из разных районах морского побережья не имеют значимых отличий и выраженных закономерностей. При этом в распределении

^{210}Pb во всех исследованных колонках прослеживается устойчивая тенденция снижения удельной активности радионуклида с глубиной, что является признаком стабильности процессов осадконакопления и дает возможность провести датировку слоев осадка, а также количественно оценить скорость современного осадконакопления.

Датирование современных донных отложений Кольского и Мотовского заливов по неравновесному ^{210}Pb показало, что исследованные колонки осадков охватывают исторический период от 30 до 100 лет.

Единственный выраженный максимум содержания ^{137}Cs в слое 11–12 см на станции 2 в Кольском заливе (27 Бк/кг) по временной шкале 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 (рис. 6.4).

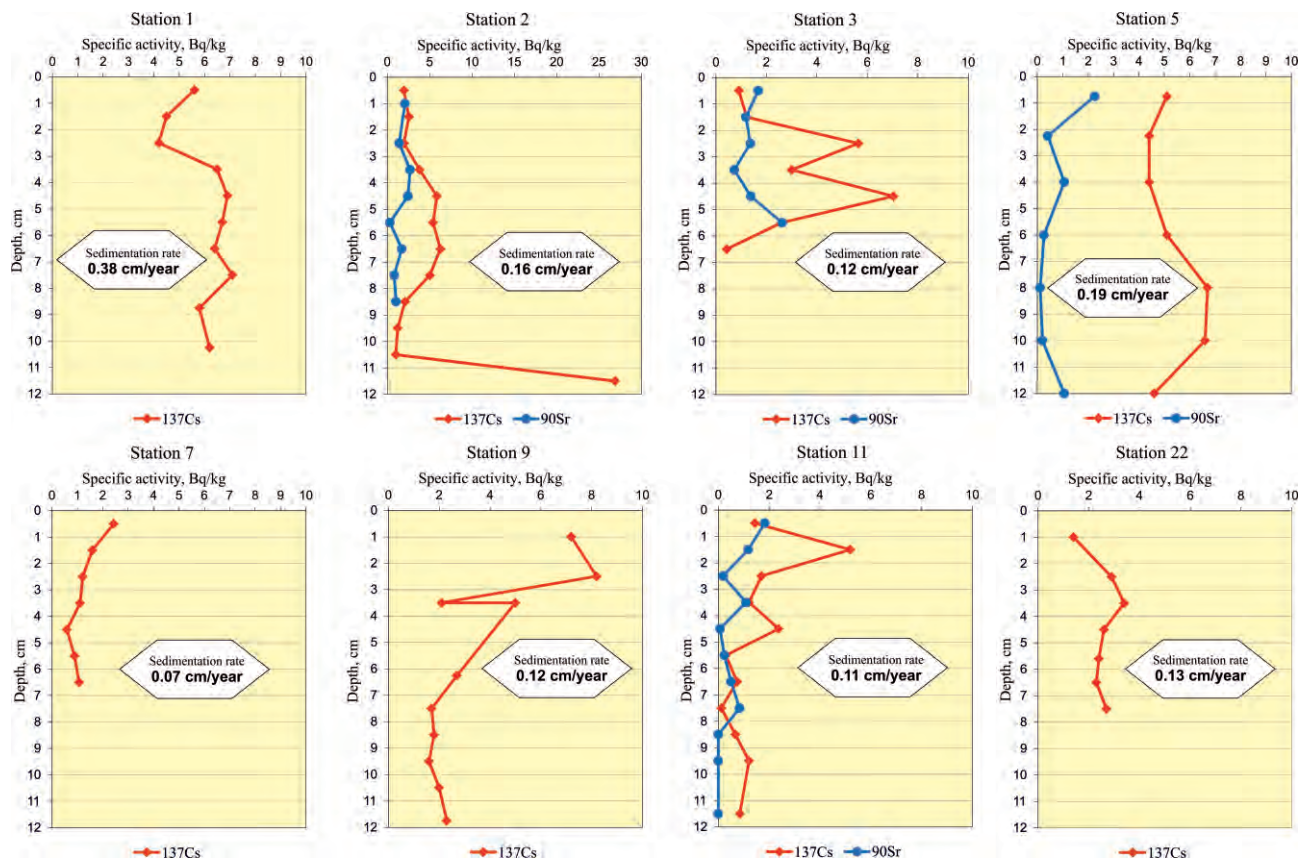


Fig 6.3. Vertical distribution of technogenic radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in bottom sediments of Kola and Motovsky bays of the Barents Sea and average sedimentation rates

The specific activity of plutonium isotopes, ^{238}Pu and $^{239,240}\text{Pu}$, in the layers of bottom sediments was very low. It was possible to perform quantitative measurements for individual layers only at three stations. The depth of plutonium isotopes penetration to bottom sediment columns was 9–10 cm. The highest concentrations of ^{238}Pu (2.3 Bq/kg) and $^{239,240}\text{Pu}$ (3.2 Bq/kg) were registered in 2–3 cm layer of sediment near the Atomflot enterprise. The $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ isotopic ratio was significantly higher than in global atmospheric fallouts and discharges from the radiochemical plant in Sellafield (Great Britain), therefore it can be assumed that the appearance of plutonium isotopes is associated with the activities of FSUE Atomflot.

Vertical distributions of naturally occurring radionuclides ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{238}U in studied bottom sediment columns from different areas of the coastal area had no

significant differences and pronounced regularities. At the same time a steady tendency of radionuclide specific activity decrease with depth was traced in ^{210}Pb distribution in all studied columns. This was a sign of sedimentation processes stability allowed to date bottom sediment layers and quantitatively estimate contemporary sedimentation rate.

Dating of contemporary bottom sediments of Kola and Motovsky bays by non-equilibrium ^{210}Pb showed that studied sediment columns covered a historical period from 30 to 100 years.

The only ^{137}Cs maximum in 11–12 cm layer at the Station 2 in Kola Bay (27 Bq/kg) refers to the end of the 1940s on the time scale. Relatively increased income of plutonium isotopes ($^{239,240}\text{Pu}$ - 3.21 Bq/kg; ^{238}Pu - 2.32 Bq/kg) at the Station 3 refers to the early 2000s (Fig. 6.4).

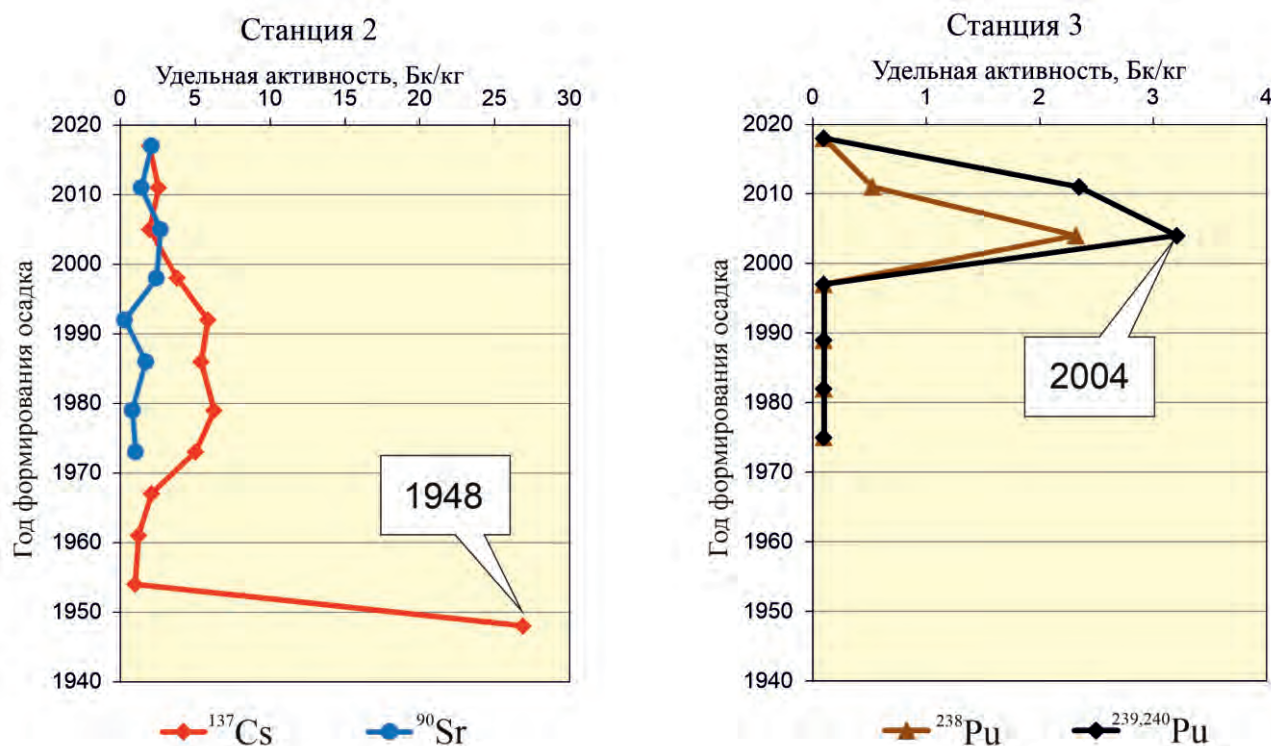


Рис. 6.4. Результаты датировки колонок донных отложений из Кольского залива

Географически обе станции находятся в зоне возможного влияния ФГУП «Атомфлот». Теоретически максимум ^{137}Cs не может датироваться периодом ранее 1960 года, когда предприятие начало свою деятельность. Наблюдаемое смещение по временной шкале, обусловлено постседиментационной миграцией изотопов цезия. Этими же процессами можно объяснить обнаружение минимальных количеств ^{137}Cs в слоях осадка, относящихся к периоду до появления ядерного оружия на других станциях.

Максимальная скорость осадконакопления 0.38 см/год наблюдается в кутовой части Кольского залива, что связано с впадением двух крупных рек – Колы и Туломы, выносящих значительное

количество взвеси. В Среднем колене Кольского залива, расчетная скорость 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.

Таким образом, проведенные геохронологические исследования колонок донных отложений из Кольского и Мотовского заливов указывают на благополучную радиэкологическую ситуацию в регионе в последние десятилетия. Проведенные операции по транзиту отработавшего ядерного топлива из хранилищ пункта временного хранения в губе Андреева и отделения «Гремиха» не

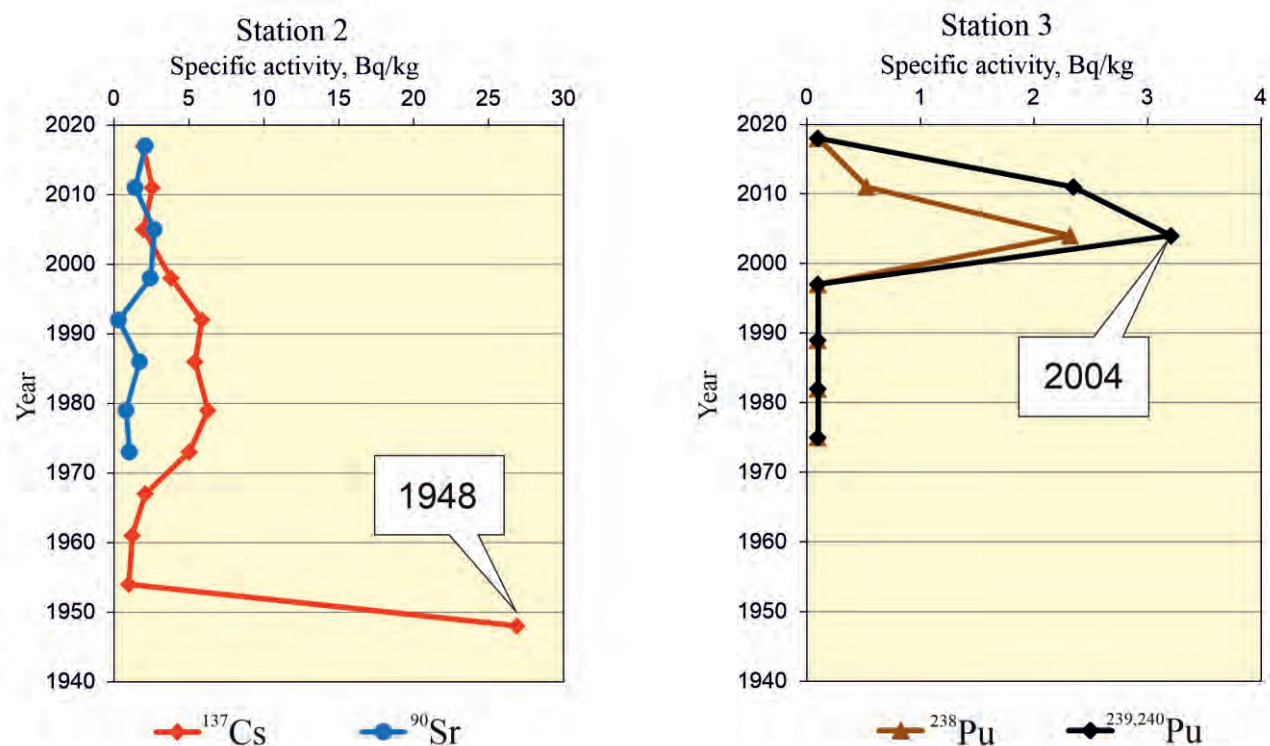


Fig. 6.4. Dating results of bottom sediment columns from Kola Bay

Both stations are geographically located within the zone of possible FSUE Atomflot influence. Theoretically ^{137}Cs maximum cannot be dated until 1960 when the enterprise started its activity. The observed shift along the time scale is due to the postsedimentary migration of cesium isotopes. The same processes can explain the presence of minimal ^{137}Cs amounts in deposit layers related to the period prior to the emergence of nuclear weapons at other stations.

The maximum sedimentation rate of 0.38 cm/year is observed in the head part of Kola Bay, which is associated with the fall of two large rivers, the Kola and the Tuloma taking out a significant amount of suspended matter. In the Middle Part of the Kola Bay the calculated sedimentation rate turned out to be the minimum 0.07 cm/year, i.e. this area is a transit zone of the sedimentary matter. Sedimentation rates at other points of the study vary from 0.11 to 0.19 cm/year.

The conducted geochronological investigations of bottom sediment columns from Kola and Motovsky bays indicate a favorable radioecological situation in the region over recent decades. The operations carried out for spent nuclear fuel transit from the storages of the temporary storage point in Andreeva Bay and «Gremikha» Branch did not lead to any changes.

7. Оценка социального воздействия

Потенциальные риски радиоактивного загрязнения морской среды локального или регионального масштабов имеют значение не только для населения Кольского полуострова, но и для жителей всего побережья Баренц-региона. Это малозаселенные территории, в которых, при этом, существуют достаточно крупные города с развитой хозяйственной деятельностью и большой численностью населения. К числу таких городов относятся российские Мурманск, Североморск, Полярный, Печенга, норвежские Хаммерфест, Тромсё, Киркенес и т.д. В них проживает около 500 тыс. человек. Социальное воздействие радиоэкологического состояния и его возможных изменений в прибрежье Баренцева моря обозначается в первую очередь через основные виды морской хозяйственной деятельности. Перечислим их.

7.1. Морской промысел рыбных и нерыбных (креветки, моллюски, водоросли, крабы) объектов. Изменение качества и радиационной чистоты этих объектов имеет самую широкую социальную значимость и затрагивает интересы почти всего населения

прибрежной зоны Кольского Заполярья и севера Норвегии, которое так или иначе занято морским промыслом. Ареал потребления этих продуктов имеет еще более широкий мировой масштаб (рис. 7.1).

Кроме того, качество морской среды будет определять успех естественного воспроизводства этих ресурсов, устойчивость промышленной добычи, социальный статус прибрежного населения.

7.2. Марикультура. Фермерское разведение разнообразных видов рыб особенно развито в удобных фьордах побережья Северной Норвегии. В прибрежье Мурмана природные условия менее благоприятны для развития марикультуры, однако и здесь существует сеть крупных и мелких морских ферм по выращиванию лососей (рис. 7.2). Часть населения Мурманской области занята в этой отрасли, а продукция поставляется за пределы региона. Поэтому радиационная безопасность морской среды и возможные риски, которые генерируются в сфере обращения с ядерной энергетикой и радиоактивными отходами в прибрежье также имеет значимый социальный резонанс.



Рис. 7.1. Рыбный промысел в Баренцевом море (фото из открытых источников)

Fig. 7.1. Fishing in the Barents Sea (photo from open sources)

7. Social impact assessment

Potential risks of radioactive contamination of the marine environment on a local or regional scale are important not only for the population of the Kola Peninsula, but also for the inhabitants of the entire coast of the Barents Region. These are sparsely populated areas, in which, at the same time, there are quite large cities with developed economic activities and a large population. These cities and towns include the Russian Murmansk, Severomorsk, Polyarny, Pechenga, the Norwegian Hammerfest, Tromsø, Kirkenes and etc. They are home to about 500 thousand people. The social impact of the radioecological state and its possible changes in the coastal area of the Barents Sea is indicated primarily through the main types of marine economic activities. Let's list them.

7.1. Marine fishing for fish and non-fish (shrimp, molluscs, algae, crabs) objects. Changes in the quality and radiation purity of these objects have the broadest social significance and affect the interests of almost the entire population of the coastal zone of the Kola Arctic and northern Norway, which is in

one way or another engaged in marine fishing. The area of consumption of these products has an even wider global scale (Fig. 7.1).

In addition, the quality of the marine environment will determine the success of the natural reproduction of these resources, the sustainability of industrial production, and the social status of the coastal population.

7.2. Mariculture. Farming of a wide variety of fish species is especially developed in the convenient fjords of the coast of Northern Norway. In the Murman coastal area, natural conditions are less favorable for the development of mariculture, however, there is also a network of large and small marine salmon farms (Fig. 7.2). Part of the population of the Murmansk region is employed in this industry, and the products are supplied outside the region. Therefore, the radiation safety of the marine environment and the possible risks that are generated in the field of handling nuclear power and radioactive waste in the coastal area also have a significant social resonance.



Рис. 7.2. Рыбоводные садки в губах морского побережья Кольского полуострова и северной Скандинавии (фото из открытых источников)

Fig. 7.2. Fish cages in the bays of the Kola Peninsula and northern Scandinavia (photo from open sources)

7.3. Туризм в Арктике имеет всё возрастающее значение, как в России, так и в Норвегии. При этом развивается не только «созерцательный туризм», нацеленный на восприятие пейзажей и редких природных явлений, таких, как северное сияние, морской прибой, суровый климат и т.п. Существуют точки притяжения, куда стремятся туристы со всего мира. Примерами такого туризма являются туристический центр на мысе Нордкап (Норвегия) и поселок Териберка (Россия) (рис. 7.3).

В последние годы отмечен значительный рост спортивного туризма,

связанного с любительским парусным судоходством, сёрфингом и дайвингом. Для последнего привлекательным является обилие подводных ландшафтов и биоценозов с высоким биоразнообразием (рис. 7.4).

Популярность прибрежного спортивного и «созерцательного» арктического туризма далеко за пределами северных областей основана также на радиационной безопасности Баренцева моря. Развитие туризма, в том числе международного, имеет значимый социальный эффект для всего Баренц-региона (рис. 7.5).



Рис. 7.3. Туристические группы в прибрежных туристических центрах на мысе Нордкап и в поселке Териберка (фото из открытых источников)

Fig. 7.3. Tourist groups in the coastal tourist centers at the North Cape and in the village of Teriberka (photo from open sources)

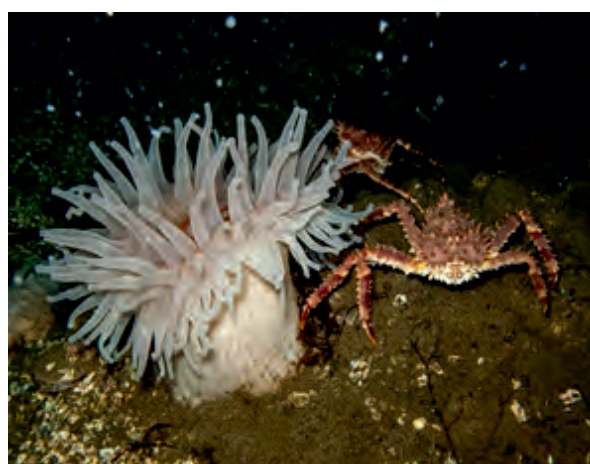
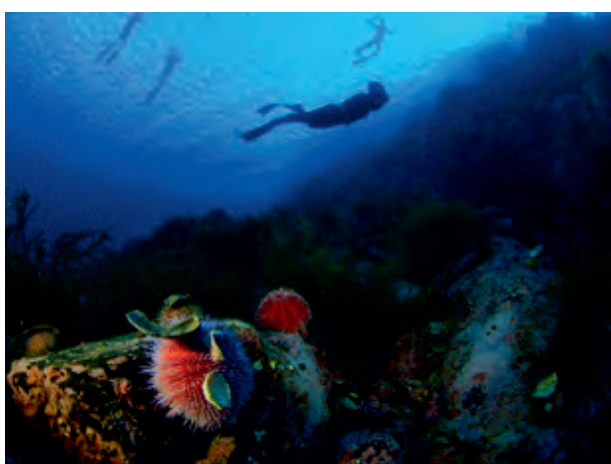


Рис. 7.4. Подводные ландшафты Кольского побережья (фото из открытых источников)

Fig. 7.4. Underwater landscapes of the Kola coast (photo from open sources)

7.3. Tourism in the Arctic is of increasing importance, both in Russia and in Norway. At the same time, not only "contemplative tourism" is developing, aimed at the perception of landscapes and rare natural phenomena, such as the northern lights, sea surf, harsh climate, etc. There are points of attraction where tourists from all over the world tend to. Examples of such tourism are the tourist center at the North Cape (Norway) and the village of Teriberka (Russia) (Fig. 7.3).

In recent years, there has been a significant increase in sports tourism associated

with recreational sailing, surfing and diving. For the diving, the abundance of underwater landscapes and biocenoses with high biodiversity is attractive (Fig. 7.4).

The popularity of coastal sports and "contemplative" Arctic tourism far beyond the northern regions is also based on the radiation safety of the Barents Sea. The development of tourism, including international tourism, has a significant social effect for the entire Barents Region (Fig. 7.5).



Рис. 7.5. Спортивный туризм на побережье Мурмана (фото из открытых источников)
Fig. 7.5. Sports tourism on the coast of Murman (photo from open sources)

7.4. Marine recreational fishing is well developed in small coastal settlements in the Murmansk region and northern Norway. This activity, called **sea fishing**, also applies to tourism. However, it is most important for local residents, who go to sea on their boats to fish for food, or take tourists to sea fishing. (fig. 7.6). Thus, amateur fishing in ecologically clean waters is related to both fishing and maritime shipping with port services and facilities.

7.4. Морской любительский лов рыбы хорошо развит в малых прибрежных поселениях Мурманской области и севера Норвегии. Этот вид деятельности под названием **морская рыбалка** относится, также и к туризму. Однако он более всего важен для местных жителей, которые на своих плавсредствах выходят в море на лов

рыбы в качестве пропитания, либо вывозя туристов на морскую рыбалку. (рис. 7.6). Таким образом любительский лов на экологически чистых акваториях имеет отношение и к рыбному промыслу, и к морскому судоходству с портовым обслуживанием и хозяйством..



Рис. 7.6. Прибрежный любительский лов рыбы в Норвегии и в России (фото из открытых источников)

Fig. 7.6. Coastal recreational fishing in Norway and Russia (photo from open sources)

7.5. Морские нефтегазовые промыслы и морской транспорт. Значимость радиационной ситуации в морской среде для указанных видов прибрежной деятельности подлежит специализированной оценке. Однако очевидно, что радиационное благополучие морских вод и донных отложений являются обязательным условием такой деятельности. Её интенсивность постоянно изменяется. В прибрежье северной Норвегии и России находятся нефтегазовые месторождения и существуют долгосрочные планы развития добычи углеводородов. Наиболее известными к настоящему времени действующими промыслами в пределах региона являются месторождение Снёвит (северная Норвегия), Приразломное (Россия) и морской терминал Варандей (Россия) (рис. 7.7).

Торговый и обслуживающий флот обеспечивает устойчивую связь различных крупных и малых портов региона с портами Европы, Азии и Америки. В этих видах деятельности задействованы большие массы населения не только Северной Европы, но и остального мира. Значит социальное воздействие радиационного благополучия морского прибрежья здесь чрезвычайно широко, как и в рыбном промысле (рис. 7.8)



Рис. 7.7. Морская прибрежная нефте- и газодобыча. Месторождения Приразломное и Снёвит (фото из открытых источников)

Fig. 7.7. Offshore oil and gas production. Prirazlomnoye and Snøvit deposits (photo from open sources)

7.5. Marine oil and gas fields and sea transport. The significance of the radiation situation in the marine environment for these types of coastal activities is subject to specialized assessment. However, it is obvious that the radiation safety of sea waters and bottom sediments is a prerequisite for such activities. Its intensity is constantly changing. There are oil and gas fields off the coast of northern Norway and Russia and there are long-term plans for the development of hydrocarbon production. The most famous to date operating fields within the region are the Snøvit field (northern Norway), Prirazlomnoye (Russia) and the Varandey sea terminal (Russia) (Fig. 7.7).

The merchant and service fleet provides a stable connection between various large and small ports of the region with the ports of Europe, Asia and America. These activities involve large masses of the population not only in Northern Europe, but also in the rest of the world. This means that the social impact of the radiation well-being of the seacoast is extremely wide here, as in the fishery (Fig. 7.8)



Рис. 7.8. Незамерзающие порты Мурманск и Киркенес (фото из открытых источников)

7.8. Non-freezing ports of Murmansk and Kirkenes (photo from open sources)

Заключение. Передача знаний и повышение информированности

В краткой выдержке главные результаты нескольких лет исследований могут быть сформулированы следующим образом.

Радионуклидное загрязнение прибрежных акваторий, донных осадков и бентосных гидробионтов дифференцировано, но повсюду оценивается как низкое. В глубинных слоях донного осадка наблюдается тенденция к сглаживанию экстремальных пиков концентрации техногенных радионуклидов, которые связаны с эпизодами неконтролируемого загрязнения в «ядерную» эпоху.

В настоящее время в прибрежной зоне моря на участках транзита ОЯТ сохраняются два относительно слабых источника техногенных радионуклидов, которые влияют на радиоэкологический фон побережья локально. Это хранилище радиоактивных отходов в губе Андреева и суммарный сток Кольского залива, в котором располагаются несколько объектов инфраструктуры гражданского и военного атомного флота. Другие потенциальные источники радиоактивности – 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. Радиоэкологическая ситуация в последние десятилетия в Мурманском побережье оценивается как благополучная и не вызывает тревоги за безопасное природопользование.

Проведенные к настоящему времени операции по транзиту ОЯТ из хранилищ пункта временного хранения в губе Андреева и отделения «Гремиха» не привели к каким-либо изменениям экологического статуса прибрежной зоны Кольского полуострова.

Очевидно, что актуальность обновления такой оценки сохранится какое-то время и после вывоза ядерных отходов из хранилищ и реабилитации территорий.

Новые знания о радиоэкологическом статусе прибрежной зоны Мурмана и наиболее актуальных районов, полученные в ходе реализации проекта представлялись исследователями на национальных и международных конференциях в 2017-2021 гг. Материалы в популярной форме освещались в трансляциях мурманского телевидения и в интернете на сайте ММБИ РАН. Специалисты – участники проекта представляли презентации и обсуждали материалы и различные проблемы с участниками семинаров ММБИ и Аквапланнива.

В различной форме доступности об исследованиях рассказывалось в учебных заведениях учащимся Мурманских школ. Работа по повышению информативности и широкому опубликованию материалов будет продолжена в будущем.



Результаты исследований были представлены на международных конференциях и семинарах, встречах с общественностью, образовательных курсах

Conclusion. Knowledge transfer and awareness raising

In a brief excerpt, the main results of several years of research can be summarized as follows.

Radionuclide pollution of coastal water areas, bottom sediments and benthic aquatic organisms is differentiated, but everywhere is assessed as low. In the deep layers of the bottom sediment, there is a tendency to smooth out the extreme peaks in the concentration of technogenic radionuclides, which are associated with episodes of uncontrolled pollution in the "nuclear" era.

At present, two relatively weak sources of technogenic radionuclides, which affect the radioecological background of the coastal area locally, remain in the coastal zone of the sea in the areas of SNF transit. This is a storage facility for radioactive waste in Andreeva Bay and the total flow of the Kola Bay, where several infrastructure facilities of the civil and military nuclear fleet are located. Other potential sources of radioactivity - radioactive waste and spent nuclear fuel storage facilities in Sayda Bay and the Yokangskiy Reid Strait (Gremikha branch) do not currently have a significant impact on the pollution of sea water and bottom sediments. The radioecological situation in the Murmansk coastal area in recent decades is assessed as favorable and does not cause concern for the safe use of natural resources.

The operations carried out to date for the transit of spent nuclear fuel from the storage facilities of the temporary storage facility in Andreeva Bay and the Gremikha branch did not lead to any changes in the ecological status of the coastal zone of the Kola Peninsula. It is obvious that the relevance of updating such an assessment will remain for some time even after the removal of nuclear waste from storage facilities and the rehabilitation of territories.

New knowledge about the radioecological status of the Murman coastal zone and the most

relevant areas obtained during the implementation of the project was presented by researchers at national and international conferences in 2017-2021. Popular materials were covered in broadcasts of Murmansk television and on the Internet on the website of the MMBI RAS.

Specialists - project participants made presentations and discussed materials and various problems with the participants of the MMBI and Akvaplan-niva seminars. Students of the Murmansk schools were told about the research in various forms of accessibility in educational institutions. Work on increasing the information content and wide publication of materials will continue in the future.



Research results have been presented at the international conferences and workshops, meetings with public, educational courses

Литература и ссылки

- Васильев А.П., Вяхухнов В.П., Нетеча М.Е. и др.* Радиоэкологическое состояние – территории и акватории в губе Андреева // Атомная энергия. Т. 101 (1). 2006. С. 49–55.3.
<https://severpost.ru/read/57253/>
- 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.
<https://news.myseldon.com/ru/news/index/247257696>
<https://t.co/T27F1Agad6?amp=1>
https://zen.yandex.ru/media/id/-5bb3f6fe502b5600ad6d46c9/predpriiatia-akvakultury-jdut-na-besplatnyi-vebinar-5fd8450482e75655d1d6d0dd?interview_id=-6655216495326566958
- Ильин Г.В., Усягина И.С., Касаткина Н.Е.* Радиоэкологическое состояние морской и наземной среды в районе губы Андреева. // Атомная энергия, 2015, Т. 118, вып. 3, с. 168–174.
<https://velojournal.net/northcape4000-iz-turina-k-samoy-severnoy-tochke-evropy-nordkap>
- Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Отв. ред. академик Г.Г.Матишов. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. – 265 с.
<https://ahtilahti.rul/tpost/tj4peg4in-teriberka-v-noyabre>
<https://chozen.ru/?p=4723>
- Кольский залив и нефть: биота карты уязвимости, загрязнение. Ред. А.А. Шавыкин; ММБИ КНЦ РАН. – СПб.: Реноме, 2018. DOI:10.25990/renomespb.w0pj-zq52
https://team-trip.ru/teriberka_whales
<https://surfandtravel.ru/euro-pe/russia/surfcamp/rus4>
- Лоция Баренцева моря. Ч.2. СПб.: Изд. ГУНИО. 1995. 462 с.
<https://bolshoisport.ru/articles/delo-bylo-na-barentsevom-kak-proshel-zaplyv-v-7-gradusnoy-vode>
- 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.
<https://mivela.ru/fotogalereya?p=5>
https://nordfishing.ru/fotootchety/alybom_1
- Matishov, D.G., Matishov, G.G.* 2004. Radioecology in the Northern European Seas. Springer-Verlag, Germany, ISBN 978-3540201977.
<https://amp.energybase.ru/news/companies/tanker-mihail-ulanov-prinal-na-bort-10-millionnu-tonnu-nefti-proekta-pri-2019-04-10>
- Reistad O., Dowdall M., Standring W.J.F., Selnaes Ø.G., et al.* On-site radioactive soil contamination at the Andreeva Bay shore technical base, Northwest Russia. //In J. of Environmental Radioactivity. 2008. 99. 1045–1055.
<https://novostienergetiki.ru/wp-content/uploads/2018/03/Snøhvit-1024x713.jpg>
<https://en.portnews.ru/comments/2554/>
- Research of present radioactivity levels in the physical environment and biota in the area of the Andreeva Bay. Report. Murmansk. ММБИ RAS, 2015.
<https://fishki.net/3281782-kirkenes---russkij-gorod-v-norvegii.html?sign=276408584825139%2C189739527837259>

References

- Vasil'ev A.P., Vjasjuhnov V.P., Netecha M.E. et al.* 2006. Radioecological state of the territory and water area in guba Andreeva. [Radioekologicheskoe sostojanie territorii i akvatorii v gube Andreeva]. // *Atomnaja energija.* – Vol. 101 (1): 49–55. (In Russian).
- Ilyin G.V., Matishov D.G., Kasatkina N.E.* 2011. Formirovanie antropogenogo zagryazneniya i ekosistemnoe zdorovje morej Rossijskoy Arktiki // *Kompleksnyye issledovanija bol'shikh morskikh ekosistem Rossii.* [Formation of the technogenic 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).
- Ilyin G.V., Usyagina I.S., Kasatkina N.E.* 2015. Radioekologicheskoe sostoyanie morskoy i nazemnoy sredy v raione guby Andreeva. [Radioecological State of the Marine and Terrestrial Environment around Andreeva Bay] // *Atomnaya Energiya.* – Vol. 118(3), p. 168–174 (In Russian).
- Ilyin G.V., Kasatkina N.E., Moiseev D.V., Usyagina I.S.* 2017. Infrastructure Objects of the Nuclear Fleet as Sources of Radioactive Contamination of the Barents Sea: Waste Repository in Guba Andreeva // *Atomic Energy.* – Vol. 122, No. 2, pp.131–137.
- 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).
- 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).
- 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).
- Matishov, D.G., Matishov, G.G.* 2004. Radioecology in the Northern European Seas. Springer-Verlag, Germany, ISBN 978-3540201977.
- Research of present radioactivity levels in the physical environment and biota in the area of the Andreeva Bay. 2015. Report. Murmansk. MMBI RAS.
- Reistad O., Dowdall M., Standring W.J.F., Selnaes Ø.G., et al.* 2008a. On-site radioactive soil contamination at the Andreeva Bay shore technical base, Northwest Russia. // *In J. of Environmental Radioactivity.* 99. 1045-1055.
<https://severpost.ru/read/57253/>
- <https://news.myseldon.com/ru/news/index/247257696>
- <https://t.co/T27F1Agad6?amp=1>
- https://zen.yandex.ru/media/id/-5bb3f6fe502b5600ad6d46c9/predpriatiia-akvakultury-jdut-na-besplatnyi-vebinar-5fd8450482e75655d1d6d0dd?interview_id=-6655216495326566958
- <https://velojournal.net/northcape4000-iz-turina-k-samoy-severnoy-tochke-evropy-nordkap>
- <https://ahtilahti.rul/tpost/tj4peg4in-teriberka-v-noyabre>
- <https://chozen.ru/?p=4723>
- https://team-trip.ru/teriberka_whales
- <https://surfandtravel.ru/euro-pe/russia/surfcamp/rus4>
- <https://bolshoisport.ru/articles/delo-bylo-na-barentsevom-kak-proshel-zaplyv-v-7-gradusnoy-vode>
- <https://mivela.ru/fotogalereya?p=5>
- https://nordfishing.ru/fotootchety/alybom_1
- <https://amp.energybase.ru/news/companies/tanker-mihail-ulanov-prinal-na-bort-10-millionnu-tonnu-nefti-proekta-pri-2019-04-10>
- <https://novostienergetiki.ru/wp-content/uploads/2018/03/Snøhvit-1024x713.jpg>
- <https://en.portnews.ru/comments/2554/>
- <https://fishki.net/3281782-kirkenes---russkij-gorod-v-norvegii.html?sign=276408584825139%2C189739527837259>

Полевые работы – Fieldwork



*Работа с коробчатым
пробоотборником box corer
Sampling with the box corer*



*Упаковка пластиковой трубки
с керном донного осадка
Packing a plastic core tube with
sediment*



*Подсушивание водорослей
на палубе судна
Drying of algae samples
on the deck of the vessel*



*Сбор макрофитов в губе Вичаны
Algae sampling in the Vichany Bay*



*Сбор водорослей с плавающего объекта –
швартовой бочки
Sampling of algae from a mooring drum*



*Осаждение ^{137}Cs на сорбент «Анфеж».
Deposition of ^{137}Cs on «Anfezh» sorbent*



*В Гремихе
In Gremikha*

Благодарности

Буклет подготовлен к изданию ММБИ РАН и «Акваплан-нива» при финансовой поддержке Правительственного плана действий по атомной безопасности и охране окружающей среды под управлением Норвежского агентства по радиационной и ядерной безопасности (DSA).

Текст: Д.В. Моисеев, Г.В. Ильин, Н.Е. Касаткина, А.Н. Бамбуляк.

Перевод: Д.В. Моисеев, Н.Е. Касаткина, А.Н. Бамбуляк.

Дизайн-макет: Д.В. Моисеев, И.С. Янтарова.

Печать: ИП Глухов А.Б. (Издательство «РУСМА»). Тираж – 50 экз.

Авторы выражают признательность всем коллегам в ММБИ и «Акваплан-нива» за вклад в проведение радиоэкологических исследований и персонально научному руководителю ММБИ академику Г.Г. Матишову и директору по проектам «Акваплан-нива» С.Дале за научное сопровождение и поддержку работы на протяжении всех ее этапов.

Acknowledgments

The booklet has been prepared for publication by MMBI RAS and Akvaplan-niva with financial support from the Governmental Action plan on Nuclear Safety and Environmental Protection managed by the Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority (DSA).

Text: D.V. Moiseev, G.V. Ilyin, N.E. Kasatkina, A.N. Bambulyak.

Translation: D.V. Moiseev, N.E. Kasatkina, A.N. Bambulyak.

Design layout: D.V. Moiseev, I.S. Yantarova.

Printing: IE Glukhov A. B. (Publishing house "RUSMA"). Circulation – 50 copies.

The authors are grateful to all colleagues at MMBI and Akvaplan-niva for their contribution to the radioecological research and personally to scientific advisor of MMBI Academician Gennady Matishov and project director of Akvaplan-niva Salve Dahle for scientific accompaniment and support of the work throughout all its stages.

Контакты – Contacts

ММБИ РАН / MMBI RAS: www.mmbi.info

Акваплан-нива / Akvaplan-niva: www.akvaplan.niva.no

Буклет на сайте ММБИ / Booklet at MMBI web-site





Akvaplan. niva

