

гого радиоактивного изотопа цезия –  $^{134}\text{Cs}$ . Его период полураспада равен 2.1 годам, поэтому он обнаруживается, как правило, лишь после крупных радиационных аварий [Buessler, 2014]. В работе [Дружинин и др., 2016] отмечается, что в донных отложениях Белого моря летом 2012 г. обнаружены значимые концентрации  $^{134}\text{Cs}$  – 0.7–8.3 Бк/кг. Данный факт может указывать на поступление техногенной радиоактивности в его акваторию, которая граничит с Баренцевым морем. Однако отсутствие  $^{134}\text{Cs}$  в Баренцевом море в 2017 г., а также подтвержденная нашими исследованиями тенденция на снижение концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в его поверхностных водах говорит о том, что данная акватория не испытывает влияния от потенциальных источников техногенной радиоактивности. Но наши исследования не охватили самый масштабный маргинальный фильтр и накопитель антропогенных радионуклидов – экосистемы побережья, заливов и губ, что требует дальнейших исследований.

### **ВЫВОДЫ**

Основными источниками радионуклидов цезия в Баренцевом море являются сбросы радиоактивных отходов в морскую среду западноевропейскими радиохимическими заводами, а также глобальные выпадения после испытания ядерного оружия в открытых средах.

На основании проведения работ по радиоэкологическому мониторингу в 68 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» и сравнении результатов с предыдущими исследованиями, можно сделать вывод о благополучной радиоэкологической обстановке в акватории Баренцева моря.

Современные концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в поверхностных водах Баренцева моря составляют 2.1–3.4 Бк/м<sup>3</sup> и находятся существенно ниже уровней вмешательства [Временные методические указания..., 1981; Руководство..., 1991; СанПиН, 2009]. Большинство районов Баренцева моря характеризуется небольшими значениями концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в поверхностном слое донных осадков, так как практически весь он в растворенной форме остается в воде.

В донных осадках детектируемые количества радиоцезия обнаружены лишь у побережья Новой Земли, однако интерес вызывает изучение более глубоких слоев донных отложений, что позволит применять изучаемый радионуклид  $^{137}\text{Cs}$  в качестве трассера природных процессов седиментации и осадконакопления.

Не выявлено влияния погибших АПЛ и затопленных радиоактивных отходов на радиоэкологическую обстановку в Баренцевом море. Последствия операций по захоронению РАО могут иметь локальный характер и проявляться лишь в регионах захоронений. Однако на данный момент уровни  $^{137}\text{Cs}$  в Баренцевом море в несколько раз ниже, чем в Черном и Балтийском морях, где затопления РАО не проводились.

Процессы самоочищения системы Баренцева моря от радионуклидов контролируются явлениями литологической и биологической адсорбции, которые происходят, соответственно, в маргинальном фильтре и в пелагическом био фильтре.

Проведение дальнейших исследований необходимо в прибрежных экосистемах северных морей – эстуариях крупных рек, заливах, губах, являющихся накопителями антропогенных радионуклидов.

## **10.3. Оценка современного геоэкологического состояния фьордов восточной части Баренцева моря**

**В.А. Шахвердов, Д.В. Рябчук, М.А. Спиридонов, В.А. Жамойда, М.В. Шахвердова**

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург*

Проведен краткий анализ истории изучения геоэкологического состояния Баренцева моря, который показал, что на период начала промышленного освоения геологическая среда характеризовалась низким уровнем нарушения и загрязнения. На примере Кольского залива дана оценка современного геоэкологического состояния фьордов восточной части Баренцева моря. Сейсмоакустические исследования подтверждают преимущественно тектоническое происхождение залива и опасное распространение гравитационного перемещения пород, приуроченного к береговым склонам. Определены фоновые геохимические характеристики современных донных осадков. Показано, что геохимическое районирование дна акватории залива является следствием как природных, так и антропогенных процессов. Получена характеристика различных районов по содержанию в донных осадках Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg и гексанрастворимых нефтепродуктов (НП). Показано, что распределение НП в основных компонентах аквальных и береговых геосистем, наравне с другими поллютантами, является ведущим эле-

ментом системы экологического контроля, количественной оценки антропогенного воздействия и накопленного экологического ущерба. На особенности распределения химических элементов влияет активная хозяйственная деятельность в пределах Южного колена Кольского залива, а также базы Северного флота ВМС РФ.

Приведены данные по изучению форм нахождения химических элементов в современных донных осадках, которые позволяют предполагать высокую вероятность вторичного загрязнения акватории при изменении физико-химических условий процессов осадконакопления.

Сравнительный анализ показал, что современные донные отложения Кольского залива характеризуются наиболее высокой на Северо-Западе РФ концентрацией химических элементов.

**Ключевые слова:** Баренцево море, Кольский залив, геоэкология, геохимическое районирование.

DOI: 10.29006/978-5-6045110-0-8/(37)

Важным этапом в исследовании Баренцева моря в 1920–1930-е гг. явились работы созданного в 1921 г. Плавучего морского научного института (ПлавморНИИ), переименованного в дальнейшем в Государственный океанографический институт (ГОИН). Планомерное изучение Кольского шельфа экспедициями ПлавморНИИ, Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО), Мурманским морским биологическим институтом (ММБИ КНЦ РАН), Гидрометслужбой и Гидрографическим предприятием ММФ было преимущественно связано с рыбопромысловой океанологией, а также геологией шельфа и физической океанографией. Дальнейшие исследования геологического строения Кольского шельфа в значительной степени определялись высокими перспективами нефтегазности региона и проводились Научно-исследовательским институтом геологии Арктики (НИИГА), Полярной экспедицией НПО «Севморгео», Морской арктической геологической экспедицией (МАГЭ) и другими специализированными организациями, образованными в Мурманске.

Изучение и оценка эколого-геологического состояния геологической среды прибрежно-шельфовой зоны Баренцева моря имеют относительно недавнюю историю. В 1970–1980-е гг. был организован мониторинг по программе «Общегосударственной системы наблюдений по сети станций» и проведено математическое моделирование океанологических процессов. Результаты исследований отражены в монографических работах ГОИН [Гидрометеорология..., 1990, 1992]. В ходе выполнения различных проектов ММБИ КНЦ РАН были получены данные о гидробиологической и радиоэкологической обстановке в арктическом регионе [Матишов и др., 1994, 2001, 2007, 2009, 2010; 2011, 2014; Матишов, Матишов, 2001]. В частности, в Кольском заливе в 2000-х гг. экологический мониторинг проводился ММБИ КНЦ РАН в рамках проекта «Комплексные исследования и мониторинг арктических морей России». На основе проведенного «ВНИИОкеангеология» комплекса ли-

толого-стратиграфических и геохимических исследований был дан прогноз изменения геологической среды Баренцевоморского шельфа [Ванштейн, 2001].

В 1990-е гг. ВНИИОкеангеологией осуществлялся государственный мониторинг геологической среды шельфа в пределах Баренцева моря южнее 74° с. ш. [Козлов, Неизвестнов, 2000]. Базовые оценки состояния недр связаны с проведением Государственной геологической съемки и подготовкой листов геологической карты масштаба 1:1 000 000 (новая серия) с номенклатурой R-(35)-37 (ВСЕГЕИ, МАГЭ, ВНИИОкеангеология, 2000); T-41-44 (МАГЭ, 2006); и 1:1 000 000 (третье поколение) с номенклатурой R-38-40 (МАГЭ, 2003); R-(35)-36 (МПР России, МАГЭ, ВНИИОкеангеология, ВСЕГЕИ, 2007); R-37-38 (ВСЕГЕИ, ВНИИОкеангеология, МАГЭ, 2008); S-(36), 37 (МАГЭ, 2016); S-38, (МАГЭ, 2017).

С точки зрения оценки источников поступления загрязняющих веществ с суши, большой интерес представляет фундаментальная сводка данных по геохимии Кольского полуострова, являющаяся результатом совместного норвежско-российского проекта «Kola» (1992–1996) [Reimann et al., 1998].

Начало 2000-х гг. характеризуется активизацией работ по морским экспедиционным и фундаментальным исследованиям экосистем Баренцева моря. Их организационной основой на этом этапе стала подпрограмма «Исследования природы Мирового океана» в рамках Федеральной целевой программы «Мировой океан». Активизация геологических и эколого-геологических исследований в последние годы, в первую очередь, связана с перспективами ресурсного освоения шельфа.

Оценка эколого-геологического состояния геологической среды прибрежно-шельфовой зоны Баренцева моря содержится в опубликованных и фондовых работах «ВНИИОкеангеологии» (А.Ю. Опекунов, М.Г. Опекунова, В.А. Щербаков, М.А. Садиков, И.А. Андреева, Б.Г. Ванштейн, В.Я. Кабаньков и др.) [Опекунов и др., 2002; Садиков, 2000] и других работах [Гуревич, 2002; Иванов, 2006]. Поч-

ти во всех перечисленных источниках проводится мысль о высокой уязвимости геологической среды со слабой самовосстанавливающейся способностью и низкой устойчивостью аквальных геосистем к антропогенному воздействию в условиях Арктики. Одновременно подчеркивается актуальность вопроса о загрязнении Баренцевоморского шельфа углеводородами (НУ) и потенциальная уязвимость геологической среды шельфа под воздействием опасных геологических процессов и явлений в подводной части криолитозоны, таких как термическое растрескивание, термокарст, пучение, солифлюкция, термоабразия и т.п. Анализ опубликованных и полученных в последние годы данных позволяет дать современную оценку состояния геологической среды прибрежного шельфа Баренцева моря как практически не нарушенную, с низким уровнем загрязнения на период начала промышленного освоения.

Наблюдения за состоянием окружающей среды Кольского залива уже длительное время проводятся организациями различных ведомств (Госкомприроды, Росгидромета, Роскомрыболовства РАН, ММБИ КНЦ РАН, МАГЭ, ПИНРО, ФГУНПП «Севморгео» и др.). Тем не менее, единая система геоэкологического мониторинга до последнего времени так и не была сформирована, несмотря на все возрастающий уровень техногенного воздействия. В 2001 г. МАГЭ были начаты исследования по эколого-геологическому мониторингу Кольского залива, в которых принимали участие сотрудники отдела Региональной геоэкологии и морской геологии ФГУП «ВСЕГЕИ» [Шахвердов, Шахвердова, 2016]. В результате этих работ была заложена основная сеть мониторинга, которая насчитывала 50 станций. Она учитывала расположение станций по программе комплексного экологического мониторинга Мурманского морского биологического института Кольского научного центра РАН, Мурманского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, а также Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича. Полученные тогда данные легли в основу Государственного мониторинга состояния геологической среды Баренцева моря, который проводился ФГУНПП «Севморгео» (2004–2009 гг.). В дальнейшем, в результате работ ФГБУ «ВСЕГЕИ» (2011–2015 гг.) была выполнена оптимизация сети наблюдений с целью получения данных по наиболее проблемным частям акватории Кольского залива, в основном в южном колене.

В последние годы наиболее представительные и интересные результаты по оценке современного эколого-геологического состояния залива были полу-

чены в ходе работ по программе «Государственного мониторинга состояния недр прибрежно-шельфовой зоны Баренцева, Белого и Балтийского морей», которые с 2011 г. были продолжены ФГУП «ВСЕГЕИ» [Информационный бюллетень..., 2012, 2013, 2014; Шахвердов, Шахвердова, 2011, 2012, 2014].

Мурманская область является частью обширной территории распространения кристаллических, главным образом, докембрийских пород, слагающих Балтийский щит или Фенноскандию. Архейские и протерозойские образования перекрыты чехлом четвертичных отложений. Разрез осадочного чехла Баренцевоморской плиты сложен образованиями верхнего протерозоя, палеозоя, мезозоя и кайнозоя, выделенных в ранге серий, сейсмокомплексов и сейсмоподкомплексов [Государственная геологическая..., 2007].

В пределах Баренцевоморского шельфа проявлялись как каледонская складчатость и связанная с ней магматическая деятельность, так и платформенные герцинские движения, во время которых внедрялись основные и щелочные магмы, образовавшие уникальные массивы ультраосновных, основных и щелочных пород. О существовании более молодых дислокаций можно судить лишь по наличию разломов, раздробивших кристаллический фундамент на ряд блоков и создавших сложную картину тектонических очертаний современного побережья Кольского п-ова и многих речных долин, а также по ряду других геоморфологических признаков [Панов, 1940].

Тектонические движения четвертичного периода в послеледниковое время отчетливо фиксируются отложениями морских трансгрессий, распространенными по берегам Кольского п-ова и в устьях больших рек. О наличии самых молодых дислокаций свидетельствуют явления современной сейсмичности и общее поднятие территории, отмечаемые как для Кольского п-ова, так и для Скандинавии. Характерной особенностью тектоники Мурманского побережья является сочетание концентрических разломов большой протяженности, имеющих в пределах Кольского п-ова юго-западное – северо-восточной простирание, и системы радиальных разломов. Применительно к Мурманскому побережью крупнейший радиальный разлом определяет его общее простирание, а секущие концентрические разломы – фьордовое расчленение этого побережья [Каплин и др., 1991].

Баренцевоморский шельф считается в целом асейсмичной областью [Ассиновская, 1994], в пределах которой выделяются активные участки [Геология..., 2004], которые тяготеют к окраинным частям бассейна. За исторически обозримый отрезок времени на северо-западе Мурманской области наиболее сильными

были сейсмические события 1758, 1772, 1819 и 1873 годов. Чаще всего в летописных изданиях упоминается поселок Кола. Несмотря на отрывочность сведений об исторических землетрясениях, приближенные оценки магнитуд и положения эпицентров, они показывают, что некоторые из землетрясений носили разрушительный характер [Мушкетов, Орлов, 1893; Панасенко, 1969]. Наиболее ощутимыми из современных землетрясений стали сейсмические события 1968 и 1990 гг. [Николаева и др., 2008]. Последняя вспышка активности была отмечена в интервале 1987–1993 гг.

Техногенная сейсмичность, связанная с деятельностью МО РФ в акватории (торпедные стрельбы, уничтожение устаревших боеприпасов, аварийные взрывы на АПЛ «Курск» и т.п.), генерирует в прибрежном районе сотрясения грунтов 5–9 классов, что эквивалентно землетрясению до 5 баллов [Виноградов и др., 2006].

Подводный береговой склон Мурманского берега Кольского п-ова характеризуется большой приглубостью, что обусловлено его сбросовым происхождением. Вдоль берега протягивается Мурманский желоб, представляющий собой серию узких грабенов с глубинами более 100 м. По геоморфологическому строению прибрежная часть суши в основном представляет собой морскую аккумулятивную равнину, сформированную в результате послеледниковых регрессий Северного Ледовитого океана [Каплин и др., 1991].

Мурманское побережье характеризуется значительным разнообразием берегов, которое во многом определено его структурно-геологическим строением. В северо-западном районе побережья, представляющем собой северную окраину Балтийского щита, преимущественное распространение имеют расчлененные фьордами берега. Печенгский залив, Лица, Ара-Губа, Ура-Губа, Кольский залив – типичные фьорды тектоно-эрозионно-ледникового расчленения, предопределенные серией концентрических разломов, пересекающих Фенноскандию, которая в неогене испытала поднятие куполовидной формы. Разрывные нарушения Кольского полуострова входят в общую систему радиальных разломов Балтийского щита и продолжают разломы Норвегии и Швеции [Каплин, 1962]. Берега здесь сопровождаются высокими денудационными уступами высотой до 100–300 м. Заливы занимают понижения в массивах архейских пород, несущих следы ледниковой обработки [Каплин и др., 1991].

К востоку от Кольского залива характер морфологии береговой зоны меняется. Фьорды в пределах этой части побережья невелики, одна их группа располагается от губы Териберской до устья р. Рынды,

к фьордам также относятся губы Дальнезеленецкая, Дроздовка, Иоканга, Нокуевская, Завалишина и др. [Каплин и др., 1991]. До о-ва Лумбовский простирается участок пенепленезированного сбросово-тектонического берега с четко выраженными следами ледниковой экзарационной обработки склонов, местами сопровождающийся мелкими островами типа шхер – «лудами».

Общей особенностью арктических морей является развитие береговой зоны в условиях многолетнемерзлых пород. Береговые системы в криолитозоне обладают низкой устойчивостью [Геоэкология Севера, 2001], что особенно хорошо заметно в районах интенсивного ресурсного освоения. Техногенные нарушения приводят к активизации разрушительных береговых процессов, которые могут серьезно осложнить условия промышленного освоения береговой зоны и привести к значительным затратам на ликвидацию негативных последствий и восстановление нарушенных геосистем.

Кольский залив располагается в северной части Кольского п-ова и сообщается с Баренцевым морем. Общая протяженность залива по створам составляет около 55 км, ширина – 1–7 км. На берегах залива находятся такие крупные города как Мурманск, Североморск, Кола, Полярный. Северной границей залива можно считать точку с координатами 69°20' с. ш. и 33°30' в. д., устьем залива – 68°58' с. ш. и 33°00' в. д. Средние глубины залива составляют около 200 м, максимальные – 330 м. Крупными питающими реками, впадающими в южной части залива, являются Кола и Тулома. Залив можно разделить на три части: южное, среднее и северное колено (рис. 10.3.1). Его берега сильно изрезаны и образуют собственные заливы (губы) сложной формы (губа Сайда, губа Оленья, губа Ваенга и др.).

Кольский залив Баренцева моря является важным стратегическим объектом России. Его акватория не замерзает и хорошо защищена от сильных ветров. Именно эти особенности были учтены еще при императоре Николае I при выборе места для строительства северного форпоста России и торгового порта, и сделали Кольский залив для России стратегическим выходом в Мировой океан, а Мурманский порт – крупнейшим портом на арктическом побережье.

Комплексные морские эколого-геологические исследования ФГБУ «ВСЕГЕИ» в Кольском заливе в первую очередь связаны с изучением и картографированием геологических и антропогенных объектов, явлений и процессов прямо или косвенно влияющих на состояние геологической среды. Эти исследования сопровождались изучением широкого круга параметров ее состояния. Основным методом исследований

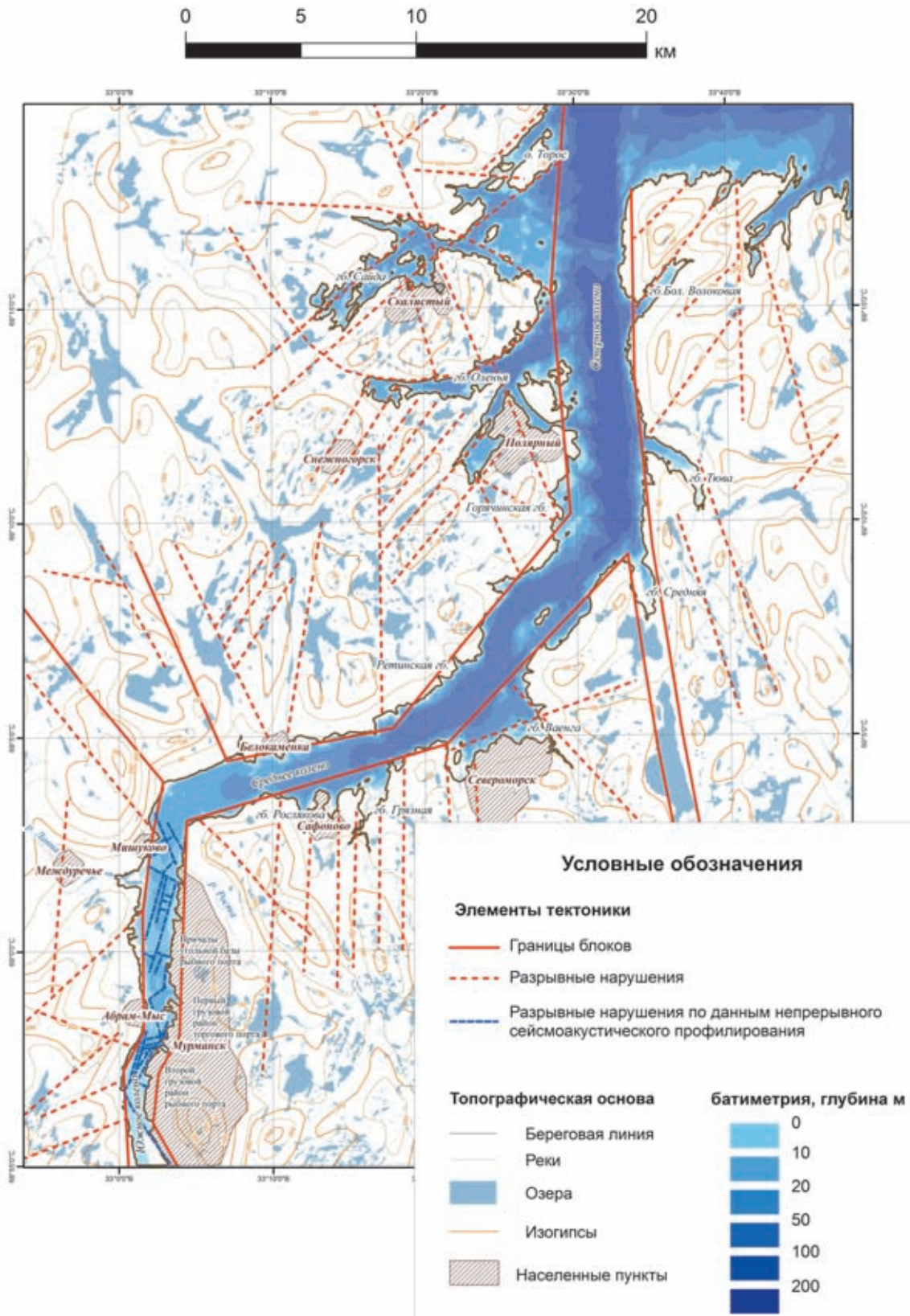


Рис. 10.3.1. Схема Кольского залива

являлось лито-геохимическое картирование современных донных осадков. Работы базировались на полевых изысканиях с отбором проб донных отложений, придонных вод, лабораторных исследованиях и камеральной обработке полученных материалов. Донный геологический пробоотбор производился с помощью ковша-дночерпателя грейферного типа и бокс-корера (рис. 10.3.2, а), грунтовой трубки (ГТТ) конструкции Лаури-Ниёмисто (рис. 10.3.2, б). Пробы придонных вод отбирались из ГТТ и батометра (рис. 10.3.2, в). Визуальное обследование дна проводилось с помощью малогабаритного телеуправляемого подводного аппарата. Большое внимание было уделено методу поисково-оценочного геофизического профилирования с использованием гидролокатора бокового обзора (ГЛБО) (рис. 10.3.3) и непрерыв-

ного сейсмоакустического профилирования (НСП) (рис. 10.3.4). Привязка всех видов работ осуществлялась с применением спутниковых систем позиционирования. Всего за время исследований по сети мониторинга нами выполнены наблюдения более чем на 200 станциях. С помощью ГЛБО изучено около 110 погонных километров дна залива при полосе обзора на каждый борт до 150 м. НСП проведено по разрезу общей протяженностью около 80 км.

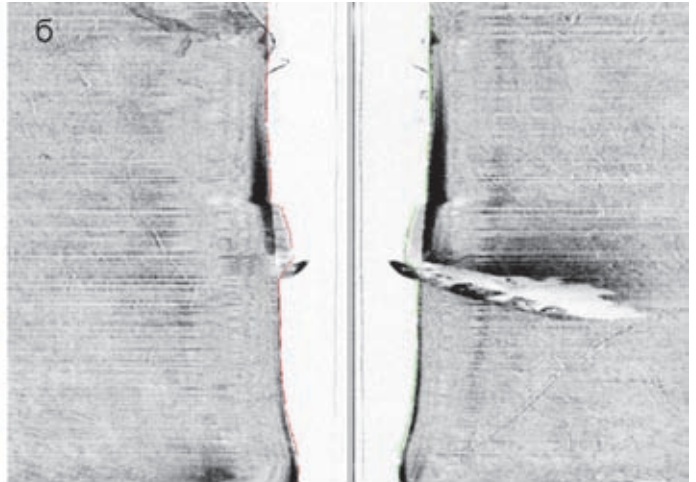
Анализ геологических данных позволяет считать, что Кольский залив имеет тектоническое происхождение. В создании его современного облика четвертичное оледенение является вторичным фактором. Так, Северное колено Кольского залива представляет собой субмеридиональный отрезок одного из грабенов Мурманского тектонического блока (рис. 10.3.1).



**Рис. 10.3.2.** Средства отбора проб донного грунта: а – ковш бокс-корер, б – грунтовая трубка конструкции Лаури-Ниёмисто, воды: в – батометр

Преобладающими на большом протяжении берега, здесь являются очень крутые, близкие к отвесным, уступы тектонического происхождения. Такой его генезис подчеркивается системами трещин с наличием сбросовых уступов, смещенных блоков (обвалов), «зеркал» скольжения и т. п. На четко выраженные

черты тектонического рельефа «наложено» не менее активное воздействие материкового оледенения (рис. 10.3.5). Фиксируются специфические формы ледниковой экзарации в виде ледниковых штриховых «курчавых скал», «бараньих лбов», экзарационных сколов и скоплений валунного материала.



**Рис. 10.3.3.** Сонар СМ-2 (С-МАХ, Великобритания):  
а – подготовка буксируемого устройства (антенны) к работе, б – фрагмент сонограммы поверхности дна с затопленным судном (длина 120 м, ширина 20 м, максимальная высота над дном – 15 м)



**Рис. 10.3.4.** Сейсмоакустический комплекс GEONT–HRP:  
а – цифровой блок управления и регистрации записи НСП, б – спуск приемной сейсмокосы



**Рис. 10.3.5.** Вид восточного берега Северного колена Кольского залива в районе м. Летинский

В результате проведения НСП получена детальная информация о строении верхней части геологического разреза и мощности четвертичных отложений (рис. 10.3.6, 10.3.7). Выявлены структурные, мощностные и пространственные взаимоотношения сейсмогеологического разреза. В подводной части так же, как и на суше, преобладают крутые, близкие к отвесным подводные склоны. Полученная геофизическая информация четко фиксирует смещение блоков, положение обнажений коренных пород, разломов и т.п. Особое внимание, в этой связи, привлекают участки склонов с проявлением оползневых, обвальных и осыпных процессов. Широкое распространение гравитационного перемещения пород и отложений свидетельствует об активном проявлении опасной экзогенной геодинамики и возникновении нестабильных аккумулятивных форм в береговой зоне всего Кольского залива. Зональность и интенсивность проявления этих процессов устойчиво коррелируется с крутизной исходных поверхностей, площадями развития рыхлых отложений, а также режимом грунтовых вод, мерзлотными процессами и растительным покровом.

Важную деструктивную роль играет постоянное смачивание, а также промерзание в приливно-отливной зоне. В условиях промышленного освоения и планирования строительства целой серии крупных инфраструктурных объектов в береговой зоне Кольского залива изучение и мониторинг опасных процессов и явлений приобретает первостепенное значение.

Исследования показали, что в береговой зоне Кольского залива местами наблюдаются активные проявления локальной морфолитодинимики, обусловленной периодичным приливно-отливным

воздействием. Это приводит к возникновению и изменчивости форм аккумулятивного и размывного происхождения: валов и промоин (рис. 10.3.8). Тем не менее, интенсивной абразии не наблюдается. Активные абразионные уступы отмечаются локально и, как правило, имеют незначительную высоту (менее 1 м).

Анализ сейсмограмм подтверждает предрасположенность дна Кольского залива и его береговой зоны к проявлению эндогенной геодинамики, в том числе связанной с периодической сейсмичностью региона. Признаки неотектонических движений также зафиксированы при интерпретации данных НСП смещением породных блоков, обуславливающих резкую ступенчатость подводных склонов, а также наличием вертикальных зон потери корреляции в сейсмическом разрезе, которые сопоставляются с разрывными нарушениями (рис. 10.3.6). Аналогии подобной ситуации имеют место в пределах береговой суши. Активизация разломов подтверждается развитием зияющих трещин, зон дробления, зеркал скольжения, а также изменениями уклонов и ступенчатости поверхностей вплоть до возникновения вертикальных стенок, даже с отрицательными уклонами (рис. 10.3.9). Подобные явления отмечены в Южном колене залива на участках берега в районе Абрамыса и Абрам-Пахта, где вдоль высоких береговых обрывов отмечены активное развитие склоновых процессов и практически вертикальные клифы, уходящие под воду. Обвалы могут провоцировать подводные оползни, следы которых, как было указано ранее, выявлены на различных участках подводного берегового склона с помощью непрерывного сейсмоакустического профилирования. Обвальные и оползневые процессы могут быть отнесены к категории опасных геологических процессов.

С точки зрения проявления эндогенной геологической опасности следует учитывать потенциальную угрозу вполне реальных (периодически повторяющихся в регионе) сейсмических событий с магнитудой более 2.5–3. При этом в береговой зоне эти процессы могут повлиять на устойчивость береговых, особенно свайных сооружений (причалы, эстакады, погрузочно-разгрузочные комплексы, коммуникации и т.п.), а также спровоцировать опасную активизацию экзогенных и техногенных геологических процессов.

Таким образом, абразионные процессы в береговой зоне Кольского залива проявлены слабо, вдоль-береговой поток наносов практически отсутствует. Значительную роль в динамике береговой зоны, особенно в кутовой части Кольского залива, играют приливно-отливные явления.



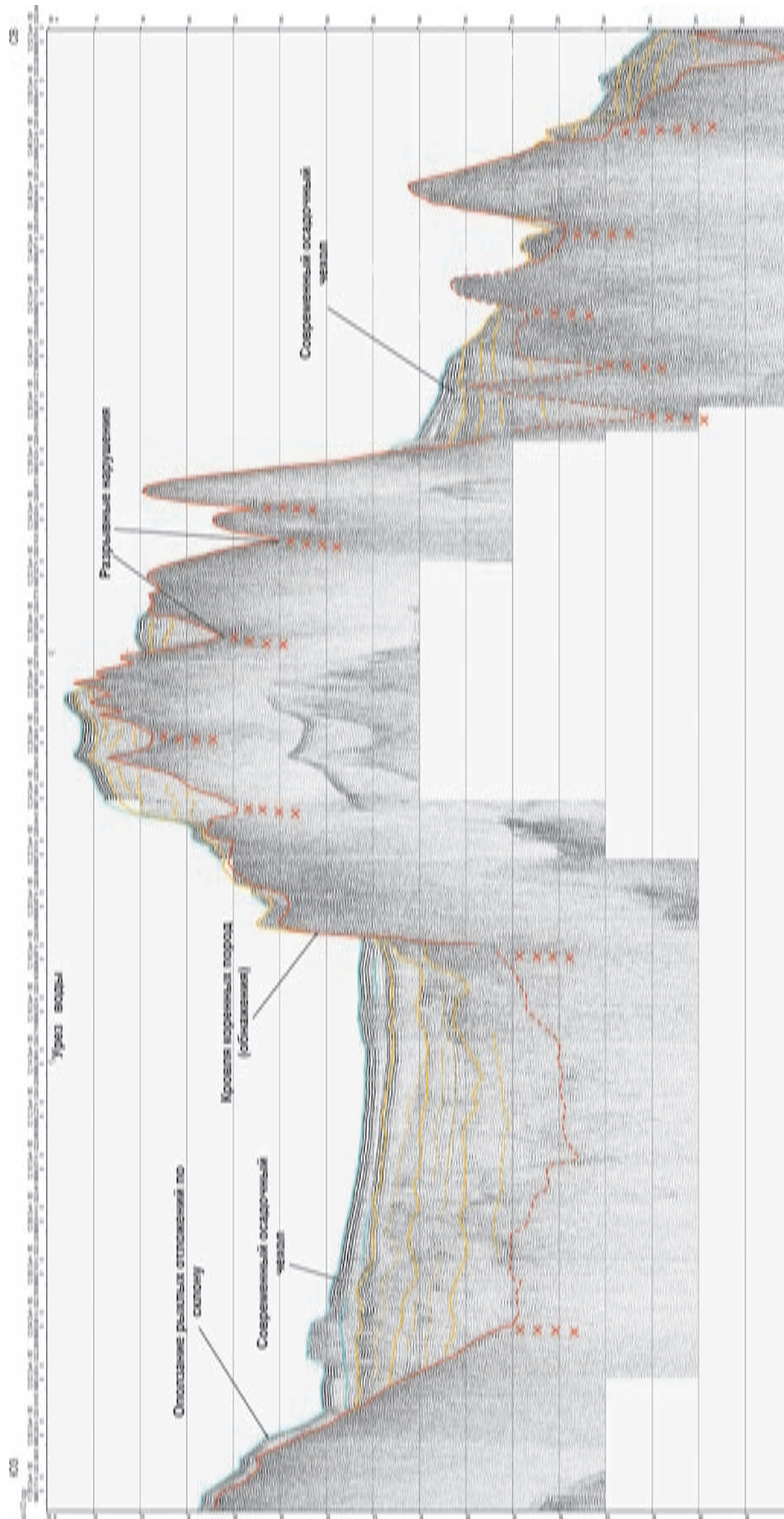


Рис. 10.3.6. Сейсмогеологический разрез по профилю вдоль акватории Кольского залива, Среднее колено (составил Кропачев Ю.П.)

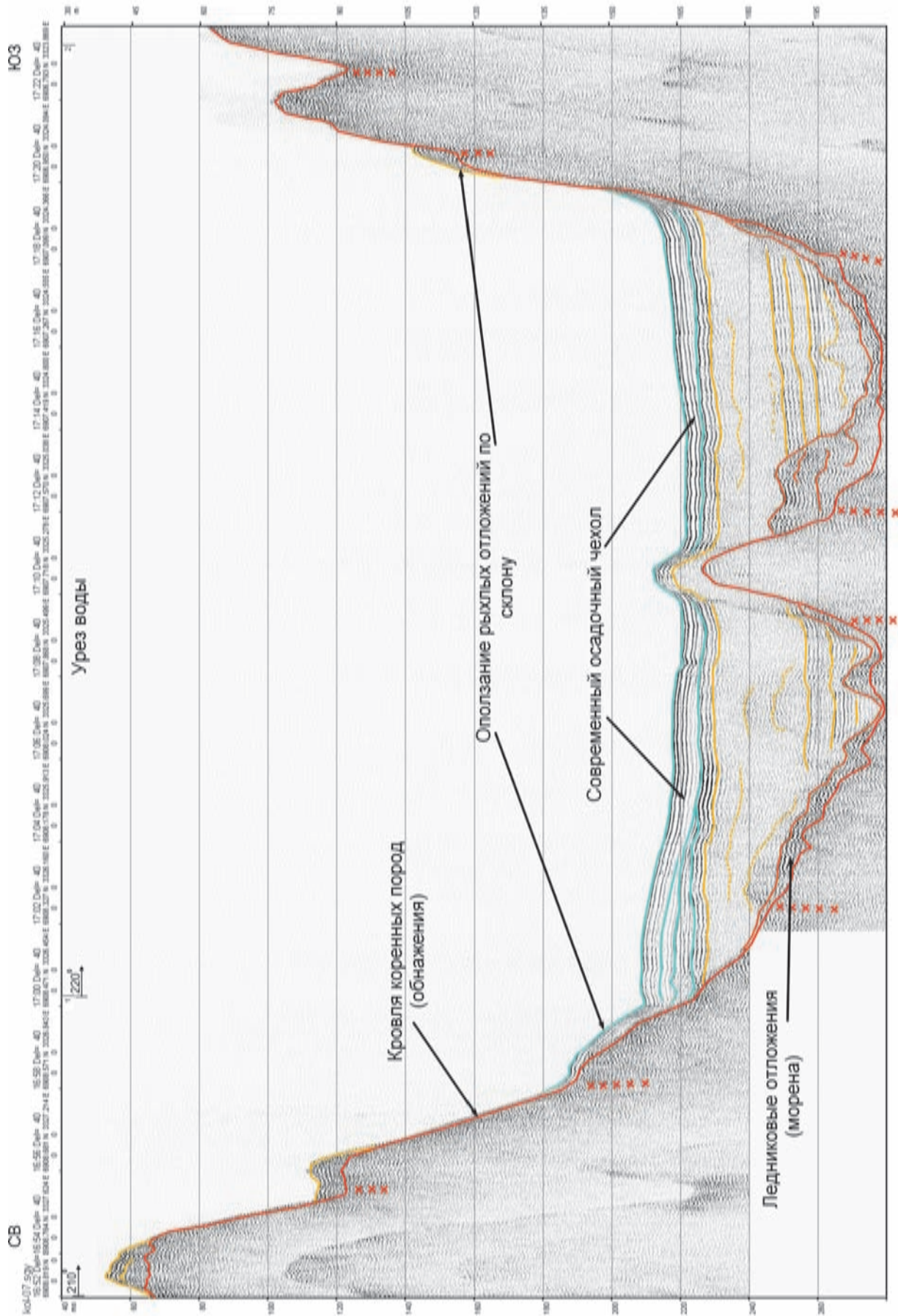


Рис. 10.3.7. Сейсмогеологический разрез по профилю в крест простирания крутого берегового склона, сложенного древними коренными породами, и проявлением оползневых процессов (составил Кропачев Ю.П.)



**Рис. 10.3.8.** Вид берега Кольского залива в районе мыса Сальный

Главную геологическую опасность в береговой зоне представляют гравитационные перемещения породных блоков и дезинтегрированного обломочного материала. Особым случаем проявления таких опасностей следует считать высокую вероятность сейсмических явлений с обвалами, оползнями, осовами и возможным затоплением берегов.

По результатам донного пробоотбора с учетом данных гранулометрического анализа и в зависимости от морфологических особенностей донного рельефа нами была построена литологическая схема поверхности дна Кольского залива (рис. 10.3.10). В общем виде в его пределах отмечаются три основных области пелитовой седиментации, приуроченные к южному, среднему и северному коленам. Они отделены друг от друга зонами песчано-глинистых и глинисто-песчаных алевритов, которые вблизи берегов обогащены песчаным и гравийным материалом.

Полученные результаты гранулометрического анализа показали, что наиболее широко распространены осадки поликомпонентного состава (рис. 10.3.11) вследствие близости областей сноса терригенного материала.

Кольский залив занимает особое место среди фьордов юго-восточной части Баренцева моря, в первую очередь, по степени вовлечения в хозяйственно-промышленную деятельность. На территории Мурманской области расположены три морских порта и объекты инфраструктуры Министерства обороны (базы Северного флота). В Мурманске базируется атомный ледокольный флот. Акватория залива и его берега являются объектами экстенсивного природопользования и зоной повышенной экологической загрязненности: сброса сточных промышленных и бытовых вод предприятий Мурманска и области, судоходства и военных ведомств [Кольский залив..., 2009].



**Рис. 10.3.9.** Вид западного берега Южного колена Кольского залива в районе Абрам-Пахта

Существенные преобразования прибрежной зоны связаны с проведением строительных, дноуглубительных и намывных работ. Так, в 1996 г. дноуглубительные работы у причалов порта Мурманска сопровождалась перемещением и захоронением в среднем колене залива 14 000 м<sup>3</sup> грунта. Перемещенный грунт в высокой степени загрязнен различными поллютантами, в том числе и нефтепродуктами, и приводит к вторичному загрязнению акватории [Кольский залив..., 1997]. По степени антропогенной нагрузки побережье Кольского залива сравнимо с индустриальными районами США, Канады, Германии. Однако загрязнение аквальных систем, испытывающих постоянную нагрузку от объектов оборонно-промышленного комплекса и населенных пунктов, может носить уже хронический характер, особенно в условиях Арктики, характеризующейся низким потенциалом самоочищения бореальных ландшафтов и их слабой устойчивостью к различным видам загрязнения. Это подтверждается высоким средним уровнем содержания вредных веществ в донных отложениях и природных водах Кольского залива [Кольский залив..., 2009].

Дополнительным источником загрязнения залива нефтепродуктами, металлоломом и другими твердыми отходами стали затонувшие или выброшенные на берег суда. В некоторых местах побережья образовались своего рода «кладбища кораблей» [Кольский залив..., 1997]. Накопление загрязняющих веществ в донных осадках и биоте, поступление их из атмосферы, с речными стоками, от предприятий и морских судов создают угрозу полной деградации экосистемы залива. Загрязнение морскими течениями извне не может существенно повлиять на баланс загрязнения, так как результирующий водообмен направлен в сторону открытого моря.

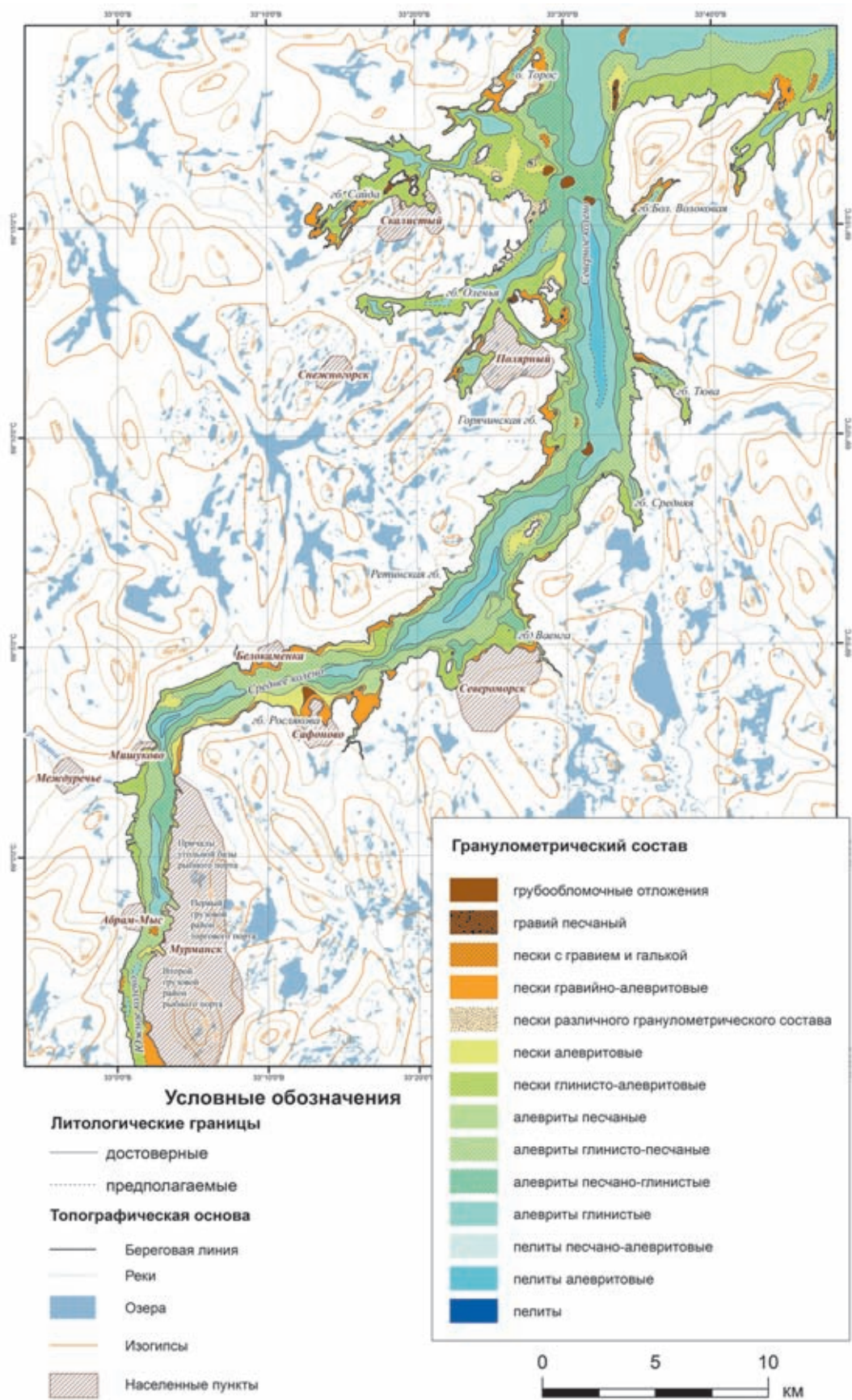
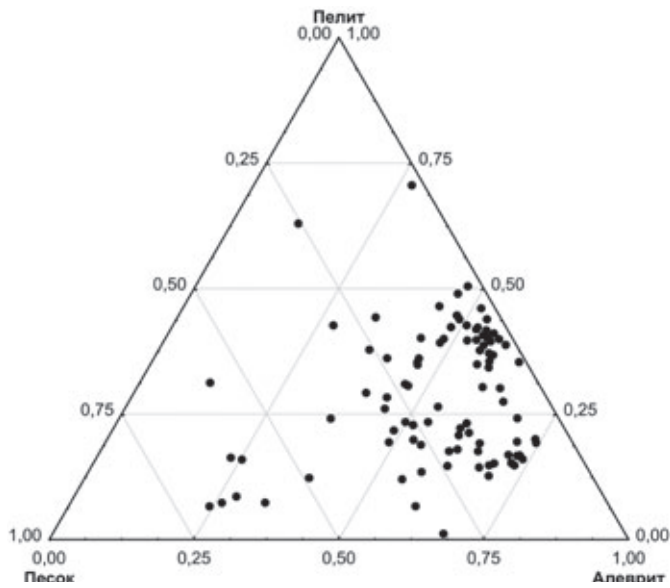


Рис. 10.3.10. Литологическая схема поверхности дна Кольского залива



**Рис. 10.3.11.** Диаграмма распределения проб осадков по гранулометрическим характеристикам (на данной диаграмме не нанесены пробы с явно выраженной грубообломочной составляющей)

Растущее антропогенное воздействие на береговую зону и морскую экосистему залива в последние годы стало вызывать большую тревогу. Наиболее угрожающим является сброс бытовых и промышленных стоков. Общий объем сточных вод по данным Комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды Мурманской области составляет более 50 млн м<sup>3</sup> в год [Доклад..., 2006, 2007, 2010]. В наиболее значительных количествах поступают взвешенные и органические вещества, нефтепродукты, жиры, тяжелые металлы, соединения фосфора и азота, что приводит к возникновению существенного накопленного экологического ущерба. По результатам наблюдений индекс загрязненности вод в Кольском заливе в районе торгового порта равен 2,17, что соответствует V классу качества вод – воды грязные [Доклад..., 2015].

Крупными загрязнителями являются ГОУП «Мурманскводоканал», МУП «Североморскводоканал», Филиалы «СРЗ “Нерпа”» и «35 СРЗ» ОАО «ЦС “Звездочка”», ОАО «82 СРЗ» п. Росляково, ОАО «Водоканал» г. Полярный, УМТЭП г. Полярный, ЗАТО «Александровск», ФГУП «Атомфлот» и ряд других предприятий [Доклад..., 2015]. Кроме организованного сброса, постоянный сброс различного типа загрязнения осуществляется с судов и в результате ливневых стоков.

Об антропогенной нагрузке на различные части акватории и прилегающей к ней суши можно судить по степени концентрации объектов промышленности, Министерства обороны, портовой инфраструк-

туры и нарушению природных ландшафтов, связанных с населенными пунктами (рис. 10.3.12). В то же время при проведении геоэкологических исследований следует разделять факторы техногенного (антропогенного) воздействия и признаки его проявления или последствия. Наличие фактора или процесса еще не является показателем самого воздействия, тем более его уровня, а лишь показателем потенциальной техногенной опасности или техногенного риска [Шахвердов, 2014а]. Показателем уровня антропогенной нагрузки служат прямые признаки или критерии. Безусловно, геохимические особенности донных осадков являются одним из важнейших прямых показателей состояния окружающей среды и оценки влияния на нее природных геологических и антропогенных процессов, объектов и явлений. Поэтому изучение закономерностей распределения и особенностей накопления химических элементов, в том числе опасных, в современных донных осадках Кольского залива имеет большое значение для выявления источников поступления поллютантов в акваторию и оценки уровня их концентрации в различных ее частях с целью районирования по степени экологической опасности.

Комплекс аналитических исследований включал: приближенно-количественный эмиссионный спектральный анализ (45 элементов); атомно-эмиссионный метод с индуктивно связанной плазмой (Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Ni, Co, Cr, Cd, As) и Hg; определение форм нахождения Cu, Zn, Pb, Ni, Co, Cr, Cd, As; определение содержания нефтепродуктов (суммарных).

Анализ геохимических проб на содержание в них химических элементов выполнялся в Центральной лаборатории ФГБУ «ВСЕГЕИ».

*Приближенно-количественный эмиссионный спектральный анализ* на 46 элементов (ПКЭСА). Применялся метод испарения из канала электрода, который предпочтителен для определения элементов с высокой упругостью пара. Минимальная аналитическая навеска составляла – 30 мг. Точность анализа соответствует V категории по ОСТ 41-08-212-82.

ПКЭСА эффективен как предшествующий (опережающий) для выбора оптимального количественного метода (оценки состава матрицы, уровня содержания интересующих элементов, наличия мешающих элементов и их содержания). Для более точного определения выбранных химических элементов (основных тяжелых металлов и токсичных элементов) дополнительно использовались методы анализа с большей чувствительностью и точностью.

*Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP MS)*. Метод многоэлементного анализа, в котором для десольватации, испарения,

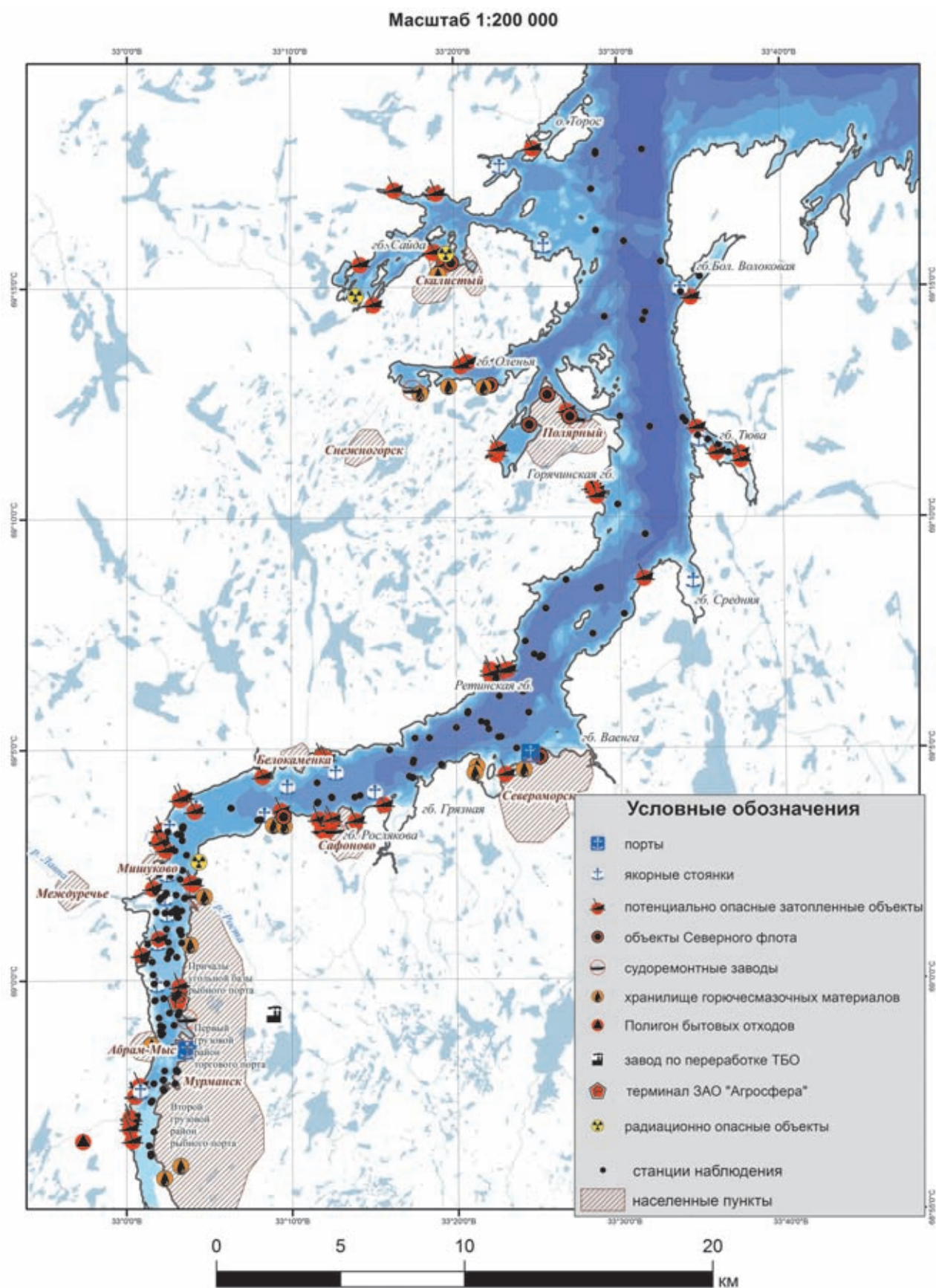


Рис. 10.3.12. Схема расположения опасных техногенных объектов в Кольском заливе

атомизации и ионизации пробы используется индуктивно-связанная плазма, а для детектирования и измерения количества ионов пробы – метод масс-спектрометрии. Применение современного программного обеспечения позволяет провести автоматический учет изобарических наложений и обеспечить пределы обнаружения элементов на уровне 0.0002–0.01 г/т в горных породах и на два порядка ниже – в воде. В настоящее время ICP MS, являясь мощным методом следового многоэлементного анализа, широко применяется в биологии и геохимии для решения широкого круга задач, в том числе, наиболее успешно – для определения редкоземельных и редких элементов, а также в поисковой геохимии и геоэкологии. Нами при определении Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Cd, Pb при пробоподготовке использовался способ «полного» разложения проб смесью концентрированных кислот и окислителей, который основан на реакциях взаимодействия компонентов пробы с кислотами с образованием солей, растворимых в разбавленной азотной кислоте. Процессу способствуют также те обстоятельства, что некоторые кислоты (азотная, хлорная) проявляют окислительные свойства, а плавиковая является одновременно комплексообразователем. В данном случае происходит почти полное удаление силикатной части пробы в результате образования летучего соединения – тетрафторида кремния. Хлорная кислота способствует также вытеснению фторид-иона из образующегося нерастворимого в воде фторида кальция, что обеспечивает более полное переведение кальция в раствор.

При подготовке проб для определения As применялся способ их разложения «царской водкой». Он основан на тех же принципах, что метод «полного» разложения, однако, в данном случае возможно лишь частичное переведение в раствор большинства компонентов. Силикатная часть при этом не разлагается, что приводит к занижению значений для породообразующих элементов. Основное преимущество данного способа разложения – снижение пределов обнаружения элементов, в нашем случае мышьяка, что важно в связи с часто низким его содержанием в пробах.

Анализ подготовленных растворов проводился методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на «Agilent 7700х» с использованием компьютерной программы обработки данных, включающей автоматический учет изотопных и молекулярных наложений на масс-спектральные аналитические линии определяемых элементов.

*Атомно-абсорбционный анализ.* Это метод анализа, в основе которого лежит явление избирательного поглощения (абсорбции) электромагнитного излучения атомами отдельных элементов. Для дис-

социации молекул пробы на свободные атомы используют пламена (пламенная атомная абсорбция) и графитовые печи различной конструкции (атомная абсорбция с электротермической атомизацией). В современных атомно-абсорбционных спектрометрах реализованы наилучшие способы коррекции фонового поглощения.

Для определения ртути применяется непламенный метод атомной абсорбции. Принцип разработки анализаторов для определения ртути основан на том, что ее пары при комнатной температуре находятся в атомном состоянии. Для разложения образцов и переведения соединений ртути в раствор применяется метод, предотвращающий потери этого легколетучего элемента. Используется навеска пробы в 1 г. Предел обнаружения ртути данным методом достигает 0.005 г/т.

*Флуориметрический метод анализа.* Для определения массовой концентрации нефтепродуктов (общих) на анализаторе жидкости «Флюорат-02» в донных осадках (нижний предел обнаружения 0.005 мг/г) применялась методика ПНД Ф 16.1.21-98. В пробах природной воды – ПНД Ф 14.1.2:4.128-98 (диапазон измеряемых концентраций – 0.005–50 мг/дм<sup>3</sup>).

Вопросы оценки экологически опасного уровня концентрации различных компонентов в почвах, и, особенно, в донных осадках недостаточно разработаны [Музалевский, 2003]. Поэтому для анализа пространственного распределения химических элементов в донных осадках Кольского залива применялась методика обработки данных, заключающаяся в генерализации основных свойств геохимического поля и выделении систематической и случайной (аномальной) составляющих. При этом под систематической составляющей геохимического поля подразумевается теоретическая доля содержания химического элемента в его суммарной концентрации в донных осадках и почвах, которая является функцией региональных естественно-генетических факторов. Случайная или аномальная составляющая связана с воздействием внешних или наложенных процессов и явлений как природных, так и техногенных. Цель геохимических исследований в Кольском заливе состояла в геохимическом районировании, определении фоновых характеристик и зон нарушения первичного геохимического фона, выявлении районов акватории с опасным уровнем загрязнения и его источников. Алгоритм решения сформулированных задач содержит несколько последовательных шагов и неоднократно рассматривался авторами ранее [Шахвердов, 1997, 1998, 20146; Шахвердов, Кулаков, 2004; Невская губа..., 2004].

Прежде чем перейти к рассмотрению полученных результатов, необходимо дать определение некоторых понятий, используемых в дальнейшем.

*Региональный фон.* Для его определения использовалось среднее гармоническое содержание химического элемента, рассчитанное по результатам анализа всех проб. Природа его расчета такова, что позволяет существенно снизить роль аномальных значений в ряду данных, поэтому значение среднего гармонического содержания, по нашему мнению, более объективно для оценки регионального фона по сравнению с другими показателями. Как показали проведенные ранее исследования [Шахвердов, 1998; Невская губа..., 2004; Шахвердов, Шахвердова, 2008; Информационный бюллетень..., 2014], применение среднего гармонического при геохимических исследованиях весьма эффективно.

*Геохимический район* – часть дна акватории, на которой совокупность объектов (станций опробования) по результатам иерархической кластеризации трендов содержания химических элементов в современных донных осадках относится к одному кластеру и характеризуется однородными геохимическими свойствами.

*Коэффициент дефицита/профицита*  $K_{dp}$ :  $K_{dp} = C_{\text{гари}}/C_{\text{гар}}$  (при  $C_{\text{гари}} > C_{\text{гар}}$ ),  $K_{dp} = -C_{\text{гар}}/C_{\text{гари}}$  (при  $C_{\text{гари}} < C_{\text{гар}}$ ), где  $C_{\text{гар}}$  – среднее гармоническое содержание элемента в современных осадках Кольского залива (региональный фон), а  $C_{\text{гари}}$  – среднее гармоническое содержание элемента в современных осадках  $i$ -го района. То есть в случае избытка содержания элемента в районе относительно фона коэффициент имеет положительное значение, а при недостатке – отрицательное.

*Суммарный коэффициент концентрации* определяется как сумма частных коэффициентов концентрации элементов в точке наблюдения (станции) относительно фона в единицах стандартного отклонения содержания соответствующего элемента от фона ( $\delta$ ) с коэффициентом концентрации более  $2\delta$ .

Для геохимического районирования дна акватории залива использовались результаты приближенно-количественного эмиссионного спектрального анализа (ПКЭСА) проб донных осадков, отобранных авторами в 2001 г. (рейс № 1) и в 2011 г., выполненные в центральной лаборатории ВСЕГЕИ. Общее количество станций опробования, вовлеченных в обработку, составило около 140 (рис. 10.3.12). Причем аналитические данные по южному колену Кольского залива были выделены в отдельную выборку, что позволило провести более детальное районирование дна этой наиболее экологически напряженной части акватории. Для определения фоновых характеристик, генерализации

основных свойств регионального геохимического поля и выделения систематической составляющей в распределении исследуемых переменных (содержания элементов в современных осадках) применены программы тренд-анализа и факторного анализа. Распределение систематической составляющей геохимического поля (трендов содержания химических элементов) может быть описано всего двумя факторами, сумма которых составляет практически 100%. Для залива в целом: первый фактор (F1) – 61.83%, второй фактор (F2) – 38.16%, а для южного колена: первый фактор (f1) – 50.2%, второй фактор (f2) – 49.8%.

Анализ распределения факторных нагрузок показал, что структура систематической составляющей геохимического поля в региональном плане, прежде всего, определяется лито-динамическими процессами современного осадконакопления и геологическим строением береговой зоны Кольского залива. Об этом свидетельствует преимущественный вес первого фактора (F1), вектор которого направлен вдоль оси Кольского залива от положительных значений у выхода из залива к отрицательным в его кутовой части. С изменением первого фактора связаны тренды содержания целого ряда петрогенных элементов. Выделяются две ассоциации. Первая связана положительно: Li (0.98), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.84), Be (0.75), вторая – отрицательно: Sc (-0.97), Y (-0.97), MnO (-0.95), Yb (-0.92), Zr (-0.91), Sr (-0.87), Ba (-0.80). Подобные ассоциации свидетельствуют о высокой роли кислых и умеренно кислых пород обрамления Кольского залива в формировании современных осадков за счет процессов механической дифференциации обломочного материала. В то же время наличие отрицательной связи с первым фактором трендов содержаний таких элементов, как Cr (-1.0), Cu (-1.0), Zn (-0.98), Ni (-0.96), Co (-0.80) и Pb (-0.76), свидетельствует, в том числе, об их связи с процессами пелитового осадконакопления.

Вектор второго фактора (F2) направлен от восточного берега залива к западному, что может указывать на различия в особенностях геологического строения берегов. А наличие положительной связи со вторым фактором трендов TiO<sub>2</sub> (0.99), V (0.99), MgO (0.98), Sn (0.96), Nb (0.89) и Be (0.66) говорит об их связи с позднеархейскими кислыми и щелочными биотитовыми гранитами и мигматит-гранитами восточного берега. При этом отрицательная связь с меньшим уровнем достоверности Pb (-0.65) и Co (-0.60) со вторым фактором может указывать на возможность участия техногенных процессов в формировании региональной геохимической зональности донных осадков.

В южном колене Кольского залива фактором, влияющим на характер распределения химических эле-



ментов в современных донных осадках, вероятно, становится активное антропогенное воздействие. На это указывает поперечное к оси залива направление первого фактора ( $f_1$ ), с которым связаны тренды содержаний таких элементов, как Cu (-1.0), Mn (-0.98), Mo (-0.96), Ag (-0.96), Be (-0.96), Sn (-0.91), Zn (-0.88) и в меньшей степени Pb (-0.68). Распределение второго фактора ( $f_2$ ) свидетельствует о существенном влиянии на характер распределения систематической составляющей геохимического поля в пределах южного колена источников вещества, расположенных в районе мыса Мишуков и устья реки Лавна.

Следствием указанных природных и антропогенных процессов, особенно в южном колене, является геохимическое районирование дна акватории. В результате обработки геохимических данных с использованием предложенного алгоритма в пределах акватории Кольского залива выделено девять районов. Их нумерация проведена с юга на север (рис. 10.3.13).

Предложенная методика позволяет привлекать для геохимических исследований самый массовый и недорогой приближенно-количественный эмиссионный спектральный анализ. Выделенные районы характеризуются разным содержанием химических элементов и их ассоциациями. Однако следует иметь в виду, что целью методики является собственно районирование, а не определение точных уровней концентрации химических элементов в осадках. Поэтому для более надежной геохимической характеристики районов, выделенных по данным ПКЭСА, и сравнительного анализа их геохимических особенностей использовались данные масс-спектрометрического анализа с индуктивно-связанной плазмой (ICP MS), которые были получены в период с 2001 по 2015 гг. В обработку было включено более 200 проб.

Как показывает опыт наших исследований, наиболее универсальными индикаторами техногенных процессов являются тяжелые металлы. Они присутствуют практически во всех промышленных и бытовых стоках, сопровождают свалки, зоны дампинга и захоронения оружия. Кроме того, многие тяжелые металлы имеют высокую биологическую активность и достаточно легко попадают в трофические цепи. Для целей анализа геохимической специализации выделенных районов было выбрано девять элементов, наиболее распространенных и принимающих активное участие в антропогенных процессах и явлениях и, что особенно важно, в биокосных взаимодействиях: Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb и Hg. Обобщение аналитических данных многолетних исследований позволило оценить региональный фон современных донных отложений Кольского залива по этим элементам (табл. 10.3.1).

Сравнение полученных результатов с данными по другим акваториям северо-запада России показывает, что современные осадки Кольского залива характеризуются высокой фоновой концентрацией целого ряда химических элементов [Информационный бюллетень..., 2015]. Так, полученные нами фоновые концентрации (среднее гармоническое содержание) таких элементов, как Zn, Ni и Pb (табл. 10.3.1), существенно превышают средние концентрации (среднее арифметическое содержание) аналогичных элементов в осадках Баренцева моря, особенно в наиболее загрязненном районе 3, где среднее гармоническое содержание Pb почти в 8 раз, Zn в 4 раза, Ni в 1.5 раза выше их средней концентрации в осадках Баренцева моря [Иванов, 2006]. При этом следует учитывать, что среднее гармоническое содержание обычно ниже среднего арифметического, рассчитываемого для одного и того же массива данных.

Выделенные геохимические районы отличаются содержанием химических элементов и их ассоциациями. Отличия и геохимическая специализация районов отчетливо видны при сопоставлении значений коэффициента дефицита/профицита (табл. 10.3.1, рис. 10.3.14), который иллюстрирует уровень средней концентрации элемента в геохимическом районе относительно его фона в современных донных осадках залива в целом.

Результаты многолетних исследований показали, что районы (1–4), расположенные в южном и, отчасти, среднем коленах, характеризуются наиболее высоким коэффициентом дефицита/профицита по ряду элементов техногенной ассоциации. Причем, за счет более высокой точности данных ICP MS она проявляется в значительно более отчетливом виде, чем в случае анализа данных ПКЭСА, особенно для Pb, Hg, Zn, Cu и Cd. На этом фоне выделяется район 3, для которого отмечена наиболее широкая ассоциация химических элементов с повышенной концентрацией. В нее входят химические элементы I (Pb, Zn, Hg, Cd) и II (Cu) классов опасности. Вероятно, химическое загрязнение прибрежной части в районе 3 связано с базированием морских судов в этой части акватории, свалкой в районе устья реки Лавны, а также отсутствием очистных сооружений в расположении гарнизона ВМФ на мысе Мишуков. Также необходимо отметить, что во всех районах южного колена наблюдается повышенное содержание ртути, а также свинца (за исключением района 2). Обращает на себя внимание высокий уровень среднего гармонического содержания Cd в осадках в районе 8, а также Cd и Hg в районе 9, приуроченных к устью губ Сайда и Оленья, где расположены базы атомных подводных лодок, хранилище реакторных отсеков и завод по их утилизации.

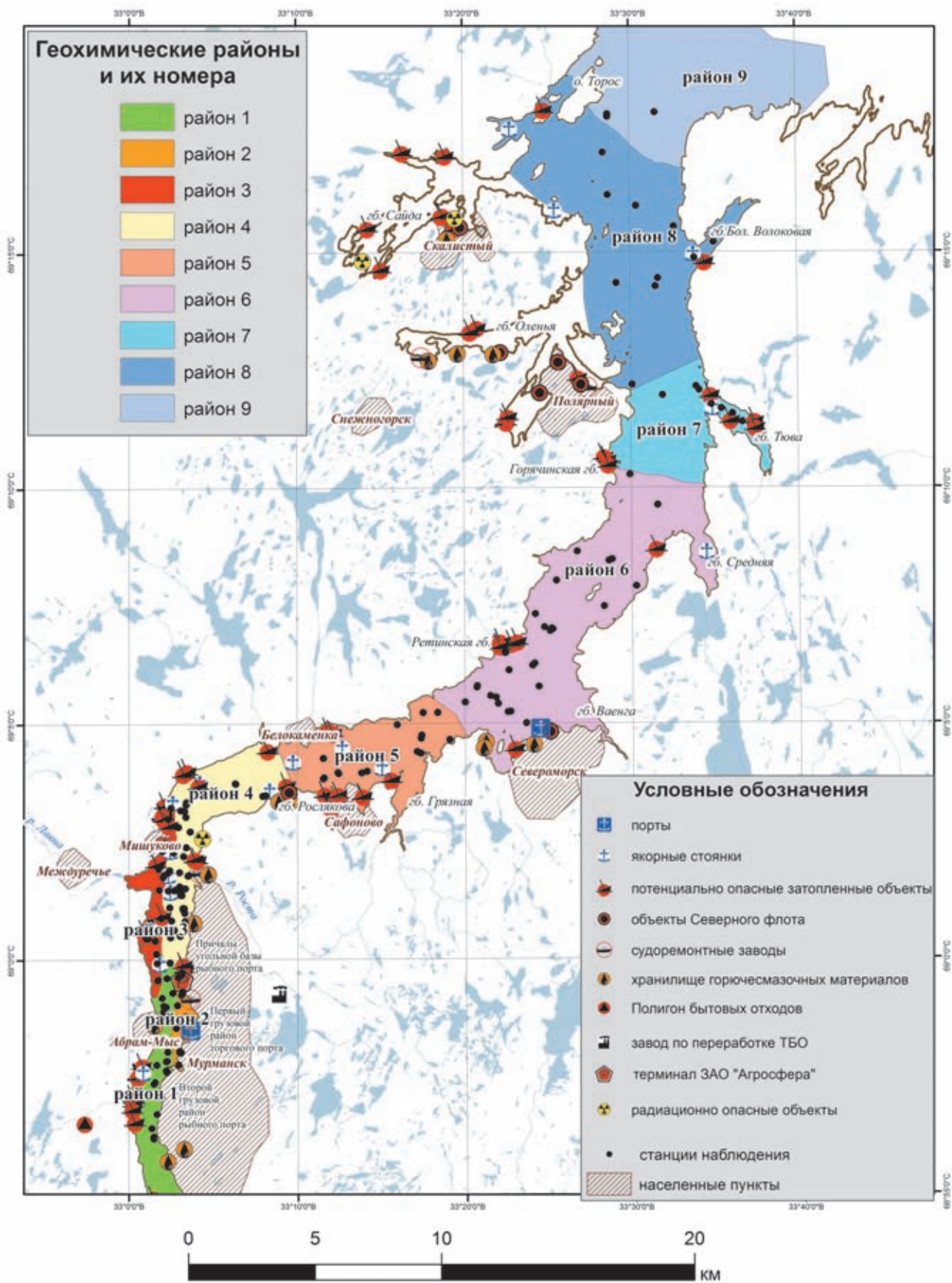


Рис. 10.3.13. Схема геохимического районирования Кольского залива. Масштаб 1:200 000

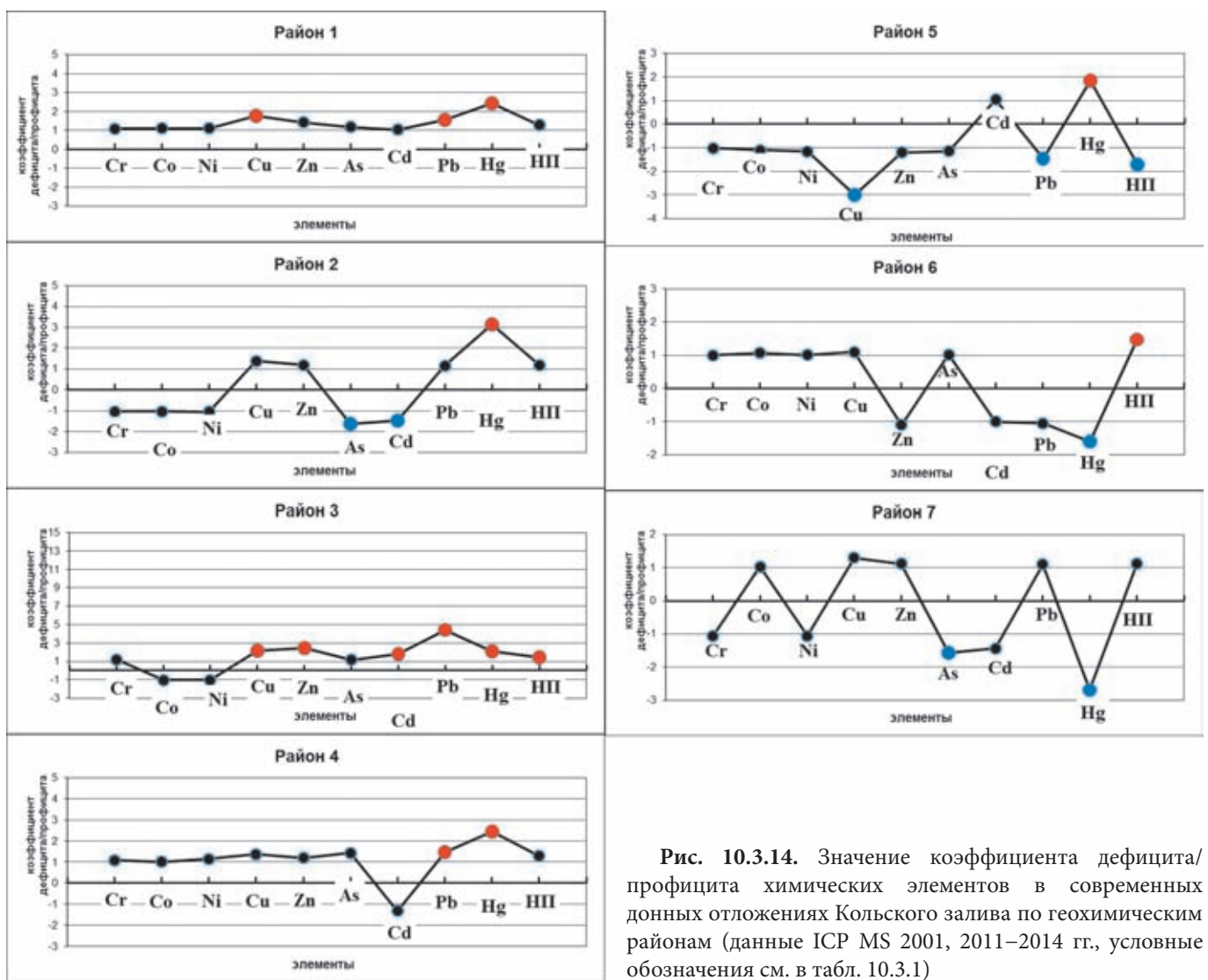


Рис. 10.3.14. Значение коэффициента дефицита/профицита химических элементов в современных донных отложениях Кольского залива по геохимическим районам (данные ICP MS 2001, 2011–2014 гг., условные обозначения см. в табл. 10.3.1)

Локализация зон загрязнения выполнена по результатам анализа нормированных к фону содержаний элементов в современных донных осадках (рис. 10.3.15). Эти зоны в южном колене тяготеют к причальным сооружениям Мурманска и поселка Минькино, в среднем колене – к ремонтным базам Северного флота в Росляково и Сафоново, главной базе Северного флота в Североморске, а также к участку акватории к северу от мыса Мишуков, в северном колене – к участку акватории к северу от мыса Крестовый.

Таким образом, в результате многолетнего мониторинга определены районы акватории с наиболее высокими концентрациями химических элементов: поселок Минькино – база флота МАГЭ (Cd, Pb, Cu, Zn), поселок Росляково (Hg, Pb, Cu, Zn) и район Первого грузового района рыбного порта (Cu, Zn, Pb, Hg, Cd). Уровни концентрации химических элементов в донных осадках этих районов Кольского

залива определены по данным ICP MS в соответствии с классификацией Норвежского агентства по контролю загрязнения окружающей среды (SFT) [Molvær et al., 1997]. Большинство из изученных химических элементов в современных донных осадках содержится в концентрациях, соответствующих «умеренному» уровню загрязнения. Содержания Hg в ряде случаев достигают «явного», а Pb и Cd «сильного» уровня загрязнения. Кроме того, пелиты в пределах южного колена загрязнены As в «умеренной» степени.

Важнейшим видом исследований с точки зрения геоэкологического мониторинга является изучение форм нахождения химических элементов в современных донных осадках Кольского залива. Именно формы нахождения химических компонентов в донных осадках во многом определяют дальнейшие пути их миграции и ту опасность, которую они могут представлять для окружающей среды. В основе исследо-

вания лежат химические методы фазового анализа, заключающиеся в применении последовательной обработки проб разными экстрагентами и выделении различных форм нахождения химических элементов из твердого скелета донных осадков [Кузнецов, Шимко, 1990; Разенкова, Филиппова, 1984] и последующим определением их содержания в выделенных фазах методом ICP-MS:

1-я фаза: водорастворимые;

2-я фаза: сорбированные;  
3-я фаза: связанные с битумными органическими веществами;  
4-я фаза: связанные с гумусовыми органическими веществами;  
5-я фаза: связанные с карбонатными соединениями;  
6-я фаза: связанные с гидроксидами и оксидами железа и марганца;  
7-я фаза: труднорастворимые.

**Таблица 10.3.1.** Характеристика современных донных отложений Кольского залива по геохимическим районам

Район	Среднее гармоническое содержание элементов, ppm (ICP MS)									
	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg	Нефтепродукты
1	165.1	17.8	70.7	81.0	196.6	12.6	0.271	72.3	0.203	2.067
2	147.0	15.6	61.9	63.9	167.6	6.6	0.177	54.6	0.262	1.919
3	184.8	15.7	63.5	98.6	338.4	12.4	0.474	207.8	0.173	2.344
4	165.2	16.1	74.2	63.0	165.7	15.4	0.199	68.9	0.204	2.083
5	149.2	14.4	55.6	15.3	116.2	9.4	0.269	32.2	0.155	0.946
6	152.5	17.2	65.0	50.5	127.4	10.9	0.261	45.0	0.053	2.375
7	144.8	16.5	61.5	59.9	156.0	6.9	0.183	51.9	0.031	1.824
8	134.9	15.1	63.0	47.5	117.5	8.4	1.152	30.5	0.027	0.627
9	93.6	7.5	37.0	30.8	64.8	0.0	1.880	19.4	0.188	0.456
Региональный фон	152.1	16.0	64.0	45.9	139.4	10.8	0.261	47.0	0.084	1.615
Коэффициент дефицита/профицита по районам										
1	1.1	1.1	1.1	<b>1.8</b>	1.4	1.2	1.0	<b>1.5</b>	<b>2.4</b>	1.3
2	-1.0	-1.0	-1.0	1.4	1.2	<b>-1.6</b>	<b>-1.5</b>	1.2	<b>3.1</b>	1.2
3	1.2	-1.0	-1.0	<b>2.1</b>	<b>2.4</b>	1.2	<b>1.8</b>	<b>4.4</b>	<b>2.1</b>	<b>1.5</b>
4	1.1	1.0	1.1	1.4	1.2	1.4	-1.3	<b>1.5</b>	<b>2.4</b>	1.3
5	-1.0	-1.1	-1.2	<b>-3.0</b>	-1.2	-1.1	1.0	<b>-1.5</b>	<b>1.9</b>	<b>-1.7</b>
6	1.0	1.1	1.0	1.1	-1.1	1.0	-1.0	-1.0	<b>-1.6</b>	<b>1.5</b>
7	-1.1	1.0	-1.1	1.3	1.1	<b>-1.6</b>	-1.4	1.1	<b>-2.7</b>	1.1
8	-1.1	-1.1	-1.0	1.0	-1.2	-1.3	<b>4.4</b>	<b>-1.5</b>	<b>-3.1</b>	<b>-2.6</b>
9	<b>-1.6</b>	<b>-2.1</b>	<b>-1.7</b>	-1.5	<b>-2.2</b>	—	<b>7.2</b>	<b>-2.4</b>	<b>2.3</b>	<b>-3.5</b>

**Примечание.** Красным цветом выделены элементы с высоким значением коэффициента дефицита/профицита (1.5 и более), синим – с низким (-1.5 и менее).

По соотношению различных форм в донных осадках Кольского залива химические элементы могут быть объединены в четыре группы. Первую составляют Co, Ni и Cr (табл. 10.3.2). Эти элементы преимущественно находятся в осадках в труднорастворимой и связанной с гидроксидами и оксидами Mn и Fe формах, причем для Cr труднорастворимая форма

является преимущественной. Доля остальных форм незначительна.

Вторую группу химических элементов составляют Pb, Cu, Zn, и Cd (табл. 10.3.2). Для них ведущей является форма, связанная с гидроксидами и оксидами Mn и Fe. В тоже время эти элементы отличаются по относительному содержанию дру-

Масштаб 1:200 000

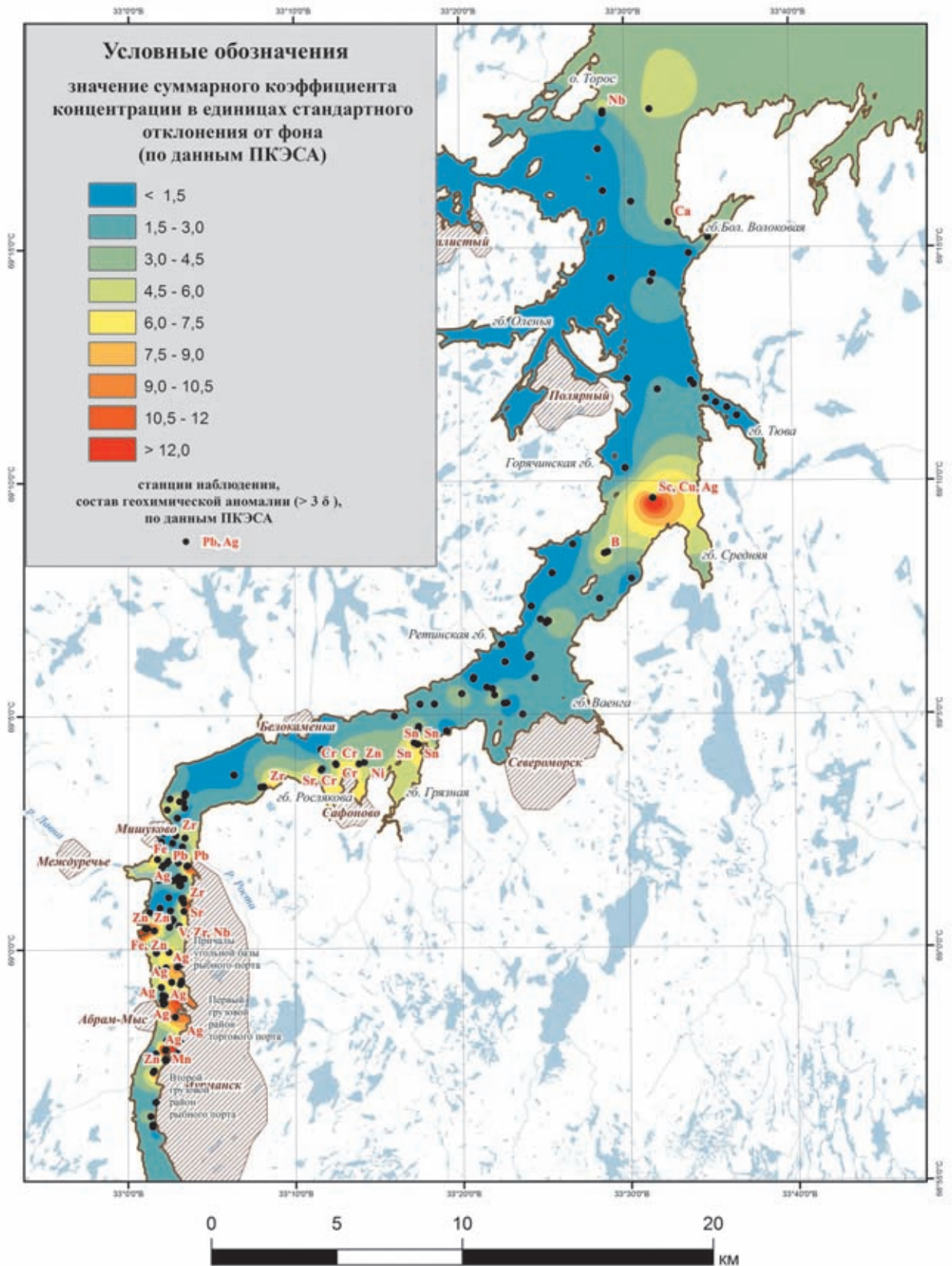


Рис. 10.3.15. Схема распределения суммарного коэффициента концентрации химических элементов в современных донных отложениях Кольского залива. Масштаб 1:200 000

гих форм. Так, для свинца это труднорастворимые формы и формы, связанные с гумусовым органическим веществом. Основное увеличение общей

концентрации свинца в донных осадках определяется формами, связанными с гидроксидами и оксидами Mn и Fe.

**Таблица 10.3.2.** Среднее арифметическое содержание различных форм нахождения химических элементов в современных осадках Кольского залива, в % от общего содержания

Фаза	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Cd	Pb
1	0.1	0.3	0.4	0.8	0.6	1.8	0.8	2.0	0.6
2	0.0	0.2	0.2	0.1	12.0	0.2	2.9	9.1	0.1
3	0.1	0.2	0.2	0.8	0.6	0.6	0.3	2.8	0.6
4	5.9	1.1	3.9	23.0	17.7	49.2	0.4	7.7	14.3
5	1.6	3.0	2.8	1.4	2.2	8.9	0.9	2.1	1.7
6	38.7	50.8	50.2	54.4	49.9	23.2	15.9	39.9	62.7
7	53.6	44.5	42.4	19.5	16.9	16.1	78.8	36.4	20.0

Для меди важными являются формы, связанные с гумусовым органическим веществом. Необходимо отметить, что с ростом относительного содержания этой формы отмечается и увеличение общей концентрации меди в осадках. При этом содержание труднорастворимых форм существенно не меняется. Для цинка, так же как и для меди, кроме форм, связанных с гидроксидами и оксидами Mn и Fe, значительная доля связана с гумусовым органическим веществом. Причем, преимущественно за счет форм 4-й фазы происходит увеличение общей концентрации цинка в современных осадках. В то же время достаточно высока доля и сорбированной формы. Для кадмия важнейшей, наравне с труднорастворимой, является как сорбированная, так и форма, связанная с гумусовым органическим веществом.

Совершенно иной характер имеет соотношение различных форм As в общем содержании в осадках (табл. 10.3.2). Основной является форма, связанная с гумусовым органическим веществом. Важную роль играют формы, связанные с гидроксидами Fe и Mn, а также труднорастворимые и карбонатные. При этом довольно заметную долю составляют формы, подвижные в современных гидрохимических условиях, в том числе воднорастворимые. Таким образом, можно предполагать, что As обладает наиболее опасными в условиях Кольского залива свойствами с точки зрения вероятности вторичного загрязнения, вследствие чего может легко вовлекаться в миграционные процессы и попадать в трофические цепи.

Для Sr доля труднорастворимых форм существенно преобладает над остальными (табл. 10.3.2), в ряде случаев достигая 80% и более. Значительно ниже в среднем доля связанных с гидроксидами и оксидами Mn и Fe и сорбированных форм. Большая доля

в осадках труднорастворимых соединений Sr и Cr, может свидетельствовать о существенной роли в их миграции процессов механического переноса.

Проведенные исследования по изучению форм нахождения химических элементов в современных осадках Кольского залива показали, что для таких элементов, как As, Cu, Zn, Pb характерна высокая доля форм, связанных с гумусовым органическим веществом. В связи этим, для них весьма вероятно образование металлоорганических комплексов, которые обладают высокой устойчивостью, мобильностью и биологической активностью. Кроме того, большая доля таких элементов, как Zn, Cd, Sr и Cu находится в осадках в легкоподвижных формах и без труда может попадать в трофические цепи. Таким образом, изучение форм нахождения химических элементов в современных донных осадках позволяет предполагать высокую вероятность вторичного загрязнения акватории при изменении физико-химических условий процессов осадконакопления.

Возросшая транспортная нагрузка на морские и озерные акватории северо-запада Российской Федерации, в особенности связанная с транспортировкой нефти и освоением шельфа, увеличивает риски возникновения аварийных ситуаций, что может привести к угрозе нефтяного и химического загрязнения. Именно поэтому северо-запад России стал территорией проявления комплекса экологических проблем, а проблема масштабного техногенного воздействия на аквальные и береговые геосистемы становится здесь приоритетной в области взаимоотношения человека с окружающей средой.

Наши исследования показали, что формирование транспортной инфраструктуры и связанное с этим увеличение нагрузки на природную среду береговых

зон сопровождаются существенным увеличением концентрации гексанрастворимых нефтепродуктов (НП) в современных донных осадках и природных водах [Шахвердов, Шахвердова, 2008, 2014] наравне с другими поллютантами – тяжелыми металлами и токсичными химическими соединениями. Таким образом, нефтяное загрязнение вносит существенный вклад в загрязнение окружающей среды, а концентрация НП в различных средах может служить индикатором антропогенных процессов. Распределения НП в основных компонентах аквальных и береговых геосистем (донных осадках, почвах и природных водах) становится ведущим элементом системы экологического контроля и количественной оценки антропогенного воздействия. Учитывая вышесказанное, нами рассмотрены особенности распределения НП в современных донных осадках Кольского залива. Массовая концентрация НП определялась на анализаторе «Флюорат-02-2М». Аналитические данные по содержанию НП получены в ходе работ ВСЕГЕИ по мониторингу состояния геологической среды, начиная с 2001 г. Кроме того, были привлечены данные, полученные специалистами ОАО «Севморгео». Всего в обработку было включено около 200 определений массовой концентрации НП в образцах донных осадков.

Обобщенные данные многолетних наблюдений показали, что донные осадки Кольского залива характеризуются самой высокой на северо-западе России фоновой концентрацией гексанрастворимых нефтепродуктов (среднее гармоническое – 1.615 мг/г) (табл. 10.3.1), в то время как фоновая концентрация НП в донных осадках региона в целом по нашим расчетам составляет 0.032 мг/г [Шахвердов, Шахвердова, 2014]. Это еще одно свидетельство аномально высокого уровня техногенного воздействия на геосистему залива. Концентрация НП в современных донных осадках меняется в широком диапазоне значений в зависимости от положения в пределах акватории. На рис. 10.3.16 представлена характеристика выделенных в Кольском заливе геохимических районов по среднему гармоническому содержанию НП в донных осадках и доле проб, содержание в которых превышает региональный фон относительно общего числа проб в выборке по соответствующему району. Проведенные исследования показали, что наиболее высокой средней гармонической концентрацией НП и долей аномальных проб характеризуются районы, расположенные в южном колене, а также район 6 в среднем колене с главной базой Северного флота в Североморске.

Для определения гидрохимических особенностей водной толщи Кольского залива по разрезам были проведены измерения электропроводности (солено-

сти), температуры, pH и скорости звука. Применялся мультипараметрический зонд STD90M. Результаты электрохимического исследования могут быть представлены в виде профиля, построенного по данным зондирования, расположенного близко к осевой линии залива и простирающегося с юга на север залива (рис. 10.3.17–10.3.20). Анализ полученного профиля показывает, что практически по всем измеренным электрохимическим параметрам водной толщи выделяется поверхностный слой природных вод, характеризующийся резко отличными свойствами по сравнению со всей остальной толщей. Мощность этого слоя составляет около 5–6 м. На его нижней границе происходит резкое изменение температуры (с 9°C до 6°C) (рис. 10.3.17) и солености воды (с 18 до 30‰) (рис. 10.3.18), что говорит о наличии здесь совмещенного термо- и галоклина. Далее вниз по глубине отмечается постепенное изменение температуры до 3–4°C и, в меньшей степени, солености до 33–34‰. С севера на юг наблюдается распреснение поверхностного слоя, которое, вероятно, связано со стоком рек Колы и Туломы (рис. 10.3.18). Зона галоклина характеризуется наиболее высокой скоростью звука (рис. 10.3.19). Причем в слое распреснения в пределах Южного колена скорость звука снижается, а звукопроводящий слой в этой области акватории исчезает.

Воды выше термо-галоклина характеризуются меньшей щелочностью по сравнению с расположенными ниже него. Кроме того, ниже термо-галоклина

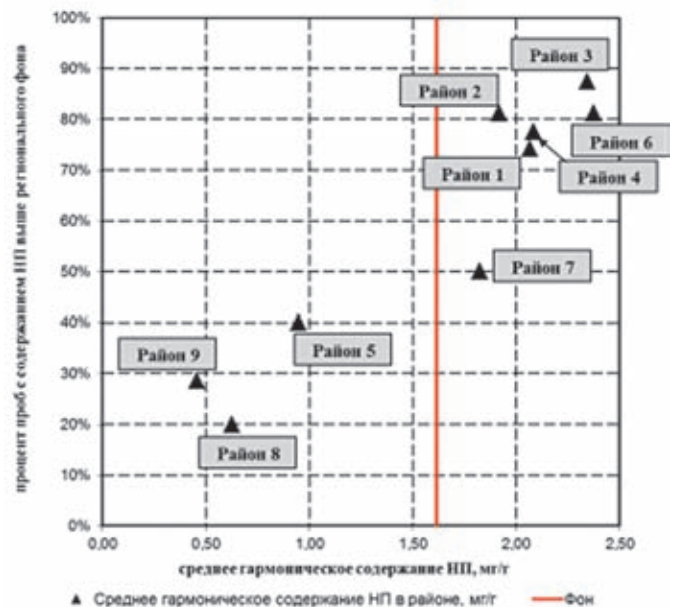


Рис. 10.3.16. Характеристика современных донных отложений геохимических районов Кольского залива по содержанию гексанрастворимых НП

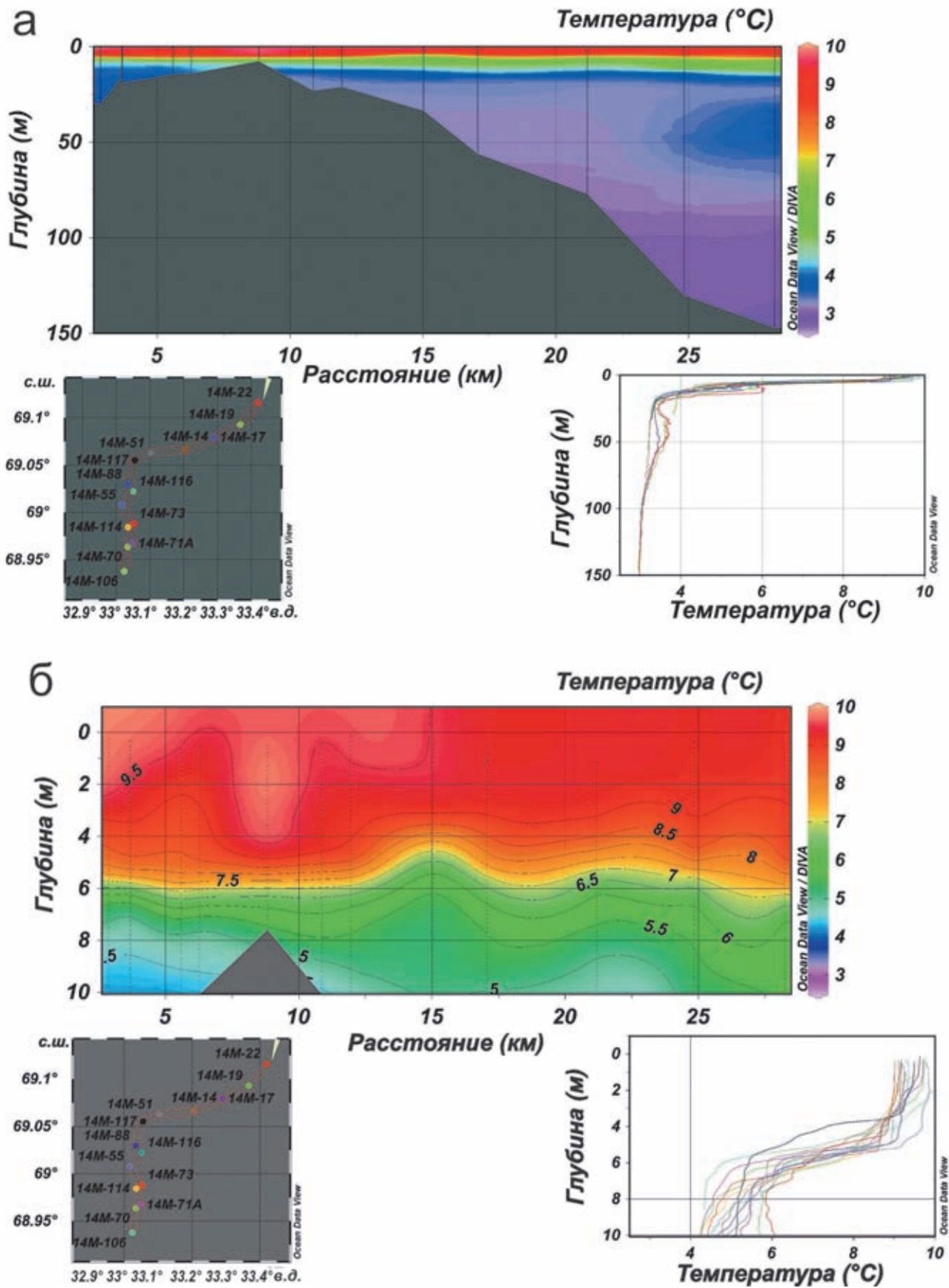


Рис. 10.3.17. Распределение температуры воды по разрезу через Южное и Среднее колена Кольского залива: а – на всю глубину, б – в поверхностном слое 10 м



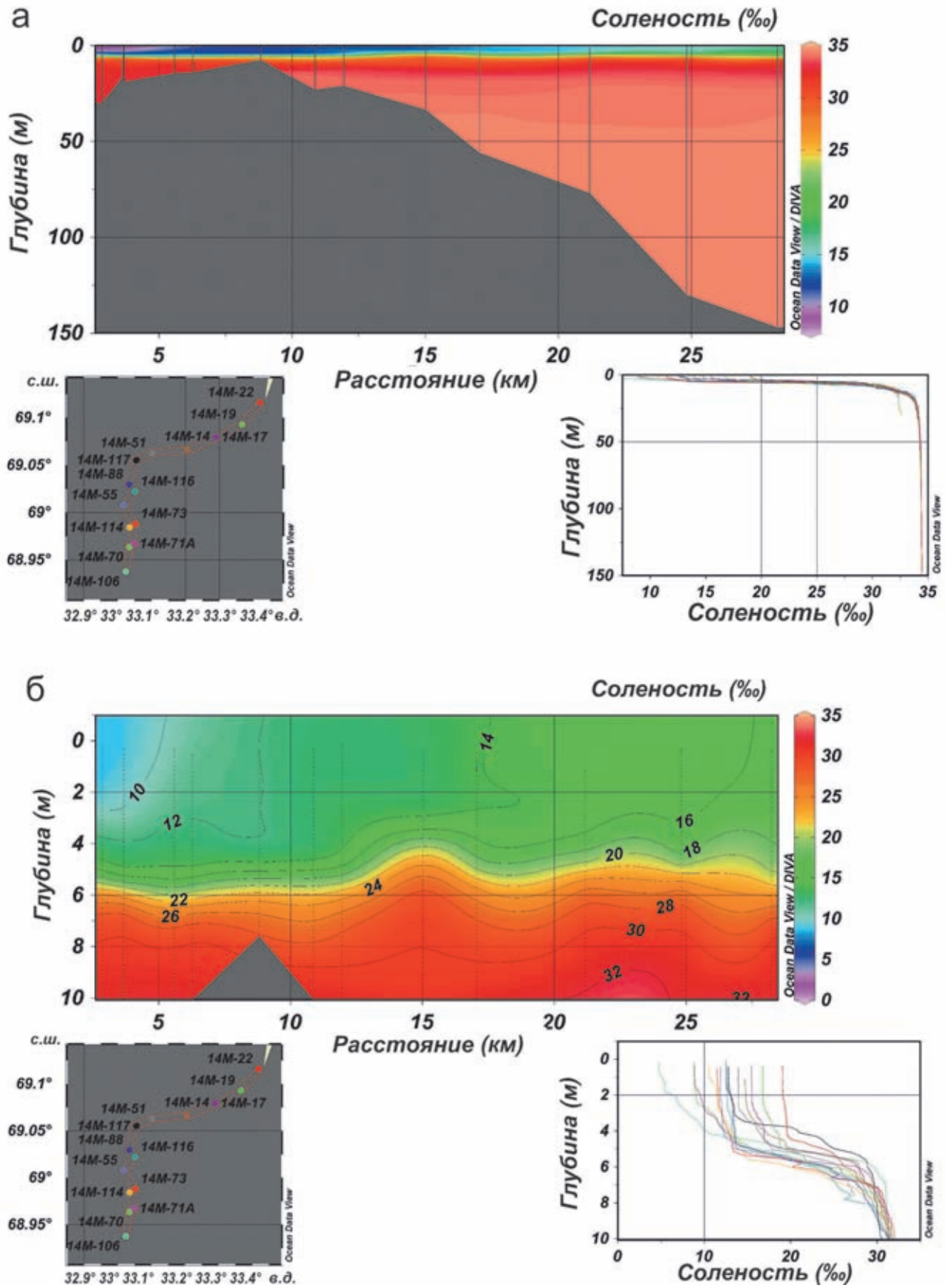


Рис. 10.3.18. Распределение солености воды по разрезу через Южное и Среднее колено Кольского залива: а – на всю глубину, б – в поверхностном слое 10 м

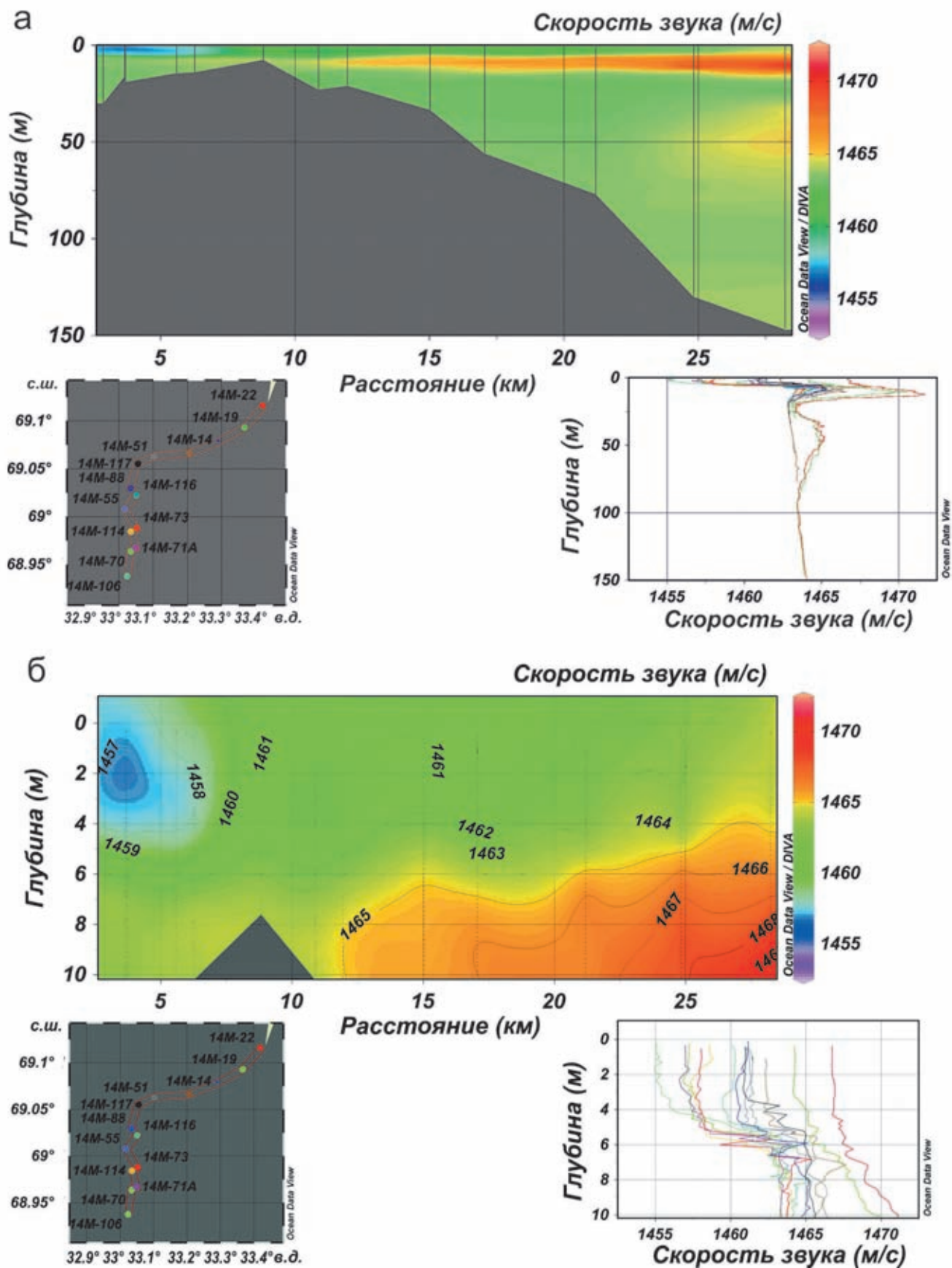


Рис. 10.3.19. Распределение скорости звука в воде по разрезу через Южное и Среднее колена Кольского залива: а – на всю глубину, б – в поверхностном слое 10 м

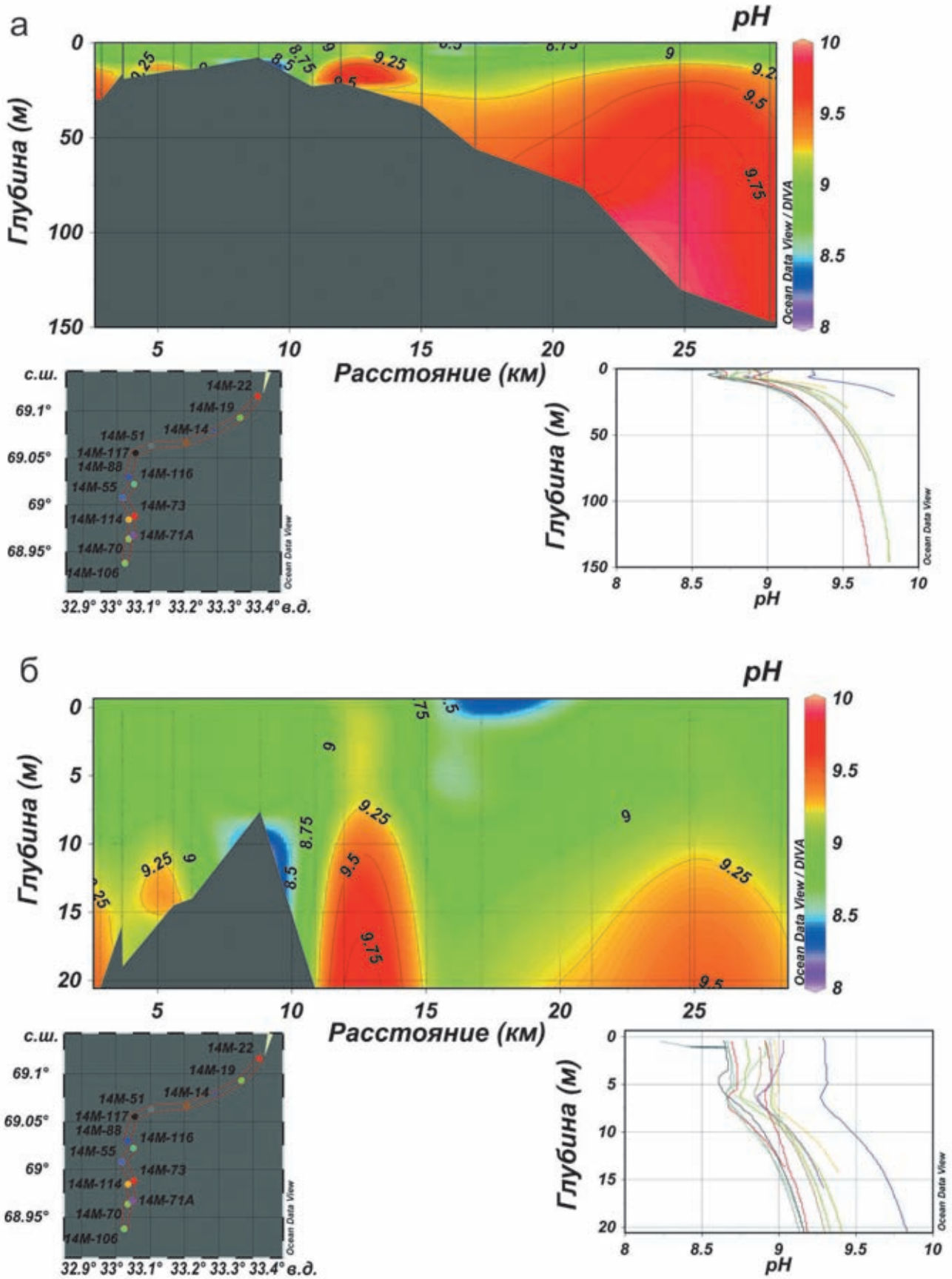


Рис. 10.3.20. Распределение pH воды по разрезу через Южное и Среднее колено Кольского залива: а – на всю глубину, б – в поверхностном слое 20 м

(рис. 10.3.20) наблюдаются локальные области увеличения щелочности вод. Их положение приурочено к устью р. Лавны, объектам портовой инфраструктуры, а также к области акватории на траверсе базы СФ в г. Североморске. По нашему мнению, повышение щелочности вод в этих случаях, скорее всего, может быть связано с антропогенным фактором, а именно, деятельностью объектов ВМФ и стоком загрязненных и коммунальных вод.

В процессе работ были проведены исследования по изучению особенностей строения поверхности морского дна. Для этих целей применялась гидролокация бокового обзора (ГЛБО) и подводная телевизионная съемка. На подводных участках береговой зоны, благоприятных для применения ГЛБО, наряду с общей характеристикой донных образований (распределение поверхностных осадков, определение выходов коренных пород) (рис. 10.3.21, а), выявлены потенциально опасные затопленные объекты, в частности затопленные суда. Так в пределах полигона в районе мыса Мишуков были обнаружены два затопленных судна и определены их параметры. Первое в точке с координатами: нос –  $69^{\circ}03.678'$  с. ш. и  $33^{\circ}04.175'$  в. д., корма –  $69^{\circ}03.616'$  с. ш. и  $33^{\circ}04.120'$  в. д. (WGS-84) длиной около 120 м, шириной ~20 м и максимальной высотой над дном ~15 м (рис. 10.3.22, а). Второе в точке с координатами: нос –  $69^{\circ}03.432'$  с. ш. и  $33^{\circ}02.799'$  в. д., корма –  $69^{\circ}03.401'$  с. ш. и  $33^{\circ}02.760'$  в. д. (WGS-84) длиной ~65 м, шириной ~10 м и максимальной высотой над дном ~4 м (рис. 10.3.22, б). Кроме того, в точке с координатами  $69^{\circ}00.5933'$  с. ш.  $33^{\circ}02.9393'$  в. д. обнаружена затонувшая баржа длиной около 17 м (рис. 10.3.21, в). Кроме затопленных объектов на записях ГЛБО на поверхности дна отчетливо видны борозды от судовых якорей (рис. 10.3.21, б), подводные свалки (рис. 10.3.21, в) и объекты портовой инфраструктуры (рис. 10.3.21, г).

Наши геофизические исследования показали, что проведение ГЛБО наиболее эффективно и результативно в частях акватории с возможной высокой концентрацией затопленных потенциально опасных техногенных объектов, а также для оценки состояния дна в районах с развитой портовой инфраструктурой. В то же время в условиях резкого изменения глубин, которое отмечено в северном и на большей части среднего колена Кольского залива, применение ГЛБО не целесообразно в связи с существенным ухудшением качества сонограмм из-за сложной морфологии донного рельефа.

Обследование поверхности дна в районах портовых сооружений с помощью подводного телевизионного аппарата показало, что локально поверхность

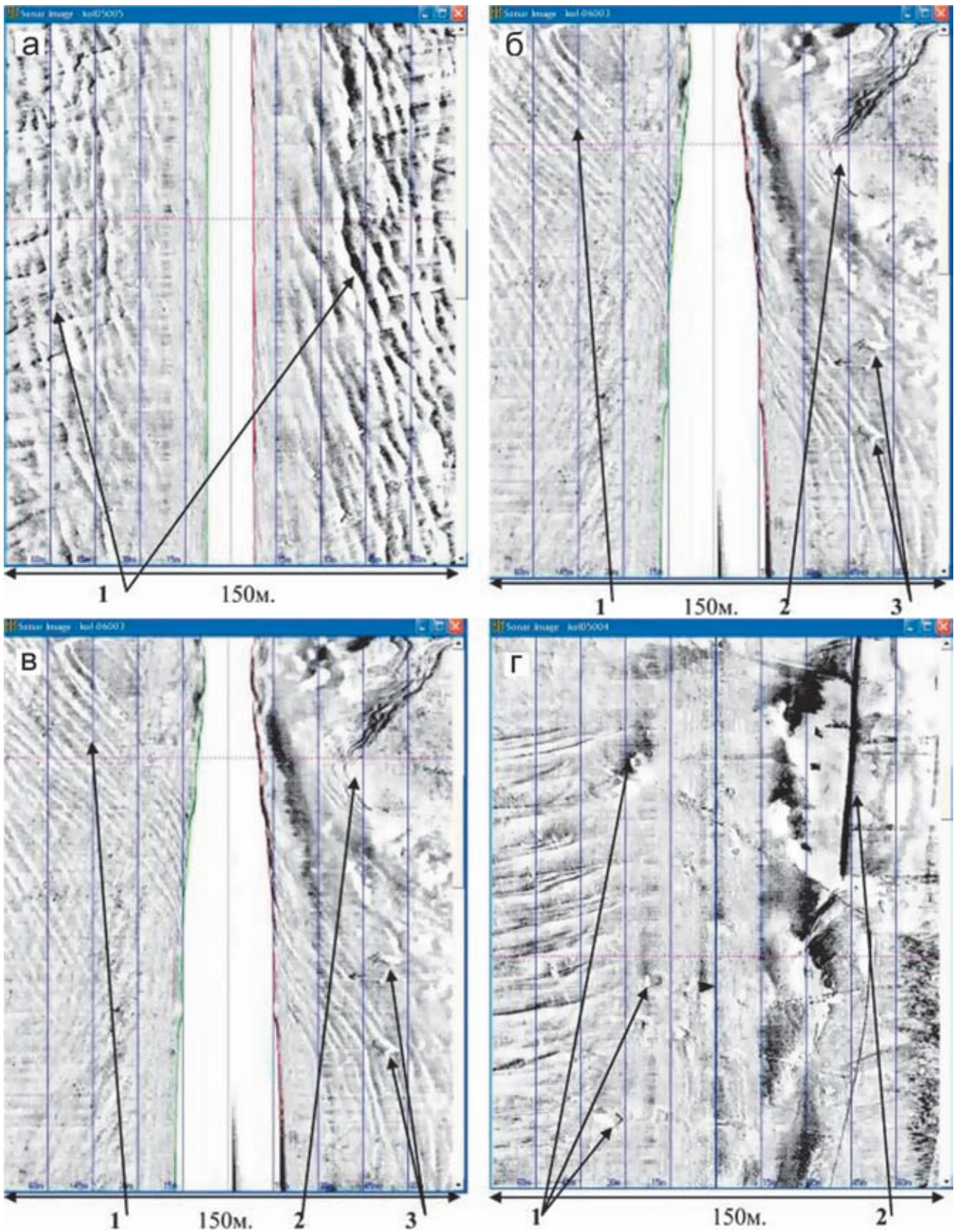
дна, даже на глубинах более 10 м, практически полностью покрыта техногенным мусором. В то же время среди него в большом количестве наблюдаются представители зообентоса (рис. 10.3.23), что может указывать на высокую степень аэрации водной толщи в прибрежной зоне.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, проведенный анализ эколого-геологической обстановки в Кольском заливе показал, что высокая концентрация объектов Министерства Обороны и степень его вовлеченности в хозяйственно-промышленную деятельность приводят к возникновению существенного накопленного экологического ущерба. Исследования показали, что вопросы оценки состояния геологической среды и уровня антропогенной нагрузки могут быть решены в основном в результате анализа прямых признаков и критериев оценки. Геохимические особенности донных осадков являются одним из важнейших прямых показателей состояния окружающей среды и определения влияния на нее природных геологических и антропогенных процессов, объектов и явлений.

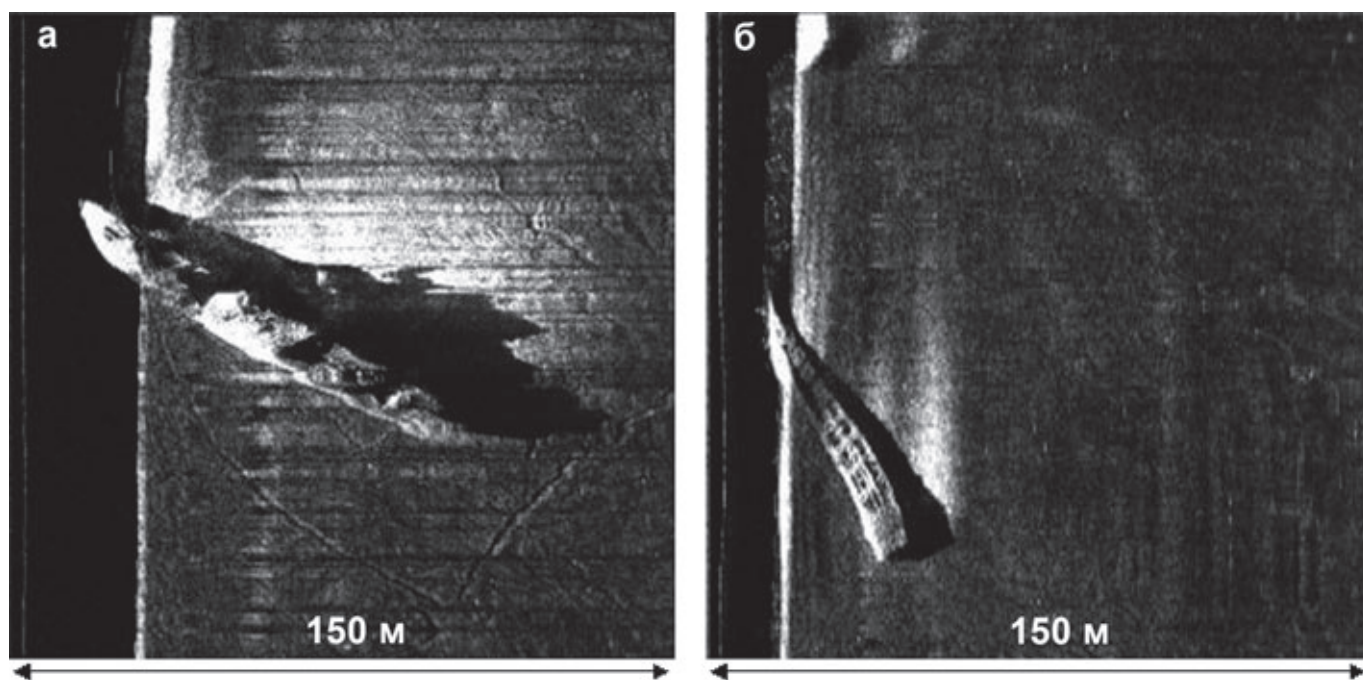
В результате анализа фоновых геохимических характеристик поверхностных донных отложений Кольского залива было определено, что современные донные осадки на северо-западе России характеризуются наиболее высокой концентрацией, в том числе опасных химических элементов и соединений. Изучение закономерностей распределения химических элементов в современных донных осадках показало, что их концентрации связаны как с природными, так и с антропогенными факторами. На основе геохимических исследований было проведено районирование дна акватории Кольского залива, а также определены уровни концентрации ряда химических элементов в выделенных геохимических районах. Это позволило определить районы акватории с наиболее высоким содержанием химических элементов в современных донных осадках и наиболее высоким уровнем накопленного экологического ущерба.

Результаты многолетних исследований свидетельствуют о высокой относительной концентрации Cu, Zn, As, Cd, Pb и Hg в районах акватории, связанных с наиболее активной хозяйственной деятельностью, примыкающих к терминалам рыбного и торгового портов, местам базирования судов и рейдовым стоянкам в южном колене Кольского залива. Высокие значения коэффициента дефицита/профицита по целому ряду элементов техногенной ассоциации указывают на связь этих элементов с техногенными процессами. Обращает на себя внимание высокий уровень среднего гармонического содержания Cd и Hg в



**Рис. 10.3.21.** Фрагменты сонограмм поверхности дна Кольского залива (южное колено):

а – выходы коренных пород; б – устье реки Лавна: 1 – конусы выноса, 2 – линия берега, затопливаемая во время прилива, 3 – техногенные объекты; в – участок дна: 1 – борозды судовых якорей, 2 – затонувшая баржа; г – участок дна в районе Мурманского порта: 1 – бетонные блоки, 2 – край плавучего дока



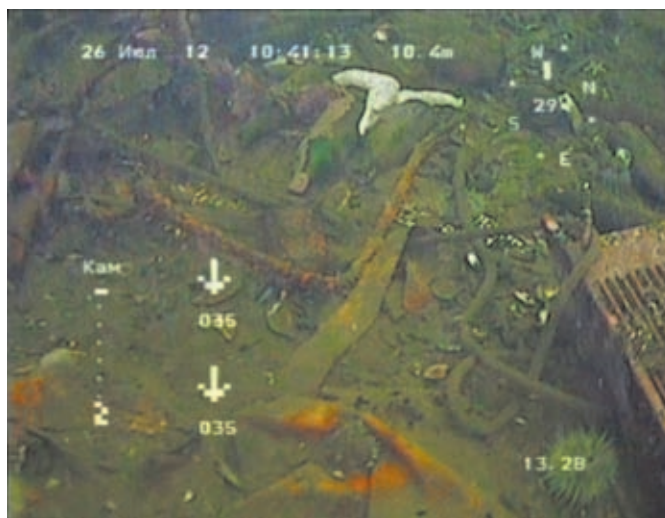
**Рис. 10.3.22.** Фрагменты сонограмм поверхности дна Кольский залив (мыс. Мишуков):

а – затопленное судно, точка с координатами: нос –  $69^{\circ}03.678'$  с. ш.  $33^{\circ}04.175'$  в. д., корма: –  $69^{\circ}03.616'$  с. ш. и  $33^{\circ}04.120'$  в. д. (WGS-84);  
 б – затопленное судно в точке с координатами: нос –  $69^{\circ}03.432'$  с. ш. и  $33^{\circ}02.799'$  в. д., корма: –  $69^{\circ}03.401'$  с. ш.,  $33^{\circ}02.760'$  в. д. (WGS-84)

осадках северного колена. Здесь аномальные концентрации Cd и Hg не сопровождаются повышением содержания других элементов, что свидетельствует об ином типе загрязнения и его источниках. Наиболее вероятной причиной повышенного содержания Cd и Hg в осадках является деятельность Северного флота. К сожалению, остаются недоступными для изучения закрытые районы акватории.

Загрязнение акватории нефтепродуктами связано с интенсивной портовой деятельностью и функционированием Северного флота. Наименьшей концентрацией НП характеризуются районы, расположенные в северной части Кольского залива, имеющие непосредственную связь с Баренцевым морем.

Дополнительные опасности и риски связаны с таким природным геологическим фактором, как гравитационные перемещения горных пород, что может спровоцировать возникновение аварийных ситуаций на объектах береговой инфраструктуры и должно учитываться при планировании их строительства.



**Рис. 10.3.23.** Фотография поверхности дна у причала базы флота ОАО «МАГЭ», глубина 10.4 м, координаты:  $69^{\circ}00.470'$  с. ш. и  $33^{\circ}01.160'$  в. д. (WGS-84)