

## Оценка современного геоэкологического состояния Кольского залива по геохимическим данным

В. А. Шахвердов<sup>1</sup>, кандидат геолого-минералогических наук,

М. В. Шахвердова<sup>2</sup>

ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург

*Обобщены данные по геохимии современных донных осадков Кольского залива. Определены их фоновые геохимические характеристики. Сравнение полученных данных свидетельствует о том, что современные донные отложения в Кольском заливе характеризуются наиболее высокой на северо-западе России концентрацией химических элементов. Выполнено геохимическое районирование дна акватории залива и дана характеристика различных районов по содержанию в донных осадках Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg и гексанрастворимых нефтепродуктов. Полученные геохимические данные показывают, что на особенности распределения химических элементов влияют активная хозяйственная деятельность в пределах южного колена Кольского залива, а также функционирование Главной базы Северного флота России.*

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

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 Мурманской области, судоходства и военных ведомств [5].

Существенные преобразования прибрежной зоны связаны с проведением строительных, дноуглубительных и намывных работ. Так, в 1996 г. дноуглубительные работы у причалов порта Мурманск сопровождались 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 [4]. 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 [5].

Дополнительным источником загрязнения залива нефтепродуктами, металломомом и другими твердыми отходами стали затонувшие или выброшенные на берег суда. В некоторых местах побережья Кольского залива образовались своего рода «кладбища кораблей», насчитывающие в общей сложности более 70 единиц [4]. Накопление загрязняющих веществ в донных осадках и биоте, поступление их из атмосферы, с речными стоками, от предприятий и морских судов создают угрозу полной деградации

<sup>1</sup> e-mail: vshakh@mail.ru.

<sup>2</sup> e-mail: vshakh@mail.ru.

экосистемы залива. Рассматривая Кольский залив, следует также учитывать возможность загрязнения морскими течениями извне. Однако это едва ли может существенно повлиять на баланс загрязнения, так как результирующий водообмен направлен в сторону открытого моря.

Об антропогенной нагрузке на различные части акватории и прилегающей к ней суши можно судить по степени концентрации объектов промышленности, Министерства обороны, портовой инфраструктуры и нарушению природных ландшафтов, связанных с населенными пунктами (рис. 1). 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 [8]. 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.

Вопросы оценки экологически опасного уровня концентрации различных компонентов в почвах, и особенно в донных осадках, недостаточно разработаны [1]. 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 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 [6; 7; 9; 10; 11].

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 [3; 6; 7; 13], 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  $K_{dp}$ :*  $K_{dp} = C_{i, гар} / C_{i, гар}$  (при  $C_{i, гар} > C_{i, гар}$ ),  $K_{dp} = -C_{i, гар} / C_{i, гар}$  (при  $C_{i, гар} < C_{i, гар}$ ), где  $C_{i, гар}$  — среднее гармоническое содержание элемента в современных осадках Кольского залива (региональный фон), а  $C_{i, гар}$  — 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* определялся 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 $\delta$ .

Основная сеть станций опробования в Кольском заливе была заложена в результате совместно проведенных исследований ОАО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция» (МАГЭ) и ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ) в 2001 г. и 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. В дальнейшем авторами была выполнена оптимизация сети опробования с целью получения геохимических данных по наиболее проблемным частям акватории Кольского залива, в основном в южном колене. Для геохимического районирования дна акватории залива использовались результаты приближенно-количественного

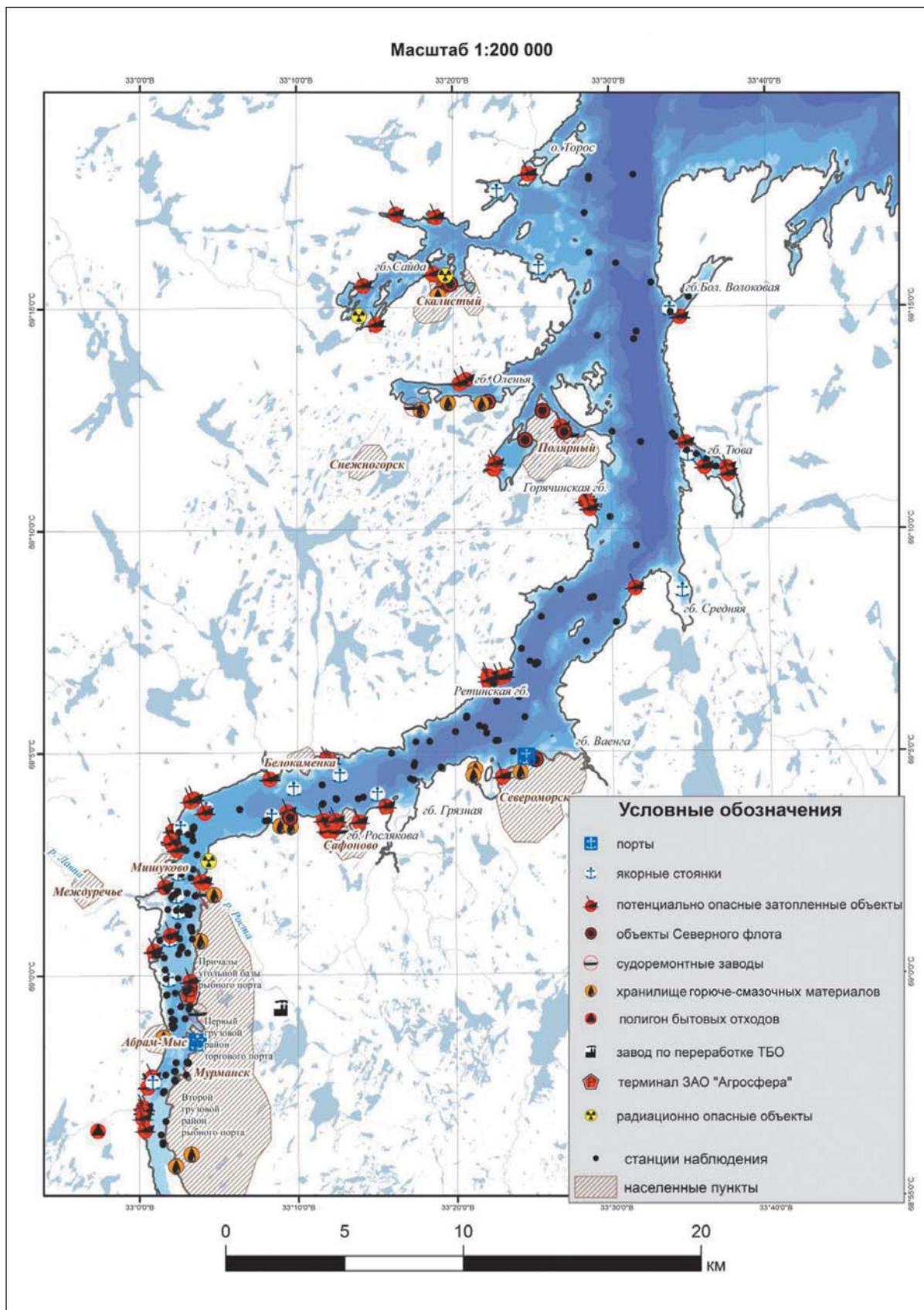


Рис. 1. Схема расположения опасных техногенных объектов. Кольский залив

эмиссионного спектрального (ПКЭСА) анализа проб донных осадков, отобранных авторами в 2001 г. (рейс № 1) и в 2011 г., выполненного в центральной лаборатории ВСЕГЕИ. Общее количество станций опробования, вовлеченных в обработку, составило около 140 (см. рис. 1). 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 в формировании региональной геохимической зональности в донных осадках и техногенных процессов.

В южном колене Кольского залива фактором, влияющим на характер распределения химических элементов в современных донных осадках, вероятно, становится активное антропогенное воздействие. На это указывает поперечное к оси залива направление первого фактора (f1), 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 (f2) 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. 2).

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 атомно-абсорбционного анализа (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

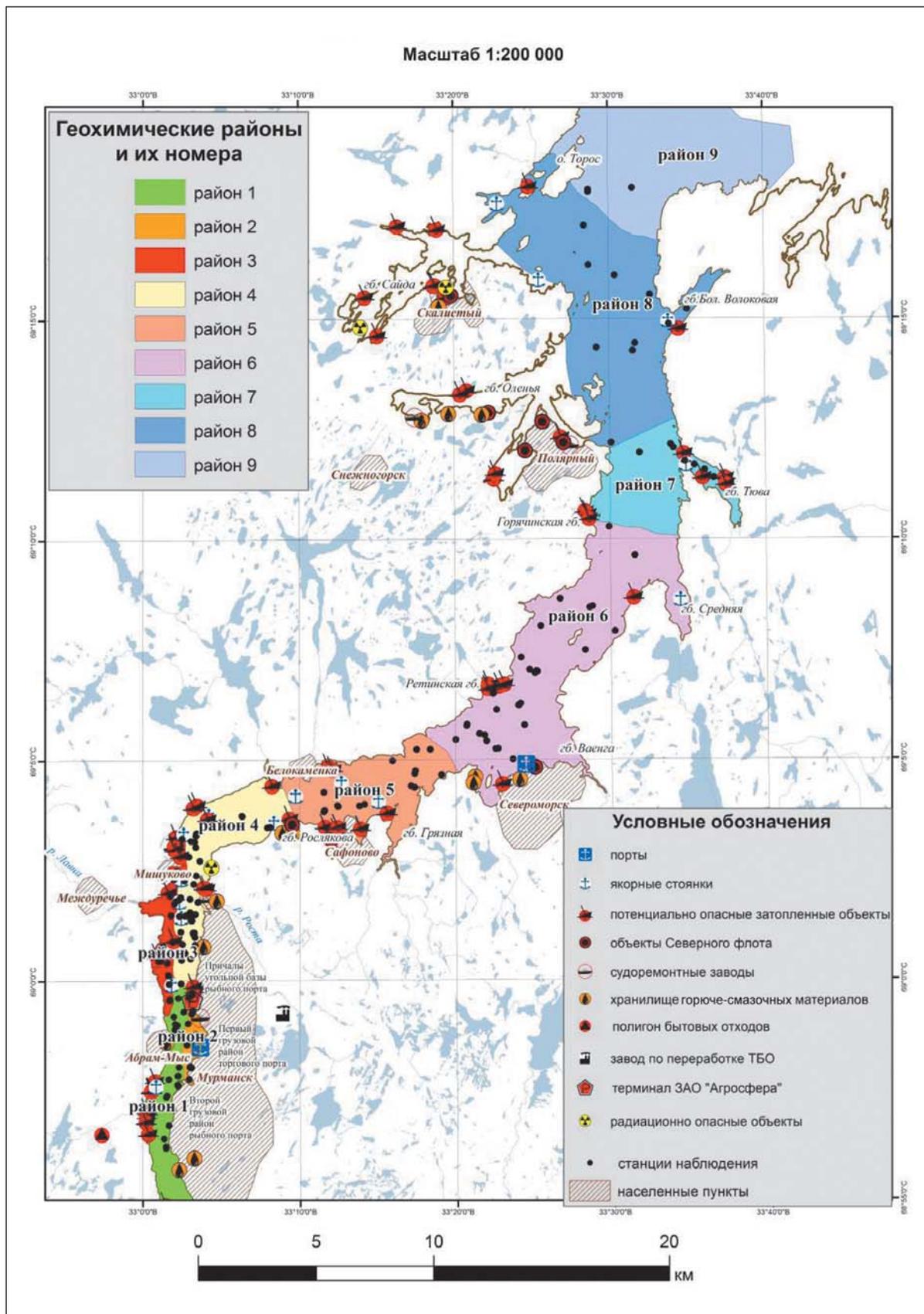


Рис. 2. Схема геохимического районирования. Кольский залив

Таблица 1. Геохимическая 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 (среднее гармоническое содержание элементов, ppm (ICP MS))										
	152,1	16,0	64,6	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).

современных донных отложений Кольского залива по этим элементам (табл. 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 [3]. Так, полученные нами фоновые концентрации (среднее гармоническое содержание) таких элементов, как Zn, Ni и Pb (см. табл. 1), существенно превышают средние концентрации (среднее арифметическое содержание) аналогичных элементов в осадках Баренцева моря [2], 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. 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 (см. табл. 1, рис. 3), 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 колоне

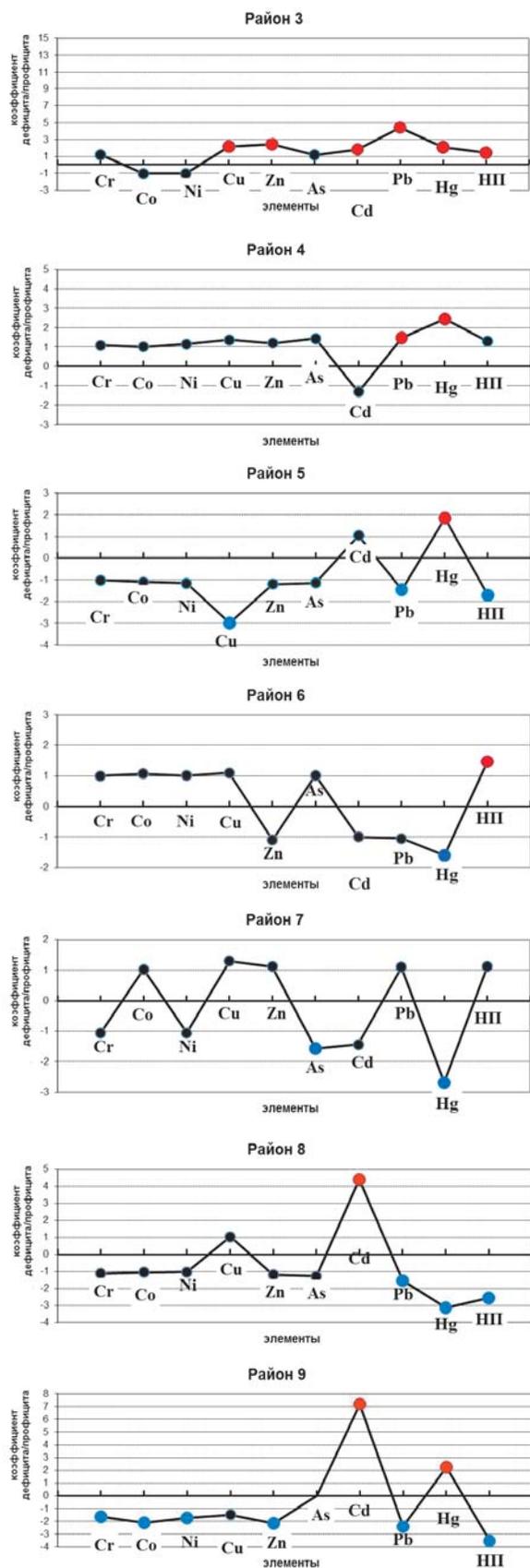


Рис. 3. Характеристика современных донных отложений в различных геохимических районах Кольского залива (данные ICP MS 2001, 2011–2014 гг., условные обозначения см. в табл. 1)

и отчасти в среднем колене, 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 в осадках Cd в районе 8, а также Cd и Hg в районе 9, приуроченных к устью губы Сайда и губы Оленья, где расположены базы атомных подводных лодок, хранилище реакторных отсеков и завод по их утилизации.

Локализация зон загрязнения выполнена по результатам анализа нормированных к фону содержания элементов в современных донных осадках (рис. 4). Эти зоны в южном колене тяготеют к причальным сооружениям на береговой зоне 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.

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 за загрязнением окружающей среды (SFT) [14]. Большинство 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.

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

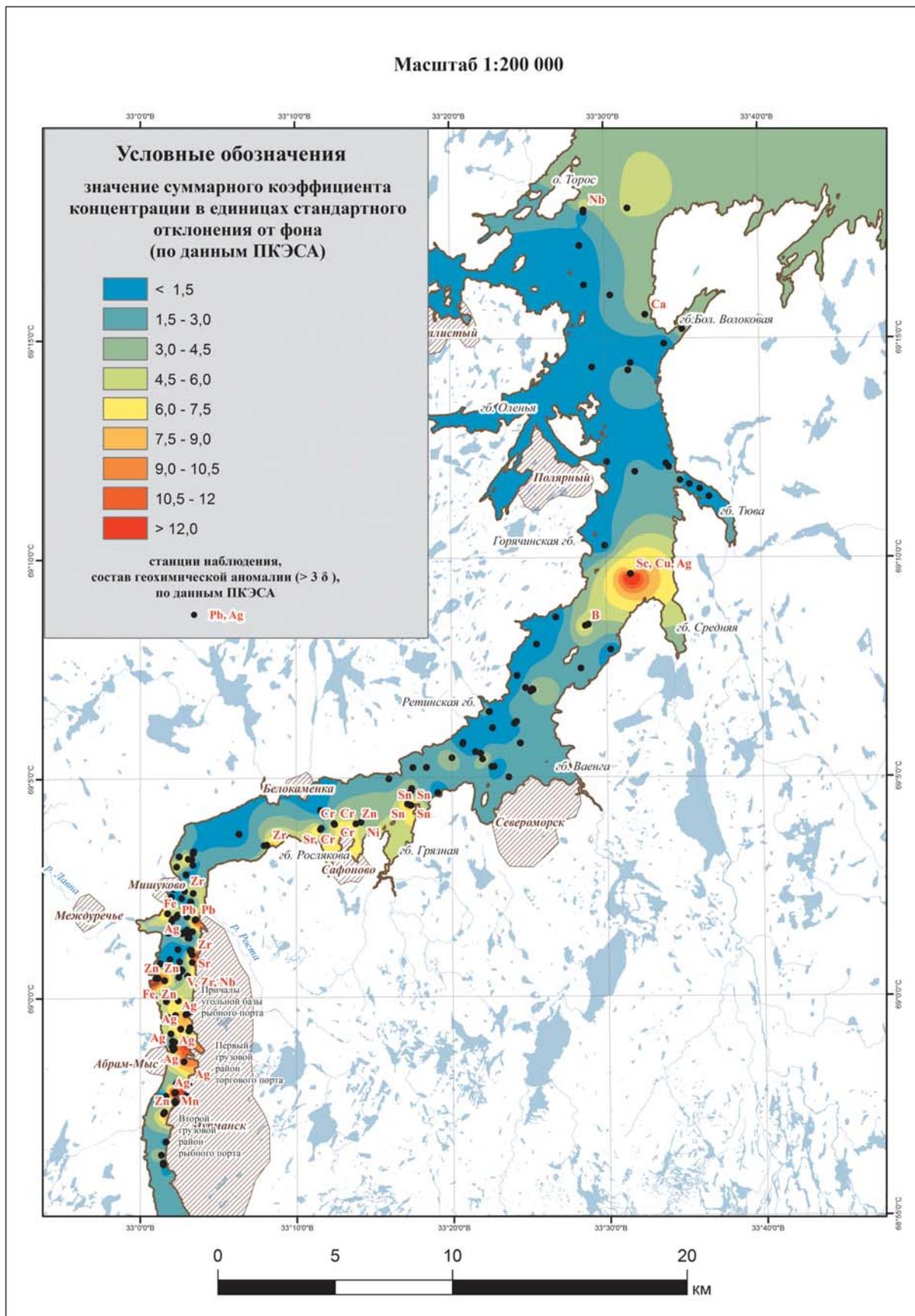


Рис. 4. Схема распределения суммарного коэффициента концентрации химических элементов в современных донных отложениях Кольского залива

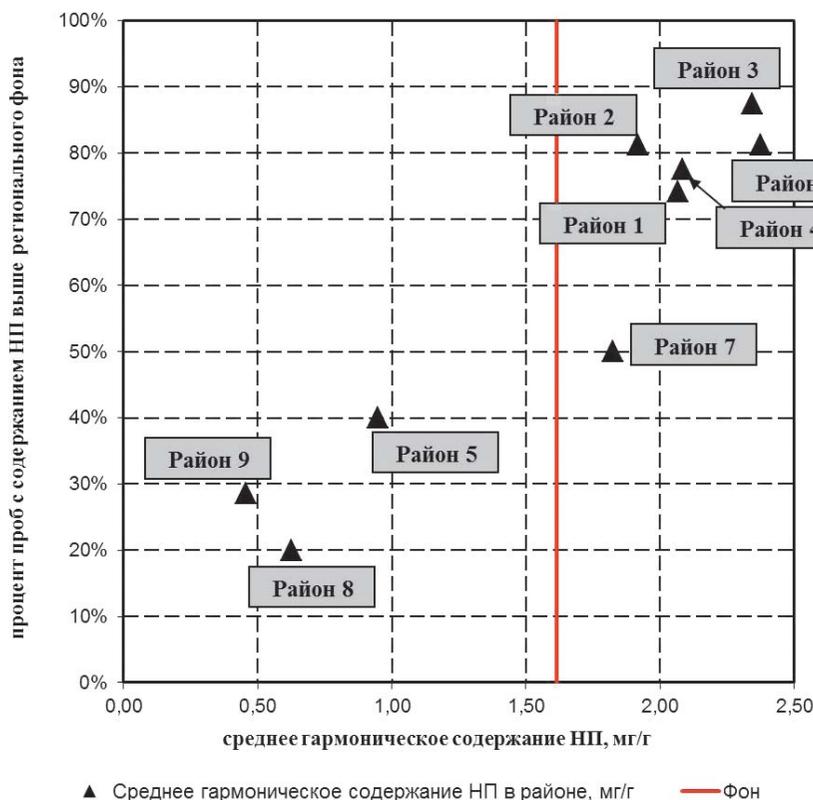


Рис. 5. Характеристика современных донных отложений геохимических районов Кольского залива по содержанию гексанрастворимых НП

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 показывают, 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 [12; 13] 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. Распределение 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, мы рассмотрели 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) (см. табл. 1), в то время как фоновая концентрация НП в донных осадках региона в целом по нашим расчетам составляет 0,032 мг/г [12]. Это еще одно свидетельство аномально высокого уровня техногенного воздействия на геосистему залива. Концентрация НП в современных донных осадках меняется в широких пределах в зависимости от положения в пределах акватории.

На рис. 5 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.

Таким образом, полученные геохимические данные позволили уточнить фоновые геохимические характеристики поверхностных донных отложений Кольского залива и показать, что его современные донные осадки характеризуются наиболее высокой на северо-западе России концентрацией химических элементов.

Выполнено геохимическое районирование дна акватории Кольского залива, а также определен уровень концентрации ряда канцерогенных химических элементов в выделенных геохимических районах. Определены районы акватории с наиболее высокой концентрацией химических элементов в современных донных осадках.

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.

В то же время обращает на себя внимание высокий уровень среднего гармонического содержания Cd и Hg в 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 здесь является деятельность Северного флота. К сожалению, остаются недоступными для изучения закрытые районы акватории.

Наиболее загрязненными НП являются части акватории 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.

## Литература

1. Музалевский А. А. Новые подходы к решению проблемы обеспечения экологической безопасности окружающей среды на основе экологической парадигмы // Пути решения экологических проблем транспортных коридоров: Материалы третьей международной евроазиатской конференции по транспорту, 11 сентября 2003 г. — СПб., 2003. — С. 296—326.

2. Иванов Г. И. Геоэкология Западно-Арктического шельфа России: литолого-экогеохимические аспекты. — СПб.: Наука, 2006. — 303 с.

3. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2013 г. — СПб.: Картограф. ф-ка ВСЕГЕИ, 2014. — 136 с.

4. Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. — Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. — 265 с.

5. Кольский залив: освоение и рациональное природопользование / [Отв. ред. Г. Г. Матишов]; Мурман. мор. биол. ин-т КНЦ РАН. — М.: Наука, 2009. — 381 с.

6. Спиридонов М. А., Рябчук Д. В., Шахвердов В. А. и др. Невская губа: Эколого-геологический очерк. — СПб.: Литера, 2004. — 181 с.

7. Шахвердов В. А. Невская губа — проблемы изучения и оценки экологической обстановки // Минерал. — 1998. — № 1.

8. Шахвердов В. А. Некоторые новые принципы количественной оценки техногенного воздействия на окружающую среду морских и озерных акваторий и их береговых зон // Региональная геология и металлогения. — 2014. — № 58. — С. 78—83.

9. Шахвердов В. А. Принципы обработки данных приближенно-количественного эмиссионного спектрального анализа для геохимического районирования // Междунар. науч. ин-т «Educatio». — 2014. — № 3, ч. 7. — С. 20—26.

10. Шахвердов В. А. Тяжелые металлы (Cr, Ni, Co, Pb, Hg и др.) как индикаторы антропогенного загрязнения донных осадков в Невской губе // Тез. докладов годичной сессии Минералог. о-ва РАН «Проблемы экологической минералогии и геохимии». — СПб., 1997.

11. Шахвердов В. А., Кулаков С. В. Геохимические особенности современных отложений центральной части Норильского района и геохимическое районирование // Природные ресурсы Таймыра: Сб. науч. тр. — 2004. — Вып. 2. — С. 284—299.

12. Шахвердов В. А., Шахвердова М. В. Влияние антропогенных факторов на распределение гексанрастворимых нефтепродуктов в донных осадках и природных водах акваториальной периферии востока Фенноскандии // Геология, геоэкология, эволюционная география: Коллективная монография. — Т. 13 / Под ред. Е. М. Нестерова, В. А. Снытко. — СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2014. — С. 75—78.

13. Шахвердов В. А., Шахвердова М. В. Содержание гексанрастворимых нефтепродуктов в природных водах, почвах и современных донных осадках береговой зоны восточной части Финского залива как индикатор техногенного воздействия // Региональная геология и металлогения. — 2008. — № 34. — С. 121—129.

14. Molvær J., Knutzen J., Magnusson J. et al. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann: SFT Veiledning 97:03 / Statens Forurensningstilsyn. — Oslo, 1997. — 36 p. — (TA-1467/1997).