

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт наук о Земле

Кафедра экологической геологии

**ТЕРЕЩЕНКО Наталия Викторовна**

**Выпускная квалификационная работа**

*Эколого-геохимическая оценка компонентов природной среды некоторых водных объектов г. Мурманска*

Уровень образования: бакалавриат

Направление 05.03.06 «Экология и природопользование»

Основная образовательная программа

СВ.5024 «Экология и природопользование»

Профиль 06 «Экология и недропользование»

Научный руководитель:

доцент кафедры экологической геологии,

кандидат геолого-минералогических наук

Зеленковский Павел Сергеевич

Рецензент:

доцент РГПУ им.Герцена, кандидат

геолого-минералогических наук

Подлипский Иван Иванович

Санкт-Петербург

2020

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	6
2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	8
2.1 Физико-географическое описание района исследования .....	8
2.2 Характеристика исследуемых водных объектов.....	14
2.3 Основные источники загрязнения водных объектов г. Мурманска.....	16
3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	20
3.1 Полевые работы.....	20
3.2 Лабораторные работы .....	23
3.3 Обработка данных .....	25
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	31
4.1 Результаты исследования донных отложений Кольского залива.....	31
4.2 Результаты исследования донных отложений озер г. Мурманска .....	37
4.3 Результаты исследования почв вокруг озер г. Мурманска .....	40
5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	53
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	55

## ВВЕДЕНИЕ

Поверхностные воды крайнего Севера обладают небольшим потенциалом самоочищения в силу низкого уровня массо- и энергообменов в экосистемах холодных широт. Одним из районов, где обозначилась проблема качественного истощения водных ресурсов, является Кольский Север и, в частности, город Мурманск. [36]

Мурманск – столица региона и крупнейший в мире город, расположенный за Северным полярным кругом, а также один из крупнейших портов России.

Самый значимый в Мурманске водный объект – Кольский залив, вдоль которого протянулся город. Именно благодаря незамерзающему заливу Мурманск смог стать одним из крупнейших портов России.

По показателям концентрации и масштабам транспортной и промышленной деятельности и, следовательно, по совокупности антропогенных воздействий на морскую среду Кольский залив не имеет себе равных в Арктическом регионе. [20]

Также на территории города насчитывается около 20 озер, испытывающих многофакторную антропогенную нагрузку различной интенсивности. Большинство водоемов активно используются в рекреационных целях. Информация об экологических особенностях и качестве вод этих озер недостаточна или является отрывочной. [37]

В городе одновременно сосредоточены разнотипные потенциальные источники загрязнения окружающей среды (промышленность, транспорт, свалки бытовых отходов, бытовые стоки), под воздействием которых в водоемах могут значительно трансформироваться химический состав воды и геохимические характеристики донных отложений. Исследование водоемов города представляет особую актуальность в связи с их высокой рекреационной значимостью. [41]

Из всего вышесказанного вытекает **актуальность** данной работы: водные объекты г. Мурманска испытывают серьезную антропогенную нагрузку и нуждается в комплексном мониторинге.

**Новизна** работы заключается в комплексном рассмотрении проблемы загрязнения озер города путем сопряженного анализа химического состава почв водосбора и донных отложений, а также в изучении состояния наиболее интенсивно эксплуатируемого участка Кольского залива.

Определение содержания загрязняющих веществ в донных отложениях при исследовании состояния водных объектов имеет преимущество, т.к. этот показатель является интегрирующим во времени и, в какой-то степени, в пространстве. При исследовании озер также были рассмотрены почвы вокруг водоемов, поскольку

накопленные в поверхностном слое почвы поллютанты, поступающие в процессе аэрального загрязнения, могут затем мигрировать вниз по склону в растворенном виде и в составе твердых частиц и также являться источниками загрязнения озер.

**Объектами** исследования являются Кольский залив и 4 озера, находящиеся в черте города: Семеновское, Ледовое, Окуневое, Среднее.

**Предмет** исследования- экологическое состояния водных объектов г. Мурманска.

**Целью** данного исследования является проведение комплексной эколого-геохимической оценки состояния водных объектов г. Мурманска.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Провести анализ теоретических сведений о состоянии водных объектов, собрать данные об основных источниках негативного воздействия;

2. Осуществить полевой сбор образцов донных отложений и почв;

3. Выполнить анализ отобранных проб почв и донных отложений на валовое содержание тяжелых металлов и металлоидов (Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, Fe, As) при помощи рентгенофлуоресцентного метода;

4. Выполнить анализ донных отложений Кольского залива на содержание нефтепродуктов при помощи ИК-спектрометрической методики;

5. Оценить закономерности площадного распределения и концентрации тяжелых металлов и металлоидов, а также нефтепродуктов в почвах и донных осадках исследуемой территории;

6. Сделать выводы о состоянии анализируемых компонентов природной среды водных объектов г. Мурманска.

**Структура работы.** Данная работа состоит введения, 5 глав, заключения и списка литературы.

**Теоретическая основа.** Работа основана на теоретических трудах Кольского научного центра РАН (в частности, «Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты»), на экспериментальных исследованиях Даувальтера В. А., Слуковского З.И. Шахвердова В. А., Шахвердовой М. В., Жилина А.Ю., Плотницыной Н.Ф, Кудасова В.И, а также на обзорах Росгидромета о состоянии и загрязнении окружающей среды в Российской Федерации и докладах о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области.

**Апробация работы.** Материалы работы представлены на 19 международной молодежной научной конференции «Экологические проблемы природо- и недропользования "Экогеология-2019"»

**Личный вклад автора.** Автору принадлежит организация полевых работ, связанная с отбором проб донных отложений и почв, проведение лабораторных анализов, статистическая обработка и обобщение полученных результатов, построение карт.

**Благодарности.** Автор выражает особую благодарность сотрудникам Образовательного ресурсного центра Института химии СПбГУ и лаборатории Института наук о Земле за помощь в проведении рентгенофлуоресцентного и ИК-спектрометрического анализов.

## 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проблема загрязнения водных ресурсов в РФ стоит чрезвычайно остро. Возрастание техногенной нагрузки на водосборные территории при сокращении объема водоохраных мероприятий ведет к увеличению загрязнения поверхностных вод. [23]

Наблюдения за загрязненностью донных отложений являются неотъемлемой частью мониторинга состояния водных объектов. Элементный состав донных отложений не только отражает биогеохимическую ситуацию конкретного региона, т.е. зависит от состава материнских пород, почв, рельефа местности, климата, свойств воды и жизнедеятельности гидробионтов, но и наиболее адекватно показывает современное состояние водных объектов и передает информацию о многолетних процессах накопления и трансформации вещества в водоёме.

Согласно ГОСТ 17.1.5.01-80, «Донные отложения – это донные наносы и твердые частицы, образовавшиеся и осевшие на дно водного объекта в результате внутриводоемных физико-химических и биохимических процессов, происходящих с веществами как естественного, так и техногенного происхождения». [8]

Аккумулируя загрязняющие вещества, донные отложения оказывают содействие самоочищению водной среды. Однако, как отмечается в РД 52.24.609-2013, при определенных условиях (ветровое взмучивание, изменение pH, минерализации и т.д.) загрязняющие вещества могут переходить в водную толщу, вызывая ее вторичное загрязнение. [34]

Учёный Л. Хакансон утверждал, что одним из важных направлений водной экотоксикологии и программ контроля загрязнения поверхностных вод является изучение донных отложений. Содержание микроэлементов в донных отложениях служит важной характеристикой степени загрязнения водоема. Донные отложения являются интегральным индикатором антропогенной нагрузки на окружающую среду. [25, 48]

Субстратом донных отложений служит материал, поступающий с территории водосбора и синтезируемых в воде водотока, поэтому химический состав донных отложений является отражением характерных особенностей водосбора и самого водотока.

Исследованию проблемы загрязненности донных отложений водных объектов Мурманской области тяжелыми металлами и нефтепродуктами посвящено множество научных работ В. А. Даувальтера, В. С. Анохиной, О. С. Тюкиной, Н. А. Кашулина, С. С. Сандиминова, Н. Е. Раткина, С. И. Ящишиной, А. Ю. Жилина и др. [1, 11, 10, 14, 44]

Исследованием загрязненности донных отложений Кольского залива Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg и гексанрастворимыми нефтепродуктами занимались В. А. Шахвердов и М. В.

Шахвердова. Были определены фоновые концентрации вышеперечисленных химических элементов, акватория залива была разделена на геохимические районы, а также были высказаны предположения об основных источниках загрязнения. [42]

Однако, информация об экологических особенностях и современном состоянии иных водных объектов, находящихся на территории г. Мурманска, столицы региона, практически отсутствует.

Исследованием экологического состояния озер Семеновского и Ледового г. Мурманска занимались Е.П. Усачева, Е.Ю. Александрова и Е.О. Кудряшова. По результатам исследования выявлено, что значения ряда показателей качества воды оз. Ледового превышают предельно допустимые нормы. Удельная электропроводность воды оз. Ледового в сотни раз выше, чем оз. Семеновского, что может говорить о содержании повышенных концентраций металлов. Содержание НП в воде оз. Ледового превышает ПДК в 3,7 раза. [21, 39]

Первые комплексные исследования, учитывающие не только химический состав воды озер г. Мурманска, но и состав донных отложений были проведены сотрудниками Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН и Института геологии КарНЦ РАН в 2018-2019 гг. Для полной оценки воздействия городской среды на озерные экосистемы г. Мурманска были исследованы пять озер (Семеновское, Среднее, Окуневое, Ледовое и Южное), расположенных в разных частях города Мурманска. [49]

## 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Физико-географическое описание района исследования

Город Мурманск – административный центр Мурманской области. Мурманск является самым крупным городом, расположенным за Северным полярным кругом (68°58' с. ш., 33°4' в. д.). Город расположен на севере Кольского полуострова и находится на скалистом восточном побережье Кольского залива Баренцева моря. Растянувшись на 25 км вдоль залива с юга на север, Мурманск копирует холмистый рельеф местности так, что отдельные районы часто разделены между собой сопками. Общая площадь города составляет 150 км<sup>2</sup>. Мурманск является одним из крупнейших портов России. Население составляет 287 847 человек по состоянию на 2020 год.

#### 2.1.1 Климатические условия

Мурманск находится в Атлантико-Арктической зоне умеренного климата. Климат города формируется близостью Баренцева моря, влияние которого усиливает теплое Северо-Атлантическое течение. Этот фактор способствует формированию специфического климата, отличающего Мурманск от большинства городов, расположенных за Северным полярным кругом.

Средний многолетний температурный режим Мурманска складывается под влиянием преобладания притока теплых масс атлантического воздуха зимой и прохладного воздуха с Баренцева моря летом, а поэтому характеризуется аномально теплой для его широты зимой и сравнительно прохладным летом. Средняя температура января – февраля –10–11 °С, средняя температура июля: +12–13 °С. Время наступления более низких температур запаздывает на один месяц по сравнению с более континентальными районами, что характерно для морского климата, время наступления самых высоких температур совпадает с континентальными районами. [45]

Мурманск находится вблизи границы суши и моря, где наблюдаются значительные горизонтальные градиенты температуры, из-за которых город оказывается теплее одних фоновых районов и холоднее относительно других. Даже северные и южные районы города из-за его большой меридиональной протяженности оказываются в разных климатических условиях, так как находятся на разном удалении от акватории Баренцева моря, оказывающего сильное влияние на термический режим прибрежных территорий. [12]



Осадков на территории Мурманска за год выпадает сравнительно мало — 500 мм. Однако в условиях длительной зимы, короткого прохладного лета и слабого испарения их оказывается вполне достаточно, чтобы создать избыточное увлажнение. Максимум осадков наблюдается в августе, минимум с февраля по апрель. Более половины годового количества осадков (54%) выпадает в виде дождя и 33% в виде снега. [32]

Снежный покров появляется в среднем 16 октября, но в этом месяце при оттепелях он обычно сходит. Устойчивый снежный покров образуется позже, 11 ноября. Снежный покров держится в городе в среднем 210 дней и сходит к маю. [45]

Перераспределение повторяемости различного направления ветра от зимы к лету носит муссонный характер. Зимой преобладают южные ветры с материка, а летом — северные с Баренцева моря. Весной и осенью направление ветра менее устойчиво.

Полярная ночь на широте Мурманска длится со 2 декабря по 11 января, полярный день — с 22 мая по 22 июля.

### *2.1.2 Рельеф*

На территории Мурманска и вокруг него наблюдается очень сложный холмистый рельеф. Минимальные высоты соответствуют уровню моря, а максимальные превышают 300 м. [12]

Основные особенности рельефа Кольского полуострова обусловлены многочисленными разломами и трещинами кристаллического щита, а также носят следы мощного воздействия ледников, сгладивших вершины гор и оставивших большое количество моренные отложений.

### *2.1.3 Геологическое строение*

Мурманская область занимает северо-восточную часть Балтийского щита, представляющего собой выступ кристаллического фундамента Русской платформы. Здесь наиболее широко развиты сильно метаморфизованные породы архея и протерозоя; подчиненно присутствуют интрузивные породы и осадочно-вулканогенные слабоизмененные образования палеозоя. Почти повсеместно эти комплексы перекрыты тонким покровом рыхлых отложений четвертичной системы. [2]

Докембрийский фундамент (возраст более 4 млн лет) представлен в основном парагнейсами, различными амфиболитами и даже песчаниками. Из изверженных пород, относящихся к докембрию, наиболее распространены граниты и гранодиориты.

Значительные площади занимают горные породы палеозойской эры (возраст 240-570 млн лет). Они представлены главным образом нефелиновыми сиенитами. Палеозойскими породами сложены такие уникальные по богатству минерального сырья массивы, как Ловозерский, Хибинский, Ковдорский, Турьего полуострова, Африкандский, Салмагорский, Хабозерский и др. [29]

Четвертичные и современные геологические образования, возраст которых не более 2 млн лет, представлены морскими, континентальными и ледниковыми отложениями: глина, песок, супесь, суглинок.

Кольский залив – это классический фьрд тектоно-эрозионно-ледникового происхождения на Мурманском берегу Кольского полуострова.

Кольский залив представляет собой вытянутую субмеридиональную тектоническую структуру, для очертаний которой характерны коленчатые изгибы, обусловленные участием в ее строении и формировании разломов северо-северо-западного и северо-восточного простирания. В геологическом отношении Кольский фьрд располагается в двух районах: северный представлен архейскими гранитоидами, южный – слюдяными и гранатовыми гнейсами. Древние породы перекрыты четвертичными отложениями, представленными фациями наиболее молодой верхневалдайской морены. Вместе с тем получили развитие аллювиальные (в долинах рек Тулома и Кола), делювиально-элювиальные, ледниковые и водно-ледниковые и морские (поздне- и послеледниковые) образования. Наибольшее распространение получили ледниковые и морские отложения.

Мощность четвертичных отложений в среднем составляет 50-100 м, достигая на выходе из залива более 200 м. В составе отложений южного колена фьрда участвуют техногенные образования (намывные и донные), современные морские осадки и ледниковые отложения. Отложения четвертичного покрова залегают на коренных породах, которые представлены мелкозернистыми трещиноватыми гранито-гнейсами светло-серого цвета. Разрез отложений южного колена Кольского залива представлен на рисунке 1. [43]

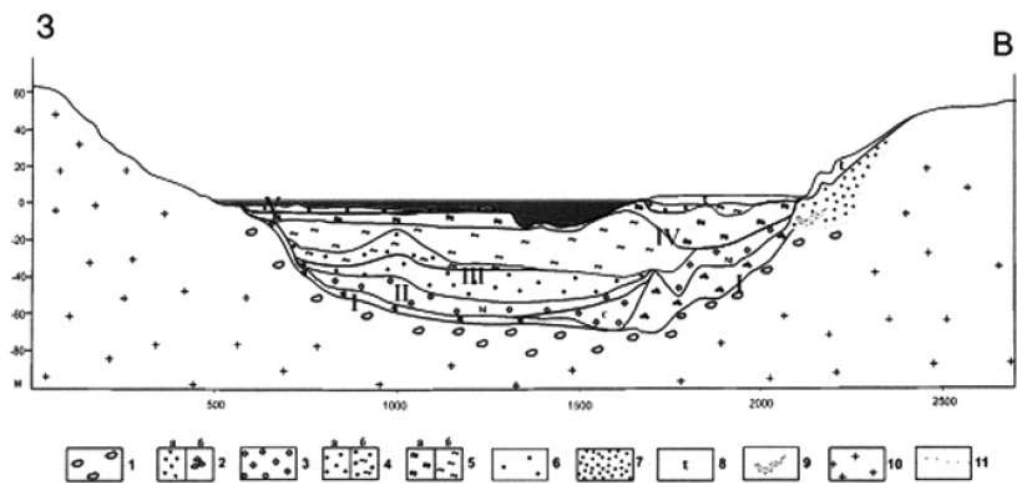


Рис. 1 – Разрез отложений южного колена Кольского залива [43]

(Условные обозначения: Ледниковые отложения: комплекс I– 1-моренные отложения с преобладанием валунов и песчаным заполнителем; 2а- моренные щебенистые отложения с песчаным заполнителем, 2б- гравийные отложения с галькой, щебнем и песчаным заполнителем. Ледниково-морские отложения: комплекс II– 3- пески разной крупности ледниково-морского происхождения. с- средние, м- мелкие; комплекс III– 4а- алевриты, 4б- алевриты с прослоями илов. Морские отложения: комплекс IV- 5а- илы супесчаные, 5б- илы суглинистые; комплекс V- 6- морские пески средней крупности; 7- аллювиальные пески средней крупности; 8- техногенные отложения; 9- линза алеврита с частыми прослоями илов; 10- породы кристаллического фундамента; 11- условная граница;)

Ледниковые осадки (комплекс I) представлены отложениями морены с песчаным заполнителем, максимальная вскрытая мощность которых составляет 39,2 м, а наиболее низкая отметка расположения их кровли 87,0 м. В этих отложениях предположительно поздневалдайского возраста можно выделить три слоя. Первый - с преобладанием валунов (50-55 %), размерами от 20-30 см изредка до 1,5 м, содержанием крупного щебня и дресвы (10-15 %) и песчаным заполнителем - повсеместно подстилает все вышележащие слои. Второй - щебенистый, залегающий в кровле ледниковых отложений, имеет наибольшую мощность 5,1 м у западного борта и выклинивается к востоку. Содержание валунов достигает 20-25 %, заполнитель - мелкие пески, местами алевриты. Третий пласт сложен гравием и галькой с песком гравелистым и включениями валунов до 20 %. Максимальная вскрытая мощность отмечается ближе к центральной части депрессии и составляет 32,2 м. Крупность фракций уменьшается вверх по разрезу.

На неровной размывтой кровле комплекса I залегают пески разной крупности ледниково-морского происхождения (комплекс II). В песках коричневатого-серого цвета

часто встречается косая слоистость, раковинный детрит, единичные валуны. Крупность песков уменьшается вверх по разрезу.

Выше расположен слой отложений (комплекс III), представленный алевритами серого цвета и алевритами с прослоями и линзами ила суглинистого мощностью до 10 см. В разрезе слой характеризуется специфическими чертами залегания. Его отличительной особенностью является то, что перед выклиниванием в зоне западного борта фиорда, он испытывает раздув мощности (свыше 20 м) и некоторый изгиб, связанный с затуханием последнего, наиболее заметного, тектонического импульса.

Отложения морского происхождения представлены IV и V комплексами. Комплекс IV сложен снизу слоем суглинистых илов, мощность которого нарастает к восточному берегу с максимумом около 36 м. Цвет отложений голубовато-серый и темно-серый. Отмечается редкое присутствие ракуши и дресвы, черные пятна органики. По мере продвижения на восток этот слой резко выклинивается и перекрывается вторым слоем отложений этого же комплекса. В составе этого слоя присутствуют супесчаные илы от темно-серого до черного цвета с черными разводами и темными гнездами органики, в которых содержатся тонкие прослои алевритов, супесей с обломками ракуши, а также редкий гравий. Максимальная мощность слоя 22,3 м, но к западу она уменьшается до 1,4 м.

Комплекс V венчает разрез отложений, залегая с поверхности небольшим по мощности слоем, в котором присутствуют пески средней крупности морского происхождения. Его распространение нарушено в центральной части вследствие дноуглубительных работ. [43]

#### *2.1.4 Почвенный покров*

Город Мурманск находится на границе лесной и тундровой зон, в зоне распространения элювиальных и массивно-кристаллических почвообразующих пород, многолетнемерзлые породы отсутствуют.

Почвы Мурманска относятся к песчаным и супесчаным по гранулометрическому составу. Для легких и щебнистых отложений, характерна большая водопроницаемость, наличие нисходящих токов почвенных растворов, свободный внутренний дренаж, господство окислительных процессов и отсутствие оглеения. Почвы – не сильнощебнистые с повышенным содержанием физического песка, в связи с чем, ожидается их низкая буферная и сорбционная способность, а также низкая устойчивость к техногенным загрязнениям. [38]

### *2.1.5 Природные воды*

На территории Мурманска насчитывается около 20 озер, среди которых Семёновское, Среднее, Большое, Питьево, Окунёво, Портянка, Ледовое, Глубокое, Карьерное, Рогозеро, Варничное и т.д. В черте Мурманска шесть родников и три ручья: Варничный, Трифонов и Фадеев. В северной части города протекает небольшая река Роста.

Мурманск расположен на побережье Кольского залива Баренцева моря и является одним из крупнейших портов России

Воды Кольского залива образованы преимущественно баренцевоморскими водными массами из-за его интенсивного водообмена на своей морской границе. Поэтому для акватории Кольского залива характерны такие же гидрофизические процессы, что и для открытой части Баренцева моря – формирование сезонного термоклина, осенне-зимняя конвекция, изменения температуры воды, солёности, плотности в приливном цикле. В то же время на гидрологический режим, особенно в южном колене залива, существенно влияют метеорологические условия прилегающей суши и поступление пресных вод. Большое значение, особенно у берегов, имеют приливно-отливные течения. Приливы полусуточные, их наибольшая величина 6,1 м у берега Кольского полуострова, в других местах 0,6 – 4,7 м.

На акватории Кольского залива годовой ход температуры воды выражен сильнее, чем в открытом море. Годовой минимум приходится на февраль-март, когда температура поверхностного слоя воды понижается до +0,5°C в южном колене и до +1°C – в северном. От апреля к самому теплому месяцу – июлю, температура поверхностного слоя повышается до +11°C в южном колене и до +10°C – в северном. [18]

Водосбор Кольского залива включает северо-запад Мурманской области, кроме прибрежной полосы, имеющей сток в открытое море, и часть территории Финляндии. Водосбор Кольского залива составляет 27,7 тыс. кв. км, что в 140 раз больше площади его поверхности.

Большая часть речного стока в Кольский залив приходится на реку Тулома. Она полностью зарегулирована двумя гидроэлектростанциями – Верхне-Тулумской (работает с 1965 г.) и Нижне-Тулумской (работает с 1937 г.) – что оказывает существенное влияние на водообмен и опреснение залива.

Следующая по расходу река, впадающая в залив, – р. Кола – она обладает изменчивостью даже сильнее выраженной, чем на р. Тулома до зарегулирования.

Другие факторы, влияющие на пресноводный баланс – таяние льда и его образование, осадки, испарение уступают речному стоку.

Соленость на глубинах 10-25 метров в зимне-весенний период остается близкой к 34 ‰, летом понижается не более чем до 32 ‰. Соленость поверхностного слоя подвержена значительной сезонной изменчивости во всех частях залива. Зимой она не опускается ниже 30 ‰, в начале лета может понижаться до 15-20%. [24]

Кольский залив сохраняет зимой высокую температуру и практически не замерзает даже при сильных морозах за счет водообмена с Баренцевым морем, где по его южной и восточной периферии движутся на восток и север атлантические воды теплого Нордкапского течения – ветви системы Гольфстрима. Только в холодные зимы южное колено залива, заполненное опресненными водами, может покрываться льдом толщиной 30 – 40 см.

## 2.2 Характеристика исследуемых водных объектов

Исследование проводили в черте города Мурманск. В качестве объектов исследования были выбраны наиболее значимые и часто эксплуатируемые водные объекты г. Мурманска – это Кольский залив и озера Семеновское, Среднее, Ледовое и Окуневое.

**Озеро Семеновское** (68.99080° с.ш. и 33.08851° в.д.) – природный водоем, расположенное в Ленинском районе, в северной части города. Занимает площадь 0,213 км<sup>2</sup>. Бассейн озера структурно сложен и состоит из двух участков, соединенных небольшим проливом. Максимальные глубины участков 11,3 и 10,2 м. Это озеро расположено в 1,8 км от угольного порта, в 2,1 км от Мурманской ТЭС и в 2,4 км от мусоросжигательного завода – основных источников загрязнения в г. Мурманске. [49]

Семеновское озеро является любимым местом отдыха мурманчан. На берегу озера расположены мемориал Защитникам Заполярья в годы Великой Отечественной войны, Мурманский областной центр развития творчества детей и юношества «Лапландия», океанариум, детский городок, парк аттракционов, лодочная станция. [39]

Источниками загрязнения озера также являются автотранспорт (вблизи находится крупная автомагистраль) и стоки от океанариума. Береговая зона оз. Семеновское находится в неудовлетворительном состоянии из-а большого количества мусора, плоскостной эрозии антропогенного происхождения.

Вторым объектом исследования выступило **озеро Ледовое**, которое находится в Первомайском районе, в южной части города. Озеро Ледовое (68,93313° с.ш. и 33,10451°

в.д.) представляет собой небольшой природный водоем овальной формы, с ровной береговой линией. Озеро имеет максимальную глубину 15,7 м в его центре и занимает площадь 0,040 км<sup>2</sup>. Озеро Ледовое находится в 3,4 км от Мурманской ТЭС, в 5,6 км от угольного порта и в 6,5 км от мусоросжигательного завода.

Вокруг оз. Ледовое расположено множество источников загрязнения: автозаправочная станция, автомойка, стоянки автотранспорта, автодорога и другие объекты, связанные с автомобильной инфраструктурой.

В районе оз. Ледовое также наблюдаются эрозийные процессы, мусора несколько меньше, что обусловлено меньшей площадью парковой зоны и процентом посещаемости данной территории по сравнению с оз. Семеновским. [39]

**Озеро Среднее** (68,98147° с.ш. и 33,12422° в.д.) представляет собой природный водоем, расположенный в Октябрьском районе недалеко от восточной границы Мурманска. Бассейн озера имеет простую округлую структуру и максимальную глубину 23,5 м. Озеро занимает площадь 0,248 км<sup>2</sup>. Берега озера каменистые и песчаные. Озеро используется местными жителями для отдыха, в основном летом. Озеро Среднее находится в 1 км от Мурманской ТЭС, в 1,4 км от мусоросжигательного завода и в 2,6 км от угольного порта.

**Озеро Окунево** (68.95012° с.ш. и 33.12734° в.д.) – природный водоем, расположенный в Первомайском районе. Бассейн озера имеет удлиненную овальную форму и максимальную глубину 5,6 м в центре. Площадь озера составляет 0,048 км<sup>2</sup>. Озеро окружено лесом. Его западный и восточный берега высокие и каменистые, а северный и южный – пологие. Озеро используется местными жителями для отдыха (купания, рыбалки, катания на лыжах и кемпинга) летом и зимой. Озеро Окунево находится в 2,9 км от Мурманской ТЭС, в 4,3 км от мусоросжигательного завода и в 4,4 км от угольного порта.

Все обследованные городские озера характеризуются захлапленностью берегов и литоральной зоны, что связано с активным использованием водоемов жителями г. Мурманска. Твердые бытовые отходы представлены как мелкими полиэтиленовыми упаковками или пластиковыми бутылками, так и большим мусором, например, металлическими бочками для хранения горюче-смазочных материалов и крышками для колес автомобилей.

**Кольский залив** расположен на 69° с.ш. и 33° в.д. на юге Баренцева моря. Со стороны Баренцева моря границей Кольского залива является линия, соединяющая северную оконечность острова Торос и мыса Летинский. Южная оконечность залива (Кольская узость) – это место впадения в залив реки Тулома, где ее русло сужается примерно до ста метров. Схема Кольского залива представлена на рисунке 2.

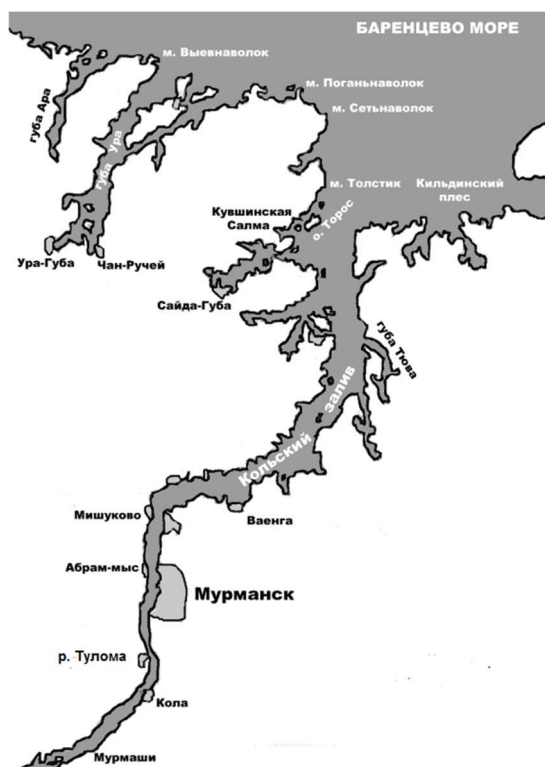


Рис. 2 – Схема Кольского залива [14]

В соответствии с изгибами акваторию залива подразделяют на 3 участка: северное, среднее и южное колена.

Площадь акватории залива около 180 кв. км. В берега залива вдаются много губ и впадают такие реки, как Кола и Тулома. Длина залива по створам - 58,7 км, по прямой - 51,0 км. Ширина Кольского залива без учета ответвлений увеличивается от 1,0–1,5 км в южном колене до 1,5–2,5 км в среднем и 3,0–3,5 км в северном колене. Глубина акватории постепенно убывает от северного колена к южному и составляет 200–300 метров.

### 2.3 Основные источники загрязнения водных объектов г. Мурманска

Основные загрязняющие вещества в г. Мурманске поступают с выбросами предприятий теплоэнергетического комплекса (ГОУТП «ТЭКОС», ОАО «Мурманская ТЭЦ»), мусоросжигательного завода, а также от перевалки и дробления угля в морском порту и автотранспорта. [26]

Предприятия теплоэнергетики являются действующими в течение десятков лет источниками выбросов в атмосферу продуктов сгорания топлива. Наибольший вред



окружающей среде городов приносят теплоэлектроцентрали, работающие на угле и мазуте, в составе выбросов которых содержатся оксиды и диоксиды азота, оксиды углерода, оксиды и диоксиды серы, бенз(а)пирен, сажа. В числе предприятий, работающих на мазуте, Центральная ТЭЦ г. Мурманска, которая расположена в центре города рядом с жилыми домами. [5]

Также одним из основных источников загрязнения в г. Мурманске признан автотранспорт. Специалисты насчитывают в выхлопных газах около 40 химических веществ. Особую опасность представляют высокотоксичные соединения: оксид углерода, формальдегид, смесь углеводородов, в том числе бенз(а)пирен. Большинство используемых видов топлива содержит широкий спектр металлов: кадмий, никель, цинк, мышьяк, олово, свинец, ртуть, которые добавляются для повышения октанового числа, а также медь, фосфор, серу, предупреждающих биоповреждение топлива и технических смазок.

Большой удачей можно считать то, что главные транспортные городские магистрали, проходя вдоль всего города, вытянутого с севера на юг, фактически совпадают с преобладающими направлениями ветров. То есть, определённая часть загрязняющих веществ выносятся ветрами за пределы городской черты. [17]

Рельеф города также существенно влияет на распределение и распространение загрязнений. Например, наиболее загруженная (в транспортном отношении) и плотно застроенная часть центрального района города, находится в понижении рельефа, что может способствовать застою парогазовых выбросов в приземном слое воздуха. [17]

Другим возможным источником тяжелых металлов, попадающих в водные экосистемы Мурманска, может быть дальний атмосферный перенос загрязняющих веществ с многочисленных промышленных площадок в Мурманской области и соседних регионах.

Для Кольского залива основными источниками поступления загрязняющих веществ в экосистему залива, помимо поступления с атмосферными осадками, являются также сбросы промышленных и коммунальных предприятий, сбросы отходов с морских судов, поступление с поверхностным стоком.

Прибрежная зона Кольского залива характеризуется как промышленно развитая территория со сложившейся инфраструктурой и значительными резервами для экономического роста. Хозяйственное использование акватории и прибрежной полосы Кольского залива всецело определяется интересами портово-промышленного и военноморского комплексов. Другие виды деятельности (рыболовство и аквакультура, сельское хозяйство, рекреация) незначительны.

Из известных источников антропогенного воздействия на морскую экосистему залива наиболее угрожающим является сброс бытовых и промышленных сточных вод. В

Кольский залив сбрасывают сточные воды десятки предприятий и плавучих баз, относящимся к разным ведомствам и находящимся по берегам и на акватории залива. По данным статистической отчетности в 2010 году о количестве и составе сбросов, представляемым предприятиями в Комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды Мурманской области, общий объем сброса сточных вод в залив составляет более 63 млн м<sup>3</sup> в год, в т.ч. загрязненных без очистки — 44,9 млн куб. м (72% от общего объема сточных вод), недостаточно очищенных — 10,7 млн куб. м, нормативно-чистых — 7,4 млн куб. м. [6]

Наиболее значительные по объему сбросы сточных вод поступают от: ГОУП «Мурманскводоканал», МУП «Североморскводоканал», ФГУП «Атомфлот» Минтранспорта России, УМПП «Жилкомхоз» г. Полярный, ФГУП «Водоканал» г. Полярный, ОАО «Мурманский рыбокомбинат», Судоремонтный завод «Нерпа», ОАО «Мурманский судовойверфь», ОАО «Мурманский морской рыбный порт»

Развитие транспортной инфраструктуры и связанное с этим повышение перегрузки на природную среду прибрежных территорий сопровождаются значимым повышением концентрации нефтепродуктов в современных донных осадках и природных водах.

С 2000-х годов в Кольском заливе резко увеличились танкерные перевозки нефти и были введены в действие несколько рейдовых перегрузочных комплексов. В акватории залива организованы рейдовые комплексы по перевалке нефти в танкеров-челноков на суда-накопители и затем на крупнотоннажные танкеры.

Дополнительным источником загрязнения залива нефтепродуктами, металлоломом и другими твердыми отходами стали затонувшие или выброшенные на берег суда. В некоторых местах побережья Кольского залива образовались, так называемые, «кладбища кораблей».

Хозяйственная деятельность в южном колене представляет наибольший интерес, так как на это место приходится наибольшие масштабы грузооборота и антропогенного загрязнения.

ОАО «Мурманский морской торговый порт» (ММТП) имеет причалы и инфраструктуру незамерзающего круглый год порт, через который осуществляется выход на трассы Северного морского пути и Северо-Восточной Атлантики. Среди основных грузов, перерабатываемых «ММТП», цветные металлы, прокат черных металлов, апатитовый концентрат, стройматериалы, продукция химической промышленности, технологическое оборудование и др. Особое место занимает перевалка угля. Через Мурманский порт сейчас экспортируется больше угля, чем через порты Санкт-Петербург, Кандалакша, Выборг и Высоцк вместе взятые. [33]

Согласно обзору Росгидромета о состоянии и загрязнении окружающей среды в Российской Федерации за 2013 год качество вод Кольского залива в районе г. Мурманска оценивается как «грязные». Приоритетными загрязняющими веществами остаются нефтяные углеводороды, железо и медь. Район г. Мурманска остается одним из наиболее загрязненных участков на всем шельфе РФ. [30]

### 3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной целью исследования является эколого-геохимическая оценка современного состояния некоторых водных объектов г. Мурманска.

Как известно, водоемы служат коллекторами всех видов загрязнения, большая часть которых аккумулируется в донных отложениях, которые накапливают сведения о потоках элементов в биосфере в историческом срезе. Они являются важным источником информации о прошлых климатических, геохимических, экологических условиях, существующих на водосборе и в самом водоеме, позволяют оценить современное экологическое состояние воздушной и водной сред. [47]

Эколого-геохимическое исследование проводилось для определения концентраций в природных компонентах таких важных поллютантов, как тяжелые металлы (Cu, Zn, Ni, Pb, Cr, Fe) и металлоиды (As), которые служат важными показателями антропогенного воздействия на экосистемы. Они обладают высокой токсичностью для живых организмов даже при малых содержаниях, а также способны к биоаккумуляции. Также в донных отложениях Кольского залива были определены концентрации нефтепродуктов (НП).

Исследование включало в себя следующие этапы:

- 1) Сбор, обработка и анализ опубликованных материалов о состоянии природной среды;
- 2) Дешифрирование аэрокосмических материалов, разработка сети пробоотбора;
- 3) Геоэкологическое опробование донных отложений и почв;
- 4) Пробоподготовка;
- 5) Лабораторные химико-аналитические исследования;
- 6) Камеральная обработка материалов и анализ полученных значений.

#### 3.1 Полевые работы

##### *3.1.1 Методика отбора проб донных отложений*

Отбор проб донных отложений Кольского залива производился в сентябре 2018 года. Пробы нестратифицированных донных отложений отбирались точечным методом при помощи лопаты, т.к. работы велись во время отлива, когда вода максимально отступала от своих первоначальных берегов и была возможность беспрепятственно отобрать пробы донных отложений без помощи специального оборудования. Пробоотбор проводился по нерегулярной сети точек, т.к. на побережье Кольского залива в районе г. Мурманска располагается множество предприятий, что делает невозможным выход к воде на некоторых участках. Координаты всех точек пробоотбора фиксировались на месте. Всего было отобрано 33 образца донных отложений. Местоположение всех точек пробоотбора показано на рисунке 3.

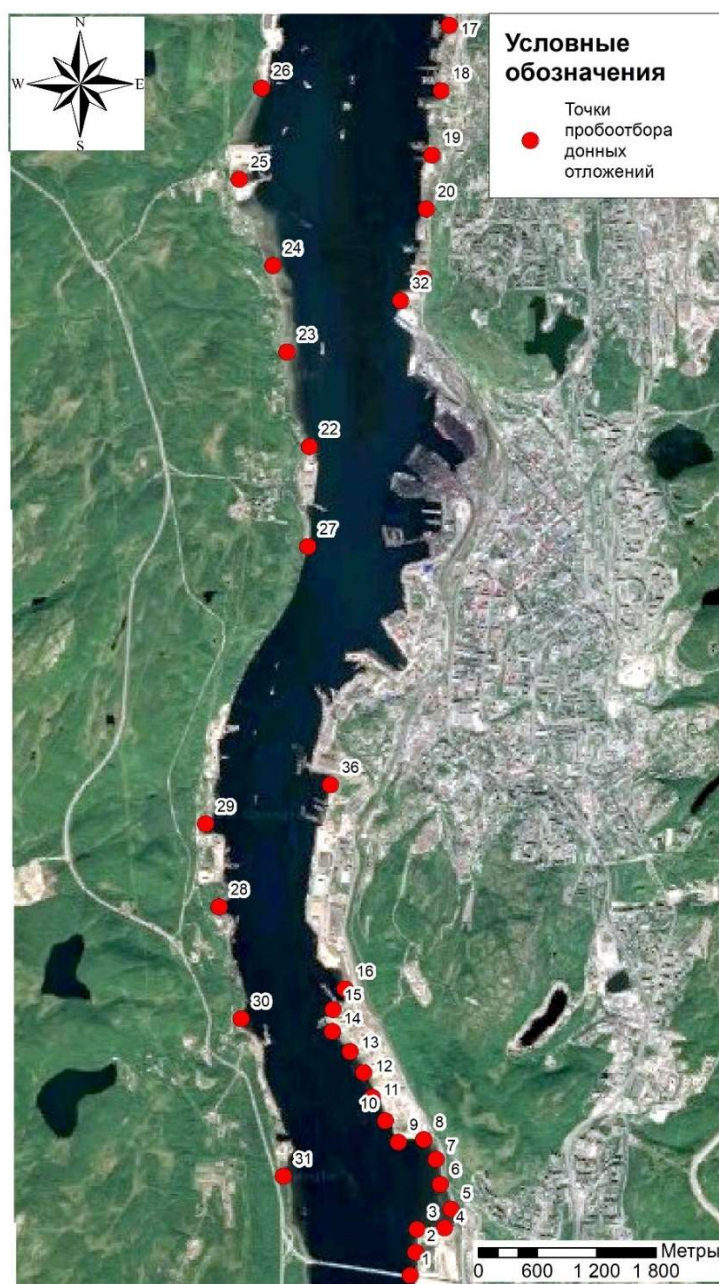


Рис. 3 – Схема расположения точек пробоотбора

### 3.1.2. Методика отбора проб почв

Отбор проб почв вокруг озер г. Мурманска производился в августе 2019 года. Пробоотбор проводился по радиальной сети точек: вокруг озер Семеновское, Среднее, Окунево точки пробоотбора были установлены с 4-х сторон от озера (север, юг, запад, восток), и с каждой стороны было отобрано по 3 образца (в 10, 50 и 100 метрах от береговой линии). Образцы почв вокруг озера Ледового также были отобраны с 4-х сторон от озера в 10 метрах от береговой линии. Пробы в 50 и 100 метрах отобрать не удалось из-за плотной застройки в районе озера и отсутствия там почв, как таковых. Расположение точек пробоотбора показано на рисунке 4.

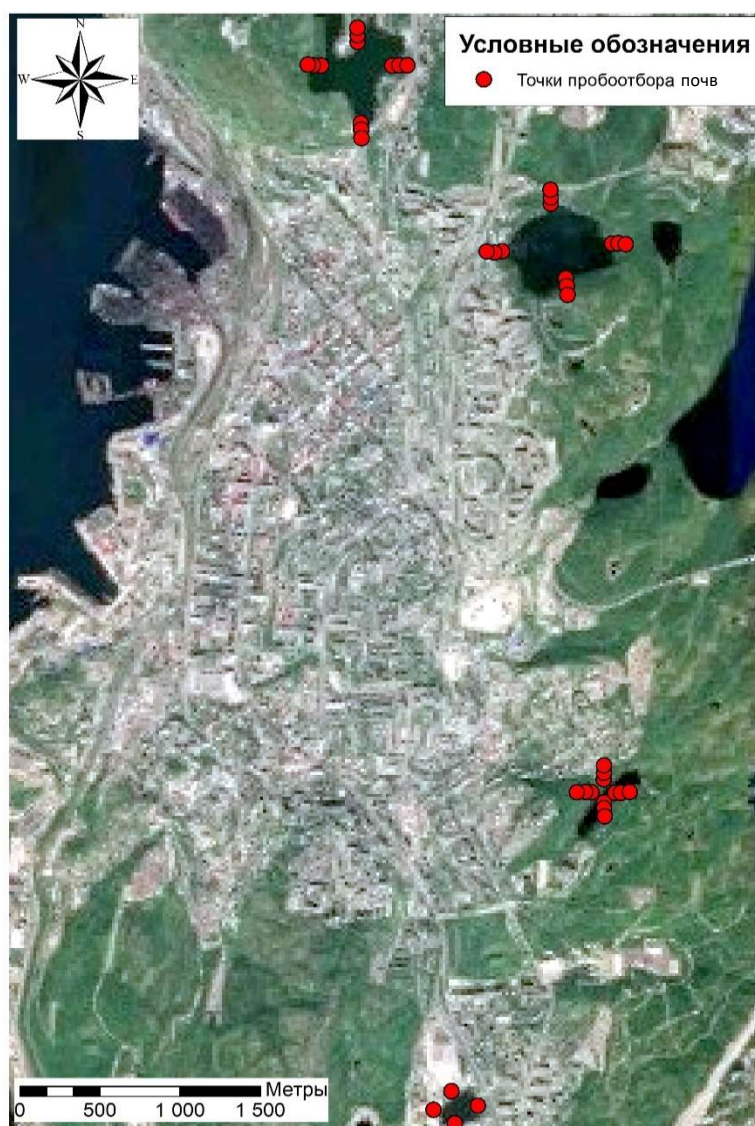


Рис. 4 – Схема расположения точек пробоотбора

Ввиду того, что мощность почв невелика, а четкого разделения на горизонты не просматривается, производился сбор смешанных проб из слоя 0-20 см. Пробы отбирались методом ом “конверта” с площадок 5×5 м. Материал объединенных проб тщательно перемешивался и квартовался до получения навески в 1000 г. Отбор выполнялся в

соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.4.02-84 «Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, микробиологического, гельминтологического анализа». [9]

## **3.2 Лабораторные работы**

### *3.2.1 Пробоподготовка*

Собранные пробы просушивались до воздушно-сухого состояния в сушильном шкафу около 5-8 суток. После чего из проб отбирались различные включения в виде камней, корней растений и т.п., затем их измельчали и просеивали через сито.

### *3.2.2 Методика проведения рентгенофлуоресцентного анализа*

Полученные пробы анализировались в лаборатории СПбГУ. Определение содержания тяжелых металлов производилось рентгенофлуоресцентным методом на анализаторе AP-104. Измерялись содержания свинца, цинка, меди, мышьяка, хрома и никеля.

Рентгенофлуоресцентный анализ – это быстрый физический метод анализа, позволяющий напрямую определять в порошкообразных пробах почти все химические элементы периодической системы. Метод анализа основан на быстром возбуждении атомов химических элементов в пробе мягким гамма-излучением и регистрации их характеристического излучения.

Прибор состоит из блока возбуждения и детектирования (БВД), анализатора импульсов (АИ) и двух преобразователей напряжения. В свою очередь, БВД состоит из рентгеновского излучателя на основе рентгеновской трубки БС-1 с анодом, четырех каналов, независимых друг от друга, для измерения элементов и еще одного канала, служащего для измерения излучения трубки. Электрические импульсы поступают в АИ, данные из которого поступают в персональный компьютер для обработки и вычисления содержания химических элементов.

Порядок измерений на анализаторе AP-104: измельченная и просеянная проба засыпается в бокс, который, ставится в гнездо подвижной каретки и задвигается в прибор; измерения около 70-и секунд и после каждого десятого измерения проводятся три контрольных измерения проб с уже известным химическим составом. В качестве

контрольных образцов использовались: кварц, гипс и образец *Z* с эквивалентным содержанием элементов.

Нижний предел обнаружения прибора 10 г/т.

### *3.2.3 Методика ИК-спектрометрического определения нефтепродуктов*

Для определения нефтепродуктов в объектах окружающей среды наибольшее распространение нашла ИК-спектрометрическая методика, которая основана на экстракции нефтепродуктов из анализируемой пробы с последующим отделением полярных компонентов на хроматографической колонке и детектированием нефтепродуктов в полученном фильтрате. Принцип детектирования нефтепродуктов основан на поглощении молекулами углеводородов инфракрасного излучения в области спектра 2700-3200 см<sup>-1</sup>, обусловленного валентными колебаниями CH<sub>3</sub> и CH<sub>2</sub> групп алифатических и алициклических соединений и боковых цепей ароматических углеводородов, а также связей СН ароматических соединений.

Данный метод позволяет определить содержание нефтепродуктов – цепочечных и циклических молекул углеводородов. В то же время используемый метод не позволяет проводить идентификацию индивидуального и группового состава компонентов нефти, экстрагируемых из образцов.

Описание проведения анализа:

Подготавливают хроматографическую колонку. В нижнюю часть хроматографической колонки помещают слой ваты (5 мм), затем в колонку засыпают 3 г оксида алюминия и вновь помещают слой ваты (5 мм). Оксид алюминия и вата в колонке используются однократно и регенерации не подлежат.

На аналитических весах взвешивают 1 г пробы почвы. Почву переносят в коническую колбу вместимостью 50 мл, добавляют 10 мл гексана. Колбу закрывают притертой стеклянной пробкой и экстрагируют нефтепродукты в течение 10-15 минут при встряхивании с помощью перемешивающего устройства.

Через хроматографическую колонку пропускают экстракт.

Проводят измерение нефтепродуктов в элюате на ИК-анализаторе. Для этого промывают кювету гексаном, затем заполняют экстрактом. Кювету устанавливают в кюветное отделение ИК-анализатора.

Исследования проводились на двухлучевом сканирующем спектрофотометре UV-1800 SHIMADZU в образовательном ресурсном центре по направлению химия СПбГУ.



### 3.3 Обработка данных

#### 3.3.1. Обработка данных по донным отложениям Кольского залива

По результатам проведенных анализов мы получили значения концентраций ТМ и НП в образцах донных отложений. Ниже приведена таблица этих значений (таблица 1).

Таблица 1 – Концентрации ТМ и НП в образцах донных отложений

N	НП, мг/кг	Pb, мг/кг	Zn, мг/кг	Cu, мг/кг	As, мг/кг	Ni, мг/кг	Cr, мг/кг
Фоновые зн-я	1,615	47,0	139,4	45,9	10,8	64,6	152,1
1	<b>16594</b>	14	82	5	5	49	<b>156</b>
2	<b>5699</b>	5	35	5	5	29	67
3	<b>6065</b>	5	33	5	5	28	89
4	<b>7024</b>	16	48	5	5	38	118
5	<b>6733</b>	17	83	20	5	60	121
6	<b>14408</b>	<b>50</b>	101	37	5	<b>84</b>	<b>167</b>
7	<b>17565</b>	26	112	16	5	47	142
8	<b>14079</b>	10	49	5	5	40	115
9	<b>17817</b>	11	51	12	5	26	97
10	<b>12266</b>	5	39	5	5	37	146
11	<b>12328</b>	11	51	5	5	42	<b>188</b>
12	<b>18934</b>	5	45	5	5	43	111
13	<b>13233</b>	5	36	5	5	32	118
14	<b>14672</b>	5	51	17	5	46	<b>190</b>
15	<b>11875</b>	5	37	5	5	40	83
16	<b>18159</b>	<b>68</b>	<b>179</b>	33	5	<b>76</b>	<b>164</b>
17	<b>10594</b>	25	72	15	5	34	142
18	<b>320</b>	<b>321</b>	<b>616</b>	<b>407</b>	<b>15</b>	53	<b>169</b>
19	<b>531</b>	23	103	<b>48</b>	5	39	<b>301</b>
20	<b>15170</b>	<b>148</b>	<b>593</b>	<b>196</b>	<b>13</b>	<b>70</b>	<b>356</b>
21	<b>12388</b>	<b>451</b>	<b>481</b>	<b>356</b>	<b>14</b>	<b>111</b>	<b>416</b>
22	<b>20557</b>	16	47	28	5	32	135
23	<b>2211</b>	32	104	27	5	41	117
24	<b>5793</b>	22	47	5	5	20	70
25	<b>15065</b>	5	54	5	5	31	78
26	<b>8030</b>	5	55	24	5	36	143
27	<b>9372</b>	5	51	15	5	44	119
28	<b>19478</b>	<b>149</b>	<b>423</b>	<b>256</b>	5	49	142
29	<b>5964</b>	<b>48</b>	54	13	5	35	117
30	<b>12754</b>	<b>92</b>	129	<b>52</b>	5	43	113
31	<b>14268</b>	20	70	12	5	50	120
32	<b>11447</b>	27	45	5	5	16	86
36	<b>306</b>	<b>229</b>	<b>1514</b>	<b>1615</b>	5	<b>86</b>	<b>352</b>

Жирным в таблице выделены значения ТМ и НП, превышающих фоновые значения, приведенные во второй строке таблицы.

Величины фоновых значений содержания элементов в донных отложениях Кольского залива были взяты из статьи «Оценка современного геоэкологического состояния Кольского залива по геохимическим данным» В. А. Шахвердова и М. В. Шахвердовой. [42]

Далее для каждого элемента в каждой точке пробоотбора были посчитаны коэффициенты концентраций ( $K_k$ ) по формуле:

$$K_k = \frac{C_i}{C_{\phi}}$$

$K_k$  – коэффициент концентрации  $i$ -го загрязняющего вещества в почве;

$C_i$  – концентрация  $i$ -го элемента;

$C_{\phi}$  – фоновое значение.

Произвести оценку загрязнения донных отложений комплексом тяжелых металлов (ТМ) позволяет значение суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ), вычисляемого по формуле:

$$Z_c = \sum \frac{C_i}{C_{\phi}} - (n - 1)$$

$C_i$  – определяемое содержание  $i$ -го токсиканта в почве;

$C_{\phi}$  – значение фонового содержания в почве  $i$ -го токсиканта;

$n$  – количество определяемых элементов.

$K_c$  – коэффициент концентрации аномальных элементов, выбирается более 1.

По методике Ю. Е. Саета по значению показателя  $Z_c$  токсичных элементов в донных отложениях выделяется четыре категории:

$Z_c < 10$  – слабый уровень загрязнения;

$10 \leq Z_c < 30$  – средний;

$30 \leq Z_c \leq 100$  – сильный;

$Z_c > 100$  – очень сильный. [19, 35]

### 3.3.2. Обработка данных по почвам вокруг озер г. Мурманска

По результатам проведенных анализов мы получили значения концентраций ТМ в образцах почв. Ниже приведена таблица полученных значений (таблица 2).

Таблица 2 – Концентрации ТМ в образцах почв

N	Pb, мг/кг	Zn, мг/кг	Cu, мг/кг	As, мг/кг	Fe, мг/кг	Ni, мг/кг	Cr, мг/кг
Фоновые зн-я	22,7	63,2	11,3	-	6817	13,6	13,8
ОДК	32	55	33	2	-	20	-
1	<b>37</b>	<b>92</b>	<b>44</b>	5	<b>3234</b>	<b>28</b>	<b>154</b>
2	<b>29</b>	<b>88</b>	<b>53</b>	5	<b>26564</b>	<b>35</b>	<b>165</b>
3	<b>34</b>	<b>75</b>	<b>40</b>	5	<b>33697</b>	<b>37</b>	<b>178</b>
4	12	35	<b>13</b>	5	<b>27348</b>	<b>19</b>	<b>172</b>
5	<b>31</b>	26	5	5	<b>19483</b>	<b>17</b>	<b>155</b>
6	17	31	<b>23</b>	5	<b>33958</b>	<b>24</b>	<b>158</b>
7	<b>93</b>	<b>361</b>	<b>62</b>	5	<b>51433</b>	<b>64</b>	<b>232</b>
8	5	33	<b>12</b>	5	<b>46038</b>	<b>15</b>	<b>122</b>
9	<b>27</b>	<b>87</b>	<b>50</b>	5	<b>43160</b>	<b>42</b>	<b>173</b>
10	<b>40</b>	<b>93</b>	<b>86</b>	5	<b>720185</b>	<b>152</b>	<b>337</b>
11	12	55	<b>42</b>	5	<b>41248</b>	<b>49</b>	<b>147</b>
12	<b>63</b>	<b>220</b>	<b>109</b>	5	<b>49269</b>	<b>60</b>	<b>170</b>
13	11	27	5	5	<b>26175</b>	<b>21</b>	<b>226</b>
14	5	30	10	5	<b>40460</b>	<b>64</b>	<b>122</b>
15	11	19	5	5	<b>24141</b>	<b>17</b>	<b>136</b>
16	<b>39</b>	<b>79</b>	<b>93</b>	5	<b>18491</b>	<b>145</b>	<b>41</b>
17	5	24	11	5	<b>34948</b>	<b>24</b>	<b>149</b>
18	5	22	5	5	<b>36420</b>	<b>30</b>	<b>117</b>
19	<b>285</b>	<b>376</b>	<b>173</b>	5	<b>34799</b>	<b>46</b>	<b>181</b>
20	11	32	10	5	<b>43040</b>	<b>23</b>	<b>134</b>
21	<b>556</b>	<b>239</b>	<b>63</b>	5	<b>44047</b>	<b>64</b>	<b>243</b>
22	12	31	5	5	<b>23535</b>	<b>13</b>	<b>179</b>
23	16	33	<b>22</b>	5	<b>37222</b>	<b>27</b>	<b>205</b>
24	17	24	<b>22</b>	5	<b>41464</b>	<b>24</b>	<b>155</b>
25	<b>38</b>	<b>100</b>	<b>109</b>	5	<b>51087</b>	<b>54</b>	<b>178</b>
26	14	<b>102</b>	<b>74</b>	5	<b>43632</b>	<b>66</b>	<b>216</b>
27	15	<b>133</b>	<b>92</b>	5	<b>49047</b>	<b>70</b>	<b>226</b>
28	<b>36</b>	<b>160</b>	<b>115</b>	5	<b>53333</b>	<b>88</b>	<b>162</b>
29	<b>37</b>	15	<b>20</b>	5	<b>17451</b>	<b>17</b>	<b>102</b>
30	<b>84</b>	<b>136</b>	<b>129</b>	5	<b>57064</b>	<b>161</b>	<b>163</b>
31	<b>48</b>	<b>331</b>	<b>86</b>	5	<b>58895</b>	<b>92</b>	<b>189</b>
32	15	48	<b>30</b>	5	<b>47224</b>	<b>35</b>	<b>132</b>
33	<b>23</b>	<b>65</b>	<b>24</b>	5	<b>27662</b>	<b>29</b>	<b>95</b>
34	<b>24</b>	30	<b>40</b>	5	<b>21942</b>	<b>39</b>	<b>89</b>
35	15	<b>123</b>	<b>28</b>	5	<b>38329</b>	<b>38</b>	<b>120</b>
36	<b>53</b>	<b>154</b>	<b>108</b>	5	<b>45112</b>	<b>125</b>	<b>186</b>

Продолжение таблицы 2

37	<b>28</b>	<b>108</b>	<b>153</b>	5	<b>53069</b>	<b>129</b>	<b>102</b>
38	11	45	<b>36</b>	5	<b>55897</b>	<b>29</b>	<b>136</b>
39	15	57	<b>21</b>	5	<b>43525</b>	<b>28</b>	<b>180</b>
40	5	10	<b>17</b>	5	<b>15847</b>	<b>15</b>	<b>71</b>

Жирным в таблице выделены значения ТМ и НП, превышающих фоновые значения, приведенные во второй строке таблицы.

Величины фоновых значений содержания элементов в донных отложениях Кольского залива были взяты из статьи «Тяжелые металлы в почвах Карелии» авторов Н. Г. Федорец, О. Н. Бахмет, М. В. Медведевой, Г. В. Ахметовой, С. Г. Новикова, Ю. Н. Ткаченко, А. Н. Солодовникова. [40]

Величины ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) валовых форм тяжелых металлов в почвах взяты из гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2511-09. [7]

Концентрации As в почвах оказались ниже предела определения анализатора AP-104, поэтому в таблице наблюдаются одинаковые значения для всех образцов. В связи с этим значения концентраций As не будут учитываться при дальнейших расчетах.

Далее были посчитаны коэффициенты концентраций (Кк) и суммарные показатели загрязнения (Zc).

По значению суммарного показателя загрязнения (Zc) почво-грунты делятся на четыре категории:

$Zc < 16$  – допустимая степень загрязнения;

$16 \leq Zc < 32$  – умеренно-опасная;

$32 \leq Zc \leq 128$  – опасная;

$Zc > 128$  – чрезвычайно опасная.

### 3.3.3. Статистический анализ

Статистический анализ данных проводился про помощи программы StatSoft Statistica Trial.

Таблица полученные данных была перенесена в Statistica Trial, после чего были рассчитаны среднее значение, медиана, максимум, минимум и среднеквадратичное отклонение.

По каждому элементу были определены результаты измерения, выделяющиеся из общей выборки – «выбросы». К выборке было применено правило трех сигм. Для повышения надежности оценки данных, значения, выходящие за доверительный интервал, были заменены значениями, вычисленными путем деления минимального значения концентрации для данного элемент на 2.

Далее для удобства восприятия были построены графики «Ящички с усами», после чего для сравнительной оценки силы связи между переменными были рассчитаны коэффициенты парной корреляции (коэффициенты корреляции Пирсона).

Помимо всего вышеперечисленного, был проведен факторный анализ данных. В его основе лежит предположение, что переменные, описывающие процесс, связаны между собой: основное влияние на процесс оказывает небольшое число скрытых факторов, а главной задачей факторного анализа является их выделение и оценка влияния каждого из них. [15]

Этот вид анализа применяется для выделения геохимических ассоциаций элементов. Для отбора значимых факторов был использован критерий «осыпи», согласно которому "количество факторов должно соответствовать резкому изменению градиента собственных значений фактора в зависимости от его номера". [15]

Для облегчения интерпретации факторов используется метод улучшения результата - вращение факторов. Цель вращения – это выявить максимальное различие факторов при минимальном разбросе вокруг них величин.

#### *3.3.4 Построение карт*

Для наглядного изображения результатов проведенных анализов были составлены карты распределения ТМ и НП, относительно их фоновых концентраций. Составление карт происходило в среде ArcGIS.

В качестве исходных карты использовались скриншоты, полученный с приложения «Яндекс карты». Далее скриншот был привязан к рабочей системе координат.

Файл с точками опробования добавляется в документ карты и отображается по команде Display XY Data. При этом данные сначала отображаются в географической проекции WGS-84, а потом перепроектируются в проекцию рабочей карты. [22, 46]

Далее для каждого ТМ и НП проводится выделение классов, учитывая фоновые значения для данного района. Классификация проводилась сходным образом для каждого элемента.

Для всех карт подбирались значки с градуированной заливкой, которая отражала бы концентрацию тех или иных загрязнителей: от зеленого (в пределах фоновых значений) до красного (максимального превышения). Значения выбирались вручную самостоятельно.

## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 4.1 Результаты исследования донных отложений Кольского залива

#### 4.1.1 Содержание тяжелых металлов

По результатам исследований получены данные о содержании ТМ в донных отложениях и выявлено, что наибольшая частота превышений фоновых значений отмечена у хрома и свинца, а наибольшая величина превышений- у меди и цинка.

Результаты расчетов коэффициентов концентрации (Кк) и суммарных показателей загрязнения (Zc) приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Рассчитанные коэффициенты концентрации (Кк) и суммарные показатели загрязнения (Zc)

№ образца	Кpb	Кzn	Кcu	Кas	Кni	Кcr	Zc
6	1,06				1,3	1,1	1,5
16	1,45	1,28			1,18	1,08	2,0
18	6,83	4,42	8,87	1,39		1,11	18,6
20	3,15	4,25	4,27	1,2	1,08	2,34	11,3
21	9,6	3,45	7,76	1,3	1,72	2,74	21,6
28	3,17	3,03	5,58				9,8
36	4,87	10,86	35,19		1,33	2,31	50,6

Максимальное значение Zc было зафиксировано в точке пробоотбора №36 и составляет 50,6 условных единиц, что позволяет говорить о сильном уровне загрязнения. Наибольший вклад в загрязнение данных образцов вносят медь, цинк и свинец. Образцы донных отложений, отобранные в точках 18, 20 и 21 имеют показатели Zc, равные 18,6, 11,3 и 21,6 соответственно, что позволяет отнести их к среднезагрязнённым. В целом, значения суммарного показателя Zc лишь 12% образцов >10.

Ниже на рисунках 5-10 показаны схемы распределения тяжелых металлов в донных отложения, относительно их фоновых значений.

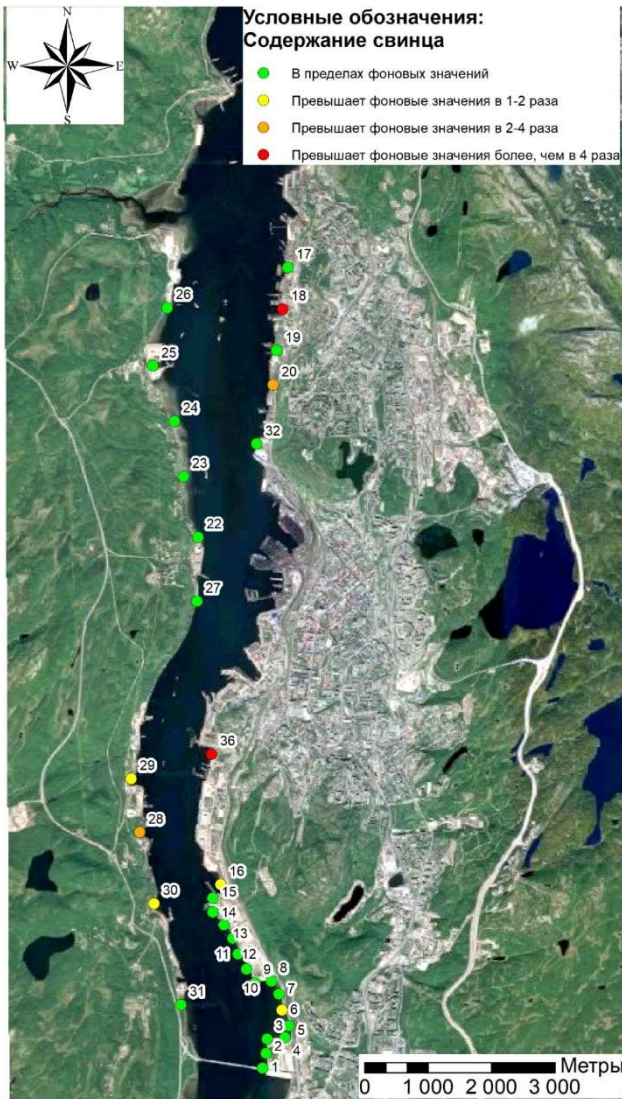


Рис. 5 – Схема распределения свинца в донных отложениях, относительно его фонового значения



Рис. 6 – Схема распределения цинка в донных отложениях, относительно его фонового значения





Рис. 7 – Схема распределения меди в донных отложениях, относительно ее фонового значения

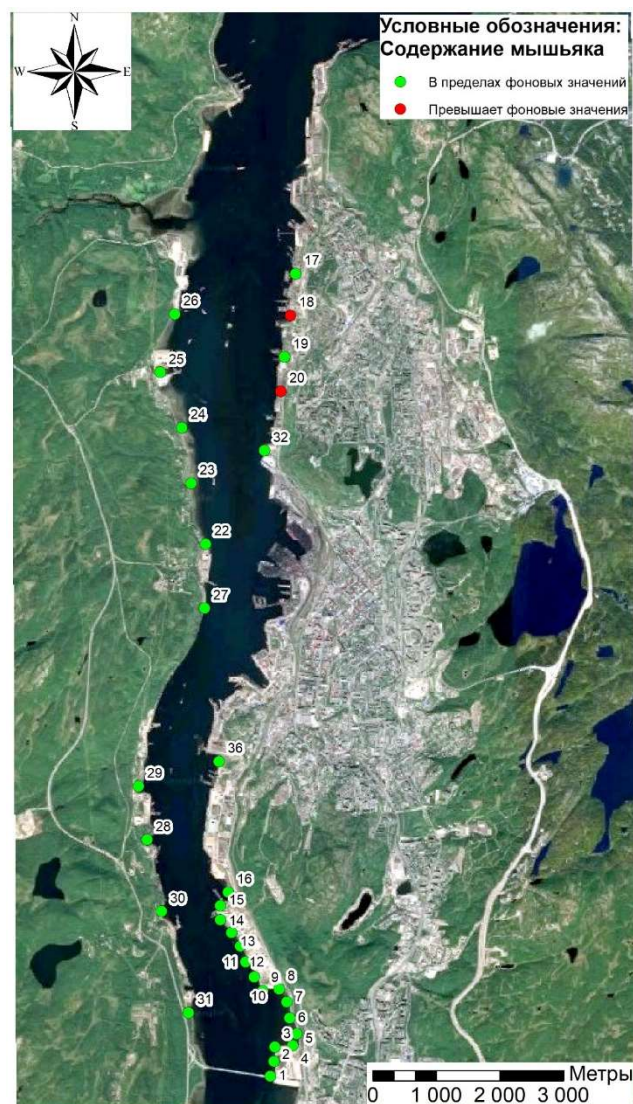


Рис. 8 – Схема распределения мышьяка в донных отложениях, относительно его фонового значения

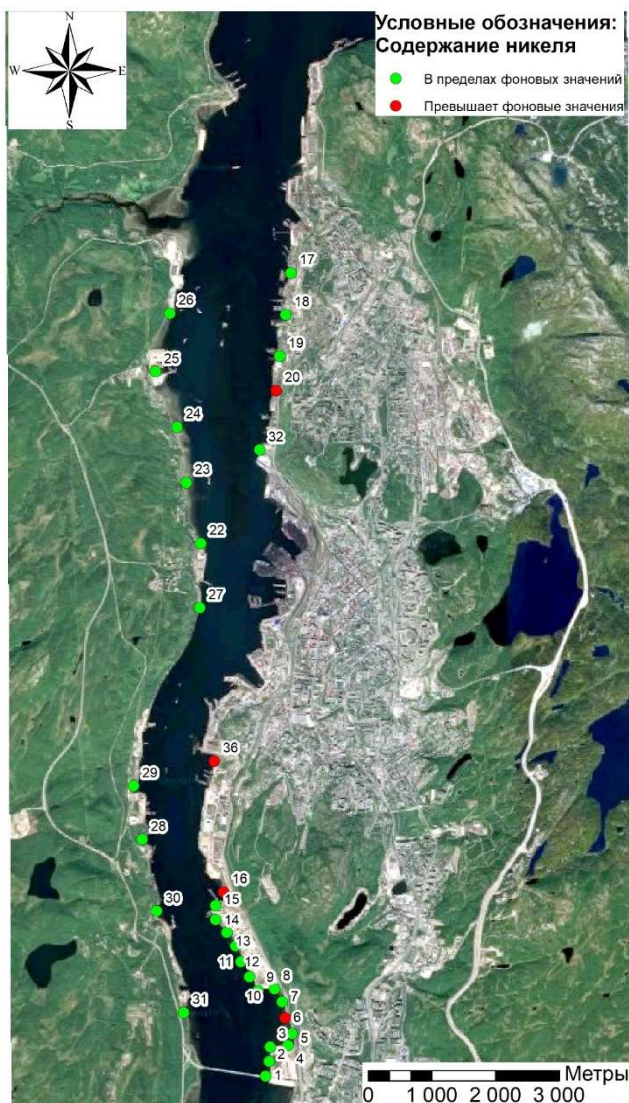


Рис. 9 – Схема распределения никеля в донных отложениях, относительно его фонового значения

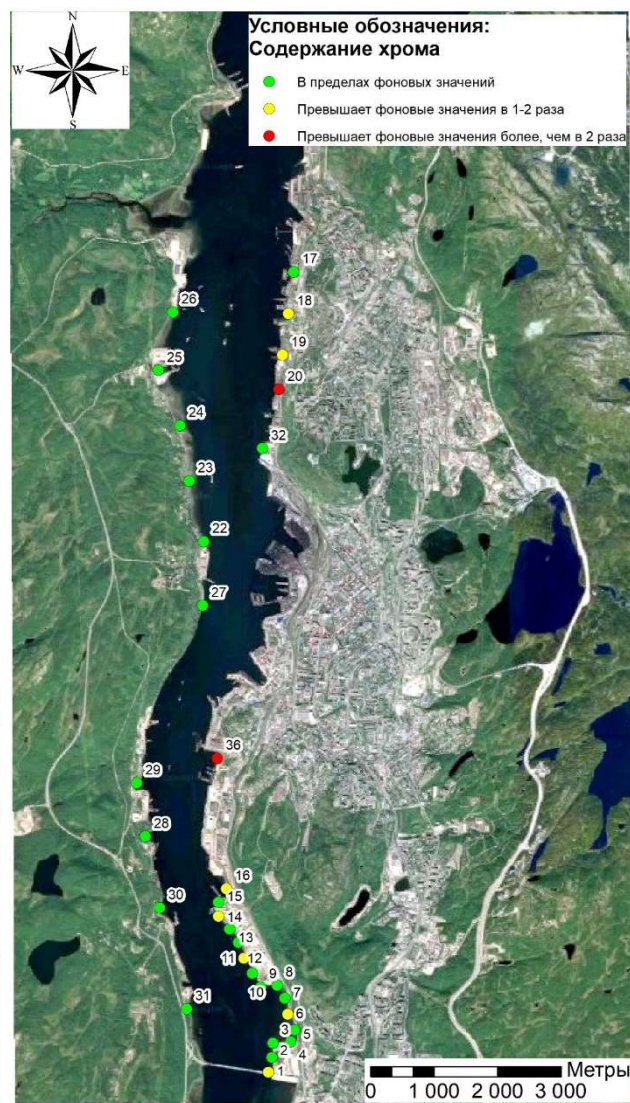


Рис. 10 – Схема распределения хрома в донных отложениях, относительно его фонового значения

#### 4.1.2 Содержание нефтепродуктов

По результатам исследования также были получены данные о содержании НП в донных отложениях.

Во всех исследуемых образцах донных отложений наблюдается многократное превышение содержания нефтепродуктов по отношению к их фоновому значению. Максимальные превышения (более чем в 10 000 раз) отмечались в точках пробоотбора № 1, 7, 9, 12, 16, 22, 28.

Утвержденного норматива содержания нефтепродуктов для донных отложений не существует, однако на сегодняшний день в России имеются различные классификации почв по степени загрязнения нефтепродуктами. Так, в документе МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая основа качества почвы населенных мест» предложена своя градация значений степени загрязнения нефтепродуктами почв и грунтов: за ПДК принимают фоновое региональное значение, от 0 до ПДК – допустимый уровень загрязнения, низкий уровень – от ПДК до 1000 мг/кг, средний – от 1000 до 2000 мг/кг, высокий уровень – от 2000 до 3000 мг/кг, очень высокий уровень загрязнения – от 3000 до 5000 мг/кг. [3, 27]

Исходя из данной классификации, в 29 образцах из 33 (87,9%) наблюдается очень высокий уровень загрязнения нефтепродуктами. Низкий уровень загрязнения выявлен лишь в 3 образца донных отложений: в точках пробоотбора № 18, 19 и 36.

На рисунке 11 показана схема распределения нефтепродуктов в донных отложениях, относительно их фонового значения.

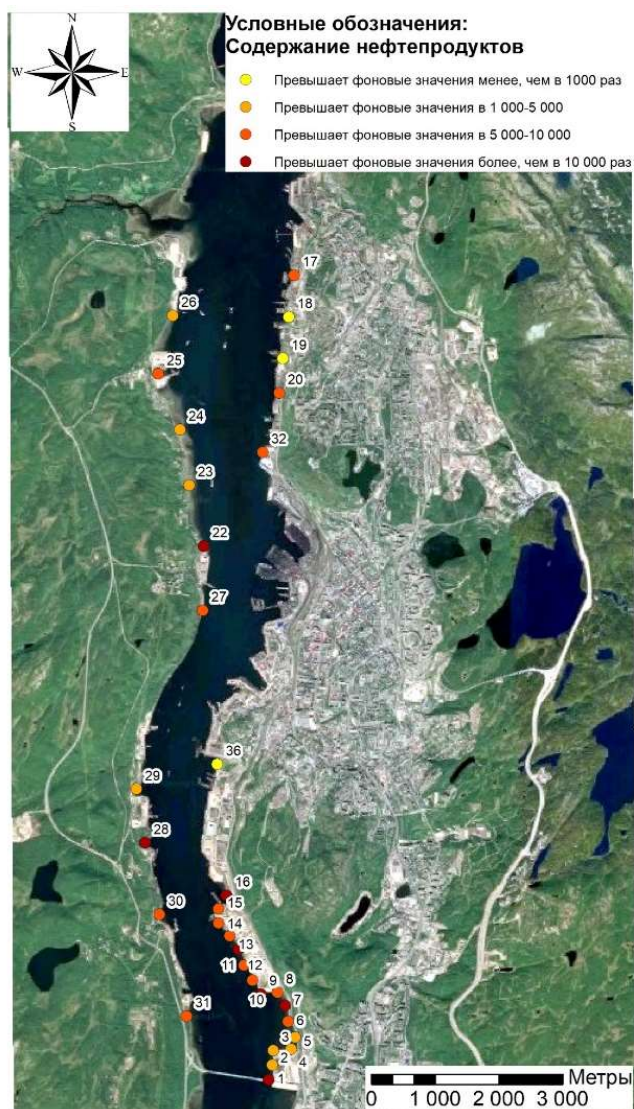


Рис. 11 – Схема распределения нефтепродуктов в донных отложениях, относительно их фонового значения

### 4.1.3 Результаты статистического анализа

Был проведен статистический анализ полученных данных, в частности, определены среднее, медиана, среднеквадратическое отклонение выборки, минимум и максимум (Таблица 4).

Таблица 4 – Показатели описательной статистики

	НП, мг/кг	Pb, мг/кг	Zn, мг/кг	Cu, мг/кг	As, мг/кг	Ni, мг/кг	Cr, мг/кг
Ср. зн-е	11263,6	56,8	166,4	98,9	5,8	45,7	153,0
Медиана	12328	17	54	15	5	41	121
Максимум	20557	451	1514	1615	15	111	416
Минимум	306	5	33	5	5	16	67
Среднекв. отклонение	5742,731	100,045	289,166	290,121	2,639	20,095	83,954

У мышьяка, никеля и хрома медиана и среднее значения близки, следовательно, можно говорить о равномерном распределении элементов. Средние значения у свинца, цинка и меди сильно отличаются от их медиан, что говорит о наличии аномалий, из-за которых распределение нельзя назвать равномерным.

У НП полученные медиана и среднее значение близки, поэтому можно говорить о равномерном распределении нефтепродуктов в донных отложениях. Однако, учитывая, что среднее значение по всей выборке сильно превышает фоновое значение, неправильно будет говорить об отсутствии аномальных значений, т.к. все значения выборки являются таковыми, и можно говорить о присутствии аварийных ситуаций, разливов нефти или выбросов.

Для наглядности по каждому элементу были построены графики «ящик с усами» (Рис. 12-13).

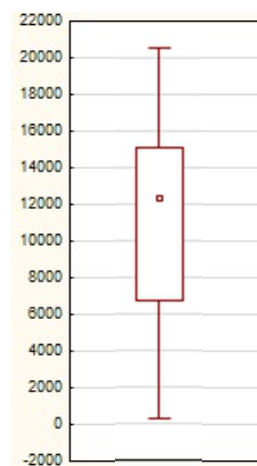
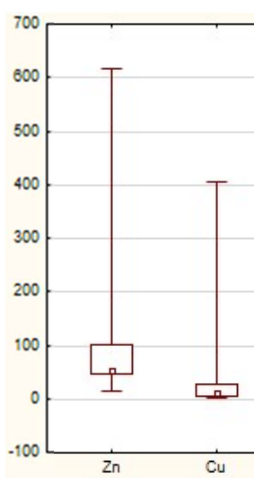
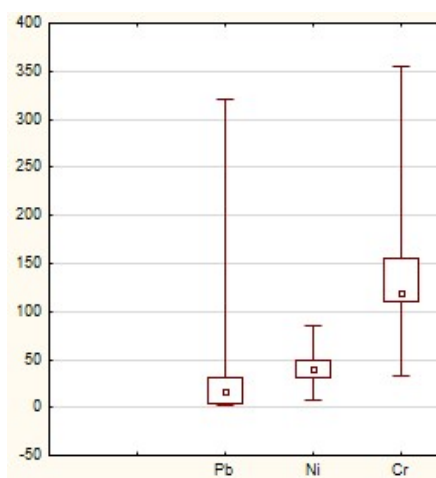


Рис. 12 – Графики «Ящик с усами» для Pb, Zn, Cu, As, Ni, Cr

Рис. 13 – График «Ящик с усами» для НП

Результатом проведенного корреляционного анализа были посчитанные значения коэффициентов корреляции, позволяющие оценить взаимосвязь между концентрациями различных элементов (чем ближе модуль коэффициента корреляции к 1, тем сильнее взаимосвязь элементов). Результат показал, что пропорциональная изменчивость характерна для таких пар элементов, как Cu-Zn (коэф.кор. 9,4), Ni-Cr (коэф.кор. 6,7), Pb-Zn (коэф.кор. 6,5). Для НП модули полученных коэффициентов корреляции находятся в диапазоне от 0,01 до 0,3, что говорит об отсутствии какой-либо взаимосвязи между распределением нефтепродуктов и распределением тяжелых металлов.

Для всей выборки был произведен факторный анализ, результаты которого представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Факторный анализ

Переменная	Фактор № 1	Фактор № 2	Фактор № 3
Oil	-0,02	-0,04	<b>-0,99</b>
Pb	<b>0,67</b>	0,55	0,30
Zn	<b>0,97</b>	0,14	-0,06
Cu	<b>0,99</b>	-0,04	0,04
Ni	0,04	<b>0,93</b>	-0,08
Cr	0,10	<b>0,88</b>	0,17
Собственные значения факторов	2,37	1,97	1,11
Доля изменчивости, предсказываемая факторами	0,39	0,33	0,19

Проведенный факторный анализ подтверждает данные корреляционного анализа. Указанные тесные взаимоотношения Pb, Zn и Cu и их подчиненность одному фактору указывает на наличие общих источников возникновения. Также мы видим принадлежность Ni и Cr единому фактору и полную независимость распределения НП от распределения ТМ.

#### 4.2 Результаты исследования донных отложений озер г. Мурманска

Исследование донных отложений озер г. Мурманска проводилось в 2018-2019 гг. по гранту № 19-77-10007 совместно Институтом проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН, Институтом геологии Карельского научного центра РАН,

Институтом Лимнологии РАН и Санкт-Петербургским Государственным Университетом при поддержке Российского научного фонда.

Результаты исследования донных отложений на содержание в них ТМ были заимствованы из статьи «The Hydrochemistry and Recent Sediment Geochemistry of Small Lakes of Murmansk, Arctic Zone of Russia» авторов Zakhar Slukovskii, Vladimir Dauvalter, Alina Guzeva, Dmitry Denisov, Alexander Cherepanov и Evgeny Siroezhko. [49]

Результаты исследования донных отложений на содержание в них НП взяты из статьи «Нефтепродукты в донных отложениях озер г. Мурманска» В.А. Мязина и З.И. Слуковского. [28]

#### *4.2.1 Содержание тяжелых металлов*

Общее содержание практически всех тяжелых металлов в донных отложениях озер Мурманска превышает фоновый уровень. Результаты исследования показаны на рисунке 14.

Наибольшие накопленные уровни тяжелых металлов были обнаружены в отложениях озера Ледовое, где фоновый уровень был превышен в 20 раз для Pb, 12 для Cr, 7 для Ni, 5 для Zn и Cu. Такое высокое превышение фонового уровня содержания ТМ авторы связывают с наличием в непосредственной близости от озера двух автозаправочных станций, нескольких авторемонтных мастерских, автосалонов, автостоянки, гранитной мастерской, остановки общественного транспорта и нескольких гаражных построек.

В отложениях Семеновского озера, расположенных в рекреационной зоне Мурманска и окруженных оживленными улицами, фоновый уровень превышен в 13 раз для Pb, 7 для Ni, 6 для Cr, 5 для Zn, 4 для Cu.

В отложениях озера Среднее фоновый уровень превышен в 7 раз для Ni, 6 для Pb, 5 для Cd и Cr, 3 для Zn и в 2 для Cu. Озеро Среднее находится недалеко от оживленной дороги и теплоэлектростанции, что может объяснить высокий уровень загрязнения в водоеме, по мнению авторов.

В озере Окуновое фоновый уровень превышен в 5 раз для Pb, 3 для Ni, Zn, Cr и в 2 для Cd и Cu. Это самые низкие показатели среди всех изученных озер.

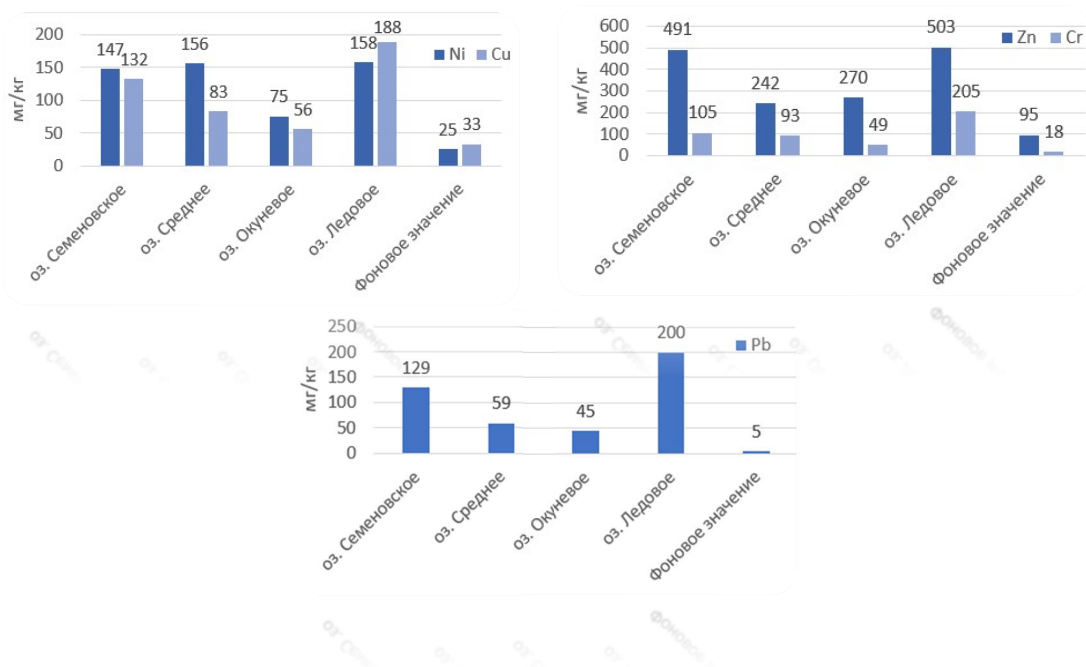


Рис. 14 – Общая концентрация тяжелых металлов в донных отложениях озер Мурманска по сравнению с фоновым уровнем.

На основании представленных результатов исследования нами были посчитаны коэффициенты концентрации (Кк) и суммарные показатели загрязнения (Zc) для каждого озера, представленные в таблице 6.

Таблица 6 – Рассчитанные коэффициенты концентрации (Кк) и суммарные показатели загрязнения (Zc)

Водный объект	К <sub>Pb</sub>	К <sub>Zn</sub>	К <sub>Cr</sub>	К <sub>Ni</sub>	К <sub>Cu</sub>	Z <sub>c</sub>
Оз. Семеновское	25,8	5,2	5,8	5,9	4	42,7
Оз. Среднее	11,8	2,5	5,2	6,2	2,5	24,2
Оз. Окуновое	9	2,8	2,7	3	1,7	15,2
Оз. Ледовое	40	5,3	11,4	6,3	5,7	64,7

В озере Ледовом наблюдаются максимальные значения коэффициентов концентрации всех исследуемых элементов, что говорит о том, что данное озеро испытывает наибольшую антропогенную нагрузку. По значению суммарных показателей загрязнения (Zc) донные отложения озер Ледовое и Семеновское относятся к категории сильнозагрязненных, а донные отложения озер Среднее и Окуновое – к категории среднезагрязненных.

#### 4.2.2 Содержание нефтепродуктов

Анализ проб на содержание нефтепродуктов проводили методом ИК-спектрометрии. Содержание НП в донных отложениях показано в таблице 7.

Таблица 7 – Содержание НП (углеводородов) в донных отложениях [49]

Место отбора (озеро)	Глубина, см	Содержание углеводородов, мг/кг
Семеновское	0-5	1652
	5-10	1701
	10-15	2966
	15-20	3398
Среднее	0-5	1251
	5-10	684
	10-15	136
	15-20	207
Окуневое	0-5	936
	5-10	1036
	10-15	1111
	15-20	797

Максимальное содержание нефтепродуктов в слое донных отложений до глубины 25 см отмечено в оз. Семеновское, которое находится вблизи оживленных автомобильных дорог и испытывают большую антропогенную нагрузку.

В донных отложениях оз. Среднее и Окуневое содержание нефтепродуктов было заметно ниже и не превышало 1251 мг/кг. Данные озера находятся на некотором удалении от потенциальных источников загрязнения.

### 4.3 Результаты исследования почв вокруг озер г. Мурманска

#### 4.3.1 Содержание тяжелых металлов

По результатам исследований получены данные о содержании ТМ в почвах вокруг озер Семеновское, Среднее, Окуневое и Ледовое.

Для оценки загрязнения почв комплексом тяжелых металлов (ТМ) были рассчитаны значения коэффициентов концентрации (Кк) и суммарных показателей загрязнения (Zс). Рассчитанные значения приведены в таблице 8.



Таблица 8 – Рассчитанные коэффициенты концентрации (Кк) и суммарные показатели загрязнения (Zc)

Водный объект	№ образца	Kpb	Kzn	Kcu	Kfe	Kni	Kcr	Zc
Оз. Среднее	1	1,63	1,46	3,89	4,74	2,06	11,16	19,90
	2	1,28	1,39	4,69	3,90	2,57	11,96	20,8
	3	1,50	1,19	3,54	4,94	2,72	12,90	21,8
	4			1,15	4,01	1,40	12,46	16
	5	1,37			2,86	1,25	11,23	13,7
	6			2,04	4,98	1,76	11,45	17,2
	7	4,10	5,71	5,49	7,54	4,71	16,81	39,4
	8			1,06	6,75	1,10	8,84	14,8
	9	1,19	1,38	4,42	6,33	3,09	12,54	24
	10	1,76	1,47	7,61	105,65	11,18	24,42	147
	11			3,72	6,05	3,60	10,65	21
	12	2,78	3,48	9,65	7,23	4,41	12,32	34,9
Оз. Окуневое	13				3,84	1,54	16,38	19,8
	14				5,94	4,71	8,84	17,5
	15				3,54	1,25	9,86	12,7
	16	1,72	1,25	8,23	2,71	10,66	2,97	22,5
	17				5,13	1,76	10,80	15,7
	18				5,34	2,21	8,48	14
	19	12,56	5,95	15,31	5,10	3,38	13,12	50,4
	20				6,31	1,69	9,71	15,7
	21	24,49	3,78	5,58	6,46	4,71	17,61	57,6
	23			1,95	5,46	1,99	14,86	21,3
	24			1,95	6,08	1,76	11,23	18
Оз. Ледовое	25	1,67	1,58	9,65	7,49	3,97	12,90	32,3
	26		1,61	6,55	6,40	4,85	15,65	31
	27		2,10	8,14	7,19	5,15	16,38	35
	28	1,59	2,53	10,18	7,82	6,47	11,74	45,3
Оз. Семеновское	29	1,63		1,77	2,56	1,25	7,39	10,6
	30	3,70	2,15	11,42	8,37	11,84	11,81	44,3
	31	2,11	5,24	7,61	8,64	6,76	13,70	39
	32			2,65	6,93	2,57	9,57	18,7
	33	1,01	1,03	2,12	4,06	2,13	6,88	12,2
	34	1,06		3,54	3,22	2,87	6,45	13,1
	35		1,95	2,48	5,62	2,79	8,70	16,5
	36	2,33	2,44	9,56	6,62	9,19	13,48	38,6
	37	1,23	1,71	13,54	7,78	9,49	7,39	36,1
	38			3,19	8,20	2,13	9,86	20,4
	39			1,86	6,38	2,06	13,04	20,4
	40			1,50	2,32	1,10	5,14	7,0

В большинстве образцов значения суммарного показателя загрязнения Zc < 32, и степень загрязнения почвы варьируется от «допустимая» до «умеренно-опасной».

Однако, при сравнении полученных концентраций ТМ с нормативами ОДК было выявлено многократное превышение установленных значений. 83% образцов не соответствуют нормативам по никелю, в 53% образцов отмечается превышение ориентировочных допустимых концентраций по цинку и меди и в 30% – по свинцу.

На рисунках 17-46 показаны схемы распределения тяжелых металлов в почвах вокруг озер Семеновское, Среднее, Ледовое, Окуновое, относительно их фоновых значений и условные обозначения к этим схемам.

**Условные обозначения:**

**Содержание хрома**

- Превышает фоновое значение менее чем в 10 раз
- Превышает фоновое значение в 10-15 раз
- Превышает фоновое значение в 15-20 раз
- Превышает фоновое значение более чем в 20 раз

Рис. 15 – Условные обозначения для Cr



Рис. 16 – Схема распределения хрома в почвах около оз. Среднего

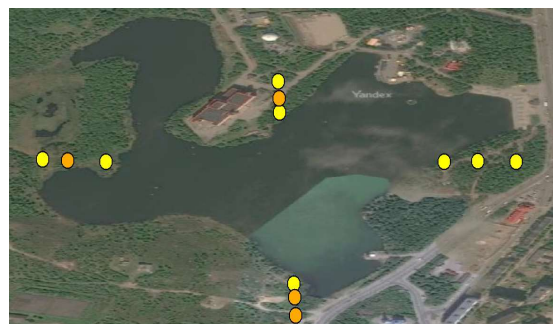


Рис. 17 – Схема распределения хрома в почвах около оз. Семеновского

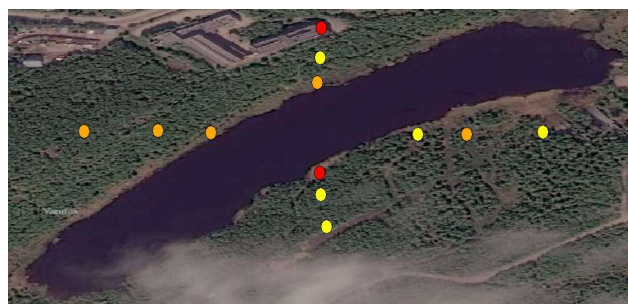


Рис. 18 – Схема распределения хрома в почвах около оз. Окунового



Рис. 19 – Схема распределения хрома в почвах около оз. Ледового

**Условные обозначения:**

**Содержание никеля**

- Ниже фонового значения
- Превышает фоновое значение в 1-2 раза
- Превышает фоновое значение в 2-4 раза
- Превышает фоновое значение в 4-8 раз
- Превышает фоновое значение более чем в 8 раз

Рис 20 – Условные обозначения для Ni

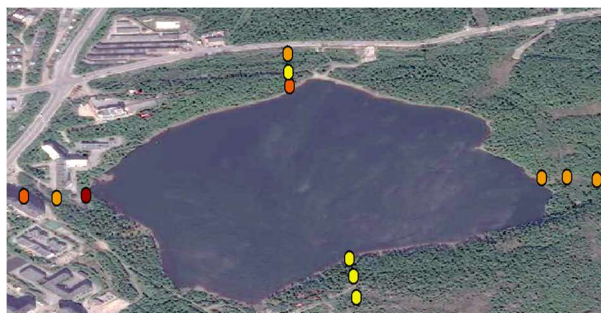


Рис. 21 – Схема распределения никеля в почвах около оз. Среднего



Рис. 22 – Схема распределения никеля в почвах около оз. Семеновского

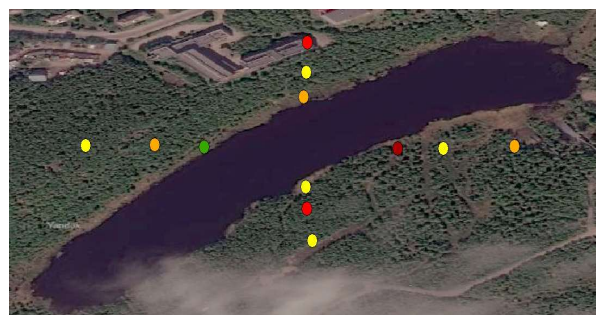


Рис. 23 – Схема распределения никеля в почвах около оз. Окуневого



Рис. 24 – Схема распределения никеля в почвах около оз. Ледового

**Условные обозначения:**

**Содержание железа**

- Превышает фоновое значение в 2-3 раза
- Превышает фоновое значение в 3-5 раз
- Превышает фоновое значение в 5-10 раз
- Превышает фоновое значение более чем в 10 раз

Рис. 25 – Условные обозначения для Fe



Рис. 26 – Схема распределения железа в почвах около оз. Среднего



Рис. 27 – Схема распределения железа в почвах около оз. Семеновского



Рис. 28 – Схема распределения железа в почвах около оз. Окуневого



Рис. 29 – Схема распределения железа в почвах около оз. Ледового

**Условные обозначения:**

**Содержание меди**

- Ниже фонового значения
- Превышает фоновое значение в 1-2 раза
- Превышает фоновое значение в 2-3 раза
- Превышает фоновое значение более чем в 3 раза

Рис. 30 – Условные обозначения для Cu

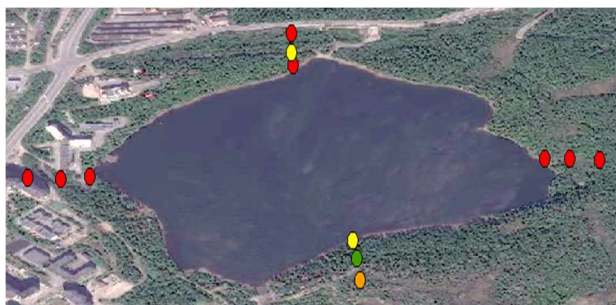


Рис. 31 – Схема распределения меди в почвах около оз. Среднего



Рис. 32 – Схема распределения меди в почвах около оз. Семеновского



Рис. 33 – Схема распределения меди в почвах около оз. Окуневое



Рис. 34 – Схема распределения меди в почвах около оз. Ледового

**Условные обозначения:**

**Содержание цинка**

- Ниже фонового значения
- Превышает фоновое значение в 1-2 раза
- Превышает фоновое значение в 2-4 раза
- Превышает фоновое значение более чем в 4 раза

Рис. 35 – Условные обозначения для Zn

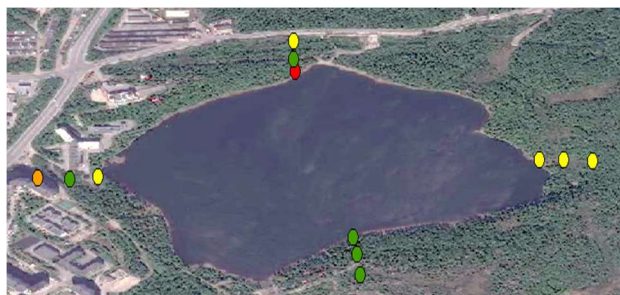


Рис. 36 – Схема распределения цинка в почвах около оз. Среднего



Рис. 37 – Схема распределения цинка в почвах около оз. Семеновского



Рис. 38 – Схема распределения цинка в почвах около оз. Окуневого



Рис. 39 – Схема распределения цинка в почвах около оз. Ледового

**Условные обозначения:**

**Содержание свинца**

- Ниже фонового значения
- Превышает фоновое значение в 1-2 раза
- Превышает фоновое значение в 2-3 раза
- Превышает фоновое значение в 3 и более раза

Рис. 40 – Условные обозначения для Pb



Рис. 41 – Схема распределения свинца в почвах около оз. Среднего

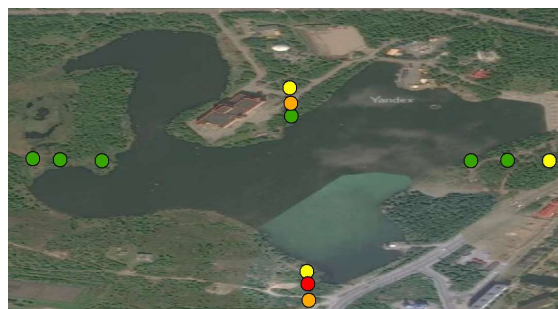


Рис. 42 – Схема распределения свинца в почвах около оз. Семеновского



Рис. 43 – Схема распределения свинца в почвах около оз. Окуневого



Рис. 44 – Схема распределения свинца в почвах около оз. Ледового

*4.3.2 Результаты статистического анализа*

В результате проведенной статистической обработки данных анализов были получены среднее значение, медиана, среднее квадратическое отклонение выборки, максимум и минимум (Таблица 9).

Таблица 9 – Показатели описательной статистики

	Pb, мг/кг	Zn, мг/кг	Cu, мг/кг	As, мг/кг	Fe, мг/кг	Ni, мг/кг	Cr, мг/кг
Ср. зн-е	45,8	93,8	51,1	5,0	55214,7	51,4	160,0
Медиана	20,0	61,0	38,0	5,0	40854,2	36,1	160,1
Максимум	556,0	376,0	172,7	5,0	720184,6	160,5	336,5
Минимум	5,0	10,3	5,0	5,0	15847,2	12,9	40,7
Среднекв. отклонение	94,5	93,2	44,8	0,0	108481,5	40,4	52,7

Далее были построены графики «Ящики с усами» (Рис. 45-46).

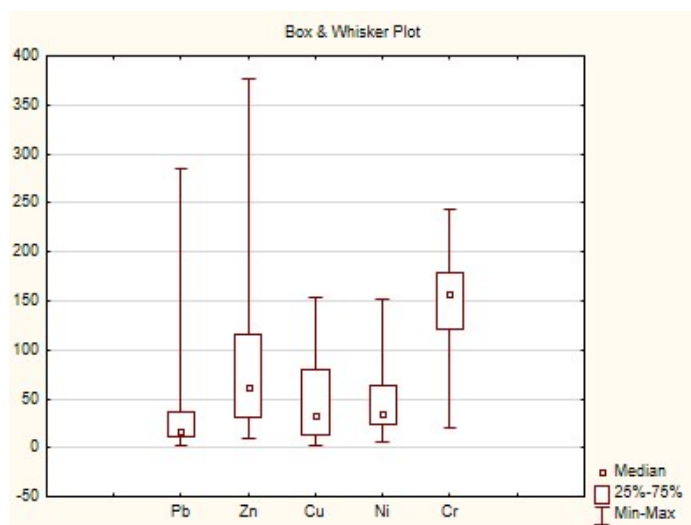


Рис. 45 – График «Ящик с усами» для Pb, Zn, Cu, As, Ni, Cr

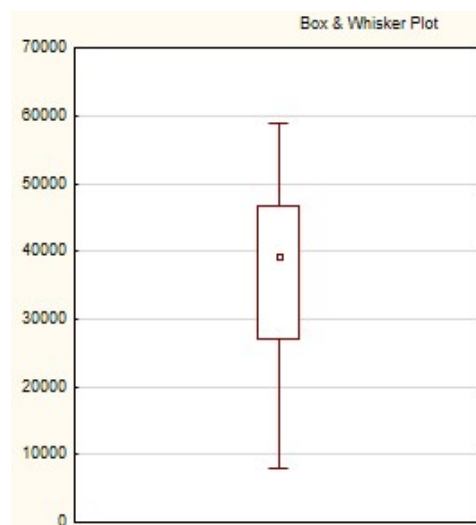


Рис. 46 – График «Ящик с усами» для Fe

Результат корреляционного анализа показал, что пропорциональная изменчивость характерна для таких пар элементов, как Pb-Zn (коэф.кор. 7,0), Cu-Ni (коэф.кор. 6,9), Fe-Cr (коэф.кор. 5,0).

Далее для всей выборки был произведен факторный анализ, результаты которого отображены в таблице 10.

Таблица 10 – Факторный анализ

Переменная	Фактор № 1	Фактор № 2
Pb	0,52	0,26
Zn	<b>0,76</b>	0,48
Cu	0,23	<b>0,84</b>
Fe	<b>0,72</b>	0,20
Ni	-0,08	<b>0,93</b>
Cr	<b>0,83</b>	-0,28
Собственные значения факторов	2,10	2,0
Доля изменчивости, предсказываемая факторами	0,35	0,33

По данным таблицы видно, что Zn-Fe-Cr и Cu-Ni контролируются двумя разными факторами. Первый фактор контролирует 35% изменчивости переменных, а второй – 33%.



## 5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты исследования донных отложений на содержание НП показали очень высокий уровень загрязнения донных отложений Кольского залива в районе г. Мурманска нефтепродуктами. Учитывая, что полученные значения превышают региональное фоновое значение содержания нефтепродуктов в донных отложениях Кольского залива (1,615 мг/кг) в тысячи и даже десятки тысяч раз, можно говорить именно об антропогенных источниках загрязнения. Ими могут быть множественные судостроительные мастерские, нефтеперерабатывающие заводы, а также морской порт и многие другие предприятия. Также столь высокие значения могут быть связаны с выбранным участком работ: во-первых, г. Мурманск является одним из основных источников загрязнения Кольского залива; во-вторых, образцы отбирались в прибрежной зоне, где происходит аккумуляция тонкодисперсных фракций и повышено влияние антропогенного воздействия.

В. А. Шахвердов и М. В. Шахвердова в своем исследовании также отмечают, что донные осадки Кольского залива характеризуются самой высокой на северо-западе России фоновой концентрацией нефтепродуктов. [42]

Результаты исследования донных отложений озер на содержание НП, описанные в статье «Нефтепродукты в донных отложениях озер г. Мурманска» В.А. Мязина и З.И. Слукковского, также показали очень высокое содержание НП в слое до глубины 25 см. Полученные значения более чем в 30 раз превышают региональное фоновое содержание нефтепродуктов и в 3-13 раз превышают нормативы, установленные для донных отложений водных объектов на территории ХМАО. [28]

Таким образом, несмотря на то, что содержание НП в донных отложениях озер г. Мурманска значительно меньше, чем в донных отложениях Кольского залива, оно остается повышенным при сравнении с другими регионами. В частности, содержание НП в озерах на территории Мурманска в несколько раз выше, чем для нефтедобывающих районов (ХМАО) при том, что на территории Мурманской области не ведется добыча и переработка нефти.

Результаты исследования донных отложений Кольского залива на содержание ТМ показали, что в подавляющем большинстве образцов уровень загрязнения классифицируется как слабый. Наибольший вклад в загрязнение донных отложений Кольского залива вносят Cu, Zn и нефтепродукты. Эти данные коррелируют с данными о загрязненности придонных вод залива, описанными в проекте ЮНЕП/ГЭФ «Оценка

степени загрязненности придонных вод и донного осадка Южного колена Кольского залива в результате антропогенного воздействия» и представленных на рисунке 47. [25]

На рисунке 48 представлена карта, составленная по значениям показателей суммарного загрязнения ( $Z_c$ ). По карте можно заметить, что выявленные в результате исследования повышенные концентрации ТМ, относительно их фоновых содержаний, были отмечены вблизи грузовых районов рыбного порта, причалов перегрузочного угольной базы Мурманского морского торгового порта и апатитового перегрузочного терминала. Эти же участки отмечены на рисунке 47, как основные районы загрязнения придонных вод. Также совпадают приоритетные загрязнители, выявленные в результате нашего исследования и исследования, проводимого в 2005-2007 гг.

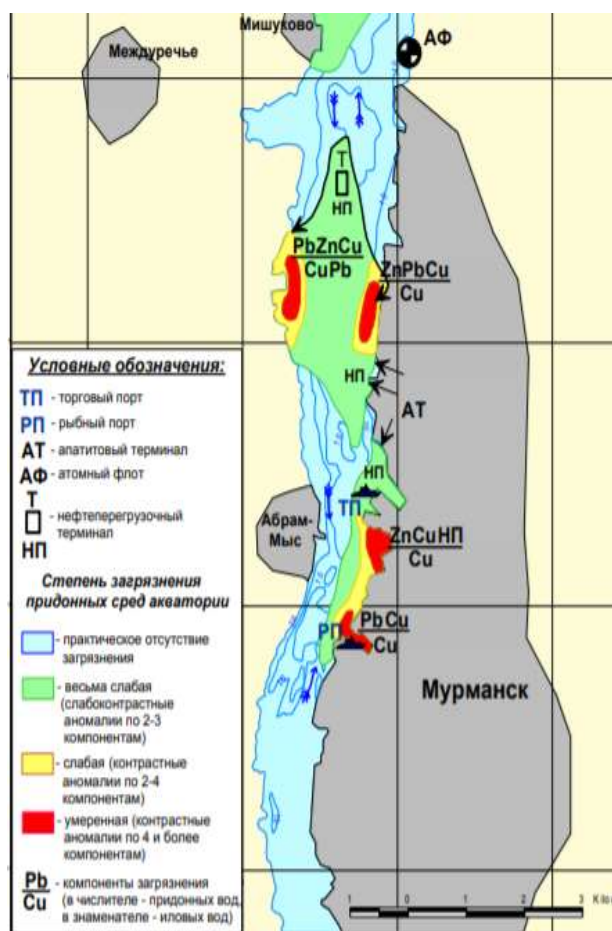


Рис. 47 – Гидрохимическая карта придонных вод южного колена Кольского залива [31]

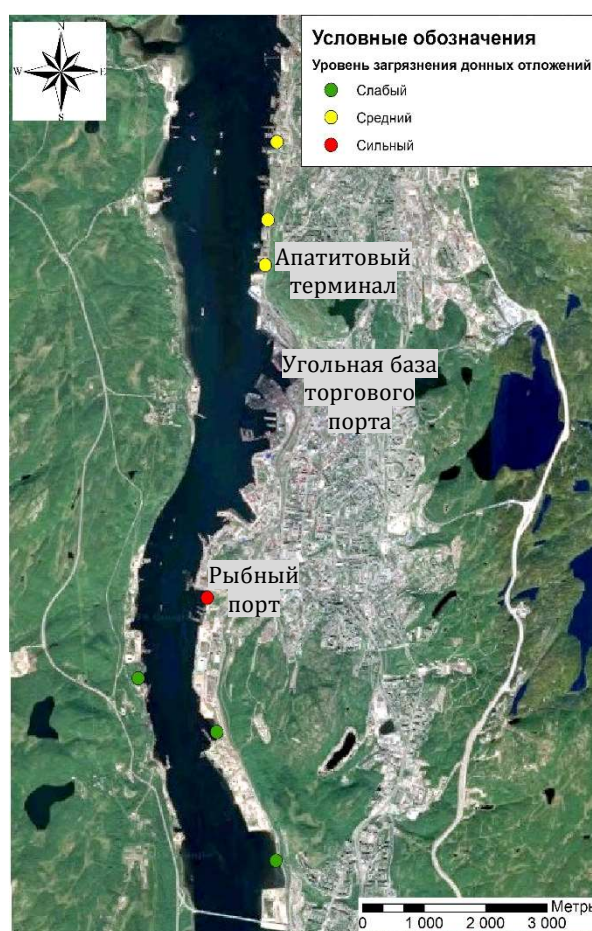


Рис. 48 – Карта уровня загрязнения донных отложений Кольского залива

В результате проведенного исследования также удалось выяснить, что основной вклад в загрязнение донных отложений озер г. Мурманска вносят Pb, Ni и Cr, а в загрязнение почв вокруг озер – Cr, Ni и Fe. Повышенные концентрации Fe, Ni и Cr можно

объяснить тем, что основным видом топлива на Центральной ТЭЦ является мазут. Известно, что выбросы от любой тепловой электростанции на основе мазута имеют повышенные уровни содержания железа, никеля, хрома и других элементов. Факторный анализ, проведенный для выборки данных концентраций ТМ в почвах вокруг озер, также подтверждает, что Cr и Fe имеют общую природу возникновения. [50]

Значительное загрязнение Pb наблюдается в донных отложениях всех исследуемых озерах г. Мурманска. Это может быть связано с долгосрочным использованием тетраэтил(метил)свинца, который добавляли в бензин для повышения его качества в период между 1930-ми и 2000-ми годами. Именно поэтому максимальные концентрации Pb обнаружены в отложениях Ледового и Семеновского озер, которые находятся ближе всего к оживленным дорогам. [51]

Следует также отметить, что одним из ключевых источников загрязнения в Мурманске является угольная пыль из торгового порта Мурманск. Многие тяжелые металлы (Cr, Ni и др.) могут содержаться в угле и в угольной пыли в качестве примесей, которые становятся загрязнителями окружающей среды в результате атмосферного переноса.

Категории загрязнения донных отложений озер г. Мурманска и почв вокруг них, оцененные с помощью суммарного показателя загрязнения (Zc), отражены на рисунке 49.

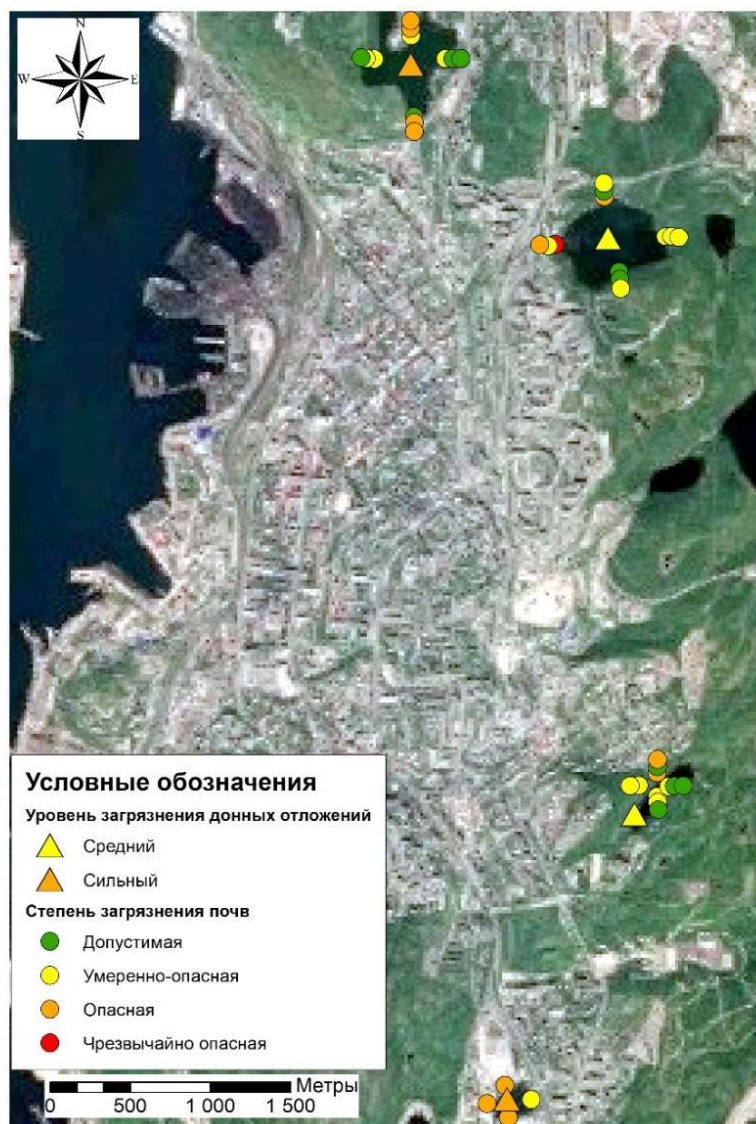


Рис. 49 – Карта загрязненности донных отложений и почв

Как видно из рисунка, наименьшие уровни загрязнения по сравнению с остальными исследуемыми озерами отмечаются у озера Окуневое, причем более «чистыми» являются и донные отложения озера, и почвы вокруг него. В первую очередь это связано с тем, что озеро окружено лесом и расположено вдали от оживленных дорог. Напротив, максимальные уровни загрязнения донных отложений и почв наблюдаются у озера Ледового, т.к. оно находится в районе плотной городской застройки, в радиусе 20 м находится оживленная дорога, а в радиусе 100 м – автозаправочные станции, авторемонтные мастерские и автостоянки. В целом, данные по донным отложениям хорошо коррелируют с данными по почвам.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы было дано физико-географическое описание района исследования, проведен анализ потенциальных источников загрязнения, описаны методики отбора проб почв и донных отложений, пробоподготовки и проведения анализов.

В результате проведения эколого-геохимического исследования были получены значения концентраций тяжелых металлов и нефтепродуктов в донных отложениях Кольского залива и почвах вокруг озер г. Мурманска. Полученные данные были проанализированы: были проведены статистическая обработка данных, корреляционный анализ, факторный анализ, рассчитаны коэффициенты концентрации отдельных элементов (Кк) и суммарный показатель загрязнения (Zc). Далее проводилось сравнение полученных значений концентраций ТМ и НП с их фоновыми значениями.

Кольский залив подвержен интенсивному воздействию хозяйственно-промышленного комплекса, созданного на его побережье. Для Кольского залива характерно комплексное загрязнение донных отложений химическими веществами, основными из которых являются нефтепродукты. Они не только сами по себе представляют угрозу экосистемам, но и являются мощным сорбентом, который способствует накоплению других поллютантов.

По содержанию тяжелых металлов донные отложения лишь 12% исследуемого участка Кольского залива могут характеризоваться как средне- и сильнозагрязнённые. К наиболее загрязненным районам относятся район апатитового перегрузочного терминала и районы Торгового и Рыбного портов.

Результаты исследования также показали высокий уровень загрязнения тяжелыми металлами донных отложений озер г. Мурманска и почв их водосборов. Основными источниками загрязнения в г. Мурманске являются предприятия теплоэнергетического комплекса ГОУТП «ТЭКОС» и ОАО «Мурманская ТЭЦ», мусоросжигательный завод и торговый порт, где происходит перевалка и дробление угля. Также большое значение имеет близость озер к оживленным автодорогам и их защищенность от аэротехногенного загрязнения лесными насаждениями.

Наименее загрязненным озером оказалось оз. Окуновое, где донные осадки характеризовались как среднезагрязненным, а степень загрязнения почв в большей части образцов изменялась от «допустимой» до «умеренно-опасной». Максимальные антропогенные нагрузки приходятся на оз. Ледовое, где уровень загрязнения донных отложений является сильным, а степень загрязнения почв – опасной.

Таким образом, все вышесказанное говорит о том, необходимо принять необходимые меры по улучшению экологической обстановки, в частности, продолжить проводить комплексный мониторинг негативного воздействия существующих источников загрязнения на водную среду Кольского залива и озер г. Мурманска, очистить Кольский залив от брошенных и затопленных судов, обеспечить экологическую безопасность Кольского залива при транспортировке нефти и нефтепродуктов и усовершенствовать технологию очистки сточных вод. В связи с большой рекреационной ценностью изученных озер, оптимальным решением стала бы откачка загрязненных донные отложения для ликвидации слоя со следами тяжелых металлов и мазута, а также постепенный переход ТЭЦ с мазута на более экологические виды топлива и снижение перевалки угля в черте города.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохина, В.С. Оценка экологического состояния губы Молочной озера Имандра в зоне аквахозяйства / В.С.Анохина, П.П.Кравец, С.С.Малавенда, П.Г.Приймак, О.С.Тюкина // Известия КГТУ. – 2016. – № 42. – С. 11-20.
2. Атлас Мурманской области. – М.: ГУГиК, 1971. – 33 с.
3. Васильченко, А.В. Проблема экологической оценки загрязнения почв нефтепродуктами [Электронный ресурс] / А.В.Васильченко, Т.С.Воеводина // Вестник ОГУ. – 2015. – № 10 (185). – С. 147-151. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-ekologicheskoy-otsenki-zagryazneniya-pochv-nefteproduktami> (дата обращения: 12.05.2020)
4. Ващенко, П.С. Применение ГИС технологий для оценки чувствительности побережья Кольского залива к разливам нефти / П.С.Ващенко, О.П.Калинка // Вестник МГТУ. – 2013. – Т. 16. – № 3. – С. 542-549.
5. Веригина, А.В. Комплексная оценка загрязненности атмосферного воздуха в районе центральной ТЭЦ города Мурманска / А.В.Веригина // Флора и фауна урбанизированных территорий в высоких широтах. – 2017. – С. 91-96.
6. Глухов, А.А. Кольский залив: состояние и перспективы возрождения экосистем / А.А.Глухов, А.М.Костин, Е.П.Олесник, И.А.Шпарковский. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1992. – 44 с.
7. ГН 2.1.7.2511-09 Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.— 10 с.
8. ГОСТ 17.1.5.01-80 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
9. ГОСТ 17.4.4.02-84 Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, микробиологического, гельминтологического анализа. – М.: Стандартиформ, 2008.
10. Даувальтер, В.А. Оценка баланса тяжелых металлов (Ni и Си) на водосборе субарктического озера (на примере Чунозера) / В.А.Даувальтер, Н.А.Кашулин, С.С.Сандимиров, Н.Е.Раткин // Вестник Мурманского государственного технического университета – 2009. – № 12 (3). – С. 507-515.

11. Даувальтер, В.А. Халькофильные элементы в воде и донных отложениях озера умбозеро / В.А.Даувальтер, С.И.Ящишина // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2008. – № 11 (3). – С. 415-422.
12. Демин, В.И. Влияние микроклиматических условий на расчеты городского острова тепла и тренды температуры в Мурманске / В.И. Демин, А.Р.Анциферова, О.М.Чаус // Труды Гидрометцентра России. – 2017. – Вып. 363. – С. 160-177.
13. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2016 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gov-murman.ru/region/environmentstate/> (дата обращения: 12.05.2020)
14. Жилин, А.Ю. Состав, источники и токсикологический потенциал ПАУв донных осадках Кольского залива Баренцева моря / А.Ю.Жилин, Н.Ф.Плотицына // Известия ТИНРО. – 2009. – Т. 156. – С. 247-253.
15. Иванюкович, Г.А. Статистический анализ экогеологических данных. / Г.А.Иванюкович; под ред. И.М.Хайковича, В.В.Куриленко. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2010. – 204 с.
16. Калинин, О.П. Оценка уязвимости акватории Кольского залива и чувствительности его берегов при разливах нефти: дис. ... канд. географ. наук: 25.00.28 / Калинин Ольга Петровна. – Мурманск: ММБИ. – 2016. – 136 с.
17. Ковалева, Т.О. Проблемы озеленённости в связи с динамикой аэротехногенного загрязнения города Мурманска / Т.О.Ковалева, П.Г.Приймак // Охрана окружающей среды и здоровья человека в Российской Федерации и странах Евросоюза. – 2014. – С. 34-40.
18. Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. – 265 с.
19. Косинова, И.И. Методологические особенности оценки экологического состояния донных отложений искусственно созданных водных объектов / И.И.Косинова, Т.В.Соколова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2015. – № 3. – С. 126-134.
20. Кудасов, В.И. Характеристика загрязнения тяжелыми металлами вод Кольского залива по данным исследования 2011-2014 гг. / В.И.Кудасов // Вестник МГТУ. – 2006. – № 5. – С. 833-838.
21. Кудряшова, Е.О. Анализ качества поверхностных вод г. Мурманска по некоторым физико-химическим показателям / Е.О.Кудряшова, Е.Ю.Александрова // Проблемы Арктического региона. – 2014. – С.111-113.



22. Лебедев, С.В. Пространственное ГИС-моделирование геоэкологических объектов в ArcGIS: учебник / С.В.Лебедев, Е.М.Нестеров. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2018.
23. Мазурова, В.Е. Оценка экологического риска последствий загрязнения поверхностных вод с использованием материалов дистанционного зондирования: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36 / Мазурова Виктория Евгеньевна. – Москва, 2009. – 147 с.
24. Матишов, Г.Г. Общие причины кризисных явлений в экосистемах морей Северной Европы / Г.Г.Матишов // Экологическая ситуация и охрана флоры и фауны Баренцева моря. – Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 1991. – С. 8-33.
25. Минаев, Н.Д. Оценка состояния загрязнённых нефтью и нефтепродуктами поверхностных вод и донных отложений водных объектов на территории Самотлорского месторождения: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.27 / Минаев Николай Дмитриевич. – Ханты-Мансийск: ФГБУН Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, 2020. – 180 с.
26. Морозова, Д.А. Рост и развитие *Syringa josi-kaea* Jacq. в условиях арктического города (на примере г. Мурманска) / Д.А.Морозова // Флора и фауна урбанизированных территорий в высоких широтах: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Мурманск: МАГУ, 2017. – С. 26-33.
27. МУ 2.1.7.730-99 Гигиеническая основа качества почвы населенных мест [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003852> (дата обращения 01.05.2020)
28. Мязин, В.А. Нефтепродукты в донных отложениях озер г. Мурманска / В.А.Мязин, З.И.Слуковский // Герценовские чтения. – СПб.: РГПУ им. А.И.Герцена, 2020.
29. Об утверждении схемы размещения, использования и охраны охотничьих угодий на территории Мурманской области: постановление губернатора Мурманской области: от 31 июля 2018 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/543746002> (дата обращения 01.05.2020)
30. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2013. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/90/> (дата обращения 01.05.2020)
31. Оценка степени загрязненности придонных вод и донного осадка южного колена Кольского залива в результате антропогенного воздействия. —

- Мурманск: 2008. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://archive.iwlearn.net/npaarctic.iwlearn.org/Documents/demos/new/kola\\_bay\\_brief\\_ru.pdf](http://archive.iwlearn.net/npaarctic.iwlearn.org/Documents/demos/new/kola_bay_brief_ru.pdf) (дата обращения 01.05.2020)
32. Попова, О.Н. Климатогеофизическая характеристика Кольского заполярья // Экология человека. – 2012. – № 5. – С. 3-7.
33. Природа и хозяйство Севера. – Мурманск: Мурманский отдел РГО, 2014. – Вып. 18. – 162 с.
34. РД 52.24.609-2013 Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов. – М.: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2013. – 39 с.
35. Сает, Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е.Сает, Б.А.Ревич, Е.П, Янин [и др.]. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
36. Сандимиров, С.С. Пространственно-временные закономерности формирования химического состава поверхностных вод Мурманской области: дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.11. – Апатиты. 1999. – 168 с.
37. Слуковский, З.И. Первые результаты обследования озер, расположенных в черте г. Мурманска (июль 2018 г.) / З.И.Слуковский, Д.Б.Денисов, А.А.Черепанов // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. – С. 288-291.
38. Тарасова, А.А. Антропогенное почвообразование в Мурманске: первые результаты морфологического и физико-химического изучения [Электронный ресурс] / А.А.Тарасова, Е.В.Абакумов // Живые и биокосные системы. – 2016. – № 17;. – Режим доступа: <http://www.jbks.ru/archive/issue-17/article-5> (дата обращения 02.05.2020)
39. Усачева, Е.П. Комплексное исследование экологического состояния озер Семеновского и Ледового (г. Мурманск) / Е.П.Усачева, Е.Ю.Александрова // Флора и фауна урбанизированных территорий в высоких широтах: материалы международной научно-практической конференции – Мурманск: МАГУ, 2017. – С. 78-86.
40. Федорец, Н.Г. Тяжелые металлы в почвах Карелии / Н.Г.Федорец, О.Н.Бахмет, М.В.Медведева, Г.В.Ахметова, С.Г.Новиков, Ю.Н.Ткаченко, А.Н.Солодовников. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. – 222 с.
41. Черепанов, А.А. Исследования сообществ зоопланктона в озерах города Мурманска / А.А.Черепанов, Д.Б.Денисов, О.И.Вандыш, З.И.Слуковский,

- С.В.Постнова // Труды Кольского научного центра РАН. – 2019. – Т. 10. – №. 4 (7). – С. 83-93.
42. Шахвердов, В.А. Оценка современного геоэкологического состояния Кольского залива по геохимическим данным / В.А.Шахвердов, М.В.Шахвердова // Арктика: экология и экономика. – 2016. – № 4 (24). – С. 22-31.
43. Шипилов, Э.В. Структура и литологический состав разреза отложений Кольского залива (фиорда) по данным бурения и сейсмоакустики и неотектонические условия его формирования / Э.В.Шипилов, С.И.Шкарубо, Е.А.Ковальчук // Арктика: экология и экономика. – 2017. – № 4 (28). – С. 72-82.
44. Югай, В.С. Содержание биодоступных форм соединений металлов в донных отложениях водоемов и коэффициент накопления (Kd) как показатели экологической обстановки водоемов (на примере озер Мурманской области) / В.С.Югай, В.А.Даувальтер, Н.А.Кашулин // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2013. – №16 (3). – С. 616-623.
45. Яковлев, Б.А. Климат Мурманска. – Ленинград, Гидрометеиздат, 1972. – 108 с.
46. ArcGIS 9 Geostatistical Analyst. Руководство пользователя. – М.: Изд-во DATA+, 2002. – 216 с.
47. Förstner, U. Metal pollution in the aquatic environment. / U.Förstner, G.T.W.Wittmann. // 2nd rev. ed. – N.Y.: Springer-Verlag, 1981. – 486 p.
48. Håkanson, L. Sediments as indicator of contamination - Investigation in the four largest Swedish lakes // SNN RM 835/ NLU Rapport 92. – Uppsala, 1977. – 27 p.
49. Slukovskii, Z. The Hydrochemistry and Recent Sediment Geochemistry of Small Lakes of Murmansk, Arctic Zone of Russia / Z.Slukovskii, V.Dauvalter, A.Guzeva, D.Denisov, A.Cherepanov, E.Siroezhko. // Water. – 2020 – 12. – 1130.
50. Teng, Y. Environmental geochemistry and ecological risk of vanadium pollution in Panzhihua mining and smelting area, Sichuan, China // Y.Teng, S.Ni, C.Zhang, J.Wang, X.Lin, Y.Huang. // Chin. J. Geochem. – 2006. – 25. – 379-385 p.
51. Thomas, V. The elimination of lead in gasoline. / V.Thomas. // Annu. Rev. Energy Environ. – 1995. – 20. – 301–324 p.