



Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Географический факультет

Кафедра рационального природопользования

Бакалаврская работа

**«Распространение аэротехногенных поллютантов на островах  
западного сектора Арктики»**

**Выполнила:**

Студентка 4 курса

О.М. Гоммерштадт

**Научный руководитель:**

д.г.н., профессор А.В. Евсеев

**Рецензент:**

к.г.н. с.н.с. Е.Л.Воробьевская

Москва, 2018

## Оглавление

<b>Введение</b> .....	3
<b>Глава 1. Эколого-географические особенности рассматриваемой территории.</b>	7
1.1 Геологическое строение .....	7
1.2. Рельеф.....	9
1.3. Климат .....	11
1.4 Поверхностные воды .....	14
1.5. Оледенение.....	15
1.6. Почвы .....	17
1.7. Растительность и животный мир .....	18
1.8. Хозяйственное освоение территории.....	20
1.9. Экологическое состояние .....	21
<b>2. Биогеохимические особенности тяжелых металлов и стронция.....</b>	29
<b>3. Объект и методы исследования</b> .....	42
3.1. Подготовительный этап.....	42
3.2. Полевой этап .....	43
3.3. Лабораторная обработка проб .....	46
<b>Глава 4. Анализ закономерностей пространственного распространения техногенных поллютантов.</b> .....	51
4.1. Распространение и накопление никеля.....	52
4.2. Распространение и накопление меди.....	61
4.3. Распространение и накопление цинка .....	70
4.4. Распространение и накопление свинца.....	78
4.5. Распространение и накопление кадмия .....	86
4.6. Распространение и накопление стронция.....	93
<b>Заключение.</b> .....	99
<b>Список литературы.</b> .....	102
<b>Приложения.</b> .....	109

## **Введение**

Арктические острова в западном секторе Евразии расположены между меридианами 26,6539° з. д. и 68,8717° в. д. и включают в себя: архипелаги Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, Шпицберген, остров Исландия, Фарерские острова. Они располагаются в Северном Ледовитом океане и находятся в бассейне следующих морей: Норвежское, Гренландское, Баренцево, Карское. Рассматриваемые острова относятся к владениям сразу нескольких государств: Российской Федерации, Дании, Норвегии, Исландии. К территориальным владениям России в западном секторе Северного Ледовитого океана относятся два крупных архипелага – Земля Франца-Иосифа и Новая Земля. Общая площадь всех островов составляет более 260 тысяч км<sup>2</sup>.

Северная часть евразийского сектора Арктики всегда была абсолютно уникальным районом ввиду климатических особенностей и нахождения в высоких широтах. Другие природные факторы внесли свой вклад в формирование особых природных экосистем. Островные территории необычны – ввиду еще более суровых природных условий, чем на материке. Острова в Арктике интересны тем, что являются более изолированными и труднодоступными, чем континентальная арктическая часть.

Вопросам природопользования и экологического состояния природной среды Арктики сегодня уделяется особое внимание, учитывая важную экономическую, социальную и экологическую роль этого региона. Ряд стран считает Арктику перспективным для себя регионом, у морских и континентальных частей Арктики множество особых функций – энергетическая, логистическая, оборонная. Известно, что Арктический шельф располагает значительной частью мировых запасов минеральных ресурсов.

Арктика представляет собой крайне перспективный регион для добычи нефти и газа. Приблизительный запасы этих энергоресурсов на шельфе и на суше составляют порядка 90 млрд баррелей [43]. Разведанные запасы на

арктическом шельфе – основная причина, по которой в мире настолько увеличилась роль Арктики в последние годы.

Стоит отметить, что Арктика еще до начала ее активного освоения характеризовалась как регион с уникальной и чистой природной средой [54]. Ввиду особого климатического режима и малой устойчивости экосистем любое антропогенное воздействие оказывает на них негативное влияние. Северные экосистемы относят к зонам экологического риска, так как техногенное воздействие на них способствует нарушению структурно-функциональной организации и развитию в них трудно обратимых изменений, а также в связи с малой способностью к самовосстановлению [7, 17].

Геологическая разведка, хозяйственное и военное освоение территории - основные источники пагубного воздействия на окружающую среду на островах. Техногенные последствия отражаются на экосистемах и зависят от факторов: природных (геоморфологические особенности территории, климат) и техногенных (ограниченное использование транспорта, технология добычи полезных ископаемых, способы транспортировки нефти и газа, соблюдение правил техники безопасности, сброс бурового шлама и попутных вод, количество складированного на территории мусора – объектов механического загрязнения (бочки с остатками ГСМ, вышедшая из эксплуатации техника, заброшенные здания и научные станции)). Особенности использования технологий для добычи полезных ископаемых могут привести к появлению большего числа отходов [75].

Одними из основных загрязнителей на островах Арктики являются тяжелые металлы. Они способны концентрироваться в почвах, подземных водах и живых организмах. В основном тяжелые металлы попадают в них через воздух в результате действия объектов промышленности и электростанций.

Для того, чтобы измерить атмосферные выпадения тяжелых металлов, необходима специальная методика, которая позволила бы легко произвести отбор проб и дальнейшие аналитические работы. Одним из таких методов

является биоиндикация, а в частности использование мхов и лишайников в качестве биомониторов. Они представляют собой достаточно эффективные аккумуляторы, в которые происходит накопление из атмосферы [67]. Мхи и лишайники накапливают металлы, поэтому их анализ может дать более подробное представление о содержании тяжелых металлов на рассматриваемой территории [24].

В 2017 году во время экспедиции «Арктический Плавающий Университет 2017», учебной практики и поездок самостоятельно и с помощью студентов и сотрудников географического факультета МГУ им. Ломоносова были получены образцы мхов и лишайников, которые были обработаны для получения соответствующих данных в лаборатории атомной абсорбции географического факультета МГУ.

Рассмотрение особенностей распространения техногенных поллютантов на островах западного сектора Европейской части Арктики – цель данной работы. Среди поставленных задач можно выделить следующие:

1. Рассмотрение эколого-географических характеристик района
2. Выделение источников поступления поллютантов
3. Выявление закономерностей пространственного распределения техногенных поллютантов
4. Оценка уровня накопления тяжелых металлов в экосистемах
5. Построение тематических карт и картосхем для визуализации распределения аэротехногенных поллютантов

В данной работе будут рассматриваться следующие острова и архипелаги:

1. Архипелаг Новая Земля
2. Архипелаг Земля Франца Иосифа
3. Архипелаг Шпицберген
4. Исландия
5. Фарерские острова

Для выполнения работы были использованы данные полевых наблюдений, информация из ряда тематических литературных (монографии, учебные пособия, периодические издания, сборники, энциклопедии и другие), картографических (карты и атласы, космоснимки) источников, а также ресурсов сети Интернет.

## Глава 1. Эколого-географические особенности рассматриваемой территории.

Острова евразийского сектора Арктики по большей части относятся к арктическому поясу, и лишь Фарерские острова приурочены к поясу субарктическому. Почти вся территория по географическому зонированию относится к арктическим пустыням и тундре. На карте (Рис.1.1) показано расположение островов относительно друг друга.



Рис 1.1. Западная часть Европейского сектора Арктики.

### 1.1 Геологическое строение

В пределах рассматриваемой территории расположены как самостоятельные, присущие только ей геологические структуры, так и структуры, тесно связанные с прилегающими с юга к Северному Ледовитому океану Евразийским континентом.

Здесь выделяется ряд крупных геологических структур платформенного типа, а также несколько различных по своему возрасту складчатых систем. Территория, охватываемая северными частями Баренцева и Карского морей, выделяется как обширная Баренцево-Карская платформа с мезозойско-кайнозойским чехлом. В пределах этой области расположены Земля Франца-Иосифа. В геологическом строении архипелага Земли Франца-Иосифа главная роль принадлежит отложениям мезозойско-кайнозойского возраста. Верхнепалеозойские отложения пользуются ограниченным распространением [34].

Структуры Новой Земли входят в состав Урало-Новоземельской складчатой области позднегерцинского возраста. Главными структурами Новой Земли являются Северный и Южный Новоземельский антиклинории и Кармакульский синклинорий [34].

Архипелаг Шпицберген состоит из островов, образовавшихся в начале кембрия и ордовика, примерно 550-400 млн лет назад в эпоху каледонской складчатости. В геологическом строении участвуют фрагменты допозднерифейского складчатого основания, разбитого на гетерогенные блоки глубинными разломами [21]. По Шпицбергену разбросаны ряды горных хребтов, самый молодой из которых находится на юге и является частью третичного складчато-надвигового пояса [57]. Самый старый образовался 470-400 млн лет назад. Основные отложения – третичного периода (юг Шпицбергена), девонского (север), триасового (восток) [56].

Фарерские острова приурочены к Евразийской плите и являются островами вулканического происхождения, появившимися примерно 55 млн лет назад в раннем палеогене. В результате множества вулканических извержений произошло образование бассейна Роккол (Rockall Basin). Общая толщина вулканических отложений составляет более 6 км. Все Фарерские острова состоят из семи стратиграфических формаций: Бейнисор (Beinisvørð), Престфьял (Prestfjall), Хваннхаги (Hvannahagi), Малинстиндур (Malinstindur), Снейс (Sneis), Энни (Enni). [76]. Самыми распространенными являются Малинстиндур и Энни.



Исландия представляет собой крайне интересный с точки зрения геологии регион. Остров расположен на гребне Северо-Атлантического глобального тектонического шва, вдоль которого происходит расхождение Северо-Американской и Евразийской литосферных плит [16]. Он представляет собой совокупность мощных пластов базальта и лавовых пород, которые продолжают изливаться на поверхность с миоцена. Толщина лавовых отложений может достигать 7 км [41]. Исландия – регион с крайне активной вулканической деятельностью, на острове расположены крупные действующие вулканы (Гекла, Лаки).

## 1.2. Рельеф

Все рассматриваемые острова обладают различными климатическими условиями, геологической историей, рельефом и рядом других особенностей.

В пределах Российской территории выделяются архипелаги Земля Франца-Иосифа и Новая Земля.

Крупнейшими островами являются острова Новой Земли, площадь которых составляет около 82 200 км<sup>2</sup>. Это архипелаг, состоящий из двух крупных островов, вдоль берегов которых располагаются мелкие острова типа шхер. Два главных острова Новой Земли по существу являются единым горным хребтом. Южная и северная их оконечности представляют собой невысокие холмистые плато. Северная оконечность Новой Земли по устройству рельефа сходна с южной, но не так сильно расчленена речными долинами.

Архипелаг Земля Франца-Иосифа представляет собой сложную систему больших и малых островов, разделенных многочисленными проливами. Всего в архипелаге насчитывается 191 остров с общей площадью 16134 км<sup>2</sup>. Самые большие острова ЗФИ: Земля принца Георга, Земля Вильчека, о. Грэм Белл, о. Галля, Земля Александры, о. Солсбери [37]. Ряд других островов представлен небольшими одиночными скалами с отвесными склонами либо отмелями. ЗФИ и прилегающий

шельф являются сводовыми поднятиями в северной части Баренцева моря на границе окраинно-материковой плиты с глубоководной котловиной Нансена. В плане рельефа на островах выделяется один основной тип характерных образований - столовые горы, образующие открытые формы ландшафта, пробивая ледовый панцирь. Такие горы имеются на острове Винер-Нейштадт. Основная особенность рельефа Земли Франца-Иосифа – сильная расчлененность, вызванная наличием базальтовых покровов и пластовых интрузий. Большое количество островов и относительно мелкие проливы между ними также свидетельствуют об этом. Острова характеризуются крутыми берегами, представленными делювиальными осыпными склонами на базальтовых утесах. Имеются низинные абразионные поверхности – «пляжи» - однако их достаточно мало [44].

К западному сектору Европейской Арктики относятся следующие архипелаг и острова: Шпицберген (Норвегия), Исландия, Фарерские острова (Дания). Все они характеризуются разными условиями рельефа.

Шпицберген представляет собой архипелаг, состоящий из 6 основных островов (Западный Шпицберген, Северо-Восточная Земля, Эдж, Баренца, Белый остров, Медвежий остров) общей площадью 62 тыс км<sup>2</sup>. В тектоническом отношении является сводовым поднятием на северо-западном окончании Баренцевоморской окраинно-материковой плиты. Наивысшая точка архипелага – г. Ньютон высотой 1712 м на о. Западный Шпицберген. Рельеф в целом гористый. Северо-западная и северо-восточная части островов характеризуются высокими острыми пиками и зубчатыми гребнями горных хребтов. На остальной территории островов наблюдается преобладание ледниковых долин с локальным загромождением продуктами выветривания. Береговая линия сильно изрезана, имеется множество фьордов, заложившимися по линиям разломов [56].

Исландия – остров на севере Атлантического океана, расположившийся между Гренландией и Норвегией, недалеко от северного полярного круга. Площадь острова – 103 тыс км<sup>2</sup>. Остров характеризуется преимущественно возвышенным рельефом (4\5 всей площади), которые больше сконцентрированы на всех участках, кроме запада и юго-запада, где наблюдается преобладание низменностей. Исландия

в целом – базальтовое плато с высотами 400-600 м с берегами, представленными крутыми обрывами. Как и Шпицберген, характеризуется сильной расчлененностью рельефа и изрезанностью береговой линии. В частности, множество фьордов находится на севере и северо-западе острова. Основной горный массив Исландии – Ватнайёкюдль, а также примыкающий к нему Эрайвайёкюдль, где находится самая высокая точка острова – вулкан Хваннадальсхнукюр высотой 2119 м. Формы рельефа преимущественно ледникового (ледниковые долины, каровые озера) и вулканического происхождения (лавовые поля и долины). На острове также имеются гейзеры и горячие источники, также создающие специфические формы рельефа. [58].

Фарерские острова представляют собой группу из 18 островов, из которых основными являются: Стреймой, Эстурой, Судурой, Воар, Сандой, Бордой. Общая площадь составляет 1396 км<sup>2</sup>. Они располагаются к югу от Исландии. Почти вся поверхность Фарерских островов представляет собой глубоко расчлененные плато с возвышающимися заостренными гребнями. Острова характеризуются холмистым рельефом со скалистыми берегами и высокими уступами, а также множеством фьордов на изрезанной береговой линии [71]. На острове Мичинес есть небольшое трапповое плато. Самая высокая точка островов – пик Слаттаратиндур на острове Эстурой (882 м).

### 1.3. Климат

Рассматриваемые островные территории располагаются в двух климатических поясах ввиду разного широтного положения. Так можно выделить арктический пояс (ЗФИ, Шпицберген, большая часть Новой Земли) и субарктический пояс (Исландия, Фарерские острова) [8].

#### 1.1.1. Арктический пояс

Данный пояс характеризуется круглогодичным господством арктических воздушных масс и низкими среднегодовыми температурами. Наличие полярной

ночи, низкие температуры и осадки исторически способствовали сохранению оледенения на островах арктического климатического пояса.

Земля Франца-Иосифа отличается арктическим морским типом климата, для которого характерна интенсивная циклоническая циркуляция большую часть года. Среднегодовые температуры отрицательны и колеблются от  $-10,1^{\circ}\text{C}$  до  $-12,0^{\circ}\text{C}$  в июле температура в среднем составляет  $+1,2^{\circ}\text{C}$  в январе  $-20^{\circ}\text{C}$ . Минимальная температура была зарегистрирована в XX веке и составляет  $-52^{\circ}\text{C}$ . Относительная влажность достаточно высока (от 80% до 95%) [26]. Помимо низких температур и высокой влажности, на ЗФИ имеется еще один фактор, ухудшающий климатические условия – на протяжении года на островах дует сильный ветер, его скорость может достигать 40 м/с. Архипелаг характеризуется высокой облачностью и относительно малым количеством осадков (от 200 до 550 мм в год) [8]. В летнее время на островах часто бывают сильные туманы.

Новая Земля, как и Земля Франца-Иосифа, относится к арктическому климатическому поясу. Острова характеризуются продолжительной холодной зимой со средней температурой января  $-15,6^{\circ}\text{C}$ , июля  $+2^{\circ}\text{C}$ . Минимальная зафиксированная температура составляет  $-43,2^{\circ}\text{C}$ . Ввиду большой протяженности с севера на юг на островах наблюдается достаточно большая разница сезонных температур, разница между северной и южной оконечностями острова может составлять 5 градусов. Основная особенность климата Новой Земли – крайне сильные ветры. «Новоземельская бора» является локальным явлением, скорость этих ветров может достигать 60 м/с, а длительность может доходить до полугода [8 Югаров]. Осадков на Новой Земле меньше, чем на ЗФИ – в год на островах выпадает не более 380 мм [8].

Архипелаг Шпицберген характеризуется более теплым климатом, чем описанные ранее территории. Это обусловлено тем, что в районе Шпицбергена проходит мощное Северо-атлантическое течение, являющееся теплым. Благодаря ему средняя температура июля может доходить до  $+6^{\circ}\text{C}$ , января – до  $-12^{\circ}\text{C}$ . В районе архипелага происходит столкновение разных воздушных масс – арктических и умеренных. Зимой это приводит к образованию области низкого давления с

обильными осадками. Их количество на островах в среднем составляет порядка 300 мм в год, однако местами может достигать 1000 мм в год [65].

### 1.1.2. Субарктический пояс

Субарктический климатический пояс представляет собой климат, характерный для субполярных районов тундры и лесотундры. Основная особенность климата данного пояса – низкая продолжительность лета, и, как следствие, низкие температуры воздуха как летом, так и на протяжении года. На территории субарктического климатического пояса оказывают влияние арктические воздушные массы в зимнее время, а в летнее – умеренные. Среди рассматриваемых островных территорий, к субарктическому климатическому поясу относится Исландия.

Исландия характеризуется субарктическим морским климатом, однако ее условия существенно мягче, чем могли бы быть, из-за прохождения Северо-Атлантического течения, которое омывает остров с южной и западной стороны. С противоположной стороны – на северной и восточной оконечностях острова, - часто могут наблюдаться заторы арктического дрейфующего льда, который оказывает охлаждающее влияние на климат в этих районах острова в зимнее и весеннее время. Практически на всем протяжении года дуют холодные ветры (в среднем 18-20 м/с, с порывами до 50 м/с), частыми явлениями являются легкая морось и несильные дожди, снег. Ежегодное количество осадков сильно разнится - в зависимости от части острова может выпадать как 400-500 мм в год, так и 1500 мм в год. Исландия характеризуется относительно мягкой и теплой зимой со средней температурой января  $0,0^{\circ}\text{C}$ , летом температура поднимается до средних  $10,0^{\circ}\text{C}$ . Абсолютный минимум составил  $-19,7^{\circ}\text{C}$ , максимум  $25,7^{\circ}\text{C}$  [55].

Фарерские острова также относятся к субарктическому типу климата. Подтип – морской. Средняя температура июля  $+11^{\circ}\text{C}$ , марта (самый холодный месяц)  $+4^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, на островах наблюдается положительная среднегодовая температура. Такие высокие для субарктического пояса температуры достигаются главным образом за счет тропического течения Гольфстрим. Большое количество

осадков (в среднем до 1500 мм в год), высокая влажность и частые туманы – отличительные особенности Фарерских островов [51].

#### 1.4 Поверхностные воды

Острова Арктики не изобилуют реками и озерами – ввиду особенностей рельефа их достаточно мало. Реки практически всех островов характеризуются малой протяженностью – в Российской Арктике самые длинные имеются на территории Новой Земли (до 130 км, реки Гусиная, Промысловая на Северном острове, Безымянная, Шумилиха, Чиракина – на Южном). Часть водотоков относится к горному типу, как, например, на Новой Земле. Глубина рек на островах в целом небольшая – она достигает 3 м. Озер на Новой Земле немного - имеется несколько с площадью до 60 км<sup>2</sup> и глубиной до 30 м. Их происхождение – реликтовое и термокарстовое, а также лагунное на побережьях и ледниковое в горах [39].

На Земле Франца-Иосифа рек мало. Все несколько водотоков и озер имеют преимущественно ледниковое и снеговое питание. В зависимости от времени года происходит преобладание одного или другого способа. Длина рек в основном составляет порядка 10-12 км, большая часть из них протекает по островам Грэм-Белл. Более короткие реки длиной 5-7 км находятся на островах Земля Александры и Хейса. На архипелаге имеется большое количество озер, их количество точно неизвестно и составляет порядка 1000. Все они обладают малой глубиной и промерзают до дна во время зимы [4].

На Шпицбергене имеется 10 крупных рек, из них выделяют реку Лонгйир, протекающую у столицы архипелага [45]. Озера на островах Шпицберген характеризуются малыми поступлениями воды (ввиду малого количества осадков), тонким льдом толщиной 1,5-2 м и недолгим периодом, когда озера свободны ото льда. Всего выделяется 13 относительно крупных озер, расположенных на

архипелаге. Помимо рек и озер, имеется несколько водопадов, которые приурочены к ледникам и спускаются прямо в океан.

Исландия, как и прочие рассматриваемые территории, обладает относительно небольшим количеством рек. Однако их длина здесь максимальна и достигает 230 км. Высокая порожистость, большая скорость течения обуславливает невозможность судоходства и большой гидроэнергетический потенциал. Большая часть рек, как и на прочих островах, имеет ледниковое питание. Основными реками Исландии являются: Тьюрсау, Йёкюльсау-ау-Фьёдлюм, Эльфюсау, Скьяульвандафльоут, Йёкюльсау-ау-Даль, Лагарфльоут, Хьерадсвётн, Бланда, Итри-Раунгау, Тверау и прочие. Согласно данным Национального Энергетического Управления, в Исландии находится 27 озер с площадью более 5 км<sup>2</sup> и 55 озер площадью от 1 до 5 км<sup>2</sup>. К данным водоемам относятся не только естественные озера, но и водохранилища и прочие резервуары. Самым глубоким озером является Эскьюватн (220 м), самым большим по площади – Тоурисватн (83-88 км<sup>2</sup>) [60]. Также в Исландии наблюдается большое количество водопадов, что вызвано особым строением континентальных слоев земной коры вкупе с влиянием ледников. Высота самого большого водопада составляет 227,3 м (Морсаурфосс). Остальные крупные водопады Исландии: Глимур, Хауифосс, Хенгифосс, Диньянди, Сельяландсфосс, Скоугафосс и прочие.

На Фарерских островах гидрологическая сеть представлена не такими мощными реками, как в Исландии, - здесь наблюдается преобладание мелких водотоков типа ручьев [70]. На островах практически нет естественных водотоков и водоемов, почти все они искусственного происхождения (озера, болота). Крупнейшее озеро – Сёрвагсватн на острове Воар, - является естественным. Ввиду холмистого рельефа и обилия мелких рек повсеместно распространены небольшие водопады.

## 1.5. Оледенение

Современное оледенение арктической области — явление, производное от взаимодействия климата, океанических вод и рельефа охлажденной суши. Некоторые из рассматриваемых островных образований (а именно Земля Франца-Иосифа, Новая Земля и Шпицберген) относятся к одной гляциологической провинции, то есть обладают схожими условиями и типами оледенения.

Земля Франца-Иосифа представляет собой один из главных районов современного оледенения в Арктике. Главная форма оледенения – изолированные друг от друга ледниковые покровы. На островах ледники покрывают 13.735 км<sup>2</sup>, что составляет 85,1% от общей площади архипелага [18]. На сегодняшний день ледники имеются на 51 из 191 островов архипелага Земля Франца-Иосифа. Полностью оледенение отсутствует на 135 мелких островах, но ввиду их размеров, данный факт не является столь значимым.

На Новой Земле площадь оледенения составляет 24 300 км<sup>2</sup> и занимает около 30% всей площади суши при средней мощности льдов не более 500 м. Ледниковый покров Новой Земли может быть подразделен на три основных типа — покровный, полупокровный и горно-долинный. Основными являются ледники покровного и полупокровного типов, их площадь равна приблизительно 20 000 км<sup>2</sup> [39].

Шпицберген также относится к островным территориям, подвергающимся влиянию оледенения, его площадь здесь составляет более 35 тыс км<sup>2</sup>., что составляет больше половины общей площади архипелага. Запасы льда на Шпицбергене оцениваются примерно в 7,5 тыс км<sup>3</sup> [63].

Исландия обладает несколько другими условиями оледенения – ледники покрывают около 11% площади острова (11 тыс км<sup>2</sup>). Наиболее интенсивные ледниковые образования наблюдаются на юге острова и в его центральной части. В Исландии находится самый большой ледник в Европе – Ватнайёкюдль, площадь которого составляет около 8200 км<sup>2</sup>, а толщина достигает 1000 м [49].

На Фарерских островах, напротив, ледниковый покров развит не так сильно. На островах имеются лишь остатки ледников, представленные ледниковыми формами рельефа (морены, трог, кары).



Подземное оледенение на островах западного сектора Европейской Арктики развито неравномерно. На архипелаге Земли Франца-Иосифа ископаемые льды встречаются весьма редко - ледяные жилы отмечены на о. Гукера в торфянистых хорошо увлажненных мелкозернистых отложениях. На Новой Земле описаны погребенные глетчерные льды в губе Крестовой, отмеченные впоследствии и на других участках архипелага в долинах. На архипелаге Шпицберген наблюдается повсеместное распространение многолетнемерзлых пород с глубиной промерзания в среднем 1,5-1,7 м. На данный момент на островах наблюдается постепенное оттаивание мерзлоты, что в дальнейшем приведет к пагубным последствиям. На территории Исландии имеются небольшие очаги распространения многолетнемерзлых пород, но они имеют локальный характер. На Фарерских островах подземное оледенение отсутствует.

#### 1.6. Почвы

Распределение почв определяется характером почвообразующих пород, рельефом, историей геологического развития района, а также биоклиматическими факторами.

Для Земли Франца-Иосифа в ее западной части характерен комплекс арктических гумусированных и малогумусовых почв. В восточной части архипелага преобладают пустынно-арктические почвы. На участках с птичьими базарами формируются «биогенные» почвы, богатые питательными веществами. На островах Новой Земли распространена слаборазвитые грубогумусовые литоземы и глееземы в южной части островов.

На островах Шпицберген распространены арктические малогумусовые почвы, как и на Земле Франца-Иосифа, а также имеются криоземы в западной части. Исландия характеризуется относительно плодородными почвами, также имеется множество заболоченных участков с болотными почвами. Имеются почвы лессового типа.

На территории Фарерских островов отмечается повсеместное распространение дерново-торфянистых субполярных почв.

### 1.7. Растительность и животный мир

По характеру распределения растительных формаций на островах Арктики выделяются зона арктических пустынь и зона тундр. Зона арктических пустынь охватывает архипелаг Земли Франца-Иосифа, Северный остров Новой Земли, северный Шпицберген, большая часть Исландии и характеризуется суровыми климатическими условиями, маломощным, разорванным почвенным покровом, очень коротким вегетационным периодом. В таких условиях формируются бедная флора и разреженный растительный покров. Растительность этой зоны представлена водорослями, накипными лишайниками, мхами и незначительным числом цветковых растений. По составу растительных ассоциаций и по степени их развития выделяются кустарничково-лишайниковая и травянисто-моховая полигональные пустыни.

Зона арктической тундры характеризуется тундровым типом растительности. В нее входят Южный остров Новой Земли, частично Исландия, южная часть Шпицбергена. Растительный покров распределяется кочками и грядками между пятнами голых грунтов и представлен альпийским лисохвостом (*Alopecurus alpinus*), полярной ивой (*Salix polaris*), ожикой (род *Luzula*), лютиками (род *Ranunculus*), камнеломкой (род *Saxifraga*), ясколкой (род *Cerastium*). Среди злаков кроме лисохвоста в большом количестве встречаются мятлик (род *Poa*), луговик дернистый (*Deschampsia cespitosa*), овсяница (род *Festuca*). Мхи представлены хилокимиумом аляскинским (*Hylacomium Alaskans*), дикранумом (род *Dicranum*), Томентипнумом блестящим (*Tomenthypnum nitens*), санионией крючковой (*Drepanocladus uncinatus*), аулакомниум вздутый (*Aulacomnium turgidum*). Лишайники, занимающие около 15% всей площади растительного покрова, представлены главным образом кладонией (род *Cladonia*).

На различных по характеру рельефа, грунтов и экспозиции участках арктической тундры выделяются следующие растительные ассоциации: моховая,

травянисто-моховая, мохово-лишайниковая, лишайниковая и кустарничковая тундры. В моховой тундре преобладают листостебельные мхи и лишайники. Травянисто-моховая тундра характеризуется влаголюбивыми мхами и травами, среди которых преобладают пушица (род *Eriophorum*), осока (род *Carex*). Мохово-лишайниковые тундры, распространенные по южным окраинам территории, характеризуются развитием кладоний, цетрарий (род *Cetraria*), полярной ивы. Лишайниковая тундра типична для сухих, щебнистых каменистых грунтов и представлена кустистыми лишайниками и листостебельными мхами (класс *Bryopsida*). В кустарничковой тундре преобладают подушки дриады (род *Dryas*) и смолевки бесстебельной (*Silene acaulis*), травы представлены злаками.

На Фарерских островах отсутствуют естественные леса, имеется ряд посадок, привезенных из Чили и Аргентины, а также клен (*Ácer*) и горный ясень (*Eucalyptus regnans*). В целом из растительности преобладают низкорослый сосняк (*Pinus mugo pumilio*), вереск (*Callúna vulgáris*), карликовая ива (*Salix polaris*), черника (*Vaccínium myrtíllus*). В обилии наблюдаются мхи и лишайники [61].

На островах наблюдается и вертикальная зональность. Выделяются: пояс горной арктической тундры (тундры с разомкнутым растительным покровом с осокой, полярными маками (*Paraver radicatum*) и накипными лишайниками на камнях) и пояс горной арктической пустыни (накипные лишайники, единично ожика, крупка (род *Draba*) и другие). На высотах более 300 м растут лишь накипные лишайники и изредка мхи.

Животный мир рассматриваемых островов не отличается большим разнообразием. Наиболее распространенными видами наземных млекопитающих в пределах островов Российской Арктики являются белый медведь (*Thalassarctos maritimus*), песец (*Alopex lagopus*), дикий северный олень (*Rangifer tarandus*) и лемминги (группа *Lemmini*) [14]. Далее всех в высокие широты заходит белый медведь, постоянным местопребыванием которого являются плавучие льды. В Исландии из млекопитающих обитает только песец (*Vulpes lagopus*), на Фарерских островах на воле млекопитающих нет.

Значительно более богато представлен мир морских млекопитающих. Гренландский тюлень (*Histriophoca groenlandica*), атлантический подвид моржа (*Odobenus rosmarus*) встречаются в Баренцевом и Карском морях; нерпа (*Phoca hispida*) и морской заяц (*Eriphatus barbatus*) широко распространены во всех шельфовых морях Арктики.

Побережья островов богаты птицами, гнездящимися на скалах, где возникают огромные колонии — птичьи базары. Здесь обитают чистики обыкновенные (*Cerphus grylle*), кайры (род *Uria*), моевки (род *Rissa*), люрики (*Alle alle*), топорки (*Fratercula cirrhata*), белые чайки (*Pagophila eburnea*), тупики (*Fratercula arctica*), северные олуши (*Morus bassanus*), глупыши (*Fulmarus glacialis*). На низменных островах гнездится гага обыкновенная (*Somateria mollissima*), а на озерах внутри островов можно встретить разных уток (семейство *Anatidae*), гусей (семейство *Anserinae*), краснозобых гагар (*Gavia stellata*), хищного поморника (семейство *Stercorariidae*), морского песочника (*Calidris maritima*). В тундре широко распространены пуночки (*Plectrophenax nivalis*), тундровая куропатка (*Lagopus lagopus*) и полярная сова (*Bubo scandiacus*) [14, 72].

### 1.8. Хозяйственное освоение территории

Открытие и освоение островов европейского сектора Арктики происходило в разные периоды времени. Данные об освоении представлены в приложении А. Первыми были освоены Фарерские острова, что обусловлено их близостью к континенту. Находки археологов свидетельствуют о том, что на островах существовали постоянные поселения еще до открытия их викингами примерно в IV в.н.э. [52]. Чуть позже, в IX в. произошло открытие и дальнейшее появление постоянных поселений в Исландии [59]. Шпицберген был открыт в 1596 году голландским путешественником Виллемом Баренцем [48].

Российские острова европейского сектора Арктики были открыты и освоены в разное время — есть данные, что на Новой Земле имелось постоянное население

еще до ее открытия новгородскими купцами в XII-XIII веках [5], архипелаг Земля Франца-Иосифа вовсе был открыт во второй половине XIX века [27].

Различное время открытия вкупе с географическими особенностями привели к разной интенсивности освоения территории. Так, Исландия и Фарерские острова, открытые ранее остальных, на сегодняшний день представляют собой наиболее освоенные острова в европейской Арктике, на них имеется постоянное население (322 и 48 тыс. чел соответственно), когда как на остальных островах оно гораздо меньше либо вовсе отсутствует (Земля Франца-Иосифа). Освоение ряда островов вызвано наличием биологических ресурсов. К примеру, именно поэтому произошло основание постоянных поселений на архипелаге Шпицберген, являющимися базами для китобойного промысла.

### 1.9. Экологическое состояние

Экологическое состояние островов европейской части Арктики сильно дифференцировано и зависит от ряда факторов: интенсивности использования территории, специализации местного населения, развития отраслей промышленности и энергетики, особенностей сельского хозяйства, а также расположения отдаленных источников поступления загрязняющих веществ (чаще всего с материка). На все рассматриваемые территории так или иначе оказывается комплексное антропогенное воздействие. Основным источником загрязнения являются объекты промышленности.

#### 1.9.1. Промышленность.

На островах западного сектора Арктики промышленность представлена следующими отраслями: энергетика, топливная промышленность, черная и цветная металлургии, а также промышленность строительных материалов.

#### 1. Энергетика

Получение электроэнергии может являться одним из источников поступления аэротехногенных поллютантов в атмосферу.

В Исландии на сегодняшний день наблюдается преобладание возобновляемых источников энергии: геотермальной энергии (30%) и энергии малых рек (70%) [81]. Большое количество ГеоТЭС приводит к появлению ряда собственных экологических проблем: происходит образование теплых стоков, насыщенных радоном, метаном, а также выбросов в атмосферу, богатыми сероводородом и другими опасными примесями. Расположение электростанций показано на рис.1.2.

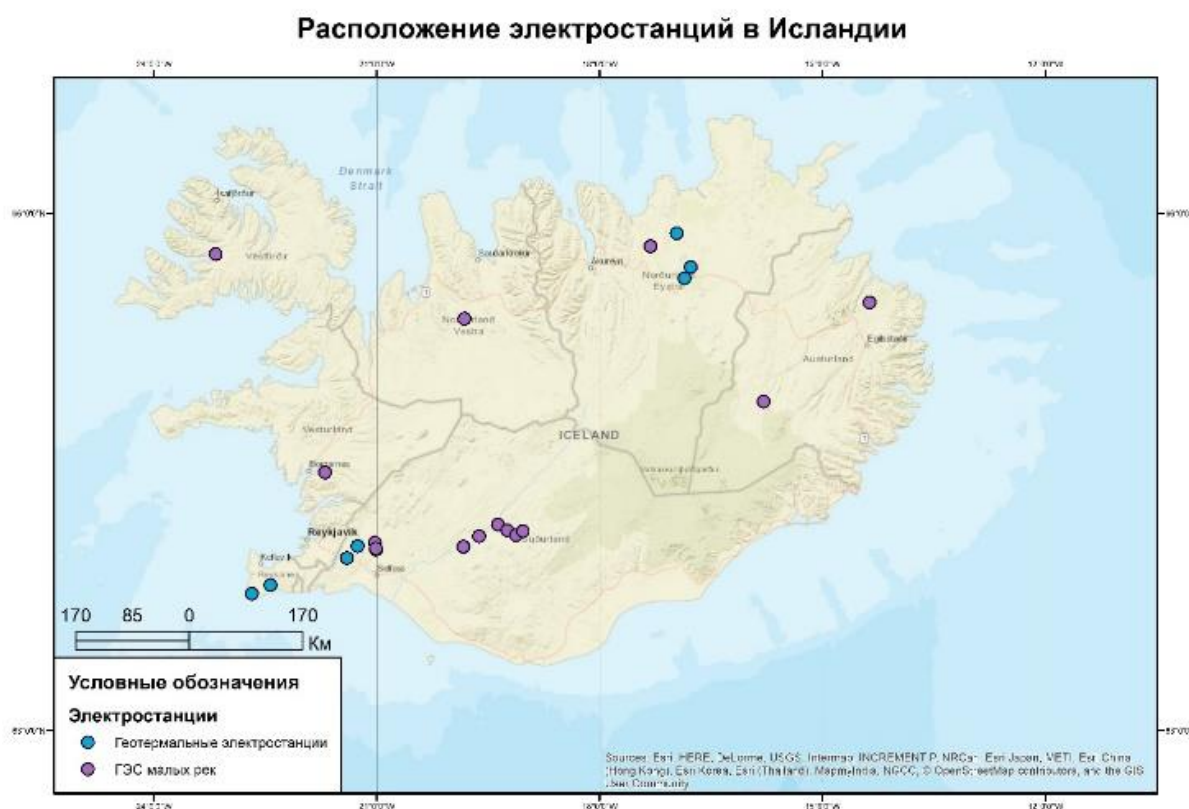


Рис. 1.2. Электростанции в Исландии

На Фарерских островах находится 6 ТЭС, 4 ГЭС и несколько ветровых [69]. Ввиду интенсивного развития альтернативной энергетики острова планируют увеличить долю возобновляемых источников энергии с 50.8% до 100% к 2030 году [79]. Среди невозобновляемых источников энергии на данный момент преобладает ископаемое топливо (49.2%). Только 0,2% энергии вырабатывается за счет сжигания ископаемого топлива (нефти). На карте ниже представлены основные [80].

На Шпицбергене имеется несколько ТЭЦ, обеспечивающих острова энергией. Также на территории архипелага на сегодняшний день наблюдается постепенное развитие геотермальной энергетики.

Земля Франца-Иосифа и Новая Земля не располагают большим количеством потребителей электроэнергии. Несмотря на это, на Земле Франца-Иосифа имеются собственные дизельные электростанции, на Новой Земле есть тепловые. Помимо использования традиционных источников энергии, планируется создание электростанций с альтернативными источниками - в ближайшие годы руководство национального парка «Русская Арктика» намерено развивать солнечную энергетику, установив порядка 20 солнечных панелей на острове Гукера.

Таким образом, энергетика оказывает достаточно сильное влияние лишь на экосистему Исландии, когда как в других местах она развита не так сильно.

## 2. Топливная промышленность

Топливная промышленность на островах Западного сектора Арктики представлена шельфовой добычей нефти и добычей угля.

На сегодняшний день ведутся активные работы по освоению шельфа в Арктике. У России имеются лицензированные участки в акватории Северного Ледовитого океана. В частности, добыча нефти ведется на участках к югу от Земли Франца-Иосифа и в районе Новой Земли (к северу, к востоку и к югу от архипелага) [11]. На Земле Франца-Иосифа имеются небольшие запасы бурого угля. Также известно, что на Фарерских островах в пределах 130 км от побережья на шельфе имеются месторождения нефти, однако на данный момент они не разрабатываются [46]. Месторождений нефти на самих островах на сегодняшний день отмечено не было.

Основную роль в топливной промышленности островов Западного сектора Арктики играет добыча угля на Шпицбергене. Этот архипелаг представляет собой территорию с большими объемами топливных ресурсов. Основным полезным ископаемым является каменный уголь, его запасы составляют порядка 10 млрд т. На

данный момент имеется одна крупная шахта – Свеагрува, которая составляет основу добычи на Шпицбергене. Норвежские запасы угля на архипелаге превышают общие запасы угля в континентальной части Норвегии. Помимо Норвегии, на островах имеется ряд населенных пунктов и месторождений, относящихся к России (Баренцбург, Пирамида, Грумант – из них действующим населенным пунктом является только первый). Эти населенные пункты приурочены к месторождениям, на территории которых производилась добыча угля компанией «Арктикуголь» [42].

### 3. Цветная металлургия

Одним из основных источников вредного воздействия на окружающую среду и, в частности, на атмосферу, является металлургия. Цветная металлургия на островах Западного сектора Арктики представлена добычей руд цветных металлов и производством алюминия (Исландия),

В Исландии металлургия составляет важную часть экономики страны - на острове производится алюминий, что является наиболее важной энергоемкой отраслью производства. При получении алюминия происходит выброс пыли, пятая часть которой представлена тяжелыми металлами (V, Pb, Al Fe). В Исландии действуют три завода по производству алюминия. Первым предприятием этой отрасли является ISAL (Rio Tinto Alcan Aluminium Smelter), которое способно вырабатывать до 189 тыс тонн в год. Второй завод принадлежит компании Century Aluminium и находится на западе Исландии. Объемы производства составляют до 280 тыс тонн в год. Третий завод является самым крупным по объемам производства – Fjardaál с ежегодным производством 346 тыс тонн алюминия. На карте ниже (рис.1.3.) представлено распределение алюминиевой промышленности в Исландии.



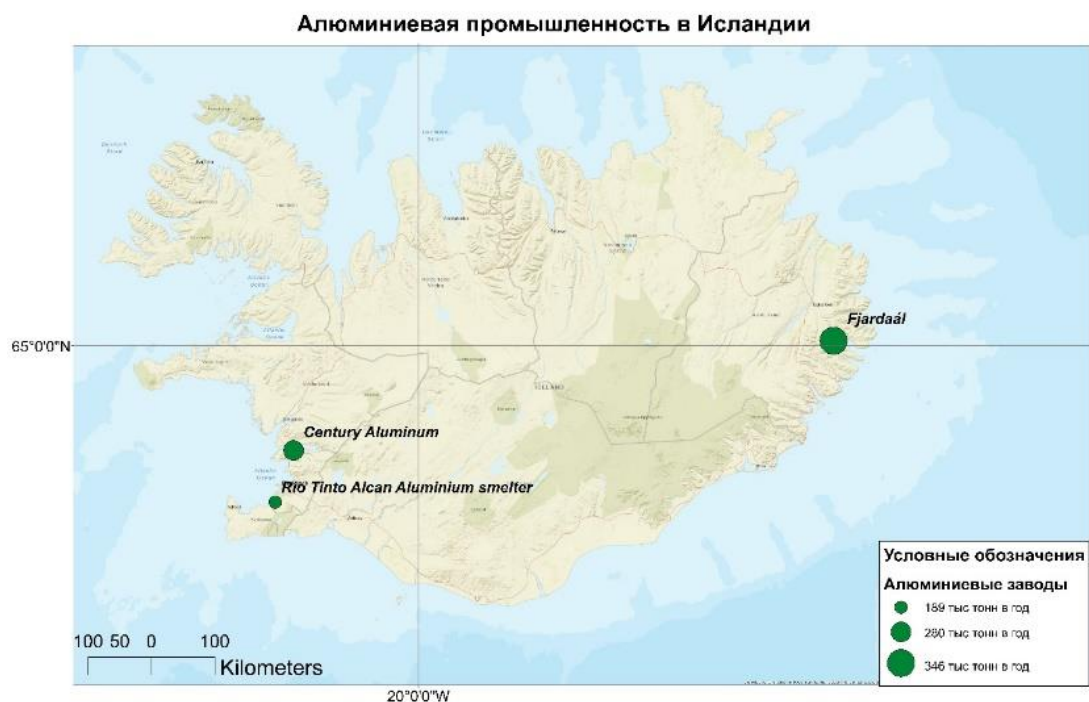


Рис. 1.3. Места производства алюминия в Исландии

На островах архипелага Шпицберген возможна добыча фосфоритов, ряда цветных металлов, но крупных разработок на данный момент нет. На Земле Франца-Иосифа имеются запасы редкоземельных металлов, глиноземов. На Новой Земле есть запасы свинца, цинка, серебра, однако происходит добыча только свинцово-цинковых руд (Павловское месторождение в пределах Безымянского рудного полиметаллического узла на юге Новой Земли) [21].

#### 4. Черная металлургия

Черная металлургия, как и цветная, представляет собой важный источник поступления загрязняющих веществ в окружающую среду. На островах Западного сектора Арктики она представлена добычей марганцевых руд (Рогачевство-Тайнинский бассейн на Новой Земле) [21], хромовых руд (Шпицберген), железной руды (Земля Франца-Иосифа).

#### 5. Промышленность строительных материалов

Промышленность строительных материалов на островах западного сектора Арктики не очень развита и представлена добычей на небольших месторождениях.

В Исландии имеются месторождения пемзы и диатомита (кизельгура) – осадочной горной породы, состоящей из остатков диатомовых водорослей. Единственное месторождение в Исландии находится у озера Миватн (северо-восточная часть острова) [74]. Пемза добывается в районе вулкана Гекла на юге острова, в год может добываться до 400 тыс м<sup>3</sup> [47]. Объемы добычи совсем невелики, поэтому разработка не оказывает сильного влияния на окружающую среду. На Фарерских островах имеются небольшие месторождения вулканического туфа, на островах архипелага Шпицберген есть месторождения гипса.

Помимо металлов, на островах Западного сектора Арктики идет добыча минерального сырья. На Земле Франца-Иосифа имеются месторождения исландского шпата, фосфоритов, поделочных камней (агат, халцедон, кремневая древесина). На Шпицбергене располагаются небольшие месторождения камнесамоцветного сырья,

#### 1.9.2. Источники дальнего переноса

На экологическое состояние островов может влиять не только производство, расположенное на них и на соседних островах, но и более дальние источники, которые могут располагаться в сотнях километров от рассматриваемого острова.

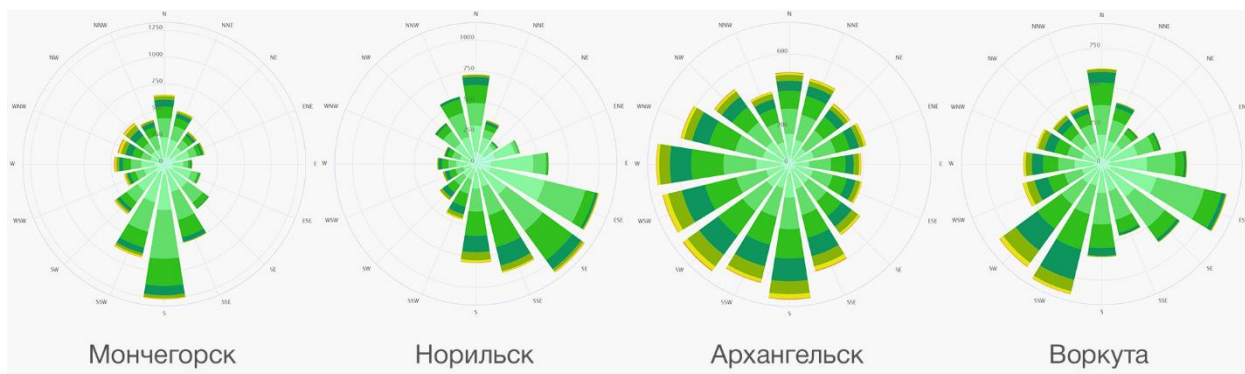


Рис. 1.4. Розы ветров ряда городов России

Так на состояние Новой Земли может оказывать влияние дальний атмосферный перенос с Норильска, Архангельска, Мончегорска и Воркуты – городов с практически наихудшей экологической обстановкой в России. На рис 1.4. представлены розы ветров – в Норильске в течение года преобладают ветры юго-

восточного направления, то есть как раз может происходить перенос в сторону Новой Земли. Архангельск характеризуется расположением к юго-западу от Новой Земли и преобладающими юго-западными и южными ветрами в зимнее время года, а также северными в летнее время. Следовательно, зимой будет происходить перенос воздушных масс в сторону Новой Земли. Мончегорск характеризуется господством южных ветров, что в ряде случаев может являться источником загрязнения Новой Земли, расположенной к ССВ от города. В Воркуте зимой наблюдается преобладание ветров южного направления, летом – северного. Так как город Воркута расположен южнее Новой Земли, наиболее сильное воздействие Воркута будет оказывать в зимнее время, когда ветер будет идти с юга. Ввиду больших расстояний и действия различных воздушных масс можно предположить, что на Земле Франца-Иосифа влияние Воркуты и Норильска ощущаться не будет [78].

На архипелаге Шпицберген в целом наблюдается преобладание северо-восточных ветров. Так как к северо-востоку от архипелага не располагается каких-либо территорий, влияние дальнего воздушного переноса здесь минимально.

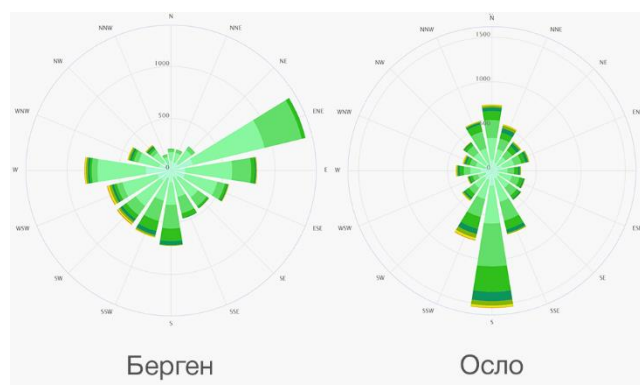


Рис. 1.5. Розы ветров для городов Норвегии

Дальние источники загрязнения могут оказывать некоторое влияние на экологическое состояние Фарерских островов. Перенос с востока со стороны Норвегии может в перспективе оказывать влияние на Фарерские острова. Основными источниками воздействия в данном случае являются такие города, как Осло и Берген. Как показано на рисунке (Рис.1.5.), большее влияние наблюдается со

стороны Бергена, так как восточные ветры несут массы в сторону Фарерских островов. Помимо населенных пунктов, на Фарерские острова влияние могут оказывать извержения вулканов Исландии.

В случае Исландии большее влияние оказываются вулканами, стационарными источниками, а не дальним переносом.

Таким образом, на рассматриваемых островах основными видами деятельности, влияющими на окружающую среду, являются электроэнергетика, добыча полезных ископаемых, а также транспорт. По количеству объектов воздействия на окружающую среду выделяются электростанции, которых на островах больше, чем других объектов, влияющих на окружающую среду. Часть из них является объектами альтернативной энергетики, другая часть – дизельные и угольные электростанции. Также большое негативное влияние оказывает добыча полезных ископаемых. В случае Новой Земли и Фарерских островов имеет место дальний перенос воздушных масс, вносящий свой вклад. Исландия является наиболее освоенной и антропогенно преобразованной.

Наилучшей экологической ситуацией обладает Земля Франца-Иосифа, также можно выделить Шпицберген. Однако все рассматриваемые острова в целом сравнительно несильно загрязнены и антропогенно преобразованы.

## **2. Биогеохимические особенности тяжелых металлов и стронция**

В загрязнении воздушного бассейна в пределах Арктики важную экологическую роль играют тяжелые металлы, которые чаще всего относятся к I или II классам опасности. Их негативное воздействие может проявляться по-разному, причем либо путем прямого воздействия на организм высокой концентрацией, либо длительным в нем накоплением. Металлы содержатся в большинстве видов промышленных, энергетических и транспортных выбросов в атмосферу и являются индикаторами техногенного воздействия на окружающую среду. [1].

Все металлы обладают различными свойствами и степенью накопления и потому способны по-разному аккумулироваться в мхах и лишайниках.

Термин «тяжелые металлы» объединяет как редкие металлы, необходимые организмам в очень небольших количествах (хром, медь, цинк, ванадий), а также те, которые не являются необходимыми и токсичны даже при очень низких концентрациях (свинец, кадмий, ртуть) [66]. Такие металлы не подвергаются бактериальному разложению и могут накапливаться в пищевых цепях при потреблении тяжелых металлов живыми организмами [53]. Их поступление в окружающую среду происходит как и из природных, так и из антропогенных источников. Природными источниками поступления ТМ в среду являются вулканы, лесные пожары, выветривание пород. Несмотря на многообразие природных источников поступления, они все же значительно уступают глобальным антропогенным выбросам [68]. Они способствуют поступлению загрязняющих веществ в организм человека и способны вызывать острые интоксикации и состояния со специфической симптоматикой, хронические состояния, ухудшение функции внешнего дыхания [20]. Причем неблагоприятное воздействие атмосферного загрязнения на организм человека усугубляется экстремальными климатическими условиями как, например, в Арктике [2]. Именно такими условиями обладают рассматриваемые острова, расположенные в арктическом и субарктическом климатических поясах.

Для Арктики среди элементов было выбрано 6, которые будут рассматриваться в данной работе – Ni, Cu, Zn, Sr, Cd, Pb.

## 2.1. Никель

Никель (Ni) представляет собой металл плотностью 8,9 г/см<sup>3</sup> и атомным номером 28. Это пластичный, ковкий, переходный металл серебристо-белого цвета с желтоватым оттенком. При обычных температурах на воздухе часто покрывается тонкой пленкой оксида. Никель входит в состав более 50 различных минералов.

В природе является достаточно распространенным, его содержание в земной коре может достигать 0,01% от общей массы. Встречается не в чистом виде, а в связанных формах. Больше содержится в кислых породах (среднее содержание составляет 8 г/т), что в 200 раз меньше его содержания в ультраосновных породах (1,2 кг/т), в которых содержится никелесодержащий оливин. Основные никелесодержащие руды: никелин (красный никелевый колчедан), хлоантит (белый никелевый колчедан), гарниерит, магнитный колчедан, мышьяково-никелевый блеск (герсдорфит), пентланит и прочие.

Никелевые руды представлены в ряде месторождений, находящихся в основном на территории России, Канады. В основном происходит выделение двух основных типов никелевых месторождений: медно-никелевые сульфидные месторождения (к таким относят Норильское, Мончегорское), никелевые силикатные и кобальт-никелевые силикатные месторождения (Южный Урал). Помимо них также иногда выделяют медно-колчеданные месторождения и жильные сульфидно-арсенидные комплексные месторождения.

Среди основных источников поступления никеля в Арктике можно выделить предприятия группы «Норникель», расположенные на Таймырском полуострове (Норильск, Талнах, Кайеркан, Дудинска) и на Кольском полуострове (Мончегорск, Заполярный, Никель).

В почвах фоновое содержание никеля может достигать до 40 мкг/г, причем для арктических почв наблюдается образование плохо растворимого оксида никеля

ввиду того, что данный элемент активен в условиях кислых почв ( $\text{pH}=6,7$  и менее, что соответствует условиям арктических геосистем). Повышенное содержание никеля может отмечаться в вулканических горных породах и, как следствие, почвах. В воздухе содержание никеля колеблется от 6 нг/м<sup>3</sup> в сельской и малонаселенной местности до 140 нг/м<sup>3</sup> в промышленных районах городов [10]. Суммарное содержание никеля в фитомассе континентов оценивается в 5 млн т. Поглощенный растениями никель способен проникать в клетки с дальнейшим протеканием процесса ионного обмена.

Миграция никеля, как и других микроэлементов, носит сложный характер [10]. Никель мигрирует из почвы в растения, поверхностные воды, а также происходит его пополнение в почвах за счет разрушения почвенных минералов, отмирания и распада растений и микроорганизмов, внесения в почву атмосферными осадками, удобрениями и прочим. Совокупность вышеуказанных процессов позволяет обеспечить стабильную циркуляцию никеля в биогеосистемах.

При усвоении никеля растениями происходит взаимодействие с другими элементами, содержащимися в почве (железо, кобальт, хром, магний, медь, цинк, марганец). Ионы кобальта, меди, железа и цинка ингибируют (замедляют) абсорбцию никеля на 25-42% [10]. Ежегодные поступления никеля из биологического круговорота в растительность мохово-кустарничковой тундры составляют 0,188 кг/(км<sup>2</sup>\*год).

Важным значением для растений является содержание никеля в 50 мг/кг. В случае превышения данного значения растение начинает испытывать избыток никеля и проявляет признаки повреждающего токсического воздействия [10]. Основными признаками отравления растения никелем являются следующие: появление желтой окраски, некроз, остановка роста корней, деформация частей растения, появление пятен.

Отравление никелем человека может происходить на никелевых производствах, среди основных симптомов отравления выделяются головные боли, одышка, понижение аппетита, боли в эпигастральной области, вегетативные

растройства с артериальной гипотонией. Помимо общетоксических эффектов, хроническая интоксикация приводит к возникновению заболеваний носоглотки, легких, появлению злокачественных новообразований и аллергическим поражениям в виду дерматитов и экзем [10]. Одной из основных болезней, связанных с отравлением никелем, является никелевый пневмокониоз, ведущий к снижению функциональных способностей легких.

## 2.2. Медь

Медь представляет собой элемент I группы с атомным номером 29 и плотностью 8,92 г/см<sup>3</sup>, относится к металлам и обладает высокими теплопроводностью и электропроводимостью, легко подвергается ковке.

Среди минералов меди преобладают сульфиды, сульфаты, фосфаты, хлориды, встречаются самородная медь, карбонаты и оксиды. Может встречаться также в вулканических и осадочных горных породах.

Среднее содержание меди в почвах составляет порядка 15-20 мг\кг. Характеризуется сложными условиями миграции, которые способны изменяться в зависимости от кислотно-щелочной и окислительно-восстановительной реакции среды. Низкие содержания ионов водорода в сочетании с интенсивным дренированием уменьшают содержание меди в почвах, а транспирация влаги растительностью вызывает повышение концентрации меди в почвенных растворах [13]. Частым явлением для меди является аккумуляция в верхних горизонтах почвенного профиля. Это явление есть результат действия разных факторов, но прежде всего концентрация Си в верхнем слое почвы отражает ее биоаккумуляцию, а также современное антропогенное влияние [24].

Медь также является важным участником атмосферной миграции, находясь в виде аэрозольных твердых частиц с размером от 0,25 до 25,0 мкм [13]. В основном поступает в окружающую среду с выбросами предприятий цветной металлургии и транспорта.



Суммарная масса меди в фитомассе всех континентов достигает 25 млн т., когда как ее массовая доля в растениях составляет порядка  $2 \cdot 10^{-4}\%$ . Она является одним из биокатализаторов, необходимых для жизни растений.

В основном поступление меди в окружающую среду происходит с помощью предприятий цветной металлургии (путем промышленных выбросов, отходов, сточных вод), транспорта, сжигания углеводородного топлива в промышленности, использования содержащих медь удобрений и пестицидов. Меньшую роль играют процессы сварки и гальванизации. Каждый год в атмосферу происходит поступление 56 тыс. т меди. В Арктике основными источниками поступления меди является деятельность автотранспорта (среди рассматриваемых островов большая роль у Исландии).

В целом медь относится к группе высокотоксичных металлов, способных вызывать острое отравление. Критичным значением для растений является содержание в 60 мг/кг, после превышения которого наблюдается развитие хлороза и дальнейшая гибель растения. У человека могут проявляться следующие симптомы отравления в местах с повышенными концентрациями меди: раздражение слизистых, головная боль, слабость, тошнота, боль в мышцах, рвота, озноб, повышенная температура. При вдыхании карбоната меди возможно кровотечение из носа, желтуха. Отравление медью называют «меднопротравной лихорадкой», которая длится порядка 3-4 дней и проявляется в повышенной температуре и поражении желудочно-кишечного тракта.

При хронической интоксикации медью наблюдается ряд функциональных расстройств нервной системы, печени и почек, а также перфорация носовой перегородки [13].

### 2.3. Свинец

Свинец представляет собой элемент IV группы периодической системы с атомным номером 82 и плотностью 11,34 г/см<sup>3</sup>. Обладает природными стабильными

и радиоактивными изотопами. Это мягкий, ковкий и пластичный металл, является самым мягким среди обычных тяжелых металлов, подвергается резке ножом.

В природе содержится в виде ряда минералов: галенита (свинцового блеска), англезита, церуссита и прочих. Общие запасы свинца на планете оцениваются в 100 млн т., которые по большей части представлены в виде сульфата свинца. Основными природными источниками поступления свинца в окружающую среду являются: силикатная пыль почвы, вулканический дым, испарения лесов, морские солевые аэрозоли и метеоритная пыль. На протяжении конца XX – начала XXI в. наблюдается тенденция по повсеместному увеличению фоновых концентраций свинца в природе в 2-3 раза [32].

Общее содержание свинца во всей продукции биомассы составляет порядка 50 млн т., захват годовым природством фитомассы на 1 км<sup>2</sup> составляет 2,87 кг. Свинец интенсивно аккумулируется мхами и хвойными растениями.

В окружающую среду свинец поступает несколькими способами: сжиганием каменного угля, выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания, сточными водами, путем добычи и переработки металла, транспортировкой и его переработкой во время работы механизмов на заводах. В результате работы предприятий металлургии происходит поступление 89 тыс. т. свинца в год, с выхлопными газами происходит поступление до 260 тыс. т. ежегодно. Сжигание каменного угля также вносит свой вклад, поступление свинца в окружающую среду, вызванное данным видом деятельности, составляет порядка 45 тыс. т. в год [13]. На островах Арктики выделяется строящийся свинцово-цинковый комбинат на о. Южный архипелага Новая Земля, который может служить источником повышенных концентраций свинца.

Территории, характеризующиеся повышенным содержанием свинца в воздухе, воде, почвах и растительности, могут распространяться от источников загрязнения (чаще всего металлургических предприятий) на расстояние до 30-40 км. Наиболее поврежденной зоной считается область с расстоянием до 1-2 км от

источника, в ней наблюдается наибольшее повреждение ландшафта и превышение фоновых значений в десятки и сотни раз.

Свинец является умеренно токсичным, способен вызывать хроническое отравление с весьма разнообразными клиническими проявлениями: поражение центральной и периферической нервной системы, костного мозга и крови, сосудов, нарушения в процессе синтеза белка [33]. Выделяют следующие формы отравления свинцом: носительство (повышенное содержание свинца в моче), легкое отравление (повышение содержания в крови), отравление средней тяжести (малокровие, свинцовая колика), тяжелое отравление (нарастающее малокровие, энцефалопатия, параличи) [3]. Поражение нервной системы при отравлении свинцом проявляются в изменении поведения, депрессии, снижении памяти, расстройстве письма и речи, мышечной ригидностью. Отравление свинцом ингаляционным путем может проходить с изменением цвета кожи на землисто-серый. Со стороны ЖКТ наблюдается снижение аппетита, тошнота, изжога, отрыжка, схваткообразные боли, кариес и пародонтоз.

#### 2.4. Цинк

Цинк представляет собой элемент II группы 4 периода периодической системы с атомным номером 30 и плотностью 7,133 г/см<sup>3</sup>. Является металлом, при нормальных условиях – хрупкий переходный металл голубовато-белого цвета. На воздухе тускнеет, покрываясь оксидной пленкой. В чистом виде пластичен.

На сегодняшний день известно более 70 цинкосодержащих минералов, в частности выделяются сфалерит, цинкит, фраклинит, смитсонит, каламин, виллемит и прочие. Наиболее распространенным является сфалерит (цинковая обманка), с основным компонентом сульфидом цинка ZnS. Цинковая обманка считается первичным минералом, из которого произошло образование ряда других (смитсонит, цинкит, каламин).

Цинк хорошо распространен во всех компонентах геосферы. Основная масса цинка мигрирует через гидросферу Земли, содержание растворенных форм цинка в океане составляет порядка 7000 млн.т., он является одним из наиболее распространенных токсичных загрязнителей океана [13].

500 млн.т. цинка содержится во всем живом веществе планеты, из них на наземную растительность приходится 125 млн.т. Ежегодные поступления цинка в фитомассу составляют 57,5 кг на 1 км<sup>2</sup>. Среднее содержание цинка в наземных растениях составляет порядка 100 мг/кг. Мхи являются биоиндикаторами атмосферного загрязнения, содержание в них цинка вблизи предприятий цветной металлургии может достигать 860 мг/кг [13].

Основными источниками поступления цинка в окружающую среду являются выбросы в атмосферу в результате высокотемпературных технологических процессов, потери при транспортировке, обогащении, сортировке сырья. Ежегодные поступления цинка в окружающую среду в результате сжигания каменного угля составляют порядка 220 тыс.т. [30]. Значительные количества цинка поступают в почву и растения с твердыми отходами ГРЭС на буром угле. В Арктике выделяется строящийся свинцово-цинковый комбинат на о. Южный архипелага Новая Земля.

При повышении содержания цинка в почвах происходит значительное уменьшение общего числа микроорганизмов и замедление их роста. Наблюдается снижение плодородия.

Опасность острого ингаляционного отравления представляют аэрозоли металлического цинка, его оксида и хлорида. При длительном воздействии цинка у человека наблюдаются хронические катаральные заболевания верхних дыхательных путей и пищеварительного тракта, конъюнктивиты, дерматиты, малокровие, гастрит, общая слабость и раздражительность. При отравлении оксидом цинка наблюдается снижение аппетита, чувство усталости, сонливость, сухой кашель. После происходит повышение температуры, продолжающееся несколько часов, с

расширением зрачков. Хлорид цинка провоцирует тошноту, кашель, рвоту, сульфат цинка – то же, а также повреждения слизистой оболочки желудка [13].

## 2.5. Кадмий

Кадмий – элемент 12 группы V периода системы химических элементов с атомным номером 48 и плотностью 8,65 г/см<sup>3</sup>. При нормальных условиях представляет собой мягкий тягучий переходный металл серебристо-белого цвета. При нахождении в воздухе с высокой влажностью происходит появление оксидной пленки, которая препятствует дальнейшему окислению.

На сегодняшний день известно о существовании шести кадмиевых минералов: гринокит, хоулит, отавит, монтепонит, кадмоселит, ксантохроит. Основная масса кадмия рассеяна в большом числе минералов (более 50), преимущественно в сульфидах цинка, свинца, меди, железа, марганца и ртути. Максимальная концентрация отмечена в минералах цинка и, прежде всего, в сфалерите (до 5 %). В большинстве же случаев содержание кадмия в сфалерите не превышает 0,4-0,6 % [25].

На характер миграции кадмия в окружающей среде оказывает вид соединений и рН среды (подвижность понижается в щелочных почвах). Сорбция кадмия в почвах происходит крайне быстро – поглощение кадмия на 95% происходит за 10 мин, а через час происходит установление равновесия. Сорбционная емкость почв возрастает примерно втрое в интервале рН 4-7,7 при увеличении рН на единицу [76].

Для недопущения превышения содержания кадмия в почвах и растительности над пороговыми значениями было проведено изучение ряда методов, предназначенных для управления режимом обогащенных кадмием сельскохозяйственных угодий. В основном данные методы основаны на повышении рН и катионообменной емкости почв. Таким образом, одним из наиболее

оптимальных способов уменьшения миграционной способности кадмия является известкование [64].

Кадмий не является одним из основных элементов, необходимых для жизнедеятельности растений, в ряде случаев он вообще является токсичным. Повышенное содержание кадмия в растениях приводит к негативным последствиям: задержке роста, повреждению корневой системы, хлорозу листьев, появлению красно-бурой окраски их краев и прожилок [24].

Источники поступления кадмия в окружающую среду можно условно разделить на две группы: локальные выбросы, связанные с промышленными комплексами, и диффузно рассеянные по земле источники разных степеней мощности, начиная от тепловых энергетических установок и моторов, кончая минеральными удобрениями и табачным дымом [13]. Комбинаты и предприятия по добыче и переработке цинковой руды оказывают негативное воздействие на окружающую среду и способны приводить к повышению содержания кадмия в почвах и водоемах в несколько десятков раз. На островах Арктики большую роль в поступлении кадмия играет деятельность автомобильного транспорта. В частности, его больше всего в Исландии.

Отравление кадмием проявляется по-разному в зависимости от способа попадания вещества в организм. При вдыхании паров и пыли оксида кадмия появляется токсическая пневмония, перерастающая в отек легких. Основными симптомами отравления в данном случае являются: сильный кашель, тяжелая одышка, повышение температуры, боли в грудной клетке, тошнота, рвота. Хроническое отравление кадмием наблюдается при длительном контакте с металлом и проявляется в появлении желтой каймы на зубах, нарушении обмена кальцием [36]. Длительное вдыхание паров кадмия ведет к развитию хронического фарингита, сухости и раздражению в гортани, жжению в носу и носовым кровотечениям.

## 2.6. Стронций

Стронций – химический элемент II группы V периода с атомным номером 38 и плотностью 2,54 г/см<sup>3</sup>. Представляет собой мягкий, ковкий и пластичный щелочноземельный металл серебристо-белого цвета, обладает достаточно высокими показателями химической активности, на важном воздухе происходит быстрая реакция с образованием желтой оксидной пленки.

Обладая высокой химической активностью, стронций не встречается в природе в чистом виде. Входит в состав более чем 40 различных минералов, основные из них: целестин, стронцианит, кеммлицит, стенонит, сварбергит, пековит и пр. Промышленное значение имеют лишь целестин и стронцианит.

Всего в биомассе содержится порядка 2 млрд.т. стронция, из них на наземную растительность приходится до 100 млн.т. Годовой прирост стронция для фитомассы составляет порядка 46 кг на 1 км<sup>2</sup>. Среднее содержание стронция в наземных растениях составляет порядка 26 мг/кг. Норма содержания стронция для растений составляет от 0 до 600 мг/кг. После преодоления порогового значения (от 600 до 1000 мг/кг) наблюдается избыточное содержание стронция. В лишайниках отмечен широкий интервал содержаний - от 0,8 до 250 мг/кг сухой массы [50].

Основными видами антропогенной деятельности, вносящими свой вклад в загрязнение окружающей среды стронцием, являются добыча и обогащение руды (добыча апатитовой руды в Кировске, например), а также сброс сточных вод от разного рода производств (металлургического, электротехнического, стекольного, керамического, свеклосахарного) [13].

Стронций является умеренно опасным для человека. При вдыхании пыли соединений стронция наблюдаются поражение органов дыхания, боли в области груди. Отмечена слабая прямая корреляция между частотой онкологических заболеваний и содержанием в почве валовых форм С. [19].

Таким образом, все рассматриваемые металлы представляют собой поллютанты, оказывающие негативное влияние на окружающую среду и здоровье

человека - в больших концентрациях они способны нанести вред любым живым организмам. В большинстве случаев высокие содержания данных металлов могут привести к заболеваниям желудочно-кишечного тракта, дыхательных путей, нервной системы. Основными симптомами являются кашель, тошнота, головная боль и повышенная температура тела.

Основными природными источниками поступления указанных металлов являются вулканические извержения и лесные пожары, когда как антропогенные источники более дифференцированы: деятельность предприятий цветной металлургии, сварка, сжигание каменного угля, выбросы от транспортных средств и прочие. Все они вкуче оказывают негативное воздействие на окружающую среду, повышая концентрации металлов.

Для того, чтобы понимать, является ли имеющееся содержание опасным для здоровья, необходимо знать, какие значения типичны для определенного вида на определенной территории. Так в таблице 2.1. представлены показатели типичного содержания металлов по видам на Севере Евразии.

Табл. 2.1. Типичное содержание ряда металлов в растениях-биоиндикаторах в фоновых арктических районах Севера Евразии, мкг/г (сухая масса) [22]

<i>Растение</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Cd</i>	<i>Ni</i>	<i>Sr</i>
<i>Cladonia, sp</i>	1,5	15,0	2,0	0,2	1,0	0,4
<i>Cetraria, sp</i>	4,5	25,0	3,0	0,1	2,0	1,0
<i>Sphagnum, sp</i>	3,0	20,0	4,0	0,3	4,0	2,5
<i>Politrichum, sp</i>	10,0	30,0	4,0	0,2	5,0	2,0
<i>Pleurosium Shreberi</i>	12,0	40,0	5,0	0,2	2,0	3,0
<i>Nephroma, sp</i>	5,0	20,0	1,0	0,2	2,0	1,0



Опираясь на данные значения в дальнейшем можно рассчитать коэффициенты концентрации для каждой точки и их проанализировать.

### 3. Методика работы

При выполнении данной работы было использовано несколько методов, направленных на получение необходимых данных (содержания ряда элементов в мхах и лишайниках): метод биоиндикации загрязнения атмосферы (в частности, методы бриоиндикации и лишеноиндикации), сравнительно-географический метод, метод анализа и метод картографического отображения.

Условно весь процесс работы можно разделить на три основных этапа: подготовительный, полевой, лабораторный этапы.

Всего для получения необходимых данных необходимо произвести отбор проб, которые в дальнейшем будут подвергаться обработке с целью получения необходимой информации для отображения распределения аэротехногенных поллютантов по Арктике и островам Субарктики. После чего пробы необходимо определить по видам и произвести их обработку в лаборатории для выделения тяжелых металлов. Итоговые данные по содержанию металлов указаны в приложении Б.

#### 3.1. Подготовительный этап

Первый этап включает в себя подготовку к полевому этапу, составление маршрутов, определение цели и задач работы, чтение специализированной литературы. Данный этап работ проходил в мае-июне 2017 года, когда происходило планирование производственной практики (экспедиции «Арктический плавучий университет 2017»), а также самостоятельных поездок (Фарерские острова – август-сентябрь 2017).

Для того, чтобы провести анализ распределения аэротехногенных поллютантов на выделенной территории, необходимо воспользоваться методами биоиндикации (бриоиндикации и лишеноиндикации). Данные методы заключаются в анализе содержания загрязняющих веществ во мхах и лишайниках. Они имеют

преимущественно атмосферное питание и, следовательно, накапливают различные химические элементы из атмосферы.

Для составления маршрута и выделения точек для последующего отбора проб было необходимо ознакомиться со специальной литературой, дающей полное физико-географическое описание территории, а также экологическую характеристику рассматриваемых районов для правильного выделения точек отбора. Так, согласно плану Северного Арктического Федерального Университета им. Ломоносова, экспедиция «Арктический плавучий университет» должна проходить через ряд островов в Северном Ледовитом океане: острова Земли Франца-Иосифа (Галля, Хейса, Джексона, Рудовльфа, Гукера, Нортбрук, Белл), Оранские острова, мыс Желания (Новая Земля). Предполагался отбор проб мхов и лишайников на всех островах, на которых будет происходить высадка экспедиции. Помимо Земли Франца-Иосифа и Новой Земли, планировался отбор проб со всех посещенных островов архипелага Фарерские острова – Эстурой, Сандой, Воар, Стреймой, Мичинес, Судурой.

Также во время подготовительного этапа было установлено, что помимо самостоятельно отбираемых проб с Новой Земли, Земли Франца-Иосифа и Фарерских островов, будут также предоставлены пробы с архипелага Шпицберген, отобранные студентами кафедры гляциологии и криолитологии географического факультета МГУ.

### 3.2. Полевой этап

Основной процесс сбора проб происходил в июле-августе 2017 года, когда проходила экспедиция «Арктический плавучий университет», самостоятельное посещение Фарерских островов, а также производственная практика на Шпицбергене у кафедры гляциологии и криолитологии географического факультета МГУ.

Пробы представляют собой образцы мхов и лишайников, находящихся на рассматриваемых территориях.

Отбор проб должен происходить в соответствии с рядом основных принципов [67]:

1. Мхи и лишайники должны отбираться либо с поверхности земли, либо с горных пород, их подстилающих
2. Место отбора проб должно находиться как минимум в 300 м от крупных дорог и 100 м от проселочных дорог и отдельно стоящих домов
3. По возможности должен производиться отбор нескольких различных видов мхов и лишайников в пределах каждой точки (размер района отбора не более 50x50 м)
4. При отборе должны быть использованы резиновые перчатки, пробы должны помещаться в герметичные пакеты «ziplocks» объемами 1,2 и 2,5 литров.
5. Допускается использование посторонних инструментов: ножей, пинцетов, лопаток
6. Приоритетное время отбора проб – с апреля по октябрь.
7. Для каждой точки отбора должны быть зафиксированы географические координаты, пригодные для дальнейшего использования в картографических сервисах

Всего было отобрано 32 образца мхов и лишайников со следующих островов:

1. Земля Франца-Иосифа
2. Новая Земля
3. Фарерские острова
4. Шпицберген

Образцы с архипелага Земля Франца-Иосифа и Новая Земля отбирались лично во время проведения экспедиции «Арктический плавучий университет 2017», проходившей по маршруту Архангельск – Земля Франца-Иосифа (о.Алджера, о.Хейса, о.Гукера, о.Земля Александры, о-ва Куна и Кейна) – Новая Земля (мыс Желания) – Соловецкие острова – Архангельск. Фактические точки отбора проб не соответствовали заявленным в подготовительном этапе ввиду изменения маршрута

экспедиции по причине тяжелой ледниковой обстановки в районе архипелага Земля Франца-Иосифа.

При первой высадке на о.Алджера 15.07.2017 было произведено выделение 3 точек с отбором на них проб (номера проб 1-6). В районе высадки ранее располагалась американская научная база, которая на данный момент не функционирует (здание заброшено, оставлен лишь его каркас и строительный мусор). Выбранные точки различаются по характеру рельефа. На первой точке было отобрано 3 различных вида мхов и лишайников, на т.2 две пробы, на т.3 одна. Далее отбор проб происходил на о. Хейса 18.07.2017 в четырех разных точках (с номерами проб 7-12). В данном случае дифференциация точек отбора происходила в зависимости от абсолютной высоты и формы рельефа. Последний остров на архипелаге Земля Франца-Иосифа, где происходил отбор проб – о. Гукера, рядом с населенным пунктом Бухта Тихая. Была выбрана одна точка, где происходил отбор двух различных проб (с номерами проб 13-15).

Помимо самостоятельного отбора проб на островах Земли Франца-Иосифа, имеется ряд проб мхов и лишайников, предоставленных сотрудниками факультета почвоведения. 4 пробы мхов и лишайников были взяты на архипелаге Земля Франца-Иосифа, на мысе Флора (№28-32). Отбор происходил летом 2016 года.

Высадка на архипелаге Новая Земля произошла 24.07.17 на острове Северный, в районе мыса Желания, отбор происходил на точке с номерами проб 16 и 17. Недалеко от места отбора проб находится поселение небольших размеров (несколько функционирующих домов и порядка 10 заброшенных), где периодически работает крупная техника (тракторы, грузовой автомобиль). Выбранная точка характеризуется достаточно большой высотой над уровнем моря, высокой степенью активности животных (рядом крупный птичий базар), наличием антропогенной активности (близость места проживания и деятельности человека).

Примерно с эти же даты (с 24.07.2017 по 01.08.2017) проводился отбор проб мхов и лишайников на территории архипелага Шпицберген несколькими студентами кафедры гляциологии и криолитологии географического факультета МГУ (в

частности Хайрединова А., Найдено А.). Студентами были отобраны пробы с четырех разных точек, расположенных на острове Западный Шпицберген в окрестностях Баренцбурга и в самом населенном пункте (пробы №18-21). Все выбранные точки различаются по степени антропогенного влияния, высоте местности и экспозиции склонов, на которых они расположены.

5 проб было отобрано на Фарерских островах (Дания) во время самостоятельной поездки с 24.08.2017 по 03.09.2017 (№22-26). Выбор точек и отбор происходил в местах, находящихся рядом с населенными пунктами. Однако размер населенных пунктов (до 1000 человек) не способствует сильному усилению антропогенного воздействия на территории, с которых производился отбор проб. Образцы мхов и лишайников были взяты с самого западного (Мичинес) острова, а также с одного из самых южных (Сандой) и нескольких центральных островов (Эстурой, Воар), характеризующиеся относительно сильной заселенностью.

Помимо указанных проб, прошедших лабораторную обработку, имеются также и прочие данные. К примеру, информация по содержанию элементов в пробах, взятых в Исландии (Cu, Ni, Zn, Pb, Cd, Sr, Mn, Fe, Co, Cr, Li, Al, Ag). Пробы были отобраны А.В. Евсеевым в ноябре 1993 года.

Данные, связанные с пробами, взятыми в Исландии, были получены с помощью научного руководителя и отобраны ранее (ноябрь 1993).

### 3.3. Лабораторная обработка проб

После отбора проб они должны быть высушены, очищены от всех посторонних веществ, сортированы и определены (по видам) для дальнейшей отправки в лабораторию. Очищение и выделение посторонних веществ происходило сразу же после отбора: в лаборатории на судне «Профессор Молчанов» во время экспедиции «Арктический плавучий университет 2017», в местной криолитологической лаборатории Баренцбурга на Шпицбергене (кафедрой

криолитологии и гляциологии), а также в полевых условиях (Фарерские острова). Высушивание проб было начато в местах их отбора и закончено в Москве (рис.3.1.).



Рис. 3.1. Выделение мхов и лишайников в пробах, Земля Франца-Иосифа.

Для получения данных по содержанию тяжелых металлов в имеющихся мхах и лишайниках, необходимо определить видовой состав. Для этого все имеющиеся пробы в количестве 30 штук (без двух образцов с Исландии) были отданы на кафедру биогеографии географического факультета МГУ на определение (Леонова Н.Б., Землянский В.).

При рассмотрении видового состава отобранных проб стало известно следующее: среди взятых образцов преобладают мхи (определено 13 проб мха, 9 не определены), также имеются лишайники (6 определены, 4 не определены). На диаграмме (Рис.3.2.) представлено, какие виды встречаются в пробах:

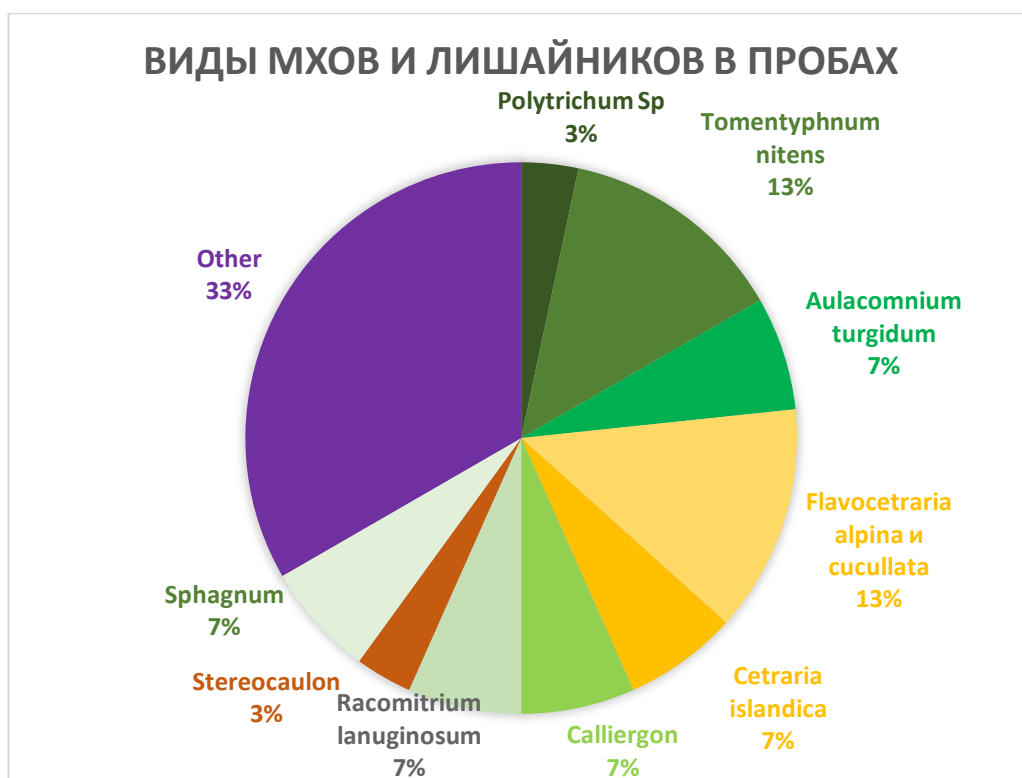


Рис.3.2. Виды мхов и лишайников в пробах

Мхи представлены основными родами: *Politrichum*, *Tomentyphnum* (*nitens*), *Calliergon*, *Racomitrium* (*lanuginosum*), *Sphagnum*, *Aulacomnium* (*turgidum*). Среди них наблюдается преобладание порядка гипновые (*Hypnales*) (из имеющихся видов к ним относятся *Tomentyphnum nitens* и *Calliergon* Sp.), также имеется несколько представителей семейств *Grimmiceae*, *Sphagnaceae*, *Aulacomniaceae* (виды *Racomitrium lanuginosum*, *Sphagnum* Sp., *Aulacomnium turgidum* соответственно) и один представитель семейства *Polytrichaceae* (*Politrichum* Sp.). Все имеющиеся образцы лишайников относятся к классу *Lecanoromycetes*, порядку *Lecanorales* и представлены двумя основными семействами – *Parmeliaceae* (виды *Flavocetraria alpina*, *Flavocetraria cucullata*, *Cetraria islandica*) и *Stereocaulaceae* (вид *Stereocaulon* Sp.) [23].

Все отобранные пробы после очистки, высушивания и определения видового состава были переданы в лаборатории атомной абсорбции географического факультета МГУ для выделения содержания ряда химических элементов, получаемых мхами и лишайниками из атмосферы. Они способны аккумулировать



загрязняющие воду вещества, в основном тяжелые металлы, до уровней, значительно превышающих их концентрацию в окружающей среде [6]. Выбранный способ обработки: метод атомно-абсорбционной спектрометрии с атомизацией в пламени. Погрешность определения в данном методе составляет от 15 до 30% [29].

Метод атомно-абсорбционной спектрометрии является достаточно распространенным в аналитической химии методом для количественного элементного анализа по атомным спектрам поглощения для определения содержания металлов [31].

Поглощение мхами ионов тяжелых металлов представлено процессом ионного обмена и образования хелата - специальных соединений, образующихся при взаимодействии ионов металлов [15]. Для выделения содержащихся металлов использовался метод атомно-абсорбционной спектрометрии, предложенный в 1955 году австралийским ученым А.Уолшем. Данный метод обладает рядом достоинств, среди которых выделяется возможность определения нескольких элементов в одной пробе, невысокая трудоемкость подготовительных операций, высокая производительность и экономичность.

Метод атомно-абсорбционной спектрометрии является одним из видов спектрального анализа, основанного на поглощении анализируемых веществ. В зависимости от прибора идет улавливание частиц в разных частях спектра – в основном видимой и ультрафиолетовой. В атомно-абсорбционном анализе используются специальные спектрометры, представляющие собой высокоавтоматизированные устройства, используемые для получения и фиксации результатов наблюдения [25]. Подготовленные пробы преобразуются с помощью пламени в специальных поглощающих ячейках с дальнейшим распылением анализируемого раствора. После чего происходит определение концентрации элемента с помощью градуированного графика, построенного с помощью ряда эталонных значений [9].

Определение содержания элементов в пробе происходит следующим образом [12]:

1. Подготовка проб – помещение сухого растительного материала в хорошо проветриваемое помещение или специальный сушильный шкаф, измельчение высушенных проб с дальнейшим озолением.
2. Установка прибора (монохроматора) на нужную длину волны в зависимости от изучаемого элемента и особенностей пробы, выбор ширины щели для измерения
3. Установка тока через источник света, зажигание пламени с регулировкой расхода горючего газа и окислителя
4. Балансировка фотометра и измерение эталонных растворов
5. Построение градуировочного графика, отображающего зависимость оптической плотности от концентрации эталонов
6. Подача проб в анализатор с дальнейшим определением концентрации по графику

После лабораторной обработки проб на выходе имеются данные по содержанию 6 различных элементов в представленных пробах (Cu, Ni, Zn, Pb, Cd, Sr), показанные в приложении Б. Эти данные можно использовать как в первоначальном виде, так и для подсчета ряда геохимических коэффициентов.

#### **Глава 4. Анализ закономерностей пространственного распространения техногенных поллютантов.**

Использование мхов и лишайников в качестве биоиндикаторов позволяет получить данные по содержанию в них тяжелых металлах. Полученные результаты в свою очередь делают возможной оценку степени загрязнения металлами на территориях, где отбирались пробы. В основе анализа распределения металлов по пробам и островам лежит коэффициент концентрации. О методике его расчета говорилось в главе 3. Данные по коэффициентам концентрации в указанных пробах показаны в приложении В.

Для получения достоверных показателей и подсчета коэффициента концентрации необходимо иметь данные о фоновых значениях содержания металлов в определенном виде. Для этого, в свою очередь, необходимо учитывать видовой состав проб. Фоновое значение выбиралось в зависимости от вида мхов или лишайников.

Так как фоновые значения имеются не для всех имеющихся в пробах видов, в некоторых случаях использовалось среднее значение либо значение мха или лишайника схожего класса. Так, для проб мха, вид которых определить не удалось, использовалось среднее значение по имеющимся фоновым концентрациям металлов (среднее по мхам *Sphagnum sp*, *Politrichium sp*, *Pleurosium Shreberi*). При наличии неопределенных видов лишайников использовалось среднее фоновое значение по лишайникам (*Cladonia sp*, *Cetraria sp*, *Nephroma sp*). Если проба вовсе являлась смешанной (мхи + лишайники вместе) ввиду малого объема проб по отдельным видам, бралось общее среднее по фоновым концентрациям всех указанных видов мхов и лишайников.

#### 4.1. Распространение и накопление никеля

Содержание никеля в пробах в среднем находится в диапазоне от 3 до 5 мг/кг. Полученные в результате лабораторной обработки проб данные, а также содержание никеля в фоновых районах (в зависимости от вида) и подсчитанный коэффициент концентрации представлены в таблице:

Табл. 4.1. Содержание никеля в пробах

<i>№ точки</i>	<b>Место</b>	<b>Видовой состав</b>	<b>Кол-во проб</b>	<b>Сод-е Ni в фоновых районах, мг/кг</b>	<b>Ni, мг/кг</b>	<b>Kc</b>
1	Земля Франца-Иосифа	Polytrichum sp, накипные лишайники, полуразложившийся зеленый мох	3	3,44	2,37	0,69
2	Земля Франца-Иосифа	накипные лишайники, полуразложившийся зеленый мох	2	2,67	3,95	1,58
3	Земля Франца-Иосифа	накипные лишайники	1	1,67	1,20	0,72
4	Земля Франца-Иосифа	Aulacomnium turgidum, Tomentyphnum nitens	2	4,33	6,25	1,47
5	Земля Франца-Иосифа	Flavocetraria alpina, лишайник	2	1,84	1,20	0,66

6	Земля Франца-Иосифа	Мох, лишайник	1	2,67	6,20	2,33
7	Земля Франца-Иосифа	<i>Tomentyphnum nitens</i>	1	5,00	5,80	1,16
8	Земля Франца-Иосифа	<i>Flavocetraria cucullata</i> , <i>Flavocetraria alpina</i> , <i>Calliergon sp</i>	3	3,00	3,87	1,05
9	Новая Земли	<i>Cetraria islandica</i> , <i>Amblystadium</i> <i>Calliergon</i>	2	3,50	5,25	1,20
10	Шпицберген	<i>aulacomnium turgidum</i>	1	3,67	4,60	1,25
11	Шпицберген	<i>Tomentyphnum nitens</i> , <i>Calliergon sp</i>	1	3,67	7,90	2,15
12	Шпицберген	<i>Racomytrium lanuginosum</i>	1	5,00	6,20	1,24
13	Шпицберген	<i>Sphagnum sp</i>	1	4,00	8,60	2,15
14	Фарерские о-ва	<i>Tomentyphnum nitens</i> , <i>Calliergon richardsonii</i>	1	3,67	3,40	0,93
15	Фарерские о-ва	мох (порядок Гипновые)	1	3,67	2,90	0,79
16	Фарерские о-ва	<i>Sphagnum sp</i>	1	4,00	0,70	0,18

17	Фарерские о-ва	Мох, 2 вида (один гипновый)	2	4,33	5,85	1,55
18	Исландия	Racomytrium lanuginosum	1	5,00	2,26	0,45
19	Исландия	Stereocaulon sp	1	1,67	7,04	4,22
20	Земля Франца-Иосифа	Cetraria islandica, мох	4	3,25	3,00	0,88

На основе этих данных в дальнейшем были выявлены особенности распространения, в частности минимумы, максимумы и средние значения для каждой из групп островов (и отдельно для Исландии). Из таблицы 4.2 можно заметить, что максимальное содержание никеля отмечается в пробах, отобранных на Шпицбергене, минимальное значение приходится на Фарерские острова. В целом разлет между максимальными и минимальными значениями достаточно мал.

Табл. 4.2. Содержание никеля по островам, мг/кг

	Макс. сод-е, мг/кг	Мин. сод-е, мг/кг	Среднее сод-е, мг/кг	Макс. Кс	Мин. Кс	Среднее Кс
<b>Земля Франца-Иосифа</b>	6,25	1,20	3,76	2,33	0,66	1,17
<b>Новая Земля</b>	5,25			1,20		
<b>Шпицберген</b>	8,6	4,60	6,83	2,15	1,24	1,70
<b>Фарерские острова</b>	5,85	0,70	3,21	1,55	0,18	0,86
<b>Исландия</b>	7,04	2,26	4,65	4,22	0,45	2,34

На Земле Франца-Иосифа наблюдаются средние значения содержания никеля. Максимальное содержание приходится на т.4 (о. Хейса) и составляет 6,25 мг/кг. В данной точке нет выявленного антропогенного воздействия, потому достижение

максимума можно объяснить локальными особенностями накопления. Коэффициент концентрации в данном случае будет равен 1,47, что позволяет выявить несильное превышение над фоном. Минимум (1,20 мг/кг) наблюдается в пробе с точки 3 (о. Алджера, на высоте 214 м). Такое же значение приходится на т.5 (о. Хейса, верхняя часть склона). Данные точки характеризуются отсутствием выраженного антропогенного воздействия. При среднем значении для архипелага в 3,76 мг/кг локальные максимум и минимум не выходят за рамки погрешностей и в целом свидетельствуют о невысоких содержаниях никеля во всех пробах, отобранных на Земле Франца-Иосифа. Коэффициент концентрации ( $K_c$ ), как и общие содержания никеля в пробах, также принимает небольшие значения. В среднем  $K_c$  составляет 1,17, что означает низкую интенсивность накопления никеля в пробах. Это позволяет отнести Землю Франца-Иосифа к территориям, не загрязненным никелем ( $K_c < 2$ , фоновый уровень). Наибольшее значение коэффициента концентрации (2,33) достигается в т.6 (о. Хейса), а наименьшее – в т.5 (0,66), которая также находится на о. Хейса. Точка 6 располагается в нижней части склона, тогда как точка 5 – наверху. В целом загрязнение никелем на архипелаге Земля Франца-Иосифа выделить не удастся, низкие содержания этого металла обусловлены практически полным отсутствием источников загрязнения и малой интенсивностью антропогенной деятельности.

На Шпицбергене наблюдаются наиболее высокие содержания никеля среди всех рассматриваемых островов. Среднее содержание составляет 6,83 мг/кг. Максимум (8,60 мг/кг) достигается в точке 13, расположенной в 8,5 км к югу от населенного пункта Баренцбург. Данная точка является наиболее приближенной к угольной шахте. Минимум приходится на точку 10 и составляет 4,60 мг/кг. Точка 10, напротив, находится ближе всего к населенному пункту (непосредственно в Баренцбурге). Достижение минимума в данном случае может объясняться особенностями накопления,  $K_c$  здесь будет равен 1,25.

Значения коэффициента концентрации почти полностью соответствуют значениям содержания никеля в пробах. Так в среднем  $K_c$  составляет 1,70, что означает низкие темпы накопления никеля. Максимальным коэффициент

концентрации становится в точках 11 и 13, где он составляет 2,15. О закономерностях распределения никеля по пробам на Шпицбергене судить сложно, так как максимальное и минимальное значения находятся близко друг к другу, можно лишь отметить, что предприятия горнорудной промышленности представляют собой источники поступления никеля в окружающую среду. Здесь такие предприятия имеются, это и может послужить причиной относительно высокого содержания никеля в пробах на Шпицбергене. Даже несмотря на это, загрязнение никелем здесь представлено фоновым ( $K_c < 2$  в т.10, 14) и низким ( $2 < K_c < 10$  в т.11,13) уровнями.

Содержание никеля в пробе, взятой на Новой Земле (т.9, мыс Желания), можно охарактеризовать как относительно среднее. В пробе содержится 5,25 мг/кг никеля, что при подсчете коэффициента концентрации дает значение 1,20. Это означает медленное накопление никеля в пробе. Однако данное значение находится в пределах фоновых. Поступление этого металла в окружающую среду на севере Новой Земли может быть обусловлено дальним переносом, особенно учитывая, что основные населенные пункты, участвующие в дальнем переносе в сторону Новой Земли, располагают никелевыми комбинатами (Норильск, Мончегорск). В Норильске содержание никеля составляет 260 мг/кг для *Sphagnum sp* [38], коэффициент концентрации соответственно равен 65 (фоновое значение для сфагнома равно 4 мг/кг). В Мончегорске содержание никеля в пробах составляет 765 мг/кг [38], пробы представлены видами *Hylocomium splenens* и *Pleurozium schreberi*. Коэффициент концентрации для них составит порядка 382 (фоновое содержание составляет 2 мг/кг). Это во много сотен раз выше, чем значения на Новой Земле.

Фарерские острова характеризуются минимальными содержаниями никеля в пробах среди всех рассматриваемых островов. Среднее содержание составляет 3,21 мг/кг, что даже меньше, чем на Земле Франца-Иосифа. Максимальное значение в 5,85 мг/кг (т.17) также является наименьшим из всех максимумов по группам островов. Локальный максимум в данном случае обусловлен наличием неподалеку международного аэропорта (Вагар), населенного пункта и развитой дорожной сети. На Фарерах достигается абсолютное минимальное содержание никеля, которые



составляет всего 0,70 мг/кг (т.16). Это на порядок меньше, чем содержание никеля в любой из имеющихся проб с других островов. Точка 16 находится на одном из наименее антропогенно преобразованных участков Фарерских островов, что, вкупе с ветром со стороны океана, делает этот участок одним из наиболее чистых.

Коэффициент концентрации, как содержание никеля, на Фарерских островах достаточно низок и в среднем составляет 0,86. Это свидетельствует о том, что содержание никеля на Фарерах ниже фонового значения. Максимальный Кс приходится на точку с максимальным содержанием никеля (т.17), что, как уже говорилось, обусловлено сильным антропогенным воздействием. Минимальный коэффициент концентрации (0,18) отмечается в т.16 (Вестманна), что также соответствует абсолютному минимальному значению содержания никеля в пробах. Такая благополучная ситуация в плане загрязнения никелем на Фарерских островах обусловлена отсутствием прямых источников поступления этого металла в окружающую среду. Это позволяет отнести весь архипелаг к зоне загрязнения никелем фонового уровня.

Исландия характеризуется средними значениями содержания никеля в пробах (4,65 мг/кг). Максимальное значение приходится на т.19, находящуюся между городами Рейкьявик и Кефлавик. Интенсивное антропогенное воздействие на ландшафты способствует повышению содержания никеля в лишайниках (в данном случае *Stereocaulon* sp) до локального максимума, который здесь составляет 7,04 мг/кг. В точке 18, находящейся дальше к северо-востоку, содержание никеля меньше - 3,00 мг/кг.

На юго-западе Исландии достигается максимальное значение коэффициента концентрации никеля среди всех проб (4,22 в точке 19), когда как в точке 18 коэффициент концентрации гораздо ниже – 0,45. Это свидетельствует об относительно интенсивном накоплении никеля в районе точки 19 и пониженном содержании (ниже фоновых значений) в точке 18. Ввиду отсутствия достаточного количества проб для Исландии общую структуру загрязнения никелем выделить не удастся. На юго-западе острова уровень загрязнения колеблется от фонового (т.18,  $2 < K_c < 10$ ) до низкого (т.19,  $2 < K_c < 10$ ).

Среднее содержание по Северной Европе (Норвегия, Швеция, Финляндия, Дания, страны Балтии) составляет менее 2 мг/кг [71], что меньше, чем на всех рассматриваемых островах (РИС). Однако содержание никеля на островах в разы меньше, чем на Кольском полуострове (более 10 мг/кг), что обусловлено наличием там прямых антропогенных источников поступления в окружающую среду (АО «Кольская горно-металлургическая компания» с производственными площадками в населенных пунктах Никель, Заполярный, Мончегорск).

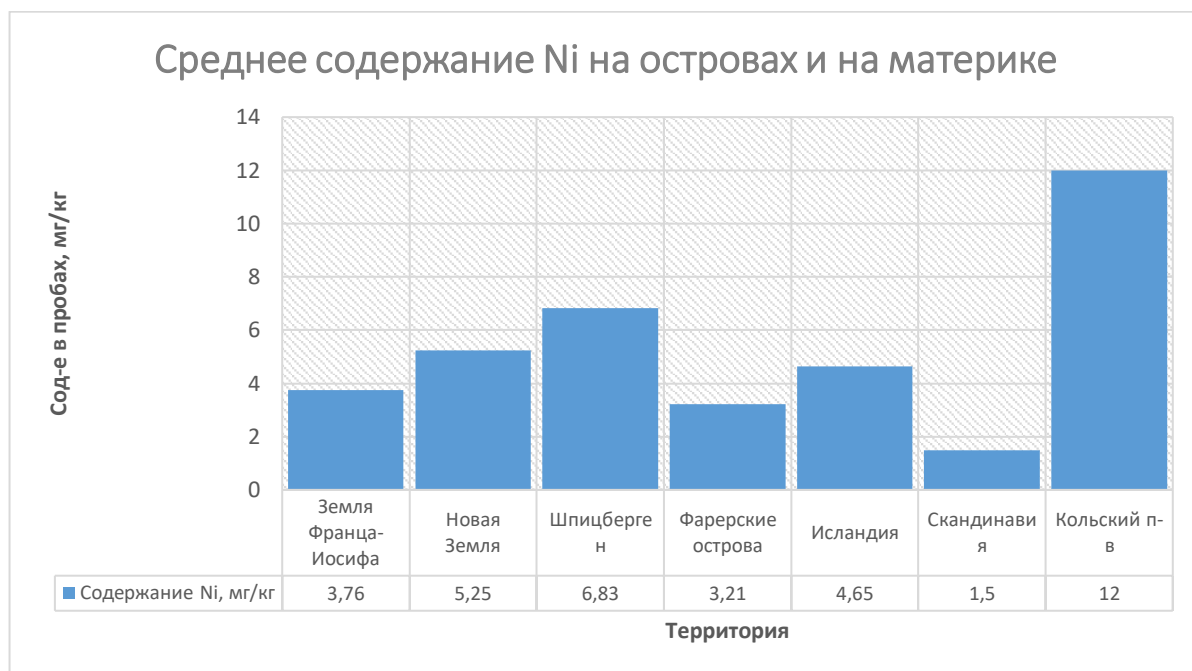
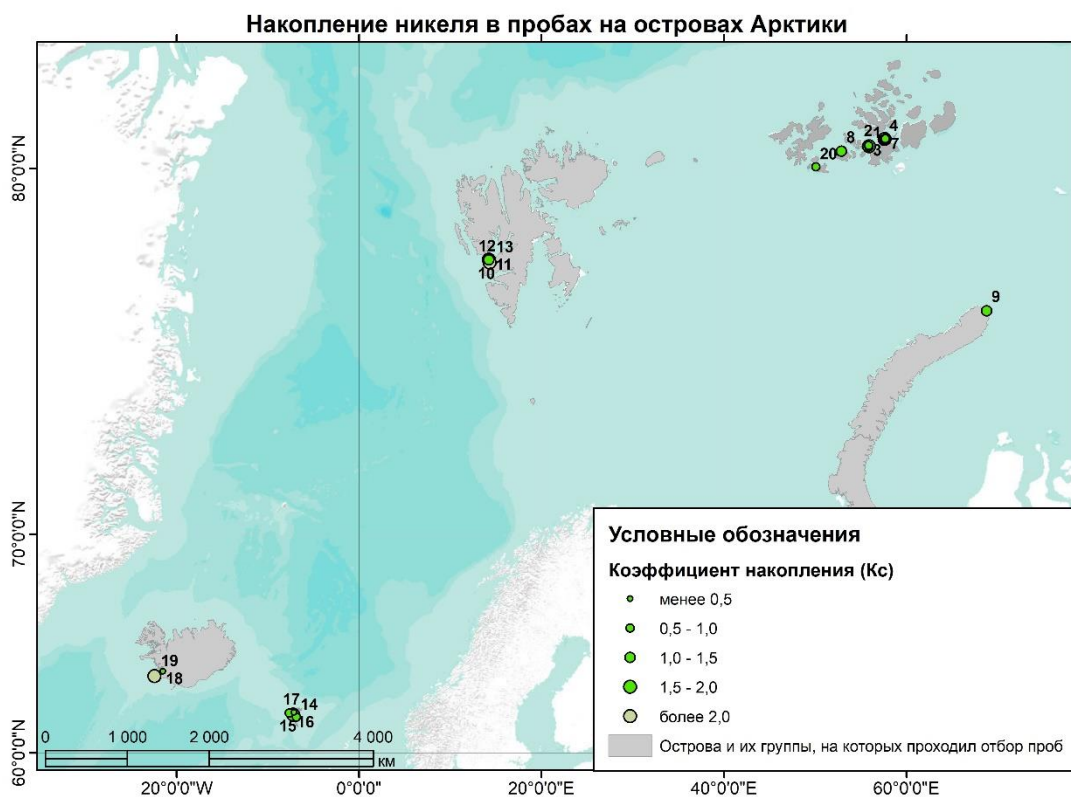


Рис.4.1. Среднее содержание никеля

В работе Rühling Å [71] откуда взяты данные по Скандинавии и Кольскому полуострову, практически все пробы представлены видом *Pleurozium schreberi*. При использовании данных по фоновым значениям [22], можно узнать средние значения коэффициента концентрации никеля, так как этот показатель наиболее точно характеризует накопление металла, учитывая особенности аккумуляции в зависимости от вида. Так фоновое содержание никеля для вида *Pleurozium schreberi* составляет 2 мг/кг. Приближенные средние значения Кс для Скандинавии и Кольского полуострова составляют 0,75 и 6 соответственно. Такие показатели свидетельствуют о фоновом уровне Скандинавии и пониженном уровне загрязнения

(в среднем) на Кольском полуострове. Местами в Мурманской области загрязнение никелем может достигать до уровней среднего и высокого.

В целом при анализе распределения никеля по пробам было выявлено, что минимумы наблюдаются на территории Фарерских островов (т.14-17) и Земли Франца-Иосифа (т.1-8, 20), средние значения приходятся на и север Новой Земли (т.9). Наибольшие содержания никеля отмечаются для Шпицбергена (т.10-13). Однако наибольший коэффициент концентрации выделяется в одной из точек в Исландии (т.19). Общее среднее содержание никеля по островам составляет 4,43 мг/кг. Абсолютный минимум – 0,70 мг/кг (т.16, о.Стреймой, Фарерский архипелаг), максимум – 8,60 мг/кг (т.13, Шпицберген). Согласно классификации уровней загрязнения по коэффициентам концентрации в основном преобладает  $K_c < 2$ , то есть уровень загрязнения относится к фоновому. Имеется лишь несколько точек, где  $2 < K_c < 10$ , что позволяет классифицировать загрязнение как низкое (точки 6, 11, 13, 10). На карте (рис.4.2.) показано пространственное распределение никеля по пробам.



## Рис.4.2. Никель в пробах

#### 4.2. Распространение и накопление меди

В основном содержание меди в рассматриваемых пробах колеблется от 2 до 15 мг/кг, общее среднее значение составляет 10,48 мг/кг. Основные данные по содержанию меди на рассматриваемых островах представлены в таблице:

Табл.4.3. Содержание меди в пробах

№ точки	Место	Видовой состав	Кол-во проб	Сод-е Cu в фоновых районах, мг/кг	Cu, мг/кг	Kc
1	Земля Франца-Иосифа	Polytrichum sp, накипные лишайники, полуразложившийся зеленый мох	3	7,33	2,87	0,39
2	Земля Франца-Иосифа	накипные лишайники, полуразложившийся зеленый мох	2	6,00	1,90	0,32
3	Земля Франца-Иосифа	накипные лишайники	1	3,67	0,70	0,19
4	Земля Франца-Иосифа	Aulacomnium turgidum, Tomentyphnum nitens	2	9,17	7,05	0,77
5	Земля Франца-Иосифа	Flavocetraria alpina, лишайник	2	4,08	3,00	0,73

6	Земля Франца- Иосифа	Мох, лишайник	1	6,00	5,10	0,85
7	Земля Франца- Иосифа	<i>Tomentyphnum nitens</i>	1	10,00	9,20	0,92
8	Земля Франца- Иосифа	<i>Flavocetraria cucullata</i> , <i>Flavocetraria alpina</i> , <i>Calliergon sp</i>	3	6,33	8,23	1,30
9	Новая Земли	<i>Cetraria islandica</i> , <i>Amblystadium</i> <i>Calliergon</i>	2	7,25	22,30	3,08
10	Шпицберген	<i>aulacomnium turgidum</i>	1	8,33	2,40	0,29
11	Шпицберген	<i>Tomentyphnum nitens</i> , <i>Calliergon sp</i>	1	8,33	5,40	0,65
12	Шпицберген	<i>Racomytrium lanuginosum</i>	1	10,00	3,30	0,33
13	Шпицберген	<i>Sphagnum sp</i>	1	3,00	3,40	1,13
14	Фарерские о-ва	<i>Tomentyphnum nitens</i> , <i>Calliergon richardsonii</i>	1	8,33	22,00	2,64
15	Фарерские о-ва	мох (порядок ГИПНОВЫЕ)	1	8,33	26,30	3,16
16	Фарерские о-ва	<i>Sphagnum sp</i>	1	3,00	1,50	0,50
17	Фарерские о-ва	Мох, 2 вида (один гипновый)	2	8,33	14,40	1,73

18	Исландия	Racomytrium lanuginosum	1	10,00	12,47	1,25
19	Исландия	Stereocaulon sp	1	3,67	50,44	13,76
20	Земля Франца- Иосифа	Cetraria мох	4	7,38	7,68	1,04

В итоге при анализе всех представленных значений удалось выделить минимумы и максимумы, а также средние значения по всем группам островов (Табл.4.4.). Наименьшие значения приходятся на Землю Франца-Иосифа и Шпицберген, наибольшие наблюдаются в Исландии и на Фарерских островах. На Новой Земле – промежуточные значения.

Табл. 4.4. Содержание меди по островам, мг/кг

	Макс. сод-е, мг/кг	Мин. сод-е, мг/кг	Среднее сод-е, мг/кг	Макс. Кс	Мин. Кс	Среднее Кс
<b>Земля Франца-Иосифа</b>	9,20	0,70	5,08	1,30	0,19	0,72
<b>Новая Земля</b>	22,30			3,08		
<b>Шпицберген</b>	5,40	2,40	3,63	1,13	0,29	0,60
<b>Фарерские острова</b>	26,30	1,50	16,50	3,16	0,50	2,01
<b>Исландия</b>	50,44	12,47	31,46	13,76	1,25	7,50

На ЗФИ наблюдается минимальное значение меди среди всех проб – 0,70 мг/кг (т.3, остров Алджера). Локальный максимум составляет 9,20 мг/кг (т.7, остров Хейса). Эта точка характеризуется отсутствием выраженного антропогенного воздействия. Несмотря на то, что данное содержание является максимальным, коэффициент концентрации в этой точке составляет 0,92, что означает отсутствие превышения фоновых значений. Общие низкие содержания на островах архипелага

обусловлены отсутствием источников поступления меди в окружающую среду и низким антропогенным воздействием в целом. Среднее содержание меди для рассматриваемых проб составляет 5,08 мг/кг, что является практически самым низким средним значением среди всех рассматриваемых групп островов (за исключением Шпицбергена).

Коэффициент концентрации меди для проб с Земли Франца-Иосифа принимает значения от 0,19 (т.3. на о.Алджера) до 1,3 (т.8 на о.Гукера), среднее значение коэффициента концентрации составляет 0,72, что означает, что содержание меди на архипелаге меньше фонового. Малые концентрации в пробах на о. Алджера (т.1-3) обусловлены практически полным отсутствием антропогенного воздействия – на острове нет зданий и других построек, а также транспортных средств. Наименьший коэффициент концентрации меди на ЗФИ (т.3) отмечается на точке с наибольшей высотой – 214 м над уровнем моря. В целом значения коэффициента концентрации меди на островах архипелага Земля Франца-Иосифа позволяют определить уровень загрязнения как фоновый ( $K_c < 2$ ).

На Шпицбергене отмечается наименьшее среднее значение, которое составляет 3,63 мг/кг. Минимум по архипелагу приходится на т.10, которая располагается к северу от Баренцбурга. В данной точке содержание меди составляет 2,40 мг/кг. Это может быть обусловлено особенностями накопления. Максимум (5,40 мг/кг) достигается в точке 11, которая также располагается вблизи Баренцбурга. Однако в данном месте не наблюдается наибольшего коэффициента концентрации (в т.11 он составляет 0,65). Небольшая разница между локальными значениями минимума и максимума показывает, что в пределах рассматриваемой территории наблюдается антропогенное воздействие без ярко выраженных очагов загрязнения.

Коэффициент концентрации меди на Шпицбергене составляет в среднем 0,60, что говорит о том, что содержание меди в отобранных пробах меньше, чем в фоновых. Это свидетельствует о низком уровне загрязнения территории. Такое среднее значение коэффициента концентрации является минимальным из всех рассматриваемых групп островов. Максимальное значение  $K_c$  достигается в точке 13 и составляет 1,13. Эта точка является наиболее удаленной от населенного пункта



Баренцбург и располагается за склоном. Превышение содержания меди в данной пробе над фоновым значением может быть обусловлено переносом со стороны угольных шахт Баренцбург (с севера) и Свеагрува (с востока). Минимальный коэффициент концентрации приходится на т.10 (0,29), что соответствует общему минимальному содержанию меди на архипелаге (2,40 мг/кг). Как и в случае с Землей Франца-Иосифа, во всех пробах на архипелаге Шпицберген показатель коэффициента концентрации принимает значения менее 2, что позволяет охарактеризовать степень загрязнения территории как фоновую.

В т.9, расположенной на мысе Желания на о. Северный архипелага Новая Земля, содержание меди в пробе составляет 22,30 мг/кг, что является сравнительно высоким значением. Коэффициент концентрации в данной точке принимает значение 3,08, что позволяет присвоить району отбора пробы низкий уровень загрязнения ( $2 < K_c < 10$ ). Однако делать выводы о загрязнении Новой Земли в целом нельзя ввиду того, что одной пробы недостаточно для анализа такого большого по площади архипелага. В случае точки 9 сравнительно высокие содержания меди могут быть обусловлены дальним переносом (с Норильска, Архангельска, Воркуты), либо особенностями антропогенного или природного воздействия на окружающую среду в районе мыса Желания – там располагается несколько зданий научной базы с курсирующей между ними тяжелой техникой (тракторы), а также там находится один из крупнейших в Арктике птичьих базаров.

Фарерские острова характеризуются большим содержанием меди, чем архипелаги Земля Франца-Иосифа, Шпицберген или Новая Земля. Среднее содержание меди в пробах Фарерских островов составляет 16,5 мг/кг – больше среднее содержание приходится только на пробы с Исландии. Минимальное содержание достигается в т.16 (о. Стреймой, район деревни Вестманна) и составляет 1,5 мг/кг. Такое значение является вдвое ниже фонового (для мха сфагнум, которым представлена проба в данной точке). В остальных точках содержание меди в пробах гораздо выше. Максимальное значение наблюдается в т.15, где проба представлена гипновыми мхами, и составляет 26,30 мг/кг. Данная точка располагается на о. Мичинес, который характеризуется минимальным антропогенным воздействием. На

этом острове располагается большой птичий базар. Точка 17 (о. Воар, район деревни Сорвагур) характеризуется наибольшим антропогенным воздействием (развитая сеть автомобильных дорог, рядом аэропорт), однако содержание меди там не является максимальным и составляет 14,40 мг/кг.

Коэффициент концентрации меди на Фарерских островах в среднем составляет 2,01, что позволяет охарактеризовать архипелаг как район с загрязнением на рубеже фонового и низкого уровней ( $K_c < 2$  и  $2 < K_c < 10$  соответственно). Максимальный коэффициент концентрации (3,16) приходится на т.15, расположенную на острове Мичинес. Данный остров является самым западным островом архипелага. Достижение максимума  $K_c$  именно на этом острове может быть обусловлено переносом загрязнения с востока, со стороны населенных пунктов (Торсхавн, Хойвик, Сорвагур). Минимальный коэффициент концентрации меди наблюдается в точке 16 и составляет всего 0,5. Это может быть связано с тем, что точка отбора проб располагалась южнее населенного пункта Вестманна. Согласно розе ветров для деревни (Рис.4.3.), в течение года наблюдается преобладание ветров с юга и юго-запада, а не со стороны населенного пункта. К югу и юго-западу от д. Вестманна находится канал Vestmannasund, а далее располагается остров Воар, а точнее его северная часть, на которой нет населенных пунктов и крупных транспортных путей, которые могли бы послужить источниками поступления меди.

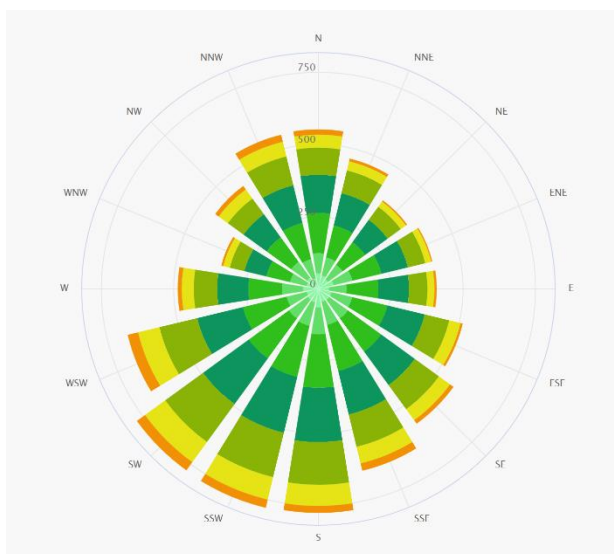


Рис. 4.3. Роза ветров для д. Вестманна (Фарерские острова). Источник:

<https://www.meteoblue.com>

На о. Исландия приходятся максимальные значения содержания меди среди всех рассматриваемых островов. В т.19 был достигнут абсолютный максимум – 50,44 мг/кг. Данная точка располагается в 4 км к югу от г. Кефлавик и в 30 км к юго-западу от столицы Исландии – Рейкьявика. Также рядом располагаются аэропорт, крупные автотранспортные магистрали и несколько малых населенных пунктов. Все они могут послужить источниками поступления Си в окружающую среду. Так как в районе Рейкьявика преобладают ветры северо-восточного направления [meteoblue], то можно предположить, что происходит перенос выбросов от города в сторону точки отбора проб, где было зафиксировано максимальное содержание меди. В точке 18 содержание меди гораздо ниже и составляет 12,47 мг/кг несмотря на близость к г. Рейкьявик. Данная точка находится в 14 км к востоку от города. Такое расположение точки обеспечивает принос воздушных масс с северо-востока (согласно розе ветров), в то время, как в этом направлении от точки нет крупных населенных пунктов и транспортных магистралей, которые могли бы стать основными источниками поступления меди.

При таком большом содержании меди, какое наблюдалось в т.19, коэффициент концентрации также будет высоким – в данной точке он составляет 13,76, что является максимальным по всем пробам из-за сравнительно высокой интенсивности антропогенной деятельности в районе точки отбора и переноса со стороны г. Рейкьявик. Это единственная точка, уровень загрязнения которой по коэффициенту Кс превышает 10, что позволяет отнести данный район к области пониженного загрязнения. В т.18 коэффициент концентрации составляет 1,25, что обусловлено локальным расположением точки относительно населенных пунктов и особенностями движения воздушных масс в этом районе.

Судить о загрязнении медью на всем о. Исландия сложно, так как двух точек абсолютно недостаточно для получения общей картины распространения загрязнения. Однако выводы об общем порядке величин и уровне загрязнения юго-западной части острова сделать можно.

При сравнении показателей содержания меди с пробами, взятыми на территории Скандинавии и Кольского полуострова [71] можно заметить, что значения по странам Северной Европы больше значений содержания меди в пробах со Шпицбергена и Земли Франца-Иосифа, но меньше, чем содержания в пробах с Новой Земли, Фарерских островов и Исландии (Рис.4.4.). Наибольшие значения отмечаются на Кольском полуострове и в Исландии, причем они примерно равны. Это связано с тем, что пробы с Исландии отбирались в промышленно освоенных районах с изначально высокими значениями меди, а Кольский полуостров в целом характеризуется сильной загрязненностью и высокими содержаниями металлов в пробах мхов и лишайников.

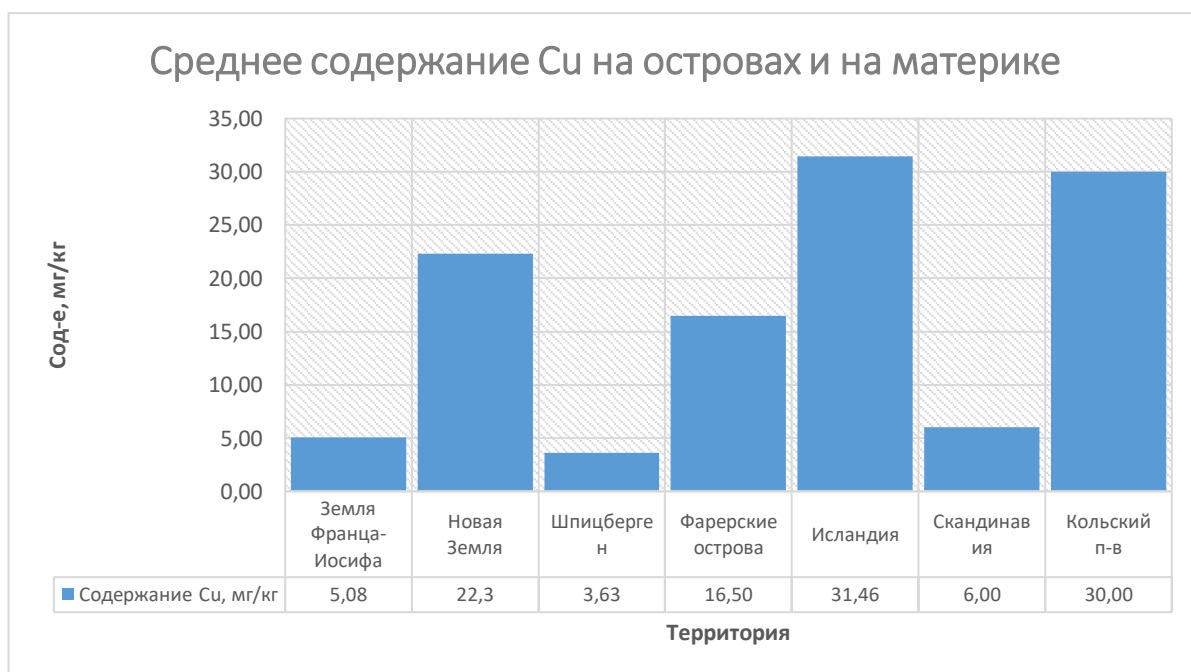


Рис.4.4. Содержание меди по островам и на материке

Фоновое значение по меди для вида *Pleurozium schreberi* составляет 12 мг/кг [22]. По нему можно примерно оценить уровень загрязнения территорий по показателю Кс – 0,5 для Скандинавии (фоновый уровень) и от 3 для Кольского полуострова (пониженный, средний, высокий уровни в зависимости от локальных особенностей).

В целом при анализе распределения меди по пробам было выявлено, что минимумы наблюдаются на территории Шпицбергена (т.10-13) и Земли Франца-Иосифа (т.1-8, 20), средние значения приходятся на Фарерские острова (т.14-17) и

север Новой Земли (т.9). Общее среднее содержание меди по островам составляет 10,48 мг/кг. Абсолютный минимум – 0,70 мг/кг (т.3, о.Алджера, Земля Франца-Иосифа), максимум – 50,44 мг/кг (т.19, Исландия). Согласно классификации уровней загрязнения по коэффициентам концентрации в основном преобладает  $K_c < 2$ , то есть уровень загрязнения относится к фоновому. Имеются районы с  $2 < K_c < 10$  (Новая Земля, Фарерские острова), обладающие низким уровнем загрязнения. Только юго-запад Исландии характеризуется как район с пониженным уровнем загрязнения ( $10 < K_c < 25$ ). На рис.4.5. показана общая картина распределения показателя  $K_c$  по пробам.

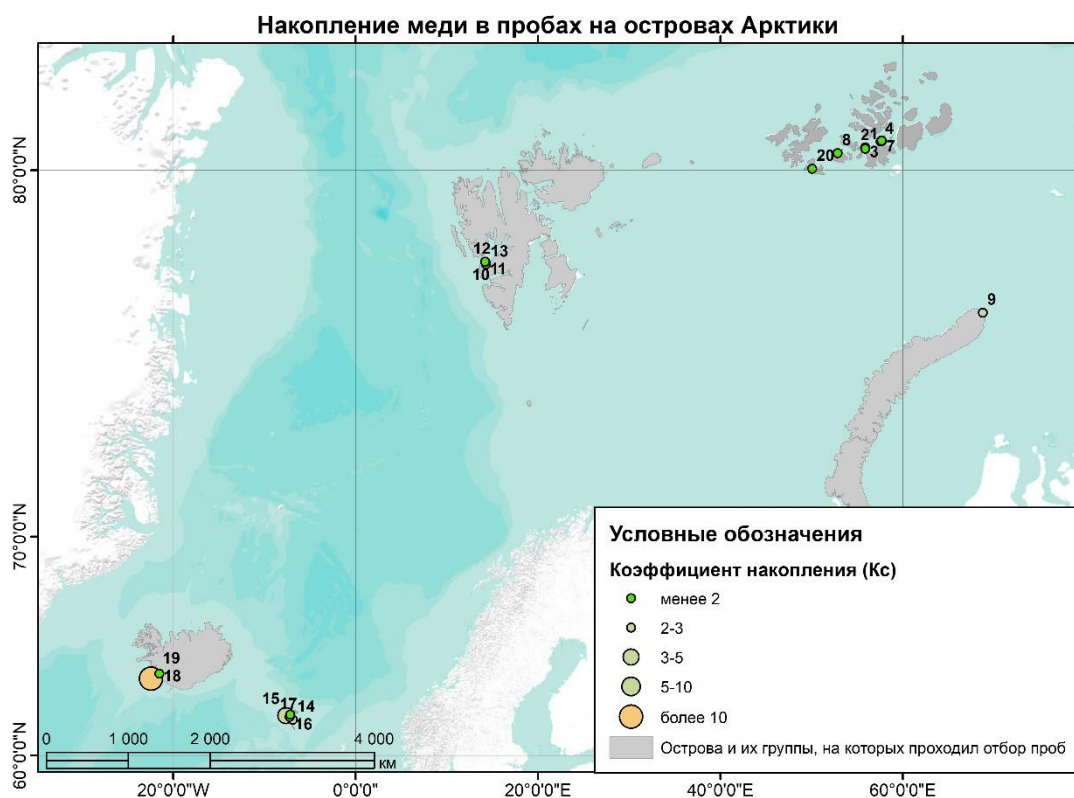


Рис.4.5. Накопление меди в пробах на островах Арктики.

### 4.3. Распространение и накопление цинка

Содержание цинка в пробах в среднем находится в диапазоне от 10 до 20 мг/кг. Полученные в результате лабораторной обработки проб данные, а также содержание цинка в фоновых районах и коэффициент Кс представлены в таблице:

Табл. 4.5. Содержание цинка в пробах

<i>№ точки</i>	<i>Место</i>	<i>Видовой состав</i>	<i>Кол-во проб</i>	<i>Сод-е Zn в фоновых районах, мг/кг</i>	<i>Zn, мг/кг</i>	<i>Кс</i>
1	Земля Франца-Иосифа	Polytrichum sp, накипные лишайники, полуразложившийся зеленый мох	3	26,67	10,43	0,37
2	Земля Франца-Иосифа	накипные лишайники, полуразложившийся зеленый мох	2	25,00	19,50	0,70
3	Земля Франца-Иосифа	накипные лишайники	1	20,00	4,60	0,23
4	Земля Франца-Иосифа	Aulacomnium turgidum, Tomentophnum nitens	2	30,00	18,70	0,62
5	Земля Франца-Иосифа	Flavocetraria alpina, лишайник	2	22,50	15,45	0,72
6	Земля Франца-Иосифа	Мох, лишайник	1	25,00	15,00	0,60
7	Земля Франца-Иосифа	Tomentophnum nitens	1	30,00	17,00	0,57
8	Земля Франца-Иосифа	Flavocetraria cucullata,	3	26,67	14,53	0,55

		Flavocetraria alpina, Calliergon sp				
9	Новая Земля	Cetraria islandica, Amblystadium Calliergon	2	27,50	17,05	0,61
10	Шпицберген	aulacomnium turgidum	1	30,00	26,30	0,88
11	Шпицберген	Tomentophnum nitens, Calliergon sp	1	30,00	36,40	1,21
12	Шпицберген	Racomitrium lanuginosum	1	30,00	15,70	0,52
13	Шпицберген	Sphagnum sp	1	20,00	20,70	1,04
14	Фарерские о-ва	Tomentophnum nitens, Calliergon richardsonii	1	30,00	10,00	0,33
15	Фарерские о-ва	мох (порядок Гипновые)	1	30,00	5,60	0,19
16	Фарерские о-ва	Sphagnum sp	1	20,00	14,30	0,72
17	Фарерские о-ва	Мох, 2 вида (один гипновый)	2	30,00	13,75	0,46
18	Исландия	Racomitrium lanuginosum	1	30,00	15,20	0,51
19	Исландия	Stereocaulon sp	1	20,00	18,30	0,92
20	Земля Франца-Иосифа	Cetraria islandica, мох	4	28,75	32,15	1,10

Данные из таблицы 4.5. позволяют выделить минимумы, максимумы и средние значения для каждой из групп островов и для Исландии, а также по ним в последствии была построена карта для пространственного отображения накопления цинка. В таблице 4.6. представлены основные характеристики для островов по

содержанию этого металла. Как можно заметить, картина схожа с распределением никеля: максимум отмечается на Шпицбергене, минимальное значение приходится на Фарерские острова.

Табл. 4.6. Содержание цинка по островам, мг/кг

	<b>Макс. сод-е</b>	<b>Мин. сод-е</b>	<b>Среднее сод-е</b>	<b>Макс. Кс</b>	<b>Мин. Кс</b>	<b>Среднее Кс</b>
<i>Земля Франца-Иосифа</i>	32,15	4,6	16,37	1,10	0,23	0,61
<i>Новая Земля</i>	17,05			0,61		
<i>Шпицберген</i>	36,40	15,70	24,78	1,21	0,52	0,91
<i>Фарерские острова</i>	14,30	5,60	10,91	0,72	0,19	0,42
<i>Исландия</i>	18,3	15,20	16,75	0,92	0,51	0,71

Пробы с Земли Франца-Иосифа характеризуются средними содержаниями цинка. Максимальное содержание приходится на т.20 (о. Нордбрук) и составляет 32,15 мг/кг. Это не самое высокое значение по островам. Данный максимум является одним из самых низких и уступает лишь Исландии. Такой максимум является локальным и может быть обусловлен особенностями накопления. Даже в точке с максимумом коэффициент концентрации будет принимать значение в 1,1, что означает почти полное отсутствие превышения над фоном. Минимальное значение на архипелаге Земля Франца-Иосифа наблюдалось в т.3 (о. Алджера) – 4,60 мг/кг. Данное значение является минимальным для всех рассматриваемых групп островов (абсолютный минимум), в данной точке отсутствует выраженное антропогенное воздействие. Среднее содержание цинка в пробах с ЗФИ составляет 16,37 мг/кг, что является не самым высоким и не самым низким средним значениям среди островов, на которых были отобраны пробы.

Коэффициент концентрации Кс для цинка по всем пробам принимает совсем небольшие значения. На Земле Франца-Иосифа он в среднем составляет 0,61. Это



говорит о том, что содержание цинка на архипелаге ниже фоновых значений. Максимальный показатель  $K_c = 1,1$  (т.20, мыс Флора, о. Нордбрук). Такое выделение локального максимума может быть связано с жизнедеятельностью организмов – на мысе Флора находится один из наиболее населенных птичьих базаров в Арктике. Минимальный коэффициент концентрации на ЗФИ составляет 0,23 (т.3, о. Алджера), что соответствует максимальному значению. Такое расхождение связано с видовым составом пробы, что обуславливает относительно высокие фоновые значения (накипные лишайники). По таким низким показателям коэффициента концентрации можно сделать вывод, что загрязнения цинком на архипелаге нет (уровень загрязнения – фоновый,  $K_c < 2$ ).

Шпицберген характеризуется наибольшими значениями всех показателей (содержание, коэффициент концентрации) по цинку. Это связано с тем, что точки отбора проб (т. 10-13) находятся в непосредственной близости к Баренцбургу, где действуют тепловые электростанции. Эти электростанции могут послужить источниками внесения цинка в окружающую среду. Поэтому среднее значение по пробам здесь максимально среди всех рассматриваемых островов и составляет 15,70 мг/кг. Максимальное содержание цинка отмечается в т.11 и составляет 36,4 мг/кг и является самым большим значением среди всех отобранных проб. Данная точка расположена на склоне северо-восточной экспозиции, около Баренцбурга. Согласно розе ветров для Баренцбурга (Рис.4.6.), там преобладают ветры северо-восточного направления, что и способствует повышению значения цинка в точках, расположенных к юго-западу от населенного пункта. Повышенные значения именно в т.11 могут быть также обусловлены особенностями накопления. Поэтому для более точной оценки загрязнения следует рассматривать коэффициент концентрации.

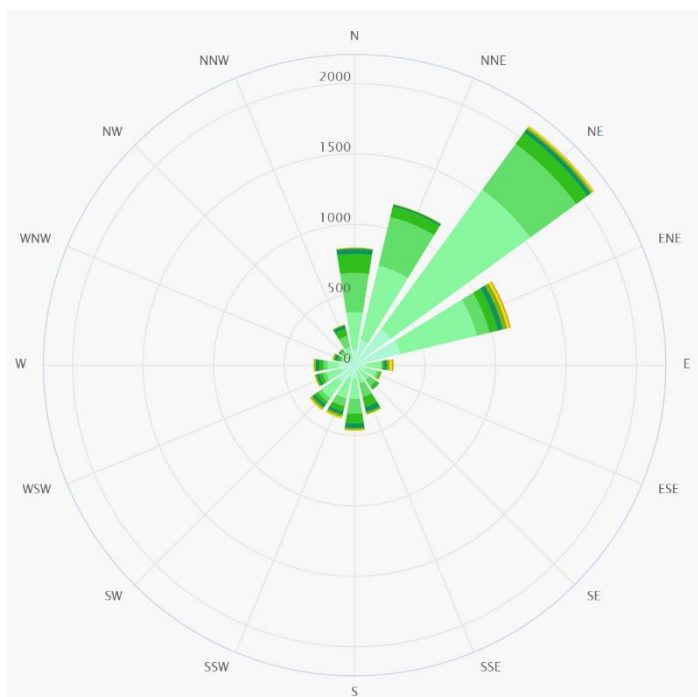


Рис. 4.6. Роза ветров для Баренцбурга. (ист: meteoblue.com)

Коэффициент  $K_c$  здесь, как и общие содержания, принимает наибольшие значения среди всех групп островов. В среднем он составляет 0,91. Максимальный показатель 1,21 наблюдается в точке 11. Минимальный – в точке 12 (0,52). В целом расхождения не так велики и позволяют определить, что содержания цинка в пробах находятся в пределах фоновых значений, что не позволяет выделить загрязнения даже на Шпицбергене, где наблюдаются самые высокие значения содержания цинка в пробах, а также коэффициента концентрации. Общее загрязнение относится к уровню фоновому.

При анализе проб с т.9 (Мыс Желания, Новая Земля), было выявлено, что на данной точке наблюдаются средние показатели содержания цинка (17,05 мг/кг). Это обуславливает и низкий коэффициент концентрации в этой точке (0,61). Однако уровень накопления цинка в ближайшее время может увеличиться ввиду того, что на Новой Земле идет строительство свинцово-цинкового комбината, который в дальнейшем может оказать негативное влияние на весь архипелаг и усилить загрязнение цинком и свинцом.

Фарерские острова характеризуются низким уровнем накопления цинка и средними содержаниями металла в пробах. Максимальное содержание цинка приходится на точку 16 и составляет 14,30 мг/кг. Данная точка находится на о. Стреймой (г. Вестманна) и характеризуется в целом низким антропогенным воздействием. Достижение локального максимума по Фарерским островам может быть связано с особенностями накопления видов (*Sphagnum* sp.). Минимальное содержание по Фарерским островам отмечается в пробе с точки 15 (о. Мичинес) – 5,60 мг/кг. Среднее содержание по островам составляет 10,91 мг/кг, что является наименьшим средним значением среди групп островов.

Коэффициент концентрации также невелик и достигает максимума в точке 16 (Вестманна) с показателем 0,72. Минимум составляет 0,19 (т.15). В среднем коэффициент концентрации по островам принимает значение 0,42, что означает отсутствие какого-либо загрязнения цинком (уровень фоновый,  $K_c < 2$ ).

Пробы с Исландии характеризуются наименьшим разлетом между минимальными и максимальными значениями. Это связано с малым количеством точек отбора проб на острове (всего 2), а также их непосредственной близостью друг к другу. Максимум достигается в т.19 (18,30 мг/кг), а минимум - в т.18 (15,20 мг/кг). Данные значения относительно невелики и не позволяют отметить загрязнение цинком даже в районе г. Рейкьявик вблизи крупных промышленных предприятий и объектов транспортной инфраструктуры (аэропорт, крупные автомагистрали). Среднее значение таким образом составляет 16,75 мг/кг.

Коэффициент концентрации, как и содержание цинка в пробах, не принимает больших значений. Максимум отмечается в т.19 (0,92). Для точки, находящейся в отдалении от города (т.18) коэффициент концентрации составляет 0,51. Таким образом, среднее значение  $K_c$  будет составлять 0,71. Это, как и в случае остальных рассматриваемых островов, означает отсутствие загрязнения цинком ( $K_c < 2$ , фоновый уровень загрязнения).

Среднее содержание по Северной Европе (Норвегия, Швеция, Финляндия, Дания, страны Балтии) составляет менее 40 мг/кг (Rühling Å). Как можно заметить,

это значение выше, чем в Исландии, на Фарерских островах, в т.9 на Новой Земле, на Земле Франца-Иосифа и на Шпицбергене. В целом значения в странах Скандинавии соответствуют фоновым. Однако и там имеются исключения. Так на южном побережье норвегии и на юго-западе Швеции концентрации цинка могут достигать 60-80 мг/кг. В Дании, центральной Норвегии, северной Швеции и Финляндии содержание цинка иногда может достигать 40 мг/кг. В Норвегии значительные поступления цинка наблюдаются с предприятий (Odda, Mo I Rana, Sauda, Oslo). Фоновые содержания цинка на Кольском полуострове немного выше, чем в странах Скандинавии (35 мг/кг), что также выше, чем в пробах на всех рассматриваемых островах. Это говорит о том, что загрязнение цинком на островах выделить нельзя, так как содержание слишком мало.

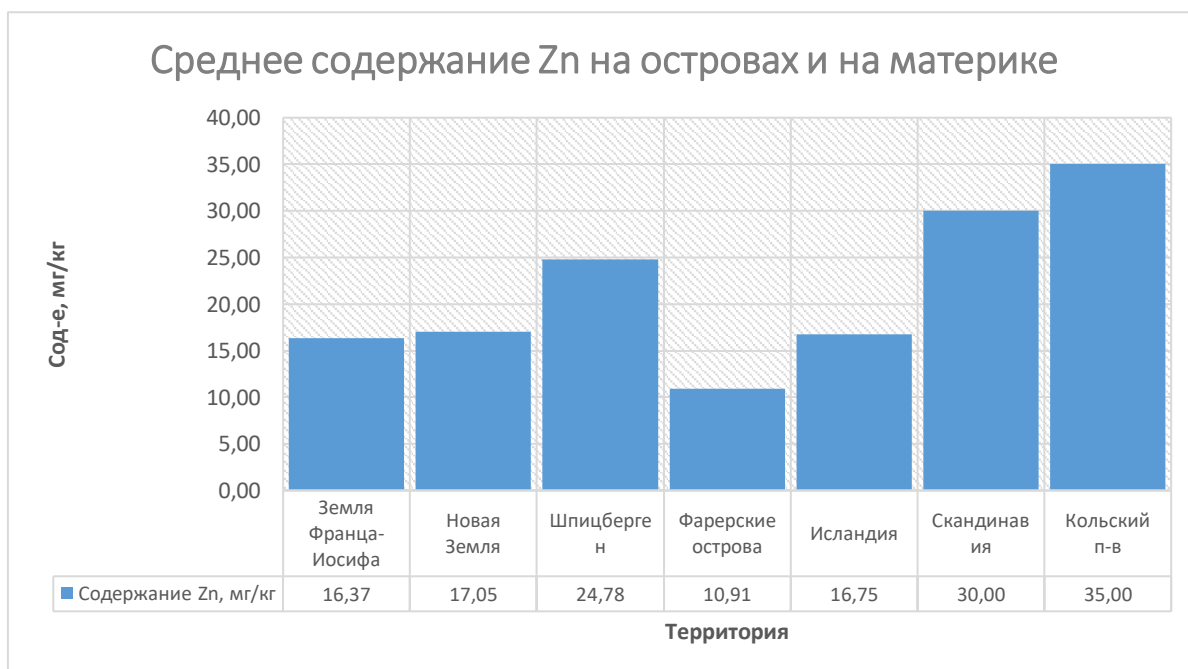


Рис. 4.7. Среднее содержание цинка

При рассмотрении значений содержания цинка по Скандинавии и на Кольском полуострове (рис.4.7.), можно использовать фоновые значения для вычисления приближенного коэффициента концентрации. Так для *Pleurozium schreberi*, которым представлены пробы, фоновое значение по цинку составляет 40 мг/кг. А значит, в среднем коэффициент концентрации редко превышает значение 1, что говорит о том, что Скандинавия, Кольский полуостров, а также острова западного сектора Арктики не загрязнены цинком.

В целом при анализе распределения цинка по пробам было выявлено, что минимумы наблюдаются на территории Фарерских островов (10,91 мг/кг – абсолютный минимум среди средних значений). Средними значениями характеризуются Новая Земля (17,05 мг/кг), Земля Франца-Иосифа (16,37 мг/кг), Исландия (16,75 мг/кг). Абсолютный минимум наблюдается на Фарерских островах (5,60 мг/кг), абсолютный максимум – на Шпицбергене (36,40 мг/кг). Коэффициенты концентрации принимают значения от 0,19 (Фарерские острова) до 1,21 (Шпицберген), что доказывает отсутствие загрязнения цинка по островам, так как  $K_c < 2$ , что соответствует фоновому уровню загрязнения. Ни одна из проб не обладает значением коэффициента концентрации более 2. На Рис.4.8. представлено пространственное распределение цинка по пробам.

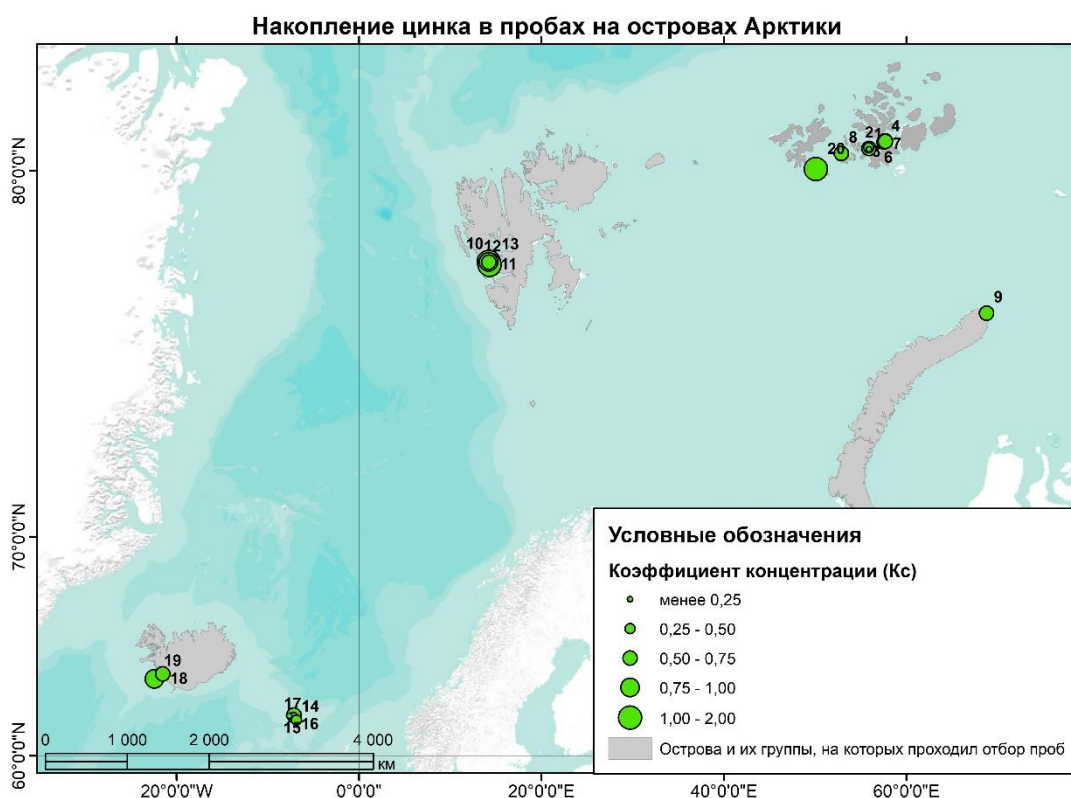


Рис.4.8. Цинк в пробах

#### 4.4. Распространение и накопление свинца

В основном содержание свинца в пробах колеблется от 1 до 6 мг/кг, среднее значение по всем пробам составляет 4,08 мг/кг. В таблице (Табл.4.7.) можно ознакомиться с основными показателями по свинцу в пробах (содержание, фоновое значение, коэффициент концентрации Кс).

Табл. 4.7.Содержание свинца в пробах

<i>№ точки</i>	<i>Место</i>	<i>Видовой состав</i>	<i>Кол-во проб</i>	<i>Сод-е Pb в фоновых районах, мг/кг</i>	<i>Pb, мг/кг</i>	<i>Кс</i>
1	Земля Франца-Иосифа	Polytrichum sp, накипные лишайники, полуразложившийся зеленый мох	3	3,44	12,83	4,54
2	Земля Франца-Иосифа	накипные лишайники, полуразложившийся зеленый мох	2	3,17	1,06	0,53
3	Земля Франца-Иосифа	накипные лишайники	1	2,00	1,2	0,60
4	Земля Франца-Иосифа	Aulacomnium turgidum,	2	4,17	2,65	0,64

		Томентыфнум nitens				
5	Земля Франца-Иосифа	Flavocetraria alpina, лишайник	2	2,50	2,96	1,48
6	Земля Франца-Иосифа	Мох, лишайник	1	3,17	5,30	1,67
7	Земля Франца-Иосифа	Томентыфнум nitens	1	4,00	2,40	0,60
8	Земля Франца-Иосифа	Flavocetraria cucullata, Flavocetraria alpina, Calliergon sp	3	3,33	6,70	2,21
9	Новая Земля	Cetraria islandica, Amblystadium Calliergon	2	3,50	3,30	0,94
10	Шпицберген	aulacomnium turgidum	1	4,33	2,80	0,65
11	Шпицберген	Томентыфнум nitens, Calliergon sp	1	4,33	2,50	0,58
12	Шпицберген	Racomytrium lanuginosum	1	4,00	6,30	1,58
13	Шпицберген	Sphagnum sp	1	4,00	4,60	1,15
14	Фарерские о-ва	Томентыфнум nitens, Calliergon richardsonii	1	4,33	4,00	0,92
15	Фарерские о-ва	мох (порядок Гипновые)	1	4,33	2,00	0,46
16	Фарерские о-ва	Sphagnum sp	1	4,00	0,02	0,01

17	Фарерские о-ва	Мох, 2 вида (один гипновый)	2	4,17	8,95	2,09
18	Исландия	Racomytrium lanuginosum	1	4,00	6,72	1,68
19	Исландия	Stereocaulon sp	1	2,00	5,12	2,56
20	Земля Франца-Иосифа	Cetraria islandica, мох	4	4,00	0,24	0,06

При анализе данных из таблицы представилось возможным выделить основные значения (общие и локальные минимумы и максимумы), определить средние и в последствии выделить уровень загрязнения для каждого из рассматриваемых районов. В таблице 4.8. представлены эти показатели. Можно заметить, что наибольшие значения приходятся на Землю Франца-Иосифа, наименьшие отмечаются на Новой Земле, а средние на Шпицбергене, Фарерских островах и в Исландии.

Табл. 4.8. Содержание свинца по островам, мг/кг

	Макс. сод-е	Мин. сод-е	Среднее сод-е	Макс. Кс	Мин. Кс	Среднее Кс
<b>Земля Франца-Иосифа</b>	12,83	0,25	3,93	4,54	0,06	1,37
<b>Новая Земля</b>		3,30			0,94	
<b>Шпицберген</b>	6,30	2,50	4,05	1,58	0,58	0,99
<b>Фарерские острова</b>	8,95	0,02	3,74	2,09	0,01	0,87
<b>Исландия</b>	6,72	5,12	5,92	2,56	1,68	2,12

Как было отмечено, на Земле Франца-Иосифа отмечаются максимальные значения среди всех рассматриваемых островов. Абсолютный максимум содержания свинца в пробах составляет 12,83 мг/кг и отмечается в т.1 (о. Алджера). Отсутствие антропогенных источников поступления свинца в данном районе не может объяснить максимальное содержание свинца. Напротив, такое положение должно способствовать формированию минимумов по содержанию металлов на



этом острове. Имеющаяся ситуация может быть объяснена особенностями накопления видов на точке (*Polytrichum* sp, накипные лишайники, полурасложившийся зеленый мох). В целом можно сказать, что превышение содержания свинца в данной точке над средними значениями по архипелагу не является критическим и не позволяет отметить ярко выраженное загрязнение. Минимум представлен содержанием в 0,25 мг/кг и отмечается в т.20 (о.Нордбрук, мыс Флора). Такое малое значение может быть обусловлено отсутствием источников поступления свинца в окружающую среду. Среднее содержание свинца по островам архипелага Земля Франца-Иосифа составляет 3,93 мг/кг.

Максимальные и минимальные коэффициенты концентрации соответствуют наибольшим и наименьшим содержаниям свинца в пробах с архипелага. Так максимум  $K_c$  составляет 4,54 и отмечается в т.1, где было отмечено максимальное содержание свинца. Минимум составляет 0,06 и приходится на т.20, где был выделен минимум по содержанию металла. Среднее значение коэффициента концентрации составляет 1,37. Такая картина позволяет выделить на Земле Франца-Иосифа фоновый уровень загрязнения ( $K_c < 2$ ) и местами низкий ( $2 < K_c < 10$ ).

Шпицберген характеризуется сравнительно средним содержанием свинца в пробах. Так максимум составляет 6,30 мг/кг и отмечается в т.12. Данная точка, согласно информации о розе ветров для Баренцбурга, располагается на пути ветров, дующих со стороны Баренцбурга на юго-восток. Минимальное содержание свинца приходится на т. 11 и составляет 2,50 мг/кг. Среднее содержание по пробам с Шпицбергена вблизи Баренцбурга составляет 4,05 мг/кг.

Коэффициенты концентрации для свинца по пробам с Шпицбергена также невысоки. Наибольшее значение составляет 1,58 и соответствует точке 12, где было отмечено максимальное содержание свинца по архипелагу. Минимальный показатель  $K_c$  приходится на т. 11 и составляет 0,58. Именно в т.11 наблюдалось минимальное содержание свинца по Шпицбергену. Среднее значение коэффициента концентрации составляет 0,99. Можно сказать, что в целом содержание свинца в данных пробах (т.10-13) примерно равно фоновым значениям, так как  $K_c$  принимает

значения от 0,58 до 1,58 при среднем в 0,99. Следовательно, загрязнение свинцом отметить нельзя, уровень является фоновым.

Для т.9 с Новой Земли отмечаются относительно невысокие показатели. Так содержание свинца в данной пробе составляет 3,30 мг/кг. Это при имеющемся фоновом значении для видов *Cetraria islandica*, *Amblystadium Calliergon* в 3,50 мг/кг, позволяет выделить коэффициент концентрации, равный 0,94. Такое значение не позволяет отметить загрязнение свинцом на севере Новой Земли ( $K_c < 2$ , уровень фоновый).

Фарерские острова характеризуются средними значениями по содержанию свинца в пробах. Так максимум составляет 8,95 мг/кг (т.17, о. Воар, вблизи аэропорта). Абсолютный минимум не только по Фарерским островам, но и среди всех рассматриваемых проб, наблюдается в т.16 (Вестманна) и составляет 0,02 мг/кг. Данная точка отбора проб характеризуется слабым антропогенным воздействием и находится вдали от большинства источников выбросов. В среднем содержание свинца на Фарерских островах составляет 3,74 мг/кг, что является минимальным средним значением среди всех рассматриваемых групп островов.

Коэффициенты концентрации коррелируют со значениями содержания свинца в пробах. Так максимальный коэффициент отмечается в т.17, где он составляет 2,09. Это соответствует максимальному содержанию свинца в пробах на Фарерских островах. Минимальный коэффициент концентрации составляет 0,01 и приходится на т.16, где было отмечено минимальное содержание свинца среди всех проб. Среднее значение коэффициента концентрации составляет 0,87. Это свидетельствует об отсутствии загрязнения свинцом на Фарерских островах. Данную территорию можно охарактеризовать как фоновую ( $K_c < 2$ ).

Среди проб, отобранных в Исландии (т.18-19) максимальное содержание свинца наблюдается у пробы в т.18, которое составляет 6,72 мг/кг. Данное значение не сильно отличается от содержания в т.19 (5,12 мг/кг). Таким образом, в двух точках наблюдается примерно одинаковое содержание свинца.

Коэффициенты концентрации для проб с Исландии принимают значения в 2,56 и 1,68 (т.19 и т.18 соответственно). Как можно заметить, в данном случае наибольшее содержание не соответствует наибольшему коэффициенту концентрации и наоборот. Это связано с тем, что в зависимости от видового состава проб выделялись фоновые значения, которые для точки 19 оказались на порядок меньше, чем для точки 18. В целом загрязнение свинцом на юго-западе Исландии можно охарактеризовать как низкое ( $2 < K_c < 10$ ).

При сравнении показателей содержания свинца с пробами, взятыми на территории Скандинавии и Кольского полуострова [71] можно заметить, что значения по странам Северной Европы больше значений содержания свинца во всех рассматриваемых пробах с островов (ЗФИ, Шпицберген, Новая Земля, Фарерские острова, Исландия) (Рис.4.9.).

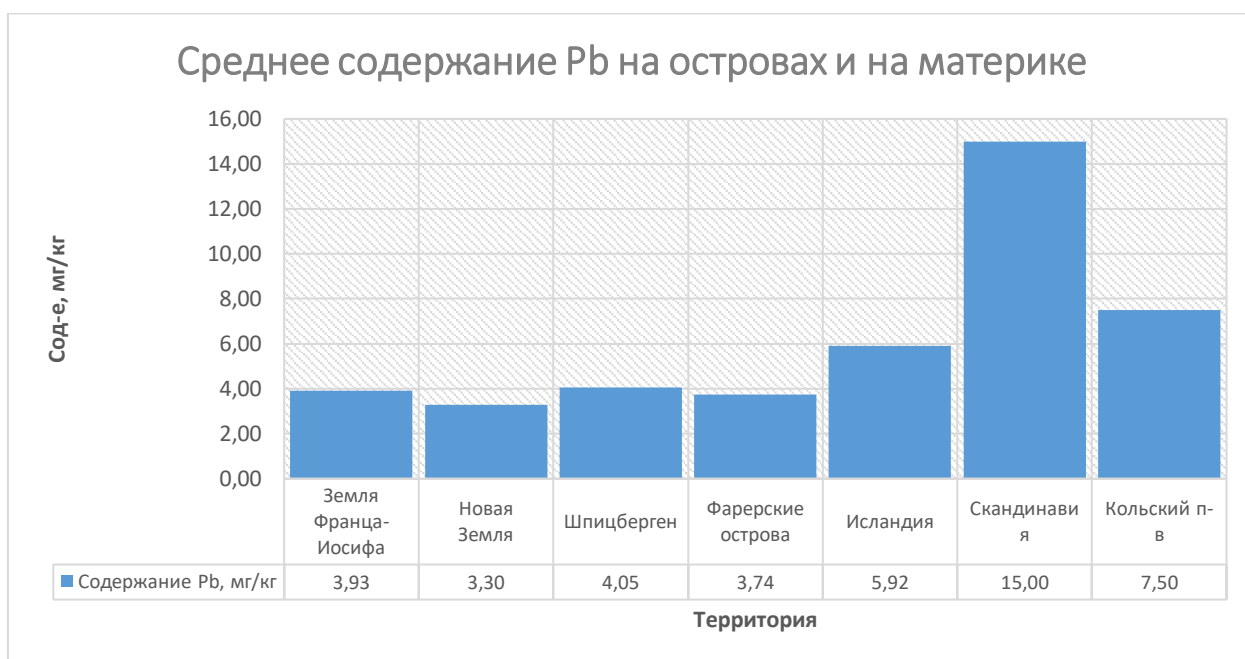


Рис. 4.9. Содержание свинца по островам и на материке

Такая картина соответствует общему распределению свинца по Северной Европе. Атмосферное распределение свинца характеризуется постепенным уменьшением с юга на север в соответствии с сокращением плотности населения и интенсивности транспортной нагрузки. Общие фоновые значения содержания свинца в Скандинавии принимают значения от 20 до 40 мг/кг на юго-западе

полуострова (Норвегия – Осло, Скиен, Порсгрунн, Кристиансанд, Фарсунд). По мере движения на север содержание свинца уменьшается и достигает менее чем 5 мг/кг на севере Норвегии, Швеции и Финляндии (район озера Инариярви в Финляндии, Варангер-фьорд, Порсангер-фьорд и плоскогорье Финмаркен в Норвегии, часть Лапландии и район озера Уддьяур в Швеции). Максимальные значения по странам Скандинавии составляют порядка 40 мг/кг и приходятся в Sörlandet в Норвегии, Rönnskär, Domnarvet и Smadjebacken в Швеции, Harjavalta в Финляндии [71].

Для Кольского полуострова содержание свинца сопоставимо с Финляндией, Швецией и Норвегией, если не брать в расчет промышленные районы (Мончегорск и прочие). Максимальные значения содержания свинца на Кольском полуострове в любом случае ниже максимумов для стран Скандинавии.

Фоновое значение по меди для вида *Pleurozium schreberi* составляет 5 мг/кг [22]. Это значение позволяет найти коэффициент концентрации для определения уровня загрязнения в Скандинавии и на Кольском полуострове. Таким образом,  $K_c$  будет составлять порядка 3-8 для Скандинавии и 1,5-6 для Кольского полуострова. Такие значения позволяют выделить низкий уровень загрязнения свинцом. Эти значения в любом случае выше тех, которые были получены с проб на островах, что подтверждает предположение, согласно которому происходит уменьшение степени загрязнения свинцом по мере движения с юга на север (в случае Северной Европы).

В целом при анализе распределения свинца по пробам с островов Западного сектора Арктики было выявлено, что минимумы наблюдаются на территории Фарерских островов (т.14-17) и Земли Франца-Иосифа (т.1-8, 20), средние значения приходятся на Шпицберген (т.10-13) и север Новой Земли (т.9). Общее среднее содержание свинца по островам составляет 4,08 мг/кг. Абсолютный минимум – 0,02 мг/кг (т.16, о. Стреймой, Фарерские острова), максимум – 12,83 мг/кг (т.1, о.Алджера, Земля Франца-Иосифа). Согласно классификации уровней загрязнения по коэффициентам концентрации в основном преобладает  $K_c < 2$ , то есть уровень загрязнения относится к фоновому. Имеются районы с  $2 < K_c < 10$  (Исландия), обладающие низким уровнем загрязнения. На рис.4.10. показана общая картина распределения показателя  $K_c$  по пробам.

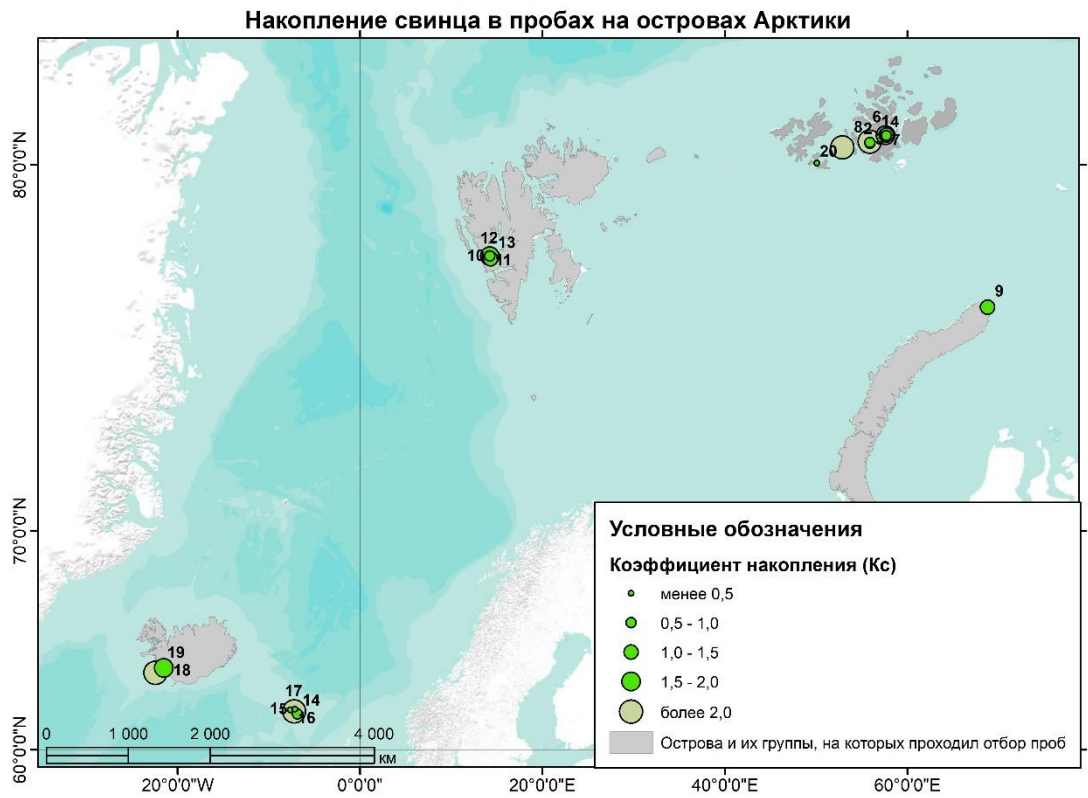


Рис. 4.10. Накопление свинца в пробах на островах Арктики.

#### 4.5. Распространение и накопление кадмия

В среднем содержание кадмия в пробах находится в диапазоне от 0,01 до 0,10 мг/кг. Полученные в результате лабораторной обработки проб данные, а также содержание никеля в фоновых районах (в зависимости от вида) и подсчитанный коэффициент концентрации представлены в таблице:

Табл. 4.9. Содержание кадмия в пробах

<i>№ точки</i>	<b>Место</b>	<b>Видовой состав</b>	<b>Кол-во проб</b>	<b>Сод-е Cd в фоновых районах, мг/кг</b>	<b>Cd, мг/кг</b>	<b>Kc</b>
1	Земля Франца-Иосифа	Polytrichum sp, накипные лишайники, полуразложившийся зеленый мох	3	0,18	0,01	0,07
2	Земля Франца-Иосифа	накипные лишайники, полуразложившийся зеленый мох	2	0,19	0,01	0,05
3	Земля Франца-Иосифа	накипные лишайники	1	0,17	0,009	0,05
4	Земля Франца-Иосифа	Aulacomnium turgidum, Tomentyphnum nitens	2	0,18	0,1245	0,82
5	Земля Франца-Иосифа	Flavocetraria alpina, лишайник	2	0,13	0,01	0,07

6	Земля Франца-Иосифа	Мох, лишайник	1	0,19	0,009	0,05
7	Земля Франца-Иосифа	<i>Tomentophnum nitens</i>	1	0,15	0,009	0,06
8	Земля Франца-Иосифа	<i>Flavocetraria cucullata</i> , <i>Flavocetraria alpina</i> , <i>Calliergon sp</i>	3	0,12	0,073	0,72
9	Новая Земля	<i>Cetraria islandica</i> , <i>Amblystegium</i> <i>Calliergon</i>	2	0,13	0,0445	0,38
10	Шпицберген	<i>Aulacomnium turgidum</i>	1	0,22	0,25	1,15
11	Шпицберген	<i>Tomentophnum nitens</i> , <i>Calliergon sp</i>	1	0,22	0,25	1,15
12	Шпицберген	<i>Racomitrium lanuginosum</i>	1	0,15	0,009	0,06
13	Шпицберген	<i>Sphagnum sp</i>	1	0,30	0,46	1,53
14	Фарерские о-ва	<i>Tomentophnum nitens</i> , <i>Calliergon richardsonii</i>	1	0,22	0,009	0,04
15	Фарерские о-ва	мох (порядок Гипновые)	1	0,22	0,009	0,04
16	Фарерские о-ва	<i>Sphagnum sp</i>	1	0,30	0,009	0,03
17	Фарерские о-ва	Мох, 2 вида (один гипновый)	2	0,18	0,009	0,05
18	Исландия	<i>Racomitrium lanuginosum</i>	1	0,15	0,05	0,33

19	Исландия	Stereocaulon sp	1	0,17	0,06	0,36
20	Земля Франца-Иосифа	Cetraria islandica, мох	4	0,19	0,2775	1,47

С помощью этих данных в последствии были выделены минимумы, максимумы и средние значения по островам. Эти показатели представлены в таблице 4.10. Как можно заметить, максимальное содержание кадмия в пробах отмечается в пробах со Шпицбергена, минимум приходится на Фарерские острова. В целом показатели содержания кадмия в пробах невелики, разлет между минимумом и максимумом также невелик.

Табл.4.10. Содержание кадмия по островам, мг/кг

	Макс. сод-е	Мин. сод-е	Среднее сод-е	Макс. Кс	Мин. Кс	Среднее Кс
<b>Земля Франца-Иосифа</b>	0,28	0,01	0,06	1,47	0,05	0,37
<b>Новая Земля</b>	0,04			0,38		
<b>Шпицберген</b>	0,46	0,01	0,24	1,53	0,06	0,98
<b>Фарерские острова</b>	0,01	0,01	0,01	0,05	0,03	0,04
<b>Исландия</b>	0,06	0,05	0,06	0,36	0,33	0,35

На Земле Франца-Иосифа наблюдаются средние значения содержания кадмия. Минимум составляет 0,01 и приходится на т.1-8. Единственная точка с другим значением – т.20 (мыс Нордбрук), в ней содержание составляет 0,28 мг/кг, что является максимум по данной группе островов. Разница между минимальным и максимальным содержаниями невелика и может быть обусловлена локальными особенностями территории (разный характер накопления и видового состава).



Такие небольшие показатели содержания кадмия в пробах обуславливают небольшие коэффициенты концентрации (Кс). Так, показатель Кс для данных проб составляет в среднем 0,37. Минимум составляет 0,05 (точка 6, о. Хейса), что объясняется сравнительно большим фоновым значением, выделенным для вида (проба представлена смесью мхов и лишайников). Максимальный коэффициент концентрации составляет 1,47 (т.20, мыс Нордбрук). Для всех проб с архипелага Земля Франца-Иосифа Кс составляет менее 2, что позволяет выделить данную территорию как район с фоновыми концентрациями кадмия.

На Шпицбергене также наблюдаются небольшие показатели содержания кадмия в пробах, однако данные значения являются максимальными среди всех островов. Минимальное содержание среди проб, отобранных на архипелаге, составляет 0,01 мг/кг (т.12, 1,3 км к югу от Баренцбурга, на склоне). Максимальное содержание составляет 0,46 мг/кг и приходится на т.13 (8,5 км к югу от Баренцбурга за склоном). Среднее содержание по пробам составляет 0,24 мг/кг.

Коэффициенты концентрации в пробах также невелики и принимают значения от 0,06 до 1,53, что соответствует показателям минимального и максимального содержания кадмия в пробах. В среднем Кс составляет 0,98. Это, как и в случае с пробами с Земли Франца-Иосифа, свидетельствует об отсутствии загрязнения кадмием на территории и выделением ее как района с фоновыми значениями.

В т.9 на Новой Земле (мыс Желания) содержание кадмия составляет 0,04 мг/кг. При фоновом значении в 0,13 мг/кг получается, что коэффициент концентрации для данной пробы составляет 0,38. Это значит, что содержание кадмия в пробе меньше, чем отмечается в фоновых пробах для Арктики для данного видового состава (смесь *Cetraria islandica* и *Amblystadium calliergon*). Следовательно, загрязнение кадмием в данной пробе выделить не представляется возможным.

На Фарерских островах, как и на Земле Франца-Иосифа, содержание кадмия в пробах минимально. Так во всех точках (14-17) содержание кадмия составляет 0,01

мг/кг. Соответственно, коэффициенты концентрации также невелики. Максимальное значение  $K_c$  достигается в т. 17 и составляет 0,05. Таким образом, Фарерские острова характеризуются минимальным содержанием кадмия в пробах и могут выделяться как районы с фоновым значением.

В двух пробах с Исландии содержание кадмия также невелико – оно составляет 0,05 мг/кг и 0,06 мг/кг для точек 18 и 19 соответственно. Коэффициенты концентрации составляют 0,33 и 0,36. Следовательно, юго-запад Исландии в районе населенных пунктов Рейкьявик и Кефлавик характеризуется, как и все прочие рассматриваемые районы, фоновым уровнем загрязнения.

Среднее содержание по Северной Европе (Норвегия, Швеция, Финляндия, Дания, страны Балтии) составляет менее 0,2 мг/кг (Rühling Å, 1992), что больше, чем на всех рассматриваемых островах (Рис.4.11.). Максимальные содержания по Скандинавии достигаются в районе заливов Sognefjorden и Hardangerfjorden (около Бергена) в Норвегии. Содержание там кадмия может достигать 0,9 мг/кг. На Кольском полуострове содержание кадмия в целом чуть выше, чем в Скандинавии – 0,3 мг/кг. Максимальные содержания по полуострову достигаются в районе Кандалакши (более 0,8 мг/кг) и Мончегорска (0,65 мг/кг).

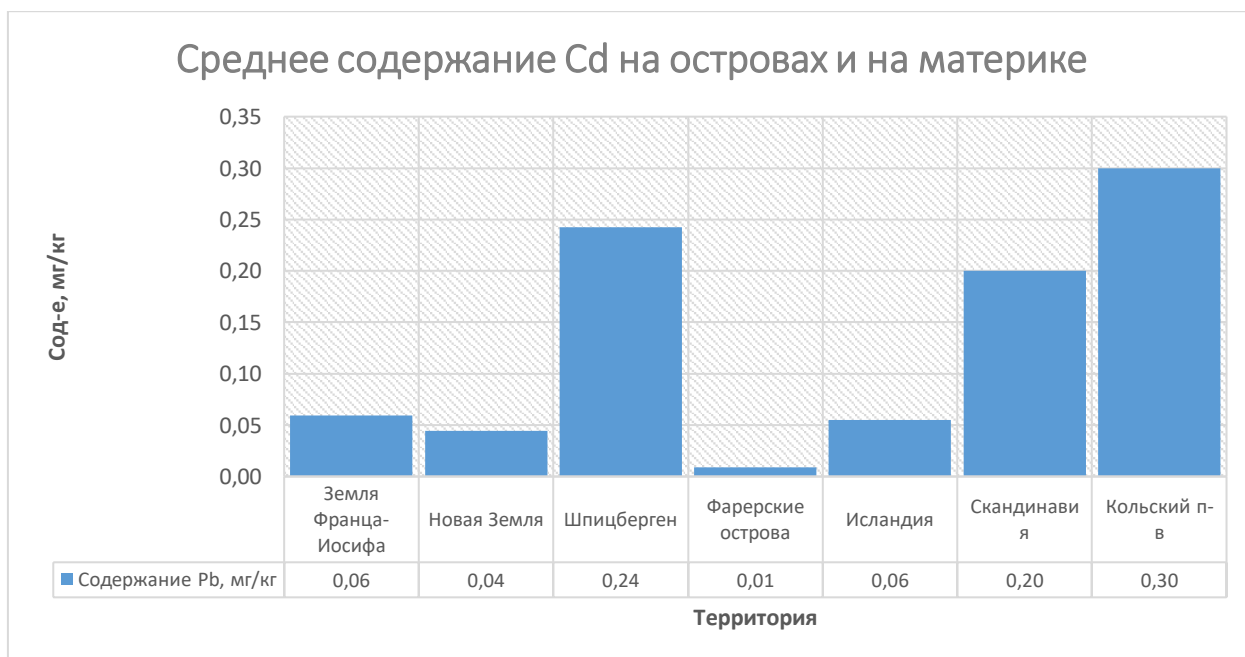


Рис. 4.11. Среднее содержание кадмия

В работе Rühling Å [71], откуда взяты данные по Скандинавии и Кольскому полуострову, практически все пробы представлены видом *Pleurozium schreberi*. При использовании данных по фоновым значениям [22], можно узнать средние значения коэффициента концентрации кадмия, так как этот показатель наиболее точно характеризует накопление металла, учитывая особенности аккумуляции в зависимости от вида. Так фоновое содержание никеля для вида *Pleurozium schreberi* составляет 0,2 мг/кг. Приближенные средние значения Кс для Скандинавии и Кольского полуострова составляют 1 и 1,5 соответственно. Это говорит о том, что глобального загрязнения кадмием на данных полуостровах выделить нельзя.

В целом при анализе распределения кадмия по пробам было отмечено, что минимумы наблюдаются на Земле Франца-Иосифа (т.1-8) и Фарерских островах (т.14-17), максимум достигается на Шпицбергене. Общее среднее содержание кадмия по пробам составляет 0,08 мг/кг. По островам наблюдается общее преобладание  $K_c < 2$ , поэтому уровень загрязнения рассматриваемых территорий является фоновым. На рис. показано пространственное распределение кадмия по пробам.

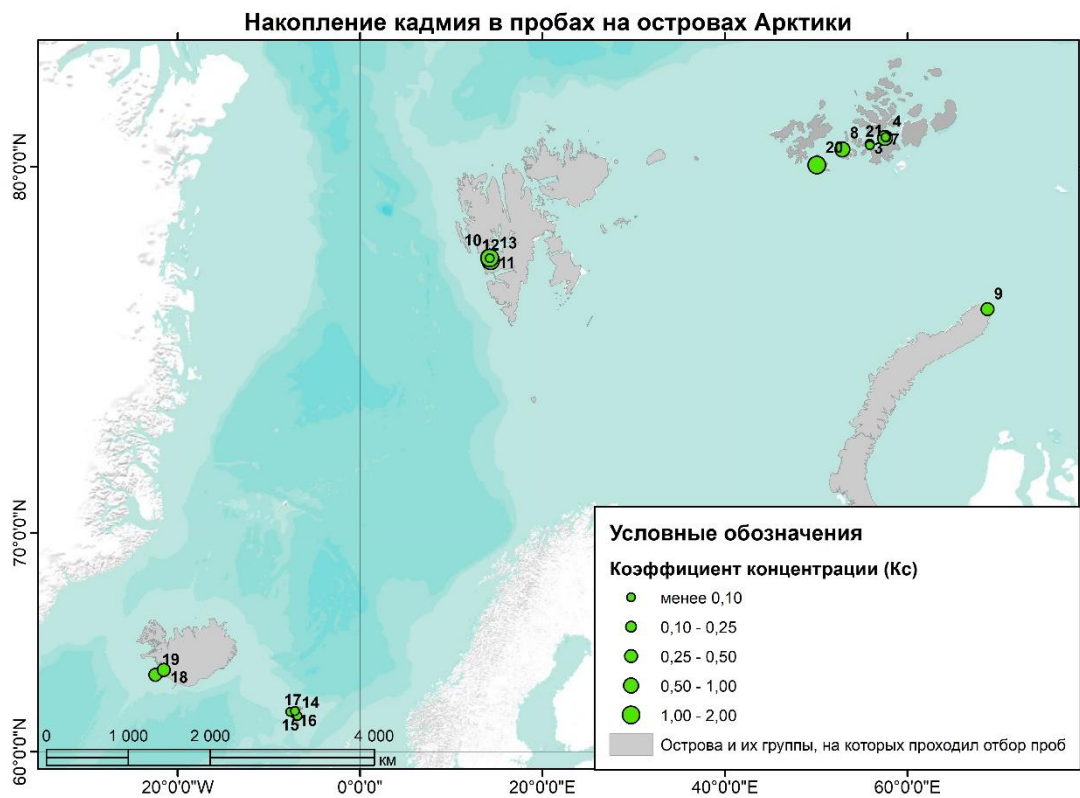


Рис. 4.12. Накопление кадмия в пробах на островах Арктики

#### 4.6. Распространение и накопление стронция

В основном содержание стронция в пробах колеблется от 0,5 до 10 мг/кг. Основные данные по содержанию стронция на рассматриваемых островах представлены в следующей таблице:

Табл. 4.11. Содержание стронция в пробах

<i>№ точки</i>	Место	Видовой состав	Кол-во проб	Сод-е Sr в фоновых районах, мг/кг	Sr, мг/кг	Kc
1	Земля Франца-Иосифа	Polytrichum sp, накипные лишайники, полуразложившийся зеленый мох	3	1,77	2,03	1,07
2	Земля Франца-Иосифа	накипные лишайники, полуразложившийся зеленый мох	2	1,65	1,55	0,66
3	Земля Франца-Иосифа	накипные лишайники	1	0,17	0,3	0,38
4	Земля Франца-Иосифа	Aulacomnium turgidum, Tomentyphnum nitens	2	2,25	4	1,78
5	Земля Франца-Иосифа	Flavocetraria alpina, лишайник	2	0,90	3,85	4,19

6	Земля Франца-Иосифа	Мох, лишайник	1	1,65	1,8	1,09
7	Земля Франца-Иосифа	<i>Tomentophnum nitens</i>	1	2,00	3,8	1,90
8	Земля Франца-Иосифа	<i>Flavocetraria cucullata</i> , <i>Flavocetraria alpina</i> , <i>Calliergon sp</i>	3	1,33	5,73333 3	4,28
9	Новая Земля	<i>Cetraria islandica</i> , <i>Amblystegium</i> <i>Calliergon</i>	2	1,50	9,85	8,00
10	Шпицберген	<i>aulacomnium turgidum</i>	1	2,50	24,7	9,88
11	Шпицберген	<i>Tomentophnum nitens</i> , <i>Calliergon sp</i>	1	2,50	5,6	2,24
12	Шпицберген	<i>Racomytrium lanuginosum</i>	1	2,00	1,6	0,80
13	Шпицберген	<i>Sphagnum sp</i>	1	2,50	3,4	9,76
14	Фарерские о-ва	<i>Tomentophnum nitens</i> , <i>Calliergon richardsonii</i>	1	2,50	1	0,40
15	Фарерские о-ва	мох (порядок Гипновые)	1	2,50	4,4	1,76
16	Фарерские о-ва	<i>Sphagnum sp</i>	1	2,50	7,5	3,00
17	Фарерские о-ва	Мох, 2 вида (один гипновый)	2	2,25	9,3	4,50
18	Исландия	<i>Racomytrium lanuginosum</i>	1	2,00	0,48	0,24

19	Исландия	Stereocaulon sp	1	0,80	1,05	1,31
20	Земля Франца-Иосифа	Cetraria islandica, мох	4	2,13	26,475	11,24

В итоге при анализе всех представленных значений выделены минимумы и максимумы, а также средние значения по всем группам островов (табл.4.12.). Наименьшие значения приходятся на Землю Франца-Иосифа и Исландию, наибольшие наблюдаются на Шпицбергене. На Новой Земле и Фарерских островах – промежуточные значения.

Табл.4.12. Содержание стронция по островам, мг/кг

	Макс. сод-е	Мин. сод-е	Среднее сод-е	Макс. Кс	Мин. Кс	Среднее Кс
<b>Земля Франца-Иосифа</b>	26,48	0,30	2,30	11,24	0,38	2,95
<b>Новая Земля</b>	5,73			8,00		
<b>Шпицберген</b>	24,70	1,60	10,44	9,88	0,80	5,67
<b>Фарерские острова</b>	7,50	1,00	4,08	4,50	0,40	2,41
<b>Исландия</b>	9,30	0,48	4,89	1,31	0,24	0,78

На Земле Франца-Иосифа отмечается минимальное значение среди всех проб – 0,30 мг/кг (т.3, остров Алджера). Максимум достигается в т.20 и составляет 26,48 мг/кг, что является максимальным значением среди всех проб. Это может быть обусловлено расположением в районе т.20 крупного птичьего базара и, как следствие, высокой биологической активности. Однако средние значения по архипелагу являются минимальными и составляют 2,30 мг/кг, что может быть обусловлено низким антропогенным воздействием.

Коэффициент концентрации для проб с Земли Франца-Иосифа принимает значения от 0,38 до 11,24, что соответствует минимуму (т.3) и максимуму (т.20) по

содержанию стронция в пробах. Среднее значение по архипелагу составляет 2,95, однако известно, что во всех пробах, кроме т.20, отмечается низкое значение показателя  $K_c$ , которое составляет менее 2, а значит, приравнивается к фоновому. И только в районе т.20 отмечается загрязнение стронцием, характеризуемое как пониженное ( $10 < K_c < 25$ ).

Шпицберген в целом характеризуется как архипелаг с наибольшим средним содержанием стронция по пробам – 10,44 мг/кг. Такие высокие средние содержания могут быть связаны с разработкой угольных месторождений и выбросами от населенных пунктов (Баренцбург). Максимальное содержание стронция отмечается в т.10, которая расположена в пределах населенного пункта, - 24,7 мг/кг. Минимальное содержание приходится на т.12 (склон к югу от Баренцбурга) и составляет 1,6 мг/кг. Достаточно большой разлет между минимумом и максимумом может быть обусловлен интенсивностью антропогенного воздействия.

Коэффициенты концентрации на Шпицбергене принимают относительно большие значения (больше только в одной из точек на Земле Франца-Иосифа). Среднее значение коэффициента концентрации для архипелага составляет 5,67. Минимальный показатель  $K_c$  отмечается в т.13 и составляет 0,80. Максимум – в т.11 (9,88). Это соответствует минимальному и максимальному значениям содержания стронция в пробах. Таким образом, Шпицберген характеризуется фоновым ( $K_c < 2$ ) и низким ( $2 < K_c < 10$ ) уровнями загрязнения.

Для т.9 (Новая Земля, мыс Желания) отмечается среднее значение содержания стронция, которое составляет 9,85 мг/кг. Коэффициент концентрации соответственно будет равен 8,00. Это может быть обусловлено разработкой месторождений на юге архипелага (юг о. Северный и о. Южный) и дальним переносом с материка. Ввиду такого показателя  $K_c$  данный район может характеризоваться низким уровнем загрязнения ( $2 < K_c < 10$ ).

Фарерские острова характеризуются относительно низкими значениями содержания стронция в пробах. Минимум отмечается в т.14 и составляет 1,00 мг/кг. Точка 14 располагается на о. Сандой вдали от всех производств и крупных



населенных пунктов, что может объяснять локальный минимум в этом месте. Максимальное содержание стронция отмечается в т.17 и составляет 9,30 мг/кг. Данная точка располагается на о. Воар в районе аэропорта и населенного пункта Сорваур и ряда других. Среднее значение по архипелагу составляет 4,08 мг/кг.

Коэффициент концентрации характеризуется средними значениями, которые по островам составляют 2,41. Минимум  $K_c$  приходится на т.14 и составляет 0,40. Максимум (4,50) отмечается в т.17, в которой и отмечается максимальное содержание по архипелагу. В целом Фарерские острова характеризуются фоновым ( $K_c < 2$ ) и низким ( $2 < K_c < 10$ ) уровнями загрязнения.

В пробах с о.Исландия содержание стронция достаточно низкое и составляет 0,48 и 1,05 мг/кг для точек 18 и 19 соответственно. Таким образом, коэффициенты концентрации составляют 0,24 и 1,31. Это обуславливает фоновый уровень загрязнения стронцием на юго-западе острова.

В целом при анализе распределения стронция по пробам было выявлено, что минимумы наблюдаются на территории Земли Франца-Иосифа (т.1-8, 20), Фарерских (т.14-17) островов и Исландии (т.18-19). Средние значения приходятся на север Новой Земли (т.9). Общее среднее содержание меди по островам составляет 4,84 мг/кг. Абсолютный минимум – 0,30 мг/кг (т.3, о.Алджера, Земля Франца-Иосифа), максимум – 26,48 мг/кг (т.20, ЗФИ). Согласно классификации уровней загрязнения по коэффициентам концентрации в основном преобладает  $K_c < 2$ , то есть уровень загрязнения относится к фоновому. Имеются районы с  $2 < K_c < 10$  (Новая Земля, Шпицберген, Фарерские острова), обладающие низким уровнем загрязнения. Только юг Земли Франца-Иосифа характеризуется как район с пониженным уровнем загрязнения ( $10 < K_c < 25$ ). На рис.4.13. показана общая картина распределения показателя  $K_c$  по пробам.

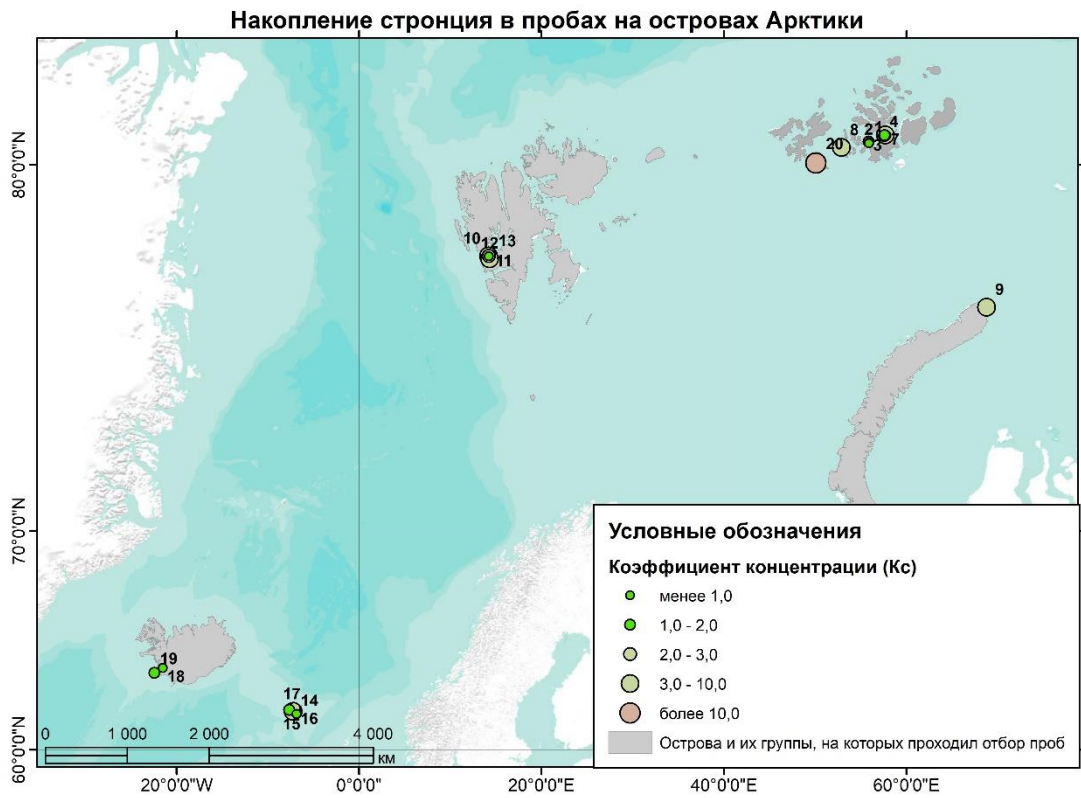


Рис. 4.13. Накопление стронция в пробах на островах Арктики

## Заключение.

Стало известно, что полученные в ходе работы данные по загрязнению воздуха с помощью методов брио- и лишеноиндикации, соответствуют проведенным ранее исследованиям.

При анализе пространственного распространения металлов по пробам было отмечено, что в целом рассматриваемые острова характеризуются фоновым ( $K_c < 2$ ) и низким уровнями загрязнения. Наиболее сильное загрязнение относится к уровню пониженного, которое выделяется по коэффициенту концентрации в пределах от 10 до 25. Оно отмечается на Земле Франца-Иосифа для стронция (т.20) и на юго-западе Исландии для меди.

Можно заметить, что полностью фоновыми уровнями концентрации ( $K_c < 2$ ) характеризуются острова по загрязнению цинком и кадмием – во всех 20 точках  $K_c$  не превышает 2. Практически фоновыми районами являются острова по загрязнению свинцом – лишь в одной точке  $K_c$  превышает 2, что означает низкий уровень загрязнения (т.19, Исландия,  $K_c = 2,56$ ). В случае с никелем загрязнение чуть более распространено: в 16 точках из 20 наблюдается фоновый уровень, в 4 точках низкий (некоторые точки на ЗФИ, Шпицбергене, Исландии). Самым интенсивным загрязнением характеризуются медь и стронций. Стронцием наиболее загрязнен мыс Нордбрук на Земле Франца-Иосифа,  $K_c$  там составляет 11,24. В случае с медью имеется 3 точки с низким уровнем (Шпицберген, Фарерские острова), у стронция таких точек 8 (Все выбранные острова за исключением Исландии). Таким образом, стронций является металлом с наиболее интенсивным загрязнением.

Также представляется возможным выделить острова по уровню загрязнения металлами. На островах Земли Франца-Иосифа точкой, в которой наблюдается большее количество максимумов содержания металлов и показателей  $K_c$ , является точка 20 (мыс Нордбрук). В ней наблюдаются максимальные концентрации цинка, кадмия и стронция (1,1, 1,47, 11,24 соответственно). Это может быть обусловлено высокой биологической активностью на данной территории, в частности

расположением птичьего базара у мыса. Островом с общим минимальными концентрациями металлов можно назвать о. Алджера (т.3), в ней отмечаются минимальные концентрации и содержания по меди, цинку и стронцию (0,19, 0,23, 0,38). На этом острове наблюдается отсутствие антропогенного воздействия.

На Шпицбергене наблюдается наибольшая дифференциация отмечаемых показателей, опробование проходило вблизи поселка Баренцбург, около которого производится добыча угля. На Шпицбергене также есть точки, в которых наблюдаются максимумы или минимумы сразу по нескольким металлам. Одной из них является точка около поселка Баренцбург, там отмечаются максимальные концентрации и содержания таких металлов, как никель, цинк, стронций. Данная точка обладает выраженным антропогенным воздействием. Также в плане максимумов выделяется т.13, там достигаются максимальные значения по никелю меди и кадмию. Она находится к 8,5 км к югу от Баренцбурга за склоном, там может наблюдаться принос со стороны угольных разработок. Минимальные содержания и концентрации по Шпицбергену приходятся на точку 12, там наблюдаются наименьшие значения по никелю, цинку и кадмию. Эта точка расположена в 1,3 км к юго-востоку от Баренцбурга и характеризуется минимальным антропогенным воздействием. Соответственно, по Шпицбергену наблюдается увеличение содержания металлов ближе к поселку Баренцбург и к угольным разработкам.

Меньшая дифференциация характерна для Фарерских островов. Основным участком, на котором наблюдается больше всего максимумов, является остров Воар и в частности т.17 – в ней достигаются максимальные содержания и концентрации никеля, свинца, стронция (1,55, 2,09, 4,5). Эта точка расположена в районе населенных пунктов Сорваур и прочих. Там наблюдается максимальное антропогенное воздействие среди всех точек по островам. Островом с минимальным загрязнением является Стреймой (т.16). Там наблюдаются минимумы по никелю ( $K_c=0,18$ ), меди (0,5), свинцу (0,01), кадмию (0,03). Точка располагается в месте, которое характеризуется минимальным антропогенным воздействием – к югу от деревни Вестманна на острове Стреймой, откуда все уносится ветрами.

Небольшое количество проб с Новой Земли и Исландии не позволило выделить дифференциацию показателей содержания металлов на островах.

Таким образом, в целом можно сказать, что загрязнение металлами на островах западного сектора Арктики выявлено не было, имеются лишь отдельные участки с низким и пониженным уровнями загрязнения для некоторых металлов, поступление которых не связано с объектами, расположенными на материке. Содержания металлов в отобранных пробах варьируются в достаточно широком диапазоне, однако по большей части они находятся на уровне фоновых для Арктики значений. Содержание металлов на островах ниже, чем в континентальной части (Скандинавия, Кольский полуостров). Локальные максимумы достигаются в местах с высокой биологической (т.20, мыс Нордбрук, ЗФИ) и антропогенной активностью, вблизи крупных городов (т.18,19, Исландия). Наиболее загрязняющими металлами можно считать стронций и медь, содержание которых принимает наибольшие значения и позволяет выделить загрязнение пониженного уровня (Земля Франца-Иосифа и юго-запад Исландии соответственно). В итоге почти все рассматриваемые острова можно отнести к фоновым районам Арктики, за исключением отдельных районов Шпицбергена (где в районе отбора проб происходит добыча угля), а также Исландии. Также стоит отметить, что в случае с Исландией не было выявлено влияние вулканов.

Применяемые методы оказались достаточно подходящими для проведения исследования и помогли проследить распространение техногенных поллютантов на территории. Можно сказать, что роль локальных источников в загрязнении рассматриваемых островов не так велика, как могла бы быть. Также можно сделать вывод, что на островах отсутствует явный дальний перенос техногенных поллютантов с материка на острова.

## Список литературы.

1. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Б. А. Ревич, Ю. Е. Саэт, Р. С. Смирнова (Утв. 15 мая 1990 г. № 5174-90). М.: ИМГРЭ, 1990.
2. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Марачев А.Г., Милованов А.П. Патология человека на Севере. М.: Медицина, 1986. – 416 с.
3. Адамович Г. Г. и др.//Гигиена и санитария. 1981. № 11. С. 75—76.
4. Акимов В. А., Козлов К. А., Косоруков О. А. Современные проблемы арктической зоны Российской Федерации. – М.: ВНИИ по проблемам гражданской обороны и чс МЧС России, 2014. – 308 с
5. Александрова В. Д., Зубков А. И. Физико-географический очерк Новой Земли //В сб.:«Новоземельская экскурсия», ч. I. – 1937.
6. Анищенко Л.Н., Шапурко В.Н., Сафранкова Е.А. Особенности аккумуляции тяжелых металлов растениями и лишайниками в условиях сочетанной антропогенной нагрузки // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9-7. – С. 1527-1531;
7. Арчегова И.Б. О характере процессов почвообразования в некоторых ландшафтах Воркутинской тундры. // Материалы по почвам Коми АССР. – Сыктывкар, 1972. – 238 с.
8. Атлас Арктики / сост. и подгот. к изд. Государственным комитетом СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт; отв. ред. Трешникова А.Ф. – М. : ГУГиК, 1985. – 1 атл. (204 с.)
9. Атомно-абсорбционная спектрометрия: Учебное пособие. // Бейзель Н.Ф. - Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2008. – 72 с.
10. Бандман А.Л. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов V-VIII группы / Бандман А.Л., Волкова Н.В., Грехова Т.Д. // Справочник. Л.: «Химия», 1989. – 592 с.

11. Богоявленский В. И., Богоявленский И. В. Освоение месторождений нефти и газа в морях Арктики и других акваториях России //Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2015. – Т. 18. – №. 3.
12. Брицке М. Э. Атомно-абсорбционный спектрохимический анализ. – М.:Химия, 1982 – 224 с.
13. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I—IV групп: Справ, изд./ А. Л. Бандман, Г. А. Гудзовский, Л. С. Дубейковская и др.; Под ред. В. А. Филова и др. Л.: Химия, 1988. 512 с.
14. Гаврило М. В. «Русская Арктика»: первозданная природа и научный полигон //Природа. – 2015. – №. 11. – С. 46-59.
15. Гарифзянов А. Р. Эмиссионная фотометрия пламени и атомно-абсорбционная спектроскопия: электронное учебное пособие для студентов 2 курса (v. 2.0). – Казань: Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина, 2014 – 94 с.
16. Геншафт Ю.С., Салтыковский А.Я. Исландия: глубинное строение, эволюция и интрузивный магматизм. – М.: ГЕОС, 1999 – 362 с.
17. Гохберг Л. М., Кузнецова Т. Е. Стратегия 2020: новые контуры российской инновационной политики //Форсайт. – 2011. – Т. 5. – №. 4.
18. Гросвальд М.Г., Кренке А.Н., Виноградов О.Н., Маркин В.А., Псарева Т.В, Раземейко Н.Г., Суходровский В.Л. Оледенение Земли Франца-Иосифа. М.:Наука, 1973, - 245 с.
19. Дубиковский Г. П. О корреляционной зависимости между содержанием микроэлементов в почвах БССР и частотой онкологических заболеваний //Химия в сельском хозяйстве. – 1982. – С. 23-24.
20. Душкова Д. О., Евсеев А. В. Экология и здоровье человека: региональные исследования на европейском Севере России. М.: МГУ, 2011 – 191 с.
21. Евдокимов А.Н., Смирнов А.Н., Фокин В.И. Полезные ископаемые арктических островов России. / Записки Горного института. Т.216. стр5-12. СПб: Горный Институт, 2015.

22. Евсеев А.В. Закономерности формирования импактных зон в Арктике и Субарктике России. / Евсеев А.В., Красовская Т.М. // География и природные ресурсы. – 1997. – № 4. – С. 19-24.
23. Еленкин А.А. Мхи и лишайники. Определитель и руководство к сбору и хранению. / Л.: научное книгоиздательство «Ленинград», 1990. – 180 с.
24. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. / М.: Мир, 1989. 439 с.
25. Кнунянц И.Л. Химическая энциклопедия. — М.: Советская энциклопедия, 1988. — Т. 1. — С. 408—410. — 623 с.
26. Кренке А.Н. Климат Земли Франца-Иосифа. / Известий высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 3. – М.: МИИГАиК. – 1996. – с.48-58.
27. Кропоткин П. А., Воейков А. И., Рыкачев М. А. и др. Доклад Комиссии по снаряжению экспедиции в северные моря // Известия Императорского русского географического общества за 1871 год. 1872. Т. 7. Отд. 1. С. 29-117.
28. М.И. Белов. Советское арктическое мореплавание 1917-1932 г.г. / Пинхенсон Д. М. (ред.). — Ленинград: Морской транспорт, 1959. — 510 с. — (История открытия и освоения Северного Морского пути. Том III).
29. Мицык Е. П., Хватова Ю. С., Дунаев А. М. Методика оценки воздействия тяжелых металлов на особо охраняемые территории с помощью бриомониторинга.
30. Могилевская О.Я. Цинк и окись цинка // Токсикология редких металлов. — М., Медгиз, 1963. — С. 187-195.
31. Пупышев А. А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ. - М.: Техносфера, 2009 - 782 с.
32. Ровинский Ф. Я., Теплицкая Т. А., Алексеева Т. А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. – Гидрометеиздат, 1988.
33. Роцин А. В. // Гигиена труда и проф. заболевания. 1977. № 11. С. 28—35.
34. Сидоренко А.В. Геология СССР. Том XXVI. Острова Советской Арктики, геологическое описание. – М.: «Недра», 1970. – 545 с.
35. Старков В. Ф. Очерки истории освоения Арктики. Т. I: Шпицберген. – 1998.



36. Тарасенко Н. Ю., Воробьева Р. С. ЦВестн. АМН СССР. М., 1973. № 10. С. 37-42. Халилов
37. Шаров А.И. Краткое физико-географическое описание архипелага Земля Франца-Иосифа. / Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. Н.3 1996 – М.: МИИГАиК. С.43-47
38. Шевченко В. П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. – М. : Наука, 2006.
39. Школьный Д. И., Айбулатов Д. Н. Типизация устьевых областей рек острова Южный (архипелаг Новая Земля) // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2017. – №. 6. – С. 50-58.
40. Шполянская Н. А. Плейстоцен-голоценовая история развития криолитозоны Российской Арктики «глазами» подземных льдов // Москва–Ижевск: изд. Ин-та компьютерных исследований. – 2015.
41. Исландия. Страна надежной и чистой энергетики. Будущее в настоящем. // Портал-энерго. Эффективное энергосбережение. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/511>. Дата обращения: 28.02.2018
42. Компания «Арктикуголь». Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.arcticugol.ru/> дата обращения 18.02.2018
43. Месторождения. Информационное агентство Arctic info. <http://www.arctic.ru/encyclopedia/fields/> дата обращения: 11.03.2018
44. Полярный фонд. Некоммерческая организация. Электронный ресурс. Режим доступа: [http://www.polarf.ru/franz\\_josef/202/](http://www.polarf.ru/franz_josef/202/) дата обращения: 04.02.2018
45. "Longyearelva". Norwegian Polar Institute. Archived from the original on 7 April 2012. Retrieved 7 April 2012.
46. 2014 Minerals Yearbook. Denmark, The Faroe Islands, and Greenland [advance release]. US Department of the Interior, US Geological Survey: USGS, December 2017, 6p.
47. Aggregate production in Iceland. Edda Lilja Sveinsdóttir, Børge Johannes Wigum. / Public administration of Iceland. 2002.

48. Bjerck H. B. Stone Age settlement on Svalbard? A re-evaluation of previous finds and the results of a recent field survey //Polar Record. – 2000. – T. 36. – №. 197. – C. 97-112.
49. Björnsson, H. et al. 2003: Surges of glaciers in Iceland. Annals of Glaciology 36, 82-89.
50. Bowen H. J. M., Environmental Chemistry of the Elements, Academic Press, New York, 1979, 333.
51. Cappelen J., Laursen E. V. The Climate of the Faroe Islands: With Climatological Standard Normals, 1961-90. – DMI, 1998.
52. Church M. J. et al. The Vikings were not the first colonizers of the Faroe Islands //Quaternary Science Reviews. – 2013. – T. 77. – C. 228-232.
53. Clark, RB, Marine Pollution, Clarendon Press, Oxford, 172 p., 1992.
54. Crane K. Arctic environmental atlas. – Moscow: WWF Russian Programme Office, 2000 – 180 p.
55. Einarsson M. Á. Climate of Iceland – Reykjavík, Iðunn, 1984 - 150 p.
56. Elevold S., Dallmann W.K., Blomeier D. Svalbards geologi. Tromsø: Norsk Polarinstitut. – 2007. – 38.
57. Elvevold, S. & Dallmann, W.K. (eds.) 2014: Geological map of Svalbard 1 : 200,000, sheet FG23G Nordaustlandet NE. Norsk Polarinstitut Temakart No. 53.
58. Geology map of Iceland. Bedrock Geology / гл. Ред Haukur Johannesson. – 1:600.000. – Iceland: Icelandic Institute of Natural History, 2014 (2nd edition). – 1 л. (1 карта).
59. Gunnar Karlsson. Iceland's 1100 years: the history of a marginal society. – C. Hurst & Co. Publishers, 2000.
60. Hákon Aðalsteinsson, Sigurjon Rist, Stefán Hermannsson, Svanur Pálsson - Stöðuvötn á Íslandi. Skrá um vötn stærri en 0,1 km<sup>2</sup>. – Iceland: Reykjavik, 1989 – 49 p
61. Hannon G. E. et al. Human impact and landscape degradation on the Faroe Islands //Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy. – Royal Irish Academy, 2001. – C. 129-139.

62. Holman K. Historical dictionary of the Vikings. – Scarecrow Press, 2003. – T. 11.
63. Jakobsson M. et al. Arctic Ocean glacial history //Quaternary Science Reviews. – 2014. – T. 92. – C. 40-67.
64. Karon B., Vanadium content of cultivated plants, Z Prob Post Nauk Roln 179, 361, 1976
65. Lefauconnier B., Hagen J.O. Glaciers and Climate in Svalbard: Statistical Analysis and Reconstruction of the Brøggerbreen Mass Balance for the Last 77 Years. – USA. Cambridge University Press. 1990. P. 148-152.
66. Lockhart, WL; Wagemann, R; Tracey, B; Sutherland, D and DJ Thomas, Presence and implications of chemical contaminants in the freshwater of the Canadian Arctic, The Science of the Total Environment, 122, 165-243, 1992
67. Monitoring of atmospheric deposition of heavy metals, nitrogen and POPs in Europe using bryophytes. Monitoring manual. 2010 Survey. // Harry Harmens. UK, Bangor: Environment Centre Wales, 2010. - 16 pages.
68. Nriagu J. O. Global metal pollution: poisoning the biosphere? //Environment: Science and Policy for Sustainable Development. – 1990. – T. 32. – №. 7. – C. 7-33.
69. Renewable energy developments in the Faroe Islands/Island Energy – Status and Perspectives - Bjarti Thomsen, Tokyo, 6 October 2015
70. RG Gillespie, DA Clague, Encyclopedia of islands, - 2009, USA:University of California press. – 1110 p.
71. Rühling Å. et al. Atmospheric heavy metal deposition in northern Europe 1990. – Nordic Council of Ministers, 1992.
72. Sheila Pitts. Some brief Observation on the Geology of the Faroe Islands. England, Birmingham: The Black Country Geological Society. 1981. 6 pages.
73. Silas Olofson. Birds of the Faroe Islands, 2011. FO: “Visit Faroe Islands”, 50 c.
74. The diatomite industry of Iceland: The Development of a subarctic resource. / Cahiers de géographie du Québec. Volume 20, num 49. 1976. W.S.W. Nowak.
75. The Norwegian government’s high north strategy // Frode O. Andersen. Norway: Norwegian ministry of foreign affairs. 2007. – 73 p.

76. Yuita K., Shibuya M., Nozaki T., The accumulation of bromine and iodine in Japanese soils, in: Abstr. 11th Int. Soil Sci. Congr., Edmonton, Alberta, 1978, 260.
77. The official gateway to the Faroe islands. Geology. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.faroeislands.fo/nature-environment/geology/> дата обращения: 04.02.2018
78. meteoblue. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.meteoblue.com> дата обращения: 11.03.2018
79. Faroe Energy Strategy. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.100by2030.org/> - дата обращения: 13.02.2018
80. Faroe Islands. World factbook. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/fo.html> - дата обращение 12.02.2018
81. Environmental Statistics. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://statice.is/statistics/environment/geographical-data/geographical-data/> дата обращения 13.02.2018