

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

**Кафедра химии и химической экологии**

(наименование выпускающей кафедры)

**Андреева Юлия Игоревна**

(фамилия, имя, отчество студента)

Высшая школа ЕНиТ курс 2 Группа 301561

**05.04.06 Экология и природопользование магистерская программа**

**«Экологическая безопасность в Арктике»**

(код и наименование направления подготовки/специальности)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

**Аккумуляция тяжелых металлов в почвах прибрежных**

(наименование магистерской диссертации)

**территорий Белого и Баренцева морей**

Утверждена приказом № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_  
20\_\_\_ г.

Руководитель  
диссертации

Л. Ф. Попова

Консультанты

Нормоконтроль

Прилуцкая Н.С.

Рецензент

Блынская Т.А.

Зав. кафедрой

Швакова Э.В.

(подпись)

(дата)

(инициалы, фамилия)

Постановление Государственной экзаменационной комиссии от \_\_\_\_\_

Признать, что студент **Ю.И. Андреева**

(инициалы, фамилия)

выполнил и защитил магистерскую диссертацию с оценкой \_\_\_\_\_

Председатель ГЭК \_\_\_\_\_

Секретарь ГЭК \_\_\_\_\_

Архангельск 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»**

Высшая школа естественных наук и технологий

---

Кафедра химии и химической экологии

---

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ВЫПУСКНОЙ  
КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

Студентке 2 курса Андреевой Юлии Игоревне

(фамилия, имя, отчество)

05.04.06 Экология и природопользование магистерская программа

«Экологическая безопасность в Арктике»

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Тема ВКР: **Аккумуляция тяжелых металлов в почвах прибрежных**

**территорий Белого и Баренцева морей**

---

Утверждено протоколом

заседания кафедры

№ \_\_\_\_\_ от « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Срок сдачи выпускником законченной работы « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Исходные данные к работе \_\_\_\_\_

---

---

---

---

Основные разделы работы \_\_\_\_\_

---

---

---

---

Перечень подлежащих разработке вопросов \_\_\_\_\_

---

---

---

---

Перечень обязательных приложений к работе \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Перечень графического материала \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

База проведения исследований и внедрения результатов поиска \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Консультанты по работе

по разделу \_\_\_\_\_

должность, инициалы, фамилия

по разделу \_\_\_\_\_

должность, инициалы, фамилия

по разделу \_\_\_\_\_

должность, инициалы, фамилия

Дата выдачи задания « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_ /Л. Ф. Попова/

подпись

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Подпись студента \_\_\_\_\_ /Ю.И. Андреева/

## РЕФЕРАТ

Андреева Ю.И. Выпускная квалификационная работа на тему «Аккумуляция тяжелых металлов в почвах прибрежных территорий Белого и Баренцева морей». Научный руководитель – доктор биологических наук, кандидат химических наук, Попова Л. Ф.

Выпускная квалификационная работа объемом 93 с. содержит 9 рисунков, 9 таблиц, 48 литературных источника, 7 приложений.

Ключевые слова: почвы Арктики и субарктики, тяжелые металлы, валовое содержание, подвижные формы.

Цель работы – исследование особенностей накопления тяжелых металлов почвами прибрежных территорий Белого и Баренцева морей.

На основании выполненного обзора литературы были рассмотрены основные вопросы: тяжелые металлы, формы нахождения тяжелых металлов в почве, основные источники поступления тяжелых металлов в почвенный покров Арктики, тяжелые металлы в почвенном покрове Арктики.

При личном участии автора в совместной комплексной экспедиции «Арктический плавучий университет» в 2013, 2014 годах на НИС «Профессор Молчанов» был произведен отбор проб почв. Кроме того, для исследования использовались образцы, отобранные в ходе экспедиций 2012 и 2015 годах.

По выбранной методике проведен анализ 187 почвенных образцов различных типов почв, отличающихся агрохимическими показателями и уровнем антропогенной нагрузки, отобранных как из поверхностного слоя (0-10см), так и по почвенному профилю. Определение валового содержания тяжелых металлов выполнено с привлечением оборудования ЦКП НО «Арктика» (САФУ) при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (уникальный идентификатор работ RFMEFI59414X0004).

Определено валовое содержание и содержание подвижных форм ТМ в почвенном покрове Арктики. Установлено, что большинство исследованных почв имеют допустимый уровень загрязнения ТМ, однако на отдельных территориях выявлено полиметаллическое загрязнение почв. Опасный уровень загрязнения

имеют арктические почвы (п. Пирамида) и тундровые неглеевые почвы (м. Белый Нос).

Были составлены ряды накопления ТМ по их валовому содержанию: арктические почвы  $Pb > As > Co > Cu > Zn > V > Ni > Mn$ ; тундровые неглеевые почвы –  $Co > Mn > Pb > Zn > As > Cu > V > Ni$ ; тундровые глеевые почвы –  $Co > Cu > Mn > Zn > Pb > As > Ni > V$ ; аллювиальные луговые кислые почвы –  $Pb > Zn > Co > Cu > V > Ni > Mn > As$ ; подзолистые почвы –  $Co > Cu > Pb > Zn > Mn > Ni > As > V$ ; торфяные болотные верховые почвы –  $Co > Cu > Pb > Zn > Ni > V > Mn > As$ .

Ряды потенциальной доступности ПФ ТМ выглядят так: арктические почвы –  $Cu > Mn > Ni > Pb > Co > Zn$ ; тундровые неглеевые почвы –  $Pb > Cu > Zn > Co > Mn > Ni$ ; тундровые глеевые почвы –  $Cu > Mn > Pb > Zn > Ni > Co$ ; подзолистые почвы –  $Mn > Cu > Zn > Pb > Ni > Co$ ; торфяные болотные верховые почвы –  $Mn > Zn > Cu > Pb > Co > Ni$ .

Определены ряды миграции ТМ в почвенном профиле: арктические почвы  $Cu > Ni > Zn > Mn > Co > Pb$ ; тундровые неглеевые почвы –  $Cu > Ni > Pb > Co > Zn > Mn$ ; тундровые глеевые почвы –  $Pb > Ni > Zn > Cu > Co > Mn$ ; подзолистые почвы –  $Co > Ni > Cu > Mn > Zn > Pb$ ; торфяные болотные верховые почвы –  $Ni > Pb > Cu > Co > Zn > Mn$ .

Установлено, что для оценки подвижности ТМ в почвенном покрове достаточно использовать элювиально-аккумулятивный коэффициент по валовому содержанию ТМ.

Выявлено, что на кумуляцию тяжелых металлов влияют как техногенное воздействие, так и особенности почвообразовательных процессов. Установлено, что содержание ТМ в почвах Арктики зависит от физико-химических показателей почв (рН, гранулометрический состав, содержание органического вещества). В этих почвах наблюдается межэлементное влияние поллютантов друг на друга.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Подпись \_\_\_\_\_

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Определения, обозначения и сокращения .....	8
Введение.....	9
1 Обзор литературы.....	11
1.1 Тяжелые металлы.....	11
1.2 Формы нахождения тяжелых металлов в почве.....	12
1.3 Основные источники поступления тяжелых металлов в почвенный покров Арктики .....	13
1.4 Тяжелые металлы в почвенном покрове Арктики.....	15
2 Объекты и методы исследования .....	19
2.1. Особенности почв районов Арктики и субарктики.....	19
2.2 Характеристика объектов исследования.....	21
2.3 Инструментальные методы определения ТМ в природных объектах .....	24
2.3.1 Метод рентгенофлуоресцентной спектроскопии .....	25
2.3.2 Метод атомно-абсорбционной спектроскопии .....	27
2.4 Камеральные исследования .....	30
3 Экологический эксперимент.....	33
3.1 Задачи и объекты исследования.....	33
3.2 Результаты эксперимента и их обсуждение .....	33
3.2.1 Оценка уровня обеспеченности и/или степени загрязнения ТМ в почвах Арктики и субарктики.....	34
3.2.1.1 Валовое содержание тяжелых металлов.....	34
3.2.1.2 Содержание подвижных форм тяжелых металлов.....	40
3.2.2 Особенности аккумуляции и миграции ТМ в почвенном покрове Арктики.....	42
3.2.3 Условия, влияющие на закрепление и перераспределения ТМ в почвенном покрове Арктики .....	44
Заключение .....	48

Список используемых источников .....	51
ПРИЛОЖЕНИЕ А Схема отбора проб.....	57
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Распределение типов почв по территориям.....	58
ПРИЛОЖЕНИЕ В Физико-химические свойства почв Арктики и субарктики .....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Валовое содержание и содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах Арктики и субарктики .....	65
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Коэффициент концентрации и суммарный показатель загрязнения в почве и растительном покрове Арктики и субарктики .....	77
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Оценка буферных свойств почв Арктики и субарктики .....	89
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Корреляционный анализ .....	92
ПРИЛОЖЕНИЕ И Статистическая обработка.....	93

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей пояснительной записке применяются следующие определения, обозначения и сокращения:

ААС – атомно-абсорбционная спектроскопия;

ВС – валовое содержание тяжелых металлов;

ПП - пробная площадь;

ПДК - предельно допустимые концентрации;

ПФ – подвижные формы тяжелых металлов.

РФА – рентгенофлуоресцентный анализ;

САФУ – Северный арктический федеральный университет имени М.В. Ломоносова;

ТМ – тяжелые металлы;

ЦКП НО «Арктика» - центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» САФУ.

## ВВЕДЕНИЕ

Почвам арктических и приарктических территорий в последнее десятилетие уделяется особое внимание, учитывая крайнюю уязвимость окружающей природной среды, малую устойчивость экосистем, важную экономическую, социальную и экологическую роль. Нарушение и уничтожение естественных экосистем Арктики наносит серьезный ущерб не только всей экосистеме в целом, но и здоровью, как коренных жителей Севера, так и мигрантов. Нарушение хрупкой арктической природы может иметь необратимый характер. При этом исследованию почв уделяется особое внимание.

Экономика местных городов Севера направлена на использование возобновляемых ресурсов, таких как олени пастбища, области охоты и рыболовства и т.д. Однако основой экономического развития региона все более становится промышленное использование не возобновляемых ресурсов – нефти, газа, угля, строительных материалов, редких и драгоценных металлов и др. [8]. Поэтому Арктический регион, и особенно арктическая прибрежная зона, находится под все более возрастающим антропогенным воздействием как локальных, так и индустриальных центров, меняющихся путей переноса загрязняющих веществ воздушными массами, потоками воды и осадочного материала арктических рек [47]. Как правило, выбросы металлургических и теплоэнергетических производств сопровождаются эмиссией кислотообразующих веществ, которые распространяются на дальние расстояния и могут способствовать кислотному выщелачиванию лабильных элементов (в особенности алюминия, кадмия, цинка и других) из слагающих пород. Антропогенное воздействие приводит к деградации арктических земель, в силу низкого уровня массо- и энергообмена, простых пищевых цепей состоящих из небольшого количества звеньев, способствующих быстрому перемещению токсикантов к конечным потребителям. Природа Арктики чрезвычайно уязвима к действию загрязняющих веществ, что в перспективе может привести к необратимым экологическим процессам [8, 47].

Поэтому проблема оценки экологического состояния окружающей среды Арктики и защиты ее от загрязнений и других негативных воздействий становится

приоритетной, по крайней мере, для всех стран, которые относятся к числу арктических.

В наше время загрязнение окружающей среды является одной из глобальных проблем человечества. Основными техногенными поллютантами выступают тяжелые металлы (ТМ). Почвы загрязнённые ТМ являются биогеохимическим барьером, который поглощает из атмосферы тонкодисперсные вещества и газы, очищая другие среды [42]. Тяжелые металлы легко адсорбируются слоями почвы, их соединения долгое время сохраняют токсичность и высокую подвижность. Накопление ТМ в почве происходит достаточно быстро, но они трудно и медленно удаляются из нее [33].

Все выше перечисленное свидетельствует об актуальности изучения обеспеченности ТМ в почвенном покрове Арктики и субарктики.

Целью данной выпускной квалификационной работы является исследование особенностей накопления тяжелых металлов почвами прибрежных территорий Белого и Баренцева морей.

Для реализации данной цели были поставлены следующие задачи:

- провести анализ литературных данных по теме исследования;
- дать характеристику объектов исследования (почвенного покрова) и осуществить отбор проб почв различных типов;
- подобрать и отработать методики количественного определения валового содержания ТМ в почве рентгенофлуоресцентным методом и содержания подвижных форм ТМ в почве атомно-абсорбционным методом, провести анализ отобранных образцов (почвенного покрова);
- оценить степень накопления/загрязнения ТМ в почвенном покрове и оценить особенности распределения (миграции) ТМ в почвенном профиле;
- выявить условия влияния агрохимических показателей (рН, гранулометрического состав, содержание органического вещества) на аккумуляцию ТМ в почвенном покрове.

# 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

## 1.1 Тяжелые металлы

Термин «тяжелые металлы», раскрывающий широкую группу загрязняющих веществ, в последнее время получил значительное распространение.

В различных научных и прикладных работах авторы по-разному интерпретируют значение этого понятия. По этой причине количество элементов, относящихся к группе тяжелых металлов, изменяется в широких пределах. Термин «тяжелые металлы» в основном рассматривается не с химической, а с медицинской и природоохранной точек зрения [35], поэтому при включении элементов в эту группу учитывают не только физические свойства, но их биологическую активность и токсичность.

В качестве критериев используются многочисленные показатели: атомная масса, плотность, токсичность, распространенность в природной среде, степень вовлеченности в природные и техногенные циклы. Однако, в некоторых случаях под определение тяжелых металлов попадают элементы, относящиеся к хрупким (например, висмут) или металлоидам (например, мышьяк).

Многие ученые в своих работах, посвященных проблемам загрязнения окружающей природной среды, относят к тяжелым металлам (ТМ) более 40 элементов периодической системы Д.И. Менделеева с атомной массой свыше 50 атомных единиц: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi и др. [23, 29, 44]. При этом немаловажную роль в разделении тяжелых металлов по группам играют следующие условия: их высокая токсичность для живых организмов в относительно низких концентрациях, а также способность к биоаккумуляции и биомагнификации. Практически все металлы, попадающие под это определение (за исключением свинца, ртути, кадмия и висмута, биологическая роль, которых на настоящий момент не ясна), активно участвуют в биологических процессах, входят в состав многих ферментов. По классификации Н.Реймерса [41], тяжелыми следует считать металлы с плотностью более  $8 \text{ г/см}^3$ . Таким образом, к тяжелым металлам относятся Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg.

Теоретически определению «тяжелые металлы» соответствует большое количество элементов. Однако, по мнению исследователей, занятых практической деятельностью, связанной с организацией наблюдений за состоянием и загрязнением окружающей среды, соединения этих элементов далеко не равнозначны как загрязняющие вещества. Поэтому во многих работах происходит сужение рамок группы тяжелых металлов, в соответствии с критериями приоритетности, обусловленными направлением и спецификой работ. Так, в ставших уже классическими работах Ю.А. Израэля [24, 29] в перечне химических веществ, подлежащих определению в природных средах на фоновых станциях в биосферных заповедниках, в разделе тяжелые металлы перечислены только Pb, Hg, Cd, As. С другой стороны, согласно решению Целевой группы по выбросам тяжелых металлов, работающей под эгидой Европейской Экономической Комиссии ООН и занимающейся сбором и анализом информации о выбросах загрязняющих веществ в европейских странах, к тяжелым металлам были отнесены только Zn, As, Se и Sb [45]. По определению Н. Реймерса [41] отдельно от тяжелых металлов стоят благородные и редкие металлы, соответственно, остаются только Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg. В прикладных работах к числу тяжелых металлов чаще всего добавляют Pt, Ag, W, Fe, Au, Mn.

## 1.2 Формы нахождения тяжелых металлов в почве

Тяжелые металлы (далее ТМ) в почве представлены разными формами. Они могут входить в состав кристаллических решеток первичных и вторичных минералов, быть в форме комплексных соединений с органическим веществом и в виде растворимых солей, входить в состав растительных остатков и клеток микроорганизмов и т.д. [25].

В настоящее время в агрохимии выделяют 4 основные формы тяжелых металлов: валовое содержание ТМ (далее ВС) и подвижные формы (далее ПФ), включающие водорастворимые соединения, актуальные и потенциальные запасы ТМ.

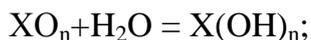
Валовое содержание ТМ это сумма всех форм ТМ, находящихся в почве. На незагрязненных почвах, валовое содержание ТМ обусловлено наличием этих элементов в материнской породе и определяется генезисом и процессами почвообразования [29].

Подвижные формы показывают доступность тяжелых металлов для корневой системы растений, и представлены водорастворимыми соединениями, актуальными и потенциальными соединениями ТМ. К водорастворимым формам, как правило, относятся хлориды, нитраты, сульфаты и органические комплексные соединения ТМ, растворимые в воде и легко переходящие в водную вытяжку.

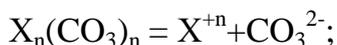
Актуальные запасы химических элементов в почве, часто называемые «обменными», извлекаются ацетатно-аммонийным буферным раствором (ААБ) с  $pH = 4,5$ . Потенциальные запасы ТМ поглощаются растениями по мере поступления их в почвенный раствор и извлекаются 1N раствором  $HNO_3$ .

Поступившие в почву соединения ТМ подвергаются процессу трансформации. Выделяют 3 стадии процесса трансформации:

1) преобразование оксидов ТМ в гидроксиды (карбонаты, гидрокарбонаты):



2) растворение гидроксидов (карбонатов, гидрокарбонатов) ТМ и адсорбция соответствующих катионов ТМ твердыми фазами почв:



3) образование фосфатов и соединений ТМ с органическим веществом почвы [19].

### 1.3 Основные источники поступления тяжелых металлов в почвенный покров Арктики

Тяжелые металлы в естественном виде широко распространены в природе, присутствуют в горных породах, почве, воде, растениях и животных. Они

переносятся на огромные расстояния при выветривании пород, лесных пожарах и извержении вулканов. На долю промышленных источников (разработка ископаемых, сжигание топлива и отходов, черная, цветная металлургия и др.) загрязнения окружающей среды Арктики приходится от одной до двух третей выпадений ТМ [47, 48]. Арктика является накопителем ТМ, «производимых» как в полярных регионах, так и в умеренных широтах северного полушария, откуда частицы металлов переносятся воздушными потоками и длительно сохраняют взвешенное состояние в холодном воздухе высоких широт.

ТМ поступают в атмосферу, водные и почвенные объекты путем естественных (природных) и техногенных процессов, протекающих как на поверхности Земли, так и в ее недрах. К природным процессам относятся: почвообразующие породы, вулканическая деятельность, выветривание горных пород и минералов, деструкция растительности; к техногенным – промышленное производство, влияние автотранспорта, добыча полезных ископаемых, сжигание различного вида топлив, т.е. процессы, обусловленные и связанные с хозяйственной деятельностью человека [23].

Главным природным источником тяжелых металлов являются породы (магматические и осадочные) и породообразующие минералы. Многие минералы в виде высокодисперсных частиц включаются в качестве акцессорных (микропримесей) в массу горных пород. Примером таких минералов являются минералы титана (брусит, ильменит, анатаз), хрома ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ). Многие элементы поступают в атмосферу с космической и метеоритной пылью, с вулканическими газами, горячими источниками, газовыми струями [45].

Поступление ТМ в биосферу вследствие техногенного рассеивания осуществляется разнообразными путями. Важнейшим из них является выброс при высокотемпературных процессах в черной и цветной металлургии, при обжиге цементного сырья, сжигании минерального топлива. Кроме того, источником загрязнения биоценозов могут служить орошение водами с повышенным содержанием ТМ, внесение осадков бытовых сточных вод в почвы в качестве удобрения. Вторичное загрязнение происходит также вследствие выноса ТМ из отвалов рудников или металлургических предприятий водными или воздушными

потоками, поступление больших количеств тяжелых металлов при постоянном внесении высоких доз органических, минеральных удобрений и пестицидов, содержащих ТМ [45].

Загрязненная почва теряет структуру, общая порозность ее уменьшается. Разрушение структуры приводит к нарушению водопроницаемости, ухудшению воздушного и водного режимов почв.

В Арктическом регионе основными техногенными источниками загрязнения почвенного покрова ТМ являются предприятия энергетики, металлургии, переработки мусора, расположенные на территории Кольского п-ова (Мурманская область), Архангельской области и севера республики Коми. Мощные локальные комплексы цветной металлургии, образуют источники эмиссии Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Co, Cr, Hg и др.: это ОАО «Кольская горно-металлургическая компания», включающая комбинаты «Печенганикель» и «Североникель» (г. Мончегорск, г. Никель), а также Норильский комбинат. Наиболее значимы в этих районах загрязнения никелем и медью.

#### 1.4 Тяжелые металлы в почвенном покрове Арктики

В почвах наблюдаются накопление, поглощение и закрепление ТМ. Поглощение происходит различными путями: они могут входить в состав поглощенных катионов, в кристаллические решетки первичных и вторичных минералов, могут образовывать собственные коллоидные минералы, адсорбироваться на поверхности коллоидных частиц, входить в состав органического вещества, образовывать нерастворимые соединения (соли, оксиды).

Содержание и распределение ТМ в почвах зависят от направления и степени развития почвообразовательного процесса и особенностей поведения микроэлементов в ландшафте. Характер распределения в почвенном покрове определяется гумусностью, гранулометрическим составом, реакцией среды, окислительно-восстановительными условиями, емкостью поглощения и содержанием органического вещества.

Гранулометрический состав оказывает непосредственное влияние на закрепление ТМ и их высвобождение; почвы тяжелого гранулометрического состава прочнее связывают ТМ, их подвижность уменьшается, поэтому они меньше попадают в растения или грунтовые воды. Илистая фракция обладает большей удерживающей способностью, следовательно, опасность загрязнения ТМ растений на почвах тяжелого гранулометрического состава ниже. На илистых и суглинистых почвах токсичность ТМ проявляется слабее, чем на песчаных и супесчаных.

Сорбционные свойства минеральной части почвенного покрова обусловлены глинистой фракцией, представленной смесью различных глинистых минералов: слоистые алюмосиликаты, оксиды и гидроксиды различных элементов. Способность глинистых минералов стехиометрически связывать катионы металлов, обменивая их на другие катионы, называют ёмкостью катионного обмена. Чем выше ёмкость поглощения почвы, тем большее количество металлов она может аккумулировать, обменивая катионы твердой фазы на эквивалентное количество катионов, содержащихся в почвенном растворе [38].

Песчаные почвы обладают низкой способностью поглощать ионы из почвенного раствора, имеют наименьшую буферность и хорошую водопроницаемость. Загрязнение таких почв ТМ создает благоприятные условия для поступления их в корневую систему растений и мало препятствует водной миграции элементов в почве, что может вызвать заражение грунтовых вод [26].

Поглощение ТМ почвами зависит от реакции среды почвенного раствора. В условиях низких значений рН значительно возрастают растворимость и миграционная способность металлов. В щелочной среде кобальт и никель образуют труднорастворимые гидроксиды ( $\text{Co}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ) и основные соли ( $\text{CoOHCO}_3$ ,  $\text{NiOHCO}_3$ ), благодаря чему они не вымываются. В кислых почвах даже сорбированные кобальт и никель вытесняются из абсорбционного слоя ионами водорода, переходя, таким образом, в почвенный раствор, и могут вымываться из почвы.

Избыток влаги в почве способствует переходу ТМ в низшие степени окисления и в более растворимые формы. Анаэробные условия повышают

доступность ТМ растениям. Поэтому дренажные системы, регулирующие водный режим, способствуют преобладанию окисленных форм ТМ и тем самым снижают миграционную способность.

Многие элементы могут осаждаться с карбонатами или сорбироваться преимущественно на оксидах железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ) и марганца, которые оседают на поверхности карбонатных частиц. Наибольшее сродство к карбонатам проявляют  $\text{Co}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Pb}$  и  $\text{Zn}$ . В почвах карбонаты могут стать основными поглотителями микроэлементов.

$\text{Cd}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Ti}$  способны легко осаждаться с сульфидами железа ( $\text{FeS}_2$ ). Сульфиды ТМ могут окисляться в более мобильные сульфаты при улучшении условий аэрации почв. Сульфиды ТМ довольно редки в почвах. Напротив, сульфаты часто присутствуют в почвах в окислительных условиях [19].

ТМ могут образовывать сложные комплексные соединения с органическим веществом почвы (гумус), тем самым образуя органогенные барьеры. Поэтому, в почвах с высоким содержанием гумуса металлы прочно фиксируются с органическим веществом и переходят в форму, недоступную для питания растений [40].

Почва живет в суточных, годовых, многолетних и вековых гидротермических ритмах. В соответствии с ними изменяется скорость, а часто и направление почвенных процессов. Одни процессы усиливаются, другие – ослабляются [44].

Анализируя работы многих ученых [22, 29, 44], по изучению прибрежных территорий Арктического региона, можно сказать, что территория большеземельской тундры (Ненецкий Автономный округ) не загрязнена ТМ, так как определяющие концентрации элементов не превышают предельно допустимые значения, но в супесчаных и песчаных почвах отмечались максимальные концентрации ТМ:  $\text{Fe}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Hg}$  и  $\text{Mn}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Cr}$ . Концентрация исследованных ТМ в почвах восточного побережья Югорского полуострова находится в пределах, характерных для материнских пород, в суглинке содержание  $\text{Zn}$  колеблется от 134 до 180,  $\text{Cu}$  – от 8,6 до 10,1,  $\text{Ni}$  – от 8,1 до 16,9,  $\text{Co}$  – от 5,8

до 6,3, Pb – от 8,3 до 17,5, Cd – от 0,43 до 0,87, Sn – от 0,65 до 0,80, Hg – от 0,10 до 0,15 мкг/г сухого веса.

По данным многих ученых Крячюнас В.В. [29], Томашунас В.М. [44], Лаптева Е.М [23] и др. на кумуляцию ТМ влияют как техногенное воздействие, так и особенности почвообразовательных процессов, содержание металла в материнской породе и дальний перенос ТМ атмосферными потоками на аэрозольных частицах. Западное побережье полуострова Ямал характеризуется предельно допустимыми значениями ТМ, однако максимальные значения зафиксированы по Zn [8]. Архипелаг Шпицберген, по сравнению с другими арктическими территориями, является самым изученным по содержанию ТМ. As, Co, Cr, Fe, Mn, Ni и Pb в почвах фактически на всех точках наблюдений Шпицбергена находятся в пределах кларковых величин [10].

Таким образом, содержание ТМ в почвах этих отдаленных регионов Арктики находятся в пределах кларковых или близких к ним значений, а их повышенные концентрации носят, скорее, природный характер.

## 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Особенности почв районов Арктики и субарктики

Почвы районов Арктики и субарктики формируются в суровых климатических условиях арктической зоны полярной области и характеризуются слабым развитием почвенного процесса, не развитостью почвенного профиля.

Арктическая зона включает в себя северные острова Ледовитого океана и северную оконечность полуострова Таймыр. Тундровая зона простирается от северо-западной окраины Кольского полуострова до Берингова пролива и граничит на юге с таежно-лесной зоной. Она разделяется на подзоны арктической типичной и южной тундры (включая лесотундру), в пределах которой можно выделить четыре провинции: Кольская, Канинско-Печорская, Северо-Сибирская и Чукотско-Анадырская.

Для арктической и тундровой зон характерен равнинный рельеф с небольшими буграми и замкнутыми понижениями, часто заполненными водой. Почвообразующими породами являются главным образом продукты ледникового происхождения. Почвообразовательный процесс в рассматриваемых зонах определяется рядом особенностей, обусловленных низкими температурами, переувлажнением почв и наличием слоя вечной мерзлоты [46].

Почвы отличаются следующими морфологическими особенностями – это наличие поверхностной торфяной подстилки и четко выраженного глеевого горизонта; малая мощность почвенного профиля и слабая его дифференциация; деформация почвенного профиля, вызванная перемещением насыщенных влагой почвогрунтов при оттаивании и замерзании. Поэтому почвы Арктики и субарктики можно разделить по типам почв на арктические, тундровые неглеевые (иллювиально-гумусовые), тундровые глеевые, аллювиальные луговые кислые, подзолистые и торфяные болотные верховые почвы [46].

В тундре наиболее широко распространены тундровые глеевые почвы. В зависимости от условий формирования они подразделяются на четыре подтипа:

тундровые слабogleевые гумусные, тундровые глеевые перегнойные, тундровые глеевые торфянистые, тундровые глеевые оподзоленные.

Арктические почвы распространены на островах Ледовитого океана. Большое влияние на формирование арктических почв оказывают многолетняя мерзлота, оттаивающая в летний период на небольшую глубину (30-50 см), и связанные с ней мерзлотные процессы (пучение, растрескивание, протаивание и т. д.). В почвенном профиле могут отсутствовать верхние перегнойные горизонты, выделяемые в типичной почве. На поверхности арктических почв выделяется пористая корочка мощностью 3-4 см, иногда с белесыми включениями или слой щебня, образующийся в результате вымораживания обломков породы. Горизонты могут быть перемешаны в результате мерзлотных процессов [46].

Тундровые неглеевые (иллювиально-гумусовые) почвы распространены во всех подзонах субарктической зоны, наиболее типичны для континентальных районов арктической и типичной тундры и лесотундры. Такие почвы развиваются на хорошо дренированных супесчано-щебнистых отложениях и породах легкого гранулометрического состава. Песчаные и супесчаные почвы оттаивают на большую глубину по сравнению с суглинистыми и глинистыми почвами и обладают большей водопроницаемостью, что способствует лучшей аэрации почв и создает условия для вымывания и выщелачивания химических элементов [12].

Почвы, относящиеся к типу тундровые глеевые, нашли свое распространение на территории мохово-лишайниковых и частично кустарниковых тундр. Формирование почвенного покрова происходит преимущественно на суглинистых и глинистых породах на повышенных элементах рельефа [12].

Аллювиальные луговые кислые почвы имеют мощный гумусовый горизонт, содержание гумуса в нем достигает 3-8%, реакция среды колеблется от 4 до 7 единиц рН в зависимости от зональных особенностей почвообразования.

Подзолистые почвы – это тип кислых почв. Формирование почв этого типа происходит в результате процесса подзолообразования, при трансформации материнской породы под влиянием кислотного гидролиза, выноса ила и двух-, трёхзарядных катионов металлов из верхних иллювиальных горизонтов почвенного профиля в иллювиальные при относительном накоплении в них кремнезёма.

Подзолообразование протекает на породах любого гранулометрического состава в том случае, если поверхностные почвенные горизонты периодически избыточно увлажняются, имеют кислую реакцию среды и промывной водный режим [40].

Торфяные болотные верховые почвы тундры представлены переходными торфяниками различной мощности, а также болотными низинными торфянисто - и торфяно-глеевыми почвами. Они формируются в условиях переувлажнения талыми водами ледников и снежников, а также на пониженных участках с застойными водами [46].

## 2.2 Характеристика объектов исследования

Объектами исследования служат почвы (2012-2015 гг.) привезенные из экспедиций, проводимых в рамках научно-исследовательских экспедиций «Арктический плавучий университет», организованных Северным (Арктическим) федеральным университетом имени М.В. Ломоносова совместно с ФГБУ «Северное УГМС», «Арктическим Антарктическим научно-исследовательским институтом», «Государственным океанографическим институтом», Институтом экологических проблем Севера УрО РАН при финансовой поддержке Русского географического общества.

Экспедиции проходили на НИС «Профессор Молчанов», с целью изучения экологического состояния арктических территорий. Всего за период 2012-2015 гг. прошло шесть научно-исследовательских экспедиций, маршруты пяти экспедиций в которых осуществлялся отбор проб почв, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Маршруты экспедиций Арктического плавучего университета

Экспедиция	Период	Маршрут
Первая экспедиция 2012 г.	1.06-10.07	Архангельск – Белое море – Баренцево море по Кольскому меридиану – Новая Земля – Земля Франца-Иосифа – Новая Земля, м. Желания – Баренцево море вдоль Новой Земли – о. Колгуев – о. Сосновец – Соловецкие острова – Архангельск [26]

Продолжение таблицы 1

Экспедиция	Период	Маршрут
Вторая экспедиция 2013 г.	2.07-26.07	Архангельск – Белое море – п-ов Канин – о. Колгуев – п-ов Югорский – о. Вайгач – Новая земля – о. Визе – Земля Франца-Иосифа – Новая Земля – Баренцево море – Белое море – Архангельск [27]
Третья экспедиция 2014 г.	1.06-30.06	Архангельск – Белое Море – архипелаг Шпицберген (Баренцбург, Нью Олесунн) – Баренцево Море – Архангельск [17]
Четвертая экспедиция 2014 г.	1.08-20.08	Архангельск – Белое море - о. Колгуев – о. Вайгач – п. Диксон – Новая Земля Русская гавань – п. Варнек – п-ов Югорский – о. Индига – о. Сосновец – мыс Зимнегорский – д. Летняя Золотица – Архангельск [17]
Пятая экспедиция 2015 г.	1.07-20.07	Архангельск—Соловецкие о-ва —о. Колгуев — м. Белый Нос — пос. Варнек — залив Русская Гавань (арх. Новая Земля) —м. Желания (арх. Новая Земля) — о. Хейса (арх. Земля Франца-Иосифа) — о.Чампа (арх.Земля Франца-Иосифа) — о-в Гукера (арх. Земля Франца-Иосифа) — о. Нортбрук (арх. Земля Франца-Иосифа) — о. Сосновец — Архангельск [17]

Отбор проб почвенных образцов осуществлялся согласно ГОСТ 17.4.4.02-84 [2] в местах высадок по ходу следования судна, приложение А рисунок А.1.

Почвенные образцы из г. Пирамиды и г. Баренцбурга были предоставлены лабораторией Университетского Центра на Шпицбергене без их подробного описания и адресов отбора. Известно только, что они были отобраны вблизи отвалов золы, угля (шахта) и твердых отходов (металлических конструкций), которые, как известно, могут служить источниками загрязнения. Многие образцы даже на внешний вид были похожи на уголь.

Всего было отобрано 187 почвенных образцов с 46 ПП, из которых 35 ПП по профилю, а 11 ПП в слое 0-10 см.

Все исследованные образцы классифицировались по типам почв и по степени техногенно-антропогенной нагрузки, наблюдаемой на этих территориях, согласно таблице 2. Наглядно расположение почв разных типов на обследованных территориях представлено в приложение Б рисунок Б.1.

Таблица 2 – Классификация пробных площадей по степени техногенно-антропогенной нагрузки и типам почв

Тип почвы	Степень техногенно-антропогенной нагрузки	Место от бора пробы
Арктические почвы (77 образцов)	техногенные территории	17 – ПП г. Баренцбурга (в поверхностном слое 0-10 см), 5 – ПП г. Пирамида (в поверхностном слое 0-10 см), 4 – ПП г. Лонгийр (0-10 см)
	природные территории с временным техногенным воздействием	5 – ПП Новой земли мыс Желания, 3 – ПП о. Гуккера, 5 – ПП Русская Гавань, 1 – ПП о. Хейса
	природные территории	5 – ПП о. Гольфстрим, 1 – ПП о. Чамп, 1 – ПП м. Ледяная бухта 2 – ПП о. Малый Оранский 2 – ПП о. Большой Оранский
Тундровые глеевые почвы (32 образца)	техногенные территории	-
	природные территории с временным техногенным воздействием	5 – ПП мыс Белый Нос
	природные территории	3 – ПП п-ов. Канин Нос 2 – ПП мыс Флора
Тундровые неглеевые (иллювиально-гумусовые) почвы (29 образцов)	техногенные территории	1 – ПП п. Диксон
	природные территории с временным техногенным воздействием	11 – ПП о. Колгуев, 2 – ПП мыс Белый Нос 3 – ПП о. Матвеев
	природные территории	-
Аллювиальные луговые кислые почвы (12 образцов)	техногенные территории	1 – ПП п. Диксон
	природные территории с временным техногенным воздействием	-
	природные территории	1 – ПП п. Индига, 1 – ПП м. Зимнегорский
Подзолистые почвы (8 образцов)	техногенные территории	-
	природные территории с временным техногенным воздействием	1 – ПП д. Летняя Золотица, 1 – ПП о. Соловецкий, 1 – ПП о. Кузова
	природные территории	-
Торфяные болотные верховые почвы (23 образца)	техногенные территории	-
	природные территории с временным техногенным воздействием	1 – ПП о. Сосновец, 2 – ПП о. Вайгач, 2 – ПП о. Варнек
	природные территории	1 – ПП о. Варнек

Для каждого почвенного образца был определен ряд физико-химических параметров: гранулометрический состав, рН водной вытяжки, содержание органического вещества, электропроводность. Определение физико-химических свойств почв проводились в лаборатории биогеохимических исследований Высшей школы естественных наук и технологий САФУ с применением следующих

методик: гранулометрический состав определяли методом отмучивания [16], рН водной вытяжки согласно ГОСТ 26423-85 [4], содержание органического вещества по ГОСТ 26213-91 [6], удельную электропроводность и общую минерализацию согласно ГОСТ 26423-85 [4]. Данные по физико-химическим параметрам исследованных почв представлены в приложении В таблица В.1.

### 2.3 Инструментальные методы определения ТМ в природных объектах

Определение содержания ТМ в анализируемых объектах проводилось с использованием оборудования ЦКП НО «Арктика» (САФУ) при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (уникальный идентификатор работ RFMEFI59414X0004).

Определение валового содержания ТМ в почвах (Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti, As, Sr) проводилось методом рентгено-флуоресцентной спектроскопии [32] с использованием последовательного волнодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра «XRF-1800». В отличие от других инструментальных методов в методе рентгенофлуоресцентной спектроскопии анализ осуществляется с применением сухих образцов, которые в ходе пробоподготовки прессуются в таблетку диаметром 30 мм. Благодаря этому сокращается время пробоподготовки, не требуются дополнительные расходные материалы (как при атомно-абсорбционной спектроскопии – ацетилен), меньше спектральных наложений, вследствие чего улучшается воспроизводимость прибора (расхождение между двумя значениями минимальное).

Определение подвижных форм ТМ в почвах (Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Mn) осуществлялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии согласно РД 52.18.289-90 [7], с применением атомно-абсорбционных спектрометров «ContrAA-700» и «AA-7000», из аммиачно-ацетатной буферной вытяжки с рН = 4,8.

### 2.3.1 Метод рентгенофлуоресцентной спектроскопии

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) является одним из современных спектроскопических методов исследования вещества с целью получения его элементного состава, то есть его элементного анализа.

Диапазон определяемых элементов и границы их обнаружения в РФА зависят от используемой аппаратуры. В общем случае, в область определяемых элементов входят элементы от В до U включительно. Данный метод обладает широким диапазоном определяемых содержаний: от  $10^{-4}$  до 100 мас. %.

Метод РФА основан на измерении интенсивности рентгеновского флуоресцентного (характеристического) излучения определяемых элементов при экспонировании порошковых проб почв (образцов для анализа). Флуоресцентное излучение возбуждается первичным излучением рентгеновской трубки. Массовую долю компонентов определяют с помощью предварительно построенных градуировочных характеристик, представляющих собой экспериментальную зависимость массовой доли от аналитического сигнала [32].

При рентгеновской флуоресценции атомы одного химического элемента излучают фотоны со строго определенной энергией, которая фактически не зависит от химического строения вещества.

Рентгеновскую флуоресценцию можно рассмотреть как процесс, происходящий в три стадии, в соответствии с рисунком 1:

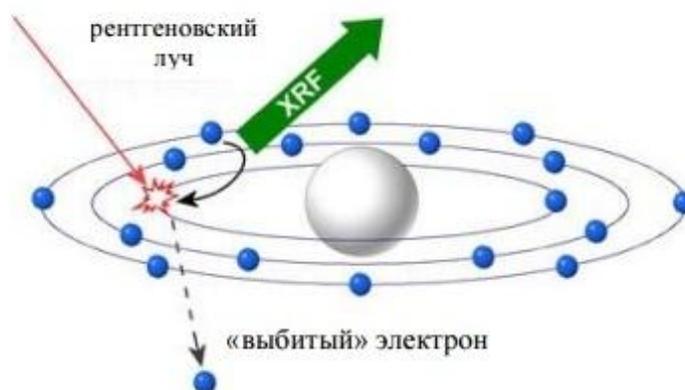


Рисунок 1 – Схема процесса возникновения рентгенофлуоресцентного излучения

- рентгеновский фотон с высокой энергией «выбивает» из атома электрон с одной из его внутренних электронных оболочек;
- возникает нестабильное высокоэнергетическое состояние атома с электронной вакансией;
- вакансию занимает электрон с одной из внешних электронных оболочек; избыточная энергия выделяется в виде кванта рентгеновской флуоресценции [20].

Атом может иметь несколько электронных оболочек, Дитц А.А. [20] предлагает рассмотреть модель Бора для понимания процессов, происходящих в электронной оболочке атома.

Модель атома Бора включает в себя строение атома в виде атомного ядра, окруженного электронными оболочками, в соответствии с рисунком 2. Ядро положительно заряжено, окружено электронами, которые вращаются в определенных областях пространства (оболочках) [20].

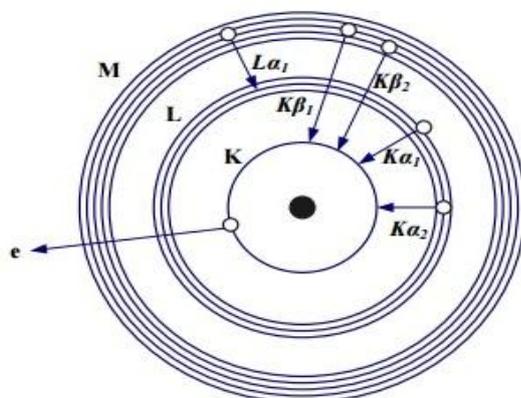


Рисунок 2 – Модель атома Бора

Электронные оболочки, начиная от ядра атома, обозначаются буквами латинского алфавита: К, L, М, N, и т.д. Электроны различных оболочек или уровней резко различаются по энергии связи с атомным ядром (чем дальше от ядра, тем сложнее оболочка). Для того чтобы удалить электрон с самой внутренней оболочки атома, необходима точно определенная минимальная энергия. Чтобы удалить электрон со второй внутренней оболочки атома, необходима точно определенная минимальная энергия, меньшая, чем та, которая требуется для удаления самых внутренних электронов [20].

Энергия связи электрона в атоме устанавливается, в основном, в результате определения поглощенной энергии, при которой происходит процесс поглощения атомом излучения.

Квант электромагнитного излучения возникает в случае ионизации (образования вакансии на одной из электронных оболочек) атома с последующим заполнением этой вакансии электроном с одной из более удаленных от ядра оболочек. При этом, энергия излученного кванта определяется разностью энергий уровней, между которыми произошел переход электрона. В результате бомбардировки атомов образца рентгеновскими квантами, исходящими из рентгеновской трубки, выбивается один из электронов атома и образуется вакансия.

Так как переходы осуществляются на валентных оболочках, то вид спектра будет зависеть от химической связи данного атома с другими атомами, и различные линии будет излучать один и тот же атом в зависимости от того, находится ли этот элемент в составе, например, оксида или соли.

В силу простоты внутренних электронных оболочек, в рентгеновских спектрах линии располагаются достаточно далеко друг от друга, поэтому их легко расшифровывать, наложения линий наблюдаются очень редко и на характере спектра совершенно не сказывается состояние валентных оболочек атома (то есть, не зависимо в какой химической связи находится атом, получаем валовое содержание этого элемента в пробе [33]).

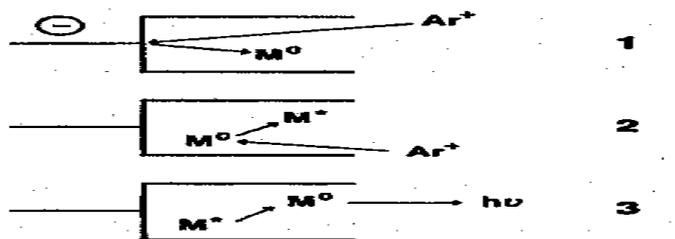
### 2.3.2 Метод атомно-абсорбционной спектроскопии

Атомно-абсорбционный анализ – это метод количественного элементного анализа по атомным спектрам поглощения. Метод основан на сравнении поглощения резонансного излучения невозбужденными свободными атомами металлов, образующимися в пламени при введении в него растворов анализируемых продуктов и растворов с известными массовыми концентрациями определяемых металлов.

Особенностью атомно-абсорбционной спектроскопии является наличие в приборе источников внешнего излучения, характеризующихся высокой степенью монохроматичности. К таким источникам относятся лампы с полым катодом и без электродные разрядные лампы.

При атомно-абсорбционной спектроскопии поглощение электромагнитного излучения осуществляется свободными атомами в невозбужденном состоянии. При определенной длине волны, соответствующей оптическому переходу атома из основного состояния на возбужденный уровень, поглощение излучения ведет к уменьшению заселённости основного уровня [11].

Атомный спектр поглощения элемента можно наблюдать, пропустив пучок света от источника непрерывного спектра через слой пара, содержащий свободные атомы этого элемента. Под действием высоковольтного разряда атомы инертного газа ионизируются, направляются к катоду и «выбивают» из него атомы металла, поглощая фотоны, энергия которых равна разности энергетических уровней, атомы переходят в возбужденное состояние и испускают излучение с характерным для него линейчатым спектром. Более наглядно это отражено на рисунке 3. Излучение направляют на пламя (или графитовую кювету), где находятся атомы определяемого элемента, поглощающие резонансное излучение источника.



1 – распыление атомов; 2 – возбуждение атомов ионами окружающего газа; 3 – излучательная дезактивация возбужденных атомов

Рисунок 3 – Процессы в лампе с полым катодом

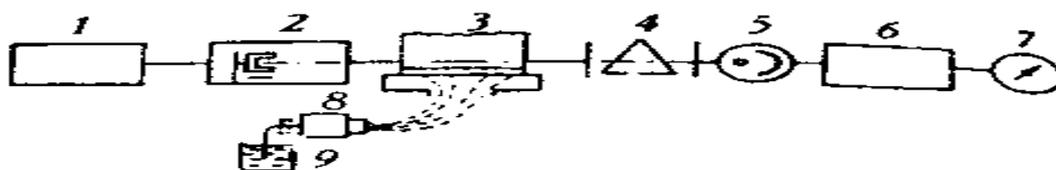
Теоретически спектр поглощения элемента имеет ту же структуру и содержит линии тех же длин волн, что и спектр испускания. Так как атомы находятся в невозбужденном состоянии, то в спектре поглощения наблюдаются только резонансные линии, точнее линии, соответствующие переходам с основного уровня на более высокие.

Повышение температуры атомного пара способствует увеличению концентрации атомов с возбужденными уровнями. При высоких температурах (~ 5000...7000 К) возможно появление в спектрах поглощения нерезонансных линий достаточной интенсивности, которые могут быть использованы для специальных аналитических задач.

Полученная величина аналитического сигнала связана с концентрацией атомов в основном невозбужденном состоянии и с концентрацией элемента в анализируемом образце. Измеряя долю поглощенного электромагнитного излучения, можно количественно определить содержание соединений определяемого элемента [11].

Сущность работы атомно-абсорбционного спектрофотометра заключается в том, что пучок света от источника резонансного излучения проходит через поглощающую ячейку, затем попадает на входную щель монохроматора, в котором происходит выделение излучения с длиной волны аналитической линии. Затем выделенное излучение попадает на фотоумножитель, сигнал с фотоумножителя подается на регистрирующее устройство, которое может быть микроамперметром, самописцем или другим прибором. Если в поглощающей ячейке нет атомов определяемого элемента, прибор регистрирует интенсивность излучения лампы, если в поглощающую ячейку вводят раствор с определяемым элементом, происходит поглощение света [34].

Атомно-абсорбционные аналитические приборы состоят из следующих узлов: источник света, поглощающую ячейку, оптическое устройство, приемное и регистрирующее устройство. Схема атомно-абсорбционного прибора представлена на рисунке 4.



1 – высоковольтный стабилизатор; 2 – лампа с полым катодом; 3 – горелка; 4 – монохроматор; 5 – фотоэлектронный умножитель; 6 – усилитель; 7 – регистратор; 8 – распылитель; 9 – анализируемая проба.

Рисунок 4 – Схема атомно-абсорбционного спектрофотометра

## 2.4 Камеральные исследования

Оценка содержания ТМ в почвенном покрове осуществлялась с двух позиций:

- 1) санитарно-гигиеническая оценка – путем сравнения их фактической определенной концентрации элемента с его предельно-допустимой концентрацией.
- 2) оценка биогеохимических изменений, произошедших при антропогенном воздействии, – при использовании системы коэффициентов.

Коэффициент концентрации – показатель, служащий для характеристики и выявления локальных техногенных аномалий, связанных с газопылевыми выбросами отдельных промышленных предприятий, их накоплением в урбанизированных территориях, вдоль автотрасс и т.д., формула (1).

$$K_C = C/C_0, \quad (1)$$

где  $C$  – фактическая концентрация определяемого компонента в почве;

$C_0$  – значение кларка для почв.

Для оценки совокупного действия поллютантов использовался суммарный показатель загрязнения  $Z_C$  (по Сауту), формула (2).

$$Z_C = \sum K_C - (n - 1), \quad (2)$$

где  $K_C$  – коэффициент концентрации химического элемента;

$n$  – число анализируемых элементов – загрязнителей.

При анализе применяли градацию, представленную в таблице 3.

Таблица 3 – Шкала оценки суммарной загрязненности почв тяжелыми металлами по Сауту [6]

Оценка, балл	Суммарный показатель загрязнения	Степень загрязненности/нагрузки
1	До 1	Незначительная
2	1 – 15	Допустимая
3	16 – 32	Умеренно опасная
4	33 – 128	Опасная
5	Более 128	Чрезвычайно опасная

Охарактеризовать миграцию химических элементов в почвенном профиле поможет элювиально-аккумулятивный коэффициент ( $K_{э-а}$ ), формула (3), который показывает отношение среднего содержания данного химического элемента в том или ином почвенном горизонте к среднему содержанию в прилежащем к материнской породе горизонту.

$$K_{э-а} = C_{n.г.} / C_{пр.мг.}, \quad (3)$$

где  $C_{n.г.}$  – концентрация элемента в поверхностном горизонте;

$C_{пр.мг.}$  – концентрация элемента в горизонте прилежащем к материнской породе.

Миграцию элементов в почвенном профиле оценивали согласно градации по М.А. Глазовской [18]:

$K_{э-а} < 1$  – вынос химических элементов (элювиальный процесс);

$K_{э-а} > 1$  – аккумуляция химических элементов.

Оценить буферные свойства почв, то есть способность аккумулировать тяжелые металлы в виде соединений, недоступных растениям, можно с помощью коэффициентов защитных свойств ( $K_з$ ), формула (5), и подвижности элемента ( $K_п$ ), формула (4).

$$K_п = C_{п.ф.} / C_{в.ф.}, \quad (4)$$

$$K_з = 100 - C_{п.ф.} / C_{в.ф.} * 100\%, \quad (5)$$

где  $C_{п.ф.}$  – концентрация подвижных форм химического элемента;

$C_{в.ф.}$  – валовое содержание химического элемента в почве [15, 32].

По рекомендации известных почвоведов (Горячкин С.В., Лаптева Е.М.) валовое содержание ТМ в естественных (природных) почвах лучше оценивать согласно классификации, предоставленной Обуховым А.Я. и Ефремовой Л.Л. [36] для почв с кислой и слабокислой реакцией среды почвенного раствора, в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4 – Классификация почв по содержанию и степени загрязнения тяжелыми металлами, мг/кг воздушно-сухой почвы, общее содержание для почв с кислой и слабокислой реакцией [36]

Уровни содержания и загрязнения	Pb	Zn	Cu	Ni
Содержание				
Очень низкое	<5	<15	<5	<10
Низкое	5-10	15-30	5-15	10-20
Среднее	10-35	30-70	15-50	20-50
Повышенное	35-70	70-100	50-80	50-70
Высокое	70-100	100-150	80-100	70-100
Очень высокое	100-150	150-200	100-150	100-150
Загрязнение				
Низкое	100-150	150-200	100-150	100-150
Среднее	150-500	200-500	150-250	150-300
Высокое	500-1000	500-1000	250-500	300-600
Очень высокое	>1000	>1000	>500	>600

Для оценки влияния физико-химических показателей почвы на накопление ТМ в них был использован корреляционный анализ, который проводился с помощью программы IBM SPSS Statistics 20. Данные представлены в таблице Ж.1 приложения Ж.

Статистическая обработка данных не осуществлялась поскольку, определение ТМ было выполнено с помощью сотрудников ЦКП НО «Арктика» С(А)ФУ по соответствующим аттестованным методикам (М-02-0203-09 и РД 52.18.289-90), поэтому были использованы данные относительной погрешности измерения элементов на соответствующих приборах. Они представлены в таблице И.1 приложения И.

### 3 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

#### 3.1 Задачи и объекты исследования

Задачи исследования:

- а) отработать методики рентгенофлуоресцентного и атомно-абсорбционного методов количественного определения ТМ;
- б) определить валовое содержание и содержание подвижных форм тяжелых металлов в различных типах почв Арктики и субарктики;
- в) оценить степень загрязнения/накопления ТМ в почвенном покрове;
- г) проанализировать особенности распределения и миграции ТМ почвенном покрове Арктики;
- д) выявить условия влияния агрохимических показателей (рН, гранулометрического состав, содержание органического вещества) на аккумуляцию ТМ в почвенном покрове.
- е) сделать выводы по работе.

Объекты исследования:

Почвы, отобранные с ПП прибрежной территорий Белого и Баренцева морей (187 почвенных образцов с 46 ПП, из которых 35 ПП по профилю, а 11 ПП в слое 0-10 см), которые предварительно классифицировались по типам почв и техногенной нагрузке.

#### 3.2 Результаты эксперимента и их обсуждение

Определение валового содержания и содержания подвижных форм ТМ проводилось в почвах Арктики и субарктики различных типов (арктические, тундровые неглеевые, тундровые глеевые, аллювиальные луговые кислые, подзолистые, торфяные болотные луговые) и назначения (техногенные, природные, природные с техногенным воздействием) согласно М-02-0230-09 и РД 52.18.289-90. Анализ экспериментальных данных проводился по плану:

- а) оценка уровня обеспеченности и/или степени загрязнения ТМ в почвах Арктики и субарктики;

б) определение особенностей распределения и миграции ТМ почвенном покрове Арктики;

в) выявление условий, влияющих на закрепление/перераспределение ТМ в почвенном покрове Арктики.

3.2.1 Оценка уровня обеспеченности и/или степени загрязнения ТМ в почвах Арктики и субарктики

### 3.2.1.1 Валовое содержание тяжелых металлов

Для экологической оценки валовое содержание ТМ в почвах сравнивалось с кларком и ПДК этих элементов, согласно таблице 5.

Таблица 5 – Диапазон валового содержания ТМ в почвах, мг/кг

Тип почвы	Содержание ТМ, мг/кг							
	Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Марганец (Mn)	Ванадий (V)	Мышьяк (As)
Арктические почвы	0 – 594	3 – 197	0 – 141	2 – 91	0,3 – 66	105 - 1790	10 – 289	0 – 15
Тундровые неглеевые (иллювиально-гумусовые) почвы	0 – 82	0 – 172	0 – 48	2 – 48	4 – 355	0- 30438	10 – 162	0 – 16
Тундровые глеевые почвы	0 – 25	1 – 161	0 – 99	1 – 61	2 – 269	3 – 3706	17 – 142	0 – 14
Аллювиальные луговые кислые почвы	5 – 530	10 – 134	20 – 47	10 – 48	3 – 35	160 – 779	10 – 151	0 – 6
Подзолистые почвы	12 – 25	10 – 125	20 – 58	10 – 62	10 – 45	77 – 1455	10 – 40	6 – 7
Торфяные болотные верховые почвы	1 – 25	7 – 106	7 – 70	10 – 76	2 – 458	33 – 1057	10 – 126	0 – 6
ПДК [2]	32,0	87,0	53,0	85,0	50,0	1500,0	150,0	2,0
ОДК[1]	32-130	55-220	33-132	20-80	н/д	н/д	н/д	2-10
Кларк [18]	10,0	50,0	20,0	40,0	8,0	850,0	100	5,0

Анализ экспериментальных данных показал, что на всех исследованных территориях максимальное содержание ТМ в почвах превышает абсолютные значения нахождения этих элементов в почве (кларки).

Арктические почвы относительно чистые по отношению к Со, в отношении всех остальных ТМ наблюдается превышение ПДК (Pb в 18,6 раз, остальные элементы 1,0 – 4,5 раз). В почвах п. Пирамида в первую очередь накапливается Pb (до 18,6 ПДК), Zn (до 2,2 ПДК), Cu (до 1,6 ПДК), Ni (до 1,07 ПДК), As (до 4,5 ПДК), мыса Желания – Zn (до 2,3 ПДК), Mn (до 1,15 ПДК), и арх. ЗФИ о. Гукера – Cu (до 2,7 ПДК), V (до 1,9 ПДК). Почвы с повышенным содержанием ТМ относятся к техногенным (п. Пирамида) и к природным территориям с временным техногенным воздействием (мыс Желания, о. Гукера).

В тундровых неглеевых (иллювиально-гумусовых) почвах наблюдается превышение ПДК Pb (2,56 ПДК), Zn (1,98 ПДК), As (8 ПДК) – на природных территориях с временной техногенной нагрузкой о. Колгуев и Со (7,1 ПДК), Mn (20,29 ПДК) – мыс Белый Нос.

В тундровых глеевых почвах выявлены максимально высокие концентрации, превышающие ПДК, Со (5,4 ПДК) и As (7 ПДК) – территория мыса Белый Нос, относящаяся к природным территориям с временной техногенной нагрузкой.

Аллювиальные луговые кислые почвы загрязнены Pb (10,3 ПДК), Zn (1,08 ПДК) – техногенная территория п. Диксон и As (3 ПДК) – природная территория м. Зимнегорский.

В подзолистых и торфяных болотных верховых почвах есть превышение ПДК Zn (1,44 ПДК), Cu (1,09 ПДК), As (3,65 ПДК) (о. Кузова) и Zn (1,21 ПДК), Cu (1,32 ПДК), Со (9,16 ПДК), As (3 ПДК) (о. Сосновец), соответственно. Эти почвы расположены на природных территориях с временной техногенной нагрузкой.

Установлено, что увеличение валового содержания ТМ происходит при движении с севера на юг.

Вероятно, высокие концентрации ТМ на техногенных территориях и природных территориях с временной техногенной нагрузкой, могут быть связаны с большим количеством отходов хозяйственной и промышленной деятельности человека на островах (аэродром, военная база, топливные бочки, брошенная техника, заброшенные здания, угольные развалы и т.д.). На природных территориях причиной высокого содержания ТМ может быть, как хозяйственная

деятельность, так и природные процессы почвообразования (первичные минералы, почвообразующие породы, тип почв и т.д.).

Оценку экологического состояния почв Арктики и субарктики можно проводить не только по санитарно-гигиеническим показателям, но и по шкалам экологического нормирования.

Оценку содержания ТМ в естественных (природных) почвах лучше осуществлять согласно классификации, предложенной Обуховым А.Я. и Ефремовой Л.Л., согласно таблице 4 раздела 2.4.

По этой классификации была дана оценка степени накопления и загрязнения почв Арктики и субарктики по валовому содержанию таких ТМ, как Pb, Zn, Cu, Ni. Результаты приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Диапазон валового содержания Pb, Zn, Cu, Ni в почвах, мг/кг

Тип почвы	Содержание ТМ, мг/кг			
	Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)
Арктические почвы	0 – 594	3 – 197	0 – 141	2 – 91
Тундровые неглеевые (иллювиально-гумусовые) почвы	0 – 82	0 – 172	0 – 48	2 – 48
Тундровые глеевые почвы	0 – 25	1 – 161	0 – 99	1 – 61
Аллювиальные луговые кислые почвы	5 – 330	10 – 134	20 – 47	10 – 48
Подзолистые почвы	12 – 25	10 – 125	20 – 58	10 – 62
Торфяные болотные верховые почвы	1 – 25	7 – 106	7 – 70	10 – 76

Часть арктических почв (Пирамида и мыс Желания) имеет высокую степень загрязнения Pb и Zn, в то время как валовое содержание Cu и Ni колеблется от очень низкого до среднего уровня накопления.

Подзолистые, тундровые неглеевые и глеевые почвы не загрязнены ТМ. Для этих почв, в зависимости от территории, характерна лишь различная степень накопления ТМ (от низкого до очень высокого уровня).

Аллювиальные луговые кислые почвы (п. Диксон) имеют средний уровень загрязнения Pb, в отношении других ТМ наблюдается средний уровень накопления.

В торфяных болотных верховых почвах валовое содержание большинства ТМ колеблется от низкого до повышенного уровня накопления, при этом отмечается высокое загрязнение Zn почв п. Варнек.

Ряды накопления ТМ выглядят так: арктические почвы – Pb>As>Co>Cu>Zn>V>Ni>Mn; тундровые неглеевые почвы – Co>Mn>Pb>Zn>As>Cu>V>Ni; тундровые глеевые почвы – Co>Cu>Mn>Zn>Pb>As>Ni>V; аллювиальные луговые кислые почвы – Pb>Zn>Co>Cu>V>Ni>Mn>As; подзолистые почвы – Co>Cu>Pb>Zn>Mn>Ni>As>V; торфяные болотные верховые почвы – Co>Cu>Pb>Zn>Ni>V>Mn>As.

Оценку совокупного действия поллютантов можно осуществить согласно шкале оценки суммарной загрязненности по Саеу (таблица 3). Экспериментальные данные представлены в таблице Д.1 приложения Д. Рисунок 5 позволяет наглядно оценить загрязненность почв Арктики ТМ.

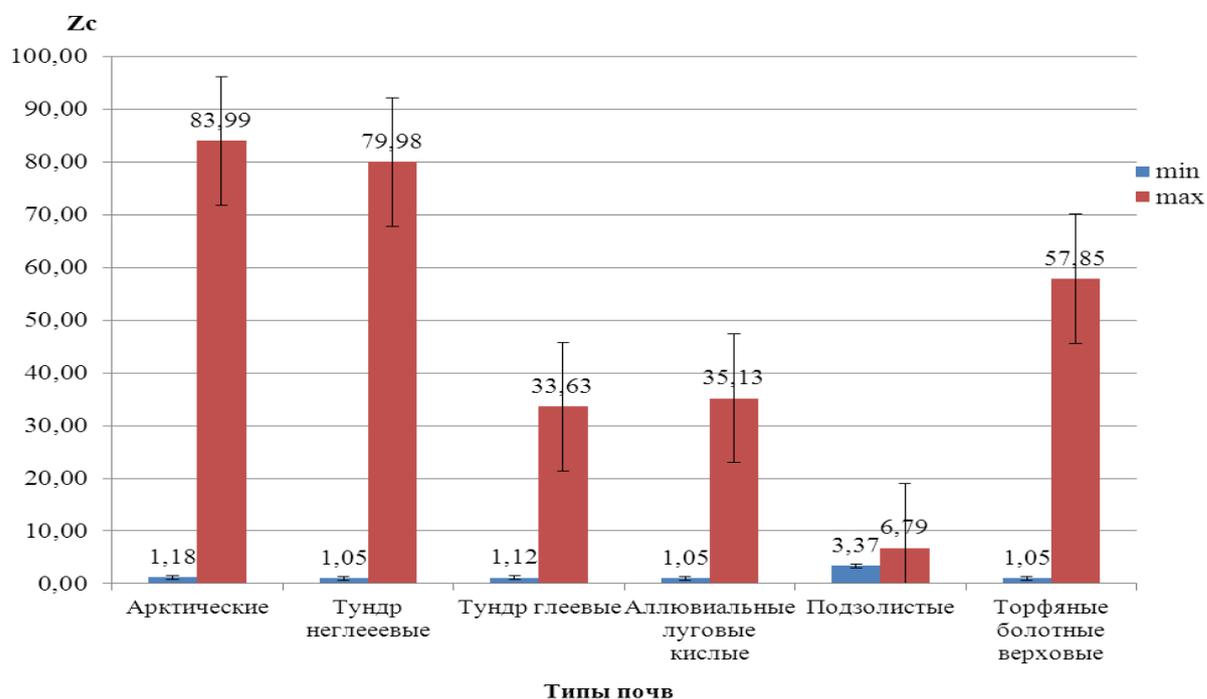


Рисунок 5 – Суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) почв Арктики

Большинство исследуемых почв имеют допустимую степень загрязнения ТМ. Однако 1,4 % арктических, 3,8 % тундровых неглеевых (иллювиально-гумусовых), 10 % аллювиальных луговых кислых и 10 % торфяных болотных

верховых почв имеют опасную степень загрязнения ТМ, а 6,25 % тундровых глеевых почв имеют умеренно опасную степень загрязнения.

Аккумуляция ТМ почвенным покровом оценивалась с помощью элювиально-аккумулятивного коэффициента ( $K_{э-а}$ ), данные представлены в таблице 7, который показывает степень миграции химических элементов в почвенном профиле. Подвижность металлов в почвенном профиле изображена на рисунке 6.

Таблица 7 – Среднее значение элювиально-аккумулятивного коэффициента в почвах Арктики [18]

Тип почвы	Среднее значение элювиально-аккумулятивного коэффициента					
	Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Марганец (Mn)
Арктические почвы	2,44	1,42	1,00	1,18	1,88	1,48
Тундровые неглеевые (иллювиально-гумусовые) почвы	1,40	2,75	0,58	0,90	1,44	8,80
Тундровые глеевые почвы	0,57	1,29	1,61	0,63	2,00	6,84
Аллювиальные луговые кислые почвы	22,33	2,06	0,85	0,83	0,30	1,63
Подзолистые почвы	1,00	1,10	1,00	1,05	0,56	0,93
Торфяные болотные верховые почвы	0,73	2,29	0,88	0,66	1,13	2,77

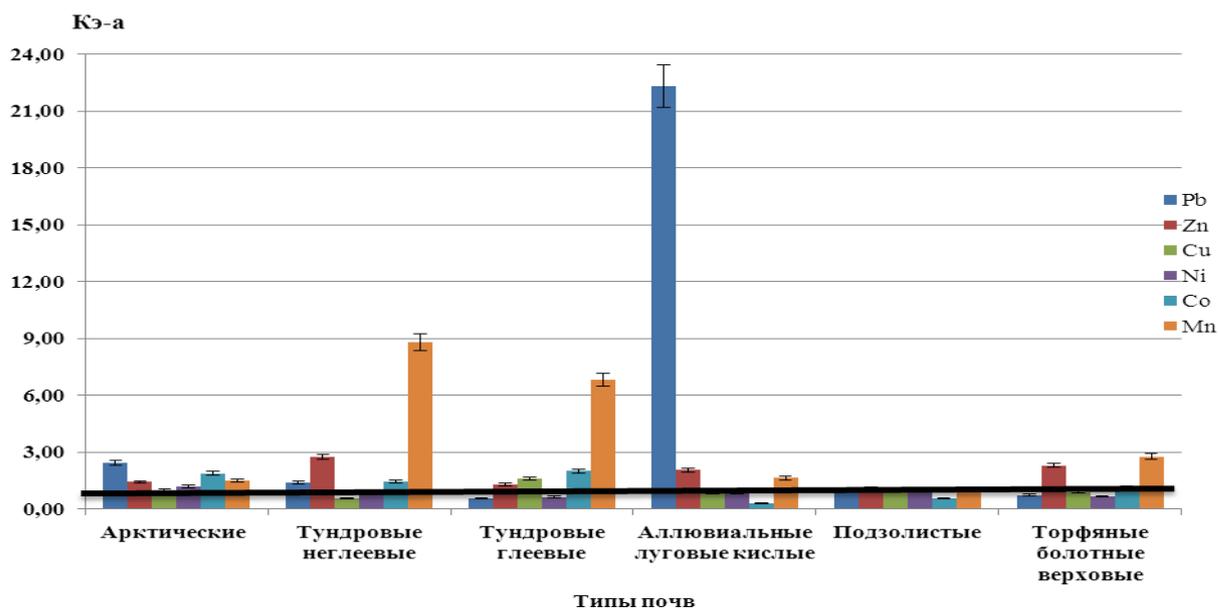


Рисунок 6 – Подвижность тяжелых металлов в почвенном профиле

На рисунке 6 видно, что во всех типах почв Pb, Zn и Mn аккумулируются в поверхностном горизонте.

В арктических почвах элювиально-аккумулятивный ряд выглядит следующим образом:  $\frac{Cu}{1,00} > \frac{Ni}{1,18} > \frac{Zn}{1,42} > \frac{Mn}{1,48} > \frac{Co}{1,88} > \frac{Pb}{2,44}$ . Из этого ряда видно, что в почве абсолютно (не зависит от физико-химических параметров и процессов почвообразования) накапливается Pb, так как элювиально-аккумулятивный коэффициент превышает единицу (2,44). Все остальные металлы относительно (связано с физико-химическими параметрами и процессами почвообразования) накапливаются в почве ( $K_{э-а} > 1$ ).

В тундровых неглеевых почвах согласно элювиально-аккумулятивного ряда –  $\frac{Cu}{0,58} > \frac{Ni}{0,90} > \frac{Pb}{1,40} > \frac{Co}{1,44} > \frac{Zn}{2,75} > \frac{Mn}{8,80}$ , в поверхностном горизонте Cu и Ni находятся в меньшем количестве, чем в горизонте, прилегающем к материнской породе, то есть происходит их убыль ( $K_{э-а} < 1$ ). Другие элементы – Pb, Co, Zn – относительно накапливаются ( $K_{э-а} > 1$ ), то есть обладают наименьшей подвижностью, чем первая группа элементов. В тоже время о Mn можно сказать, что его накопление абсолютно, так как значение элювиально-аккумулятивного коэффициента превышает единицу в 8,8 раз (мыс Белый Нос).

Накопление ТМ в тундровых глеевых и торфяных болотных верховых почвах происходит в ряду  $\frac{Pb}{0,57} > \frac{Ni}{0,63} > \frac{Zn}{1,29} > \frac{Cu}{1,61} > \frac{Co}{2,00} > \frac{Mn}{6,84}$  и  $\frac{Ni}{0,66} > \frac{Pb}{0,73} > \frac{Cu}{0,88} > \frac{Co}{1,13} > \frac{Zn}{2,29} > \frac{Mn}{2,77}$ , соответственно. Согласно, приведенных данных абсолютно накапливается Mn ( $K_{э-а}=6,84; 2,77$ ) (мыс Белый Нос), относительно накапливаются Zn, Cu, Co в тундровых неглеевых и Co, Zn в торфяных болотных верховых почвах. В поверхностном горизонте в меньшем количестве находятся Ni и Pb ( $K_{э-а} < 1$ ).

В аллювиальных луговых кислых почвах элювиально-аккумулятивный ряд выглядит следующим образом:  $\frac{Co}{0,30} > \frac{Ni}{0,83} > \frac{Cu}{0,85} > \frac{Mn}{1,63} > \frac{Zn}{2,06} > \frac{Pb}{22,33}$ . В этом типе почв в поверхностном горизонте абсолютно накапливается Pb ( $K_{э-а}=22,33$ ). Такие высокие значения коэффициента могут быть связаны с антропогенным воздействием на исследуемой территории (п. Диксон).

В подзолистых почвах, согласно ряду миграции –  $\frac{Co}{0,56} > \frac{Mn}{0,93} > \frac{Pb}{1,00} > \frac{Cu}{1,0} > \frac{Ni}{1,05} > \frac{Zn}{1,10}$ , все элементы обладают малой подвижностью ( $K_{э-а} > 1$ ), хотя Co и Mn в поверхностном горизонте находятся в меньшем количестве, чем в прилегающем к породе горизонте, то есть происходит их убыль ( $K_{э-а} < 1$ ).

Высокие значения элювиально-аккумулятивного коэффициента Pb и Mn во всех типах почв позволяют предположить, что возможно происходит аэротехногенное загрязнение этих почв данными поллютантами.

Для оценки экологического состояния почв наряду с определением валового содержания ТМ очень важно знать содержание подвижных форм ТМ в этих почвах. Это необходимо и для доказательства представленного выше предположения о подвижности ТМ в почвах Арктики и субарктики.

### 3.2.1.2 Содержание подвижных форм тяжелых металлов

Подвижные формы ТМ являются показателем, который определяет доступность этих элементов для растений. Поэтому содержание в почве подвижных форм ТМ - важнейший показатель, характеризующий антропогенное воздействие на почвы этих территорий.

Оценка содержания подвижных форм ТМ, представленная в таблице В.2 приложения В, осуществлялась в сравнении с ПДК. Результаты приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Диапазон содержания подвижных форм ТМ в почвах, мг/кг

Тип почвы	Содержание ТМ, мг/кг					
	Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Марганец (Mn)
Арктические почвы	0,25 – 1,74	0,19 – 4,74	2,14 – 36,50	0,48 – 2,00	0,12 – 1,22	38,9 - 100
Тундровые неглеевые (иллювиально-гумусовые) почвы	7,58	11,89	2,71	0,15	2,44	20,6
Тундровые глеевые почвы	0,84 – 1,26	1,07 – 4,73	1,67 – 1,72	0,43 – 0,71	0,73 – 0,75	48,9 – 52,6
Подзолистые почвы	1,90 – 2,63	3,75 – 13,29	0,72 – 2,83	0,15 – 0,74	0,05 – 0,76	12,2 - 393
Торфяные болотные верховые почвы	2,086	18,29	1,25	0,06	0,16	167
ПДК [3]	6,0	23,0	3,0	4,0	5,0	140,0

В арктических почвах мыса Желания и о. Гукера содержание ПФ Cu доходит до 10 ПДК, а о. Чамп – до 4 ПДК.

В тундровых неглеевых, торфяных болотных верховых и подзолистых почвах наблюдается превышение ПДК Pb в 1,26 раз (о. Колгуев), Mn в 1,2 раз (о. Вайгач) и в 2,8 раз (о. Русский Кузов), соответственно.

Ряды потенциальной доступности ТМ выглядят так: арктические почвы Cu>Mn>Ni>Pb>Co>Zn; тундровые неглеевые почвы – Pb>Cu>Zn>Co>Mn>Ni; тундровые глеевые почвы – Cu>Mn>Pb>Zn>Ni>Co; подзолистые почвы – Mn>Cu>Zn>Pb>Ni>Co; торфяные болотные верховые почвы – Mn>Zn>Cu>Pb>Co>Ni.

Аналогично валовому содержанию ТМ, по суммарному показателю загрязнения, согласно таблице Д.2 приложения Д, почвы практически всех исследуемых территорий имеют допустимую степень загрязнения ПФ ТМ, а тундровые глеевые и подзолистые почвы вообще не загрязнены. На рисунке 7 наглядно продемонстрирована оценка загрязненности почв ПФ ТМ.



Рисунок 7 – Суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) подвижными формами ТМ почв Арктики

Сравнивая значения  $Z_c$  по валовому содержанию ТМ и содержанию их подвижных форм, представленные на рисунках 5 и 7, можно предположить, что в почвах с техногенной нагрузкой большая часть ТМ находится в подвижной легко доступной для растений форме. В то время как для почв природных территорий без техногенной нагрузки или с частичной техногенной нагрузкой характерна противоположная тенденция – здесь металлы накапливаются преимущественно в неподвижных фиксированных формах.

### 3.2.2 Особенности аккумуляции и миграции ТМ в почвенном покрове Арктики

Оценить способность почв аккумулировать ТМ в виде соединений, недоступных для растений поможет коэффициент подвижности элементов ( $K_n$ ), представленный в таблице Е.1, Е.3 приложения Е. На рисунке 8 видно, что наибольшей степенью подвижности обладают Cu, Zn и Mn. Особенно наглядно это проявляется в арктических (Cu), тундровых неглеевых (Mn) и торфяных болотных верховых (Zn, Mn) почвах.

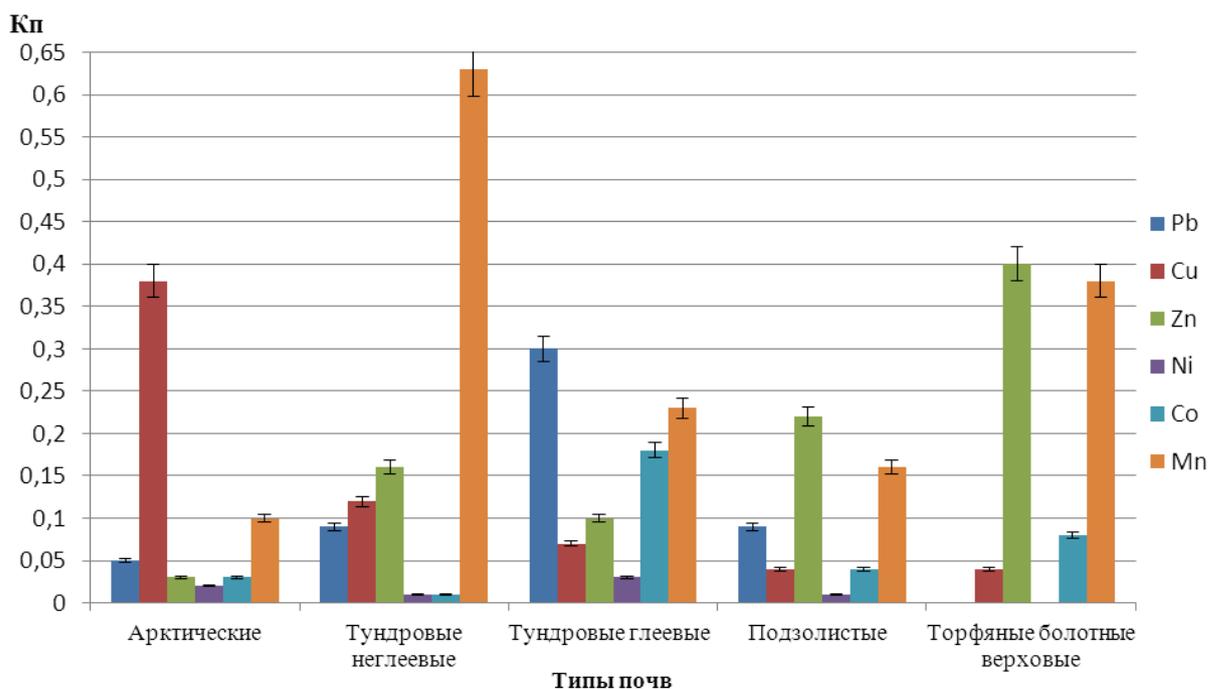


Рисунок 8 – Средние значение коэффициентов подвижности элементов в почвах Арктики и субарктики

Из-за низкой степени подвижности ТМ, особенно по Pb, в арктических, тундровых неглеевых и торфяных болотных верховых почвах, суммарное загрязнение подвижными формами ТМ относительно невелико, в то время как по их валовому содержанию почвы этого типа являются загрязненными. Особенностью тундровых глеевых и подзолистых почв является высокая подвижность Mn, из-за чего он легко поглощается растениями.

Высокая подвижность ТМ в почвах природных территорий с временной техногенной нагрузкой (средний суммарный коэффициент подвижности 0,15-0,16) объясняет высокое значение суммарного показателя загрязнения, и в условиях низких защитных свойств этих почв может стать причиной загрязнения растительности произрастающей на данной территории. Поэтому для оценки загрязнения почв необходимо выявить изменения подвижности ТМ и причины, их вызывающие.

Высокие значения имеет коэффициент защитных свойств ( $K_3$ ), с помощью которого оценивали буферные свойства, представленный в таблице Е.2, Е.3 приложения Е. Результаты приведены на рисунке 9.

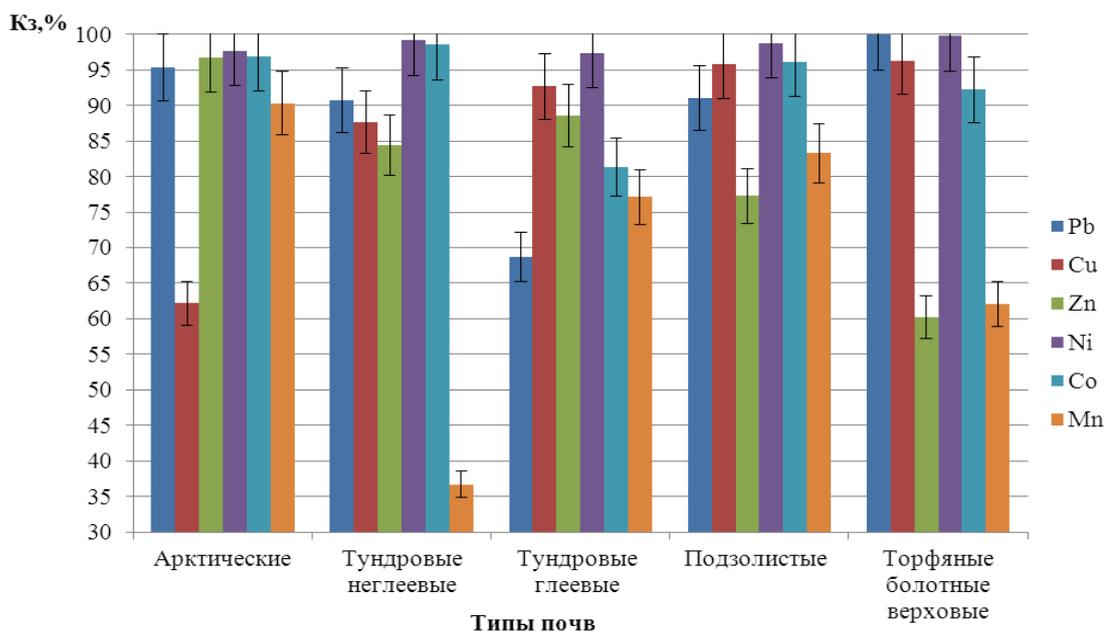


Рисунок 9 – Среднее значение коэффициентов защитных свойств элементов в почвах Арктики и субарктики

В разных типах почвах все исследуемые элементы представлены малоподвижными формами, кроме Cu (арктические почвы), Mn (тундровые неглеевые почвы), Zn и Mn (торфяные болотные верховые почвы). Благодаря высоким защитным свойствам разных типов почв по отношению к исследуемым металлам, и низкому показателю суммарного загрязнения по содержанию подвижных форм ТМ, можно предположить, что, данные почвы являются экологически не опасными.

По всей видимости, это объясняется самими особенностями почв. Несмотря на относительно низкие показатели защитных свойств тундровых неглеевых почв по отношению к Mn, превышения допустимых норм по содержанию подвижных форм не отмечается.

Все выше изложенное по коэффициенту подвижности согласуется с данными элювиально-аккумулятивного коэффициента ТМ, следовательно, использование последнего, дает первую информацию об уровне доступности ТМ растениям, без определения содержания ПФ ТМ в почвах.

### 3.2.3 Условия, влияющие на закрепление и перераспределения ТМ в почвенном покрове Арктики

Подвижность ТМ, прежде всего, связана с физико-химическими свойствами почв (рН, гранулометрический состав, содержание органического вещества). Для этого с помощью программы IBM SPSS Statistics 20 были рассчитаны коэффициенты корреляции по данным коэффициента концентрации валового содержания ТМ.

Для корреляционного анализа использовали данные по валовому содержанию ТМ в поверхностном горизонте почв прибрежных территорий Белого и Баренцева морей. Выборка составила 76 образцов. Разделение по типам почв не проводилось, так как объем выборок не может быть меньше 30.

В таблице 9 представлены данные, свидетельствующие о ненормальном распределении ( $p > 0,5$ ).

Таблица 9 – Критерий нормальности

Показатель	Шапиро-Уилк		
	Статистика	ст. св.	Значимость (p)
(Pb), мг/кг	0,831	25	0,001
(Zn), мг/кг	0,944	76	0,002
(Cu), мг/кг	0,948	76	0,004
(Ni), мг/кг	0,949	76	0,004
(Co), мг/кг	0,825	63	0,000
(Mn), мг/кг	0,901	63	0,000
(V), мг/кг	0,962	76	0,022
(As), мг/кг	0,723	63	0,000
Глина, %	0,864	76	0,000
pH	0,973	25	0,723
Орг. в-во, %	0,790	76	0,000

Так как распределение ненормальное, то, корреляция проводится с применением критерия Спирмена, результаты представлены в таблице Ж.1 приложения Ж.

Интерпретация коэффициента корреляции осуществлялась исходя из уровня силы связи:

$r > 0,01 \leq 0,29$  – слабая положительная связь,

$r > 0,30 \leq 0,69$  – умеренная положительная связь,

$r > 0,70 \leq 1,00$  – сильная положительная связь,

$r > -0,01 \leq -0,29$  – слабая отрицательная связь,

$r > -0,30 \leq -0,69$  – умеренная отрицательная связь,

$r > -0,70 \leq -1,00$  – сильная отрицательная связь.

Таким образом, корреляционным анализом выявлена зависимость накопления ТМ в почвах прибрежных территорий Белого и Баренцева морей от отдельных физико-химических параметров.

Во всех исследованных почвах тяжелого гранулометрического состава уменьшается валовое содержание Co ( $r = -0,25$ , связь слабая) и As ( $r = -0,45$ , связь умеренная). С увеличением pH в почвах уменьшается содержание V ( $r = -0,296$  связь слабая). При высоких концентрациях органического вещества в почвах

Арктики уменьшается содержание Ni ( $r=-0,27$ , связь слабая). По всем остальным металлам корреляционная зависимость не выявлена.

Было выявлено, что на накопление ТМ влияет межэлементное взаимодействие. С увеличением содержания Cu в почвенном покрове увеличиваются концентрации Zn ( $r=0,45$ , связь умеренная), Ni ( $r=0,91$ , связь сильная), Mn ( $r=0,24$ , связь слабая) и V ( $r=0,57$ , связь умеренная). Высокие концентрации Pb обусловлены высоким содержанием As ( $r=0,33$ , связь умеренная).

Таким образом, основными причинами загрязнения почвенного покрова исследованных территорий являются не антропогенные факторы, а естественные процессы, происходящие в земной коре (процессы почвообразования, выветривание горных пород, движение тектонических плит и т.д.).

Выводы по химическому эксперименту:

1) Большинство исследуемых почв имеют допустимую степень загрязнения ТМ (по валовому содержанию). Однако, 1,4 % арктических, 3,8 % тундровых неглеевых (иллювиально-гумусовых), 10 % аллювиальных луговых кислых и 10 % торфяных болотных верховых почв имеют опасную степень загрязнения тяжелыми металлами, а 6,25 % тундровых глеевых почв имеют умеренно опасную степень загрязнения. Ряды накопления ТМ выглядят так: арктические почвы Pb>As>Co>Cu>Zn>V>Ni>Mn; тундровые неглеевые почвы – Co>Mn>Pb>Zn>As>Cu>V>Ni; тундровые глеевые почвы – Co>Cu>Mn>Zn>Pb>As>Ni>V; аллювиальные луговые кислые почвы – Pb>Zn>Co>Cu>V>Ni>Mn>As; подзолистые почвы – Co>Cu>Pb>Zn>Mn>Ni>As>V; торфяные болотные верховые почвы – Co>Cu>Pb>Zn>Ni>V>Mn>As.

2) При движении с севера на юг в почвах увеличивается валовое содержание ТМ. Это связано с близким расположением техногенных источников загрязнения и хозяйственной деятельностью людей.

3) Почвенный покров прибрежных территорий Белого и Баренцева морей независимо от типа почв имеет допустимую степень загрязнения ПФ ТМ. Хотя на отдельных территориях наблюдается превышение ПДК по Cu (мыс Желания, о. Гукера, о. Чамп), Pb (о. Колгуев) и Mn (о. Вайгач, о. Русский Кузов). Ряды

потенциальной доступности ТМ выглядят так: арктические почвы Cu>Mn>Ni>Pb>Co>Zn; тундровые неглеевые почвы – Pb>Cu>Zn>Co>Mn>Ni; тундровые глеевые почвы – Cu>Mn>Pb>Zn>Ni>Co; подзолистые почвы – Mn>Cu>Zn>Pb>Ni>Co; торфяные болотные верховые почвы – Mn>Zn>Cu>Pb>Co>Ni.

4) Составлены ряды миграции ТМ в почвенном профиле: арктические почвы Cu>Ni>Zn>Mn>Co>Pb; тундровые неглеевые почвы – Cu> Ni>Pb>Co>Zn>Mn; тундровые глеевые почвы – Pb>Ni>Zn>Cu>Co>Mn; подзолистые почвы – Co>Ni>Cu>Mn>Zn>Pb; торфяные болотные верховые почвы – Ni>Pb>Cu>Co>Zn>Mn. Установлено, что для оценки подвижности ТМ в почвенном покрове достаточно использовать элювиально-аккумулятивный коэффициент по валовому содержанию ТМ.

5) Содержание ТМ в почвах Арктики зависит от физико-химических показателей почв (рН, гранулометрический состав, содержание органического вещества) и от межэлементного влияния поллютантов друг на друга. Корреляционным анализом установлено, что основными причинами загрязнения почвенного покрова исследованных территорий являются не антропогенные факторы, а естественные процессы, происходящие в земной коре (процессы почвообразования, выветривание горных пород, движение тектонических плит и т.д.).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе написания данной выпускной квалификационной работы было проанализировано 48 литературных источников, рассмотрены основные вопросы: тяжелые металлы, формы нахождения тяжелых металлов в почве, основные источники поступления тяжелых металлов в почвенный покров Арктики, тяжелые металлы в почвенном покрове Арктики.

Анализ литературных данных показал, что в настоящее время арктические территории характеризуются повышенными концентрациями ТМ. Это обусловлено процессами почвообразования, которые происходят на почвах, относящихся к природным территориям.

При личном участии автора в совместной комплексной экспедиции «Арктический плавучий университет» в 2013, 2014 годах на НИС «Профессор Молчанов» был произведен отбор проб почв. Кроме того, для исследования использовались почвы, отобранные в ходе экспедиции 2012 и 2015 годов.

В работе дана характеристика пробных площадей Арктического региона, определены типы почв и степень техногенно-антропогенной нагрузки, наблюдаемой на этих территориях. Для каждого почвенного образца (187 проб) по общепринятым методикам был определен ряд физико-химических параметров: гранулометрический состав, рН водной вытяжки, содержание органического вещества, электропроводность. Определение ВС и содержания ПФ ТМ выполнено с привлечением оборудования ЦКП НО «Арктика» САФУ.

В ходе химического эксперимента была дана оценка степени накопления/загрязнения ТМ в почвенном покрове, выявлены особенности распределения и миграции ТМ в почвах Арктики и определены условия, влияющие на закрепление и перераспределение ТМ в почвенном покрове.

Установлено, что на кумуляцию ТМ влияют как техногенное воздействие, так и особенности почвообразовательных процессов. Большинство исследованных почв имеют допустимый уровень загрязнения ТМ, однако на отдельных территориях выявлено полиметаллическое загрязнение почв. Опасный уровень

загрязнения имеют арктические почвы (п. Пирамида) и тундровые неглеевые почвы (м. Белый Нос).

Составлены ряды накопления, потенциальной доступности и миграции ТМ, которые выглядят следующим образом:

- Ряды накопления ТМ: арктические почвы  
Pb>As>Co>Cu>Zn>V>Ni>Mn; тундровые неглеевые почвы –  
Co>Mn>Pb>Zn>As>Cu>V>Ni; тундровые глеевые почвы –  
Co>Cu>Mn>Zn>Pb>As>Ni>V; аллювиальные луговые кислые почвы –  
Pb>Zn>Co>Cu>V>Ni>Mn>As; подзолистые почвы – Co>Cu>Pb>Zn>Mn>Ni>As>V;  
торфяные болотные верховые почвы – Co>Cu>Pb>Zn>Ni>V>Mn>As.

- Ряды потенциальной доступности ТМ: арктические почвы  
Cu>Mn>Ni>Pb>Co>Zn; тундровые неглеевые почвы – Pb>Cu>Zn>Co>Mn>Ni;  
тундровые глеевые почвы – Cu>Mn>Pb>Zn>Ni>Co; подзолистые почвы –  
Mn>Cu>Zn>Pb>Ni>Co; торфяные болотные верховые почвы –  
Mn>Zn>Cu>Pb>Co>Ni.

- Ряды миграции ТМ в почвенном профиле: арктические почвы  
Cu>Ni>Zn>Mn>Co>Pb; тундровые неглеевые почвы – Cu> Ni>Pb>Co>Zn>Mn;  
тундровые глеевые почвы – Pb>Ni>Zn>Cu>Co>Mn; подзолистые почвы –  
Co>Ni>Cu>Mn>Zn>Pb; торфяные болотные верховые почвы –  
Ni>Pb>Cu>Co>Zn>Mn.

Выявлено, что содержание ТМ в почвах Арктики зависит от физико-химических показателей почв (рН, гранулометрический состав, содержание органического вещества) и от межэлементного влияния поллютантов друг на друга. При этом корреляционным анализом установлено, что основными причинами загрязнения почвенного покрова исследованных территорий являются не антропогенные факторы, а естественные процессы, происходящие в земной коре (процессы почвообразования, выветривание горных пород, движение тектонических плит и т.д.).

Основные положения квалификационной работы докладывались на Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы биологической и химической экологии» 4-5 декабря 2014 г. Мытищи и

Всероссийской конференции с международным участием «Комплексные научные исследования и сотрудничество в Арктике: взаимодействие вузов с академическими и отраслевыми научными организациями» 26-27 февраля 2015 г. Архангельск.

По материалам выпускной квалификационной работы опубликовано пять статей в изданиях, включенных в РИНЦ:

1. Попова Л.Ф., Химико-аналитическая оценка загрязнения нефтепродуктами и тяжелыми металлами почв Евроарктического региона / Л.Ф. Попова, Ю.И. Андреева, С.С. Попов // сборник материалов IV Международной научно-практической конференции 4-5 декабря 2014 года. – М.: ИИУ МГОУ, 2014. - 364 с.

2. Андреева Ю.И., Тяжелые металлы - потенциальные поллютанты почв Арктики / Ю.И. Андреева, Л.Ф. Попова, А.Г. Волков, М.В. Ларионова //Комплексные научные исследования и сотрудничество в Арктике: взаимодействие вузов с академическими и отраслевыми научными организациями. Материалы Всерос. Конф. с межд. участ. 26-27 февраля 2015. Архангельск: Изд. Дом САФУ, 2015. С. 20-23.

3. Андреева Ю.И., Особенности накопления тяжелых металлов почвами Субарктики и Арктики / Ю.И. Андреева, Л.Ф. Попова, А.Г. Волков, М.В. Ларионова // Заочные электронные конференции РАЕ, 2015. URL: <http://econf.rae.ru/article/9249> (дата обращения: 19.05.2015).

4. Андреева Ю.И., Кумуляция тяжелых металлов в почвенном покрове Евроарктического региона // тезисы докладов ЛОМОНОСОВ-2017: XXIV международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: Секция «Почвоведение»; 10-14 апреля 2017 г., Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения. Сост. Л.А. Позднякова, - М.: МАКС Пресс, 2017.- 236 с.

5. Андреева Ю.И., Тяжелые металлы в почвенном покрове береговой линии островных и материковых арктических территорий / Ю.И. Андреева // материалы Международной молодежной конференции «Папанинские чтения» 28-30 марта 2017 г., из-во САФУ, 2017 (в печати).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГН 2.1.7. 2511-09 Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. [Электронный ресурс]. Утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 18. 05. 2009, №32. – М., 2009. URL: <http://www.complexdoc.ru> (дата обращения 02.05.2017).
2. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве [Электронный ресурс]. Утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 19.01.2006, – М., 2006. URL: <http://meganorm.ru/Index2/1/4293850/4293850511.htm> (дата обращения 12.05.2017)
3. ГОСТ 17 4.4. 02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки почв для химического, бактериологического и гельминтологического анализа. Постановление Госкомитета СССР по стандартам от 19.12.1984, № 4731. – М.: Стандарт информ, 2008. – 8 с.
4. ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. Постановление Госкомитета СССР по стандартам от 08.02.1985, № 283. – М.: Изд-во Стандартов, 1985. – 10 с.
5. ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества. Постановление Комитета стандартизации и метрологии СССР от 29.12.1991, № 2389. Взамен ГОСТ 26213-84. – М.: Изд-во Стандартов, 1992. – 8 с.
6. МУ 2.1.7.730-99 Методические указания: Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 7.02.1999: введ. в действие с 05.04.1999. – М., 1999. – 20 с.
7. РД 52.18.289-90 Руководящий документ. Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. [Электронный ресурс]. Утвержден Государственным комитетом СССР по гидрометеорологии. – М., 1990. – Режим доступа: [http://www.libussr.ru/doc\\_ussr/usr\\_16135.htm](http://www.libussr.ru/doc_ussr/usr_16135.htm).(дата обращения 11.04.2017)

8. Агбалян, Е.В. Состояние окружающей среды в Арктике / Успехи современного естествознания, 2011. - N 4. - С. 74-76.
9. Алексеев, Н.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1987.–125с.
10. Алексеев, В.В. Новые данные по позднечетвертичной стратиграфии и палеогеографии района Вейде-фьорда (Западный Шпицберген) / В.В Алексеев, В.В. Шарин, В.А. Дымов, И.А. Погодина, Д. Ю. Большиянов, Е. А. Гусев // ДАН, М., 2007. - т. 412. - №6. - С. 822-824
11. Алемасова, А.С. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия. Учебное пособие / А.С. Алемасова, А.Н. Рокун, И.А. Шевчук.- Донецк: 2003 - 327 с
12. Афанасьев, Г.В. Состояние окружающей среды. / Г.В.Афанасьев, А.И. Ляхов. // Доклады ТСХА. Вып. XXIX, 1957. – 36 с.
13. Байбеков, Р.Ф. Методы исследования городских почв: учебное пособие. / Р.Ф. Байбеков, В.И. Савич, М.М. Овчаренко, И.М. Габбасова, Р.Ш. Афзалов. – М.: ФГОУ ВПО РГАУ – МСХА им. К.А. Темерязева, 2007. – 202 с.
14. Бушуев, Н.Н. Влияние обработки почвы на показатели распределения кадмия и цинка. // Агрехимические приемы повышения плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур в адаптивно-ландшафтных системах земледелия: материалы 40-ой Международной научной конференции (19–20 апреля 2006 г.). – М.: 2006. – С. 236–239
15. Ващенко, И.М. Практикум по основам сельского хозяйства / Ващенко И.М., Ланге К.П., Меркулов М.П. - М.: Просвещение, 1982. - 399 с.
16. Виноградов, А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах./ А.П. Виноградов – М., 1957. – 68 с.
17. Геопортал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://geoportал.narfu.ru/api/index.html> (дата обращения 5.04.2017).
18. Глазовская, М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. – Смоленск: Ойкумена, 2002. – 288 с.
19. Добролюбский, О.К. Микроэлементы и жизнь. «Молодая гвардия», 1956. –128 с.

20. Дитц, А.А. Определение элементного состава вещества методом рентгенофлуоресценции, Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Основные методы исследований в неорганической химии» для магистрантов I курса, обучающихся по направлению 240100 «Химическая технология» / А.А. Дитц, Т.А. Хабас, И.Б. Ревва. - Изд-во Томского политехнического университета, 2012 - 20 с.
21. Дмитриев, В.В. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем / В.В. Дмитриев, Г.Т. Фрумин. - СПб.: СПбГУ, РГГМУ, 2004.- С. 91-92.
22. Дымов, А.А. Фоновое содержание тяжелых металлов, мышьяка и углеводородов в почвах Большеземельской тундры / А. А. Дымов , Е. М. Лаптева , А. В. Калашников, С. В. Денева // Теоретическая и прикладная экология, 2010. - С. 24-30.
23. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
24. Израэль, Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. - СПб.: Гидрометиздат, 1979. - 375 с.
25. Кадацкий, В.Б. Распределение форм тяжелых металлов в естественных ландшафтах Беларуси / В.Б. Кадацкий, Л.И. Васильева, Н.И. Тановицкая, С.Е. Головатый // Экология, 2001. - №1. - С. 33-37
26. Комплексная научно-образовательная экспедиция «Арктический плавучий университет – 2012»: материалы научной сессии студентов и аспирантов. Ч.3./ ФГАУ ВПО «Сев. (Аркт.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова», ФГБУ «Сев. упр. По гидрометеорологии и мониторингу окр. среды», Арханг. центр Всерос. обществ. орг. «Рус. геогр. о-во»; [сост. и отв. ред.: проф. Н.М. Бызова]. Арх-ск: Архангельский центр Русского географического общества: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2012. – 116 с.
27. Комплексная научно-образовательная экспедиция «Арктический плавучий университет – 2013»: материалы научной сессии студентов и аспирантов. Ч.3./ ФГАУ ВПО «Сев. (Аркт.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова», ФГБУ «Сев. упр. По гидрометеорологии и мониторингу окр. среды», Арханг. центр Всерос. обществ. орг. «Рус. геогр. о-во»; [сост. и отв. ред.: проф. Н.М. Бызова]. Арх-ск:

- Архангельский центр Русского географического общества: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2013. – 115 с.
28. Корельская, Т.А. Факторы, влияющие на миграцию тяжелых металлов в системе почва-растение // Экологические проблемы Севера: Межвузовский сборник научных трудов / отв. редактор П.А. Феклисов – Архангельск: изд-во АГТУ, 2005. – Вып. 8. – 290 с.
29. Крячюнас, В. В. Тяжелые металлы в арктических почвах западного побережья архипелага Шпицберген / В. В. Крячюнас, С. А. Игловский, Е. В. Шахова, А. В. Малков // Экология человека. - № 9. - 2014. - С. 8-13
30. Ладонин, Д.В. Соединения тяжелых металлов в почвах – проблемы и методы изучения // Почвоведение, 2002. - №6. - С. 682-692
31. Лебедева, О. Ю. Распределение валовых форм тяжелых металлов в почвах Костромской области / О. Ю. Лебедева, Г. Т. Фрумин // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). - 2010. - № 3. - С. 239–242.
32. М 049-П/04 Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошкообразных пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа.. СПб.: ООО НПО «Спектрон», 2004. -20 с.
33. Матковская, М.В. Количественное определение содержания тяжелых металлов в пробах почвы атомно-абсорбционным методом анализа / М.В., Матковская, Н.С. Сергеев // Вестник молодежной науки - 2011: сб. науч. ст. студентов, аспирантов и молодых ученых. - Калининград : Изд-во КГТУ, 2011. - С. 306-308
34. Мажайский, Ю.А. Агроэкология техногенно загрязнённых ландшафтов./ Ю.А.Мажайский, С.А.Торбатов, Н.Н.Дубенок, Ю.П. Пожогин – Смоленск: Маджета, 2003. – 384 с.
35. Никанов, А. Н. Влияние морской капусты и напитка «Альгапект» на минеральный состав крови у детей – жителей г. Мончегорска / Ю. К. Кривошеев, А. Б. Гудков // Экология человека, 2004. - № 2. - С. 30–32.
36. Обухов, А. Я. Охрана и рекультивация почв, загрязненных тяжелыми металлами / А. Я. Обухов, Л. Л. Ефремова // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы : материалы 2-й Всесоюзн. конф. М., 1988. - Ч. 1. - С. 23.

37. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта. / А.И. Перельман, Н.С. Касимов – М.: Астрей-2000, 1999. – 341 с.
38. Перельман, Ф.М. Кобальт и никель / Ф.М. Перельман, А.Я. Зворыкин. – М.: Наука, 1975. – 215 с
39. Поляков, И. Н. Устранение последствий масштабного разлива нефтепродуктов на территории нефтехранилища угольного разреза / И. Н. Поляков, С. В. Лушников, С. В. Негодяев // Экология и промышленность. – 2005. - № 3. – С.31-35
40. Попова, Л.Ф. Комплексная эколого-химическая оценка и нормирование качества почвенно-растительного покрова городских экосистем (на примере Архангельска), дис. на соискан. учен. степ. доктора. биолог. наук. – Архангельск, 2015. – 396 с.
41. Реймерс, Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник / Н.Ф.Реймерс. - М.: Мысль, 1990. - 638 с.
42. Репницына, О.Н. Трансформация подвижных форм меди в сезоннопромерзающих почвах города Архангельска/ Репницына, О.Н., Попова Л. Ф // Арктика и Север, 2012. - № 9. - С. 1–15
43. Соколов, А.А. Агрехимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 450 с.
44. Томашунас, В.М. Содержание тяжелых металлов в почвах полуострова Ямал и острова Белый / В.М. Томашунас, Е.В. Абакумов // Гигиена и санитария. - 2014. - № 6. - С. 26-31
45. Что такое тяжелые металлы. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.agrovodcom.ru/zz\\_metall.html](http://www.agrovodcom.ru/zz_metall.html) (дата обращения 04.04.2017)
46. Экологический центр «Экосистема» Почвы России и СССР [Электронный ресурс]:.-Электрон. дан. - Экологический центр «Экосистема», А.С. Боголюбов, 2001-2013. – Режим доступа: <http://www.ecosystema.ru/08nature/soil/027t.htm>, (дата обращения 02.02.2014) – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
47. АМАР. Arctic Pollution Issues: A State of the Arctic Environment Report. – Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Programme, 1997. – 188 p.

48. AMAP. AMAP Assessment 2002: Human Health in the Arctic.– Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), 2002.– 137 p.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

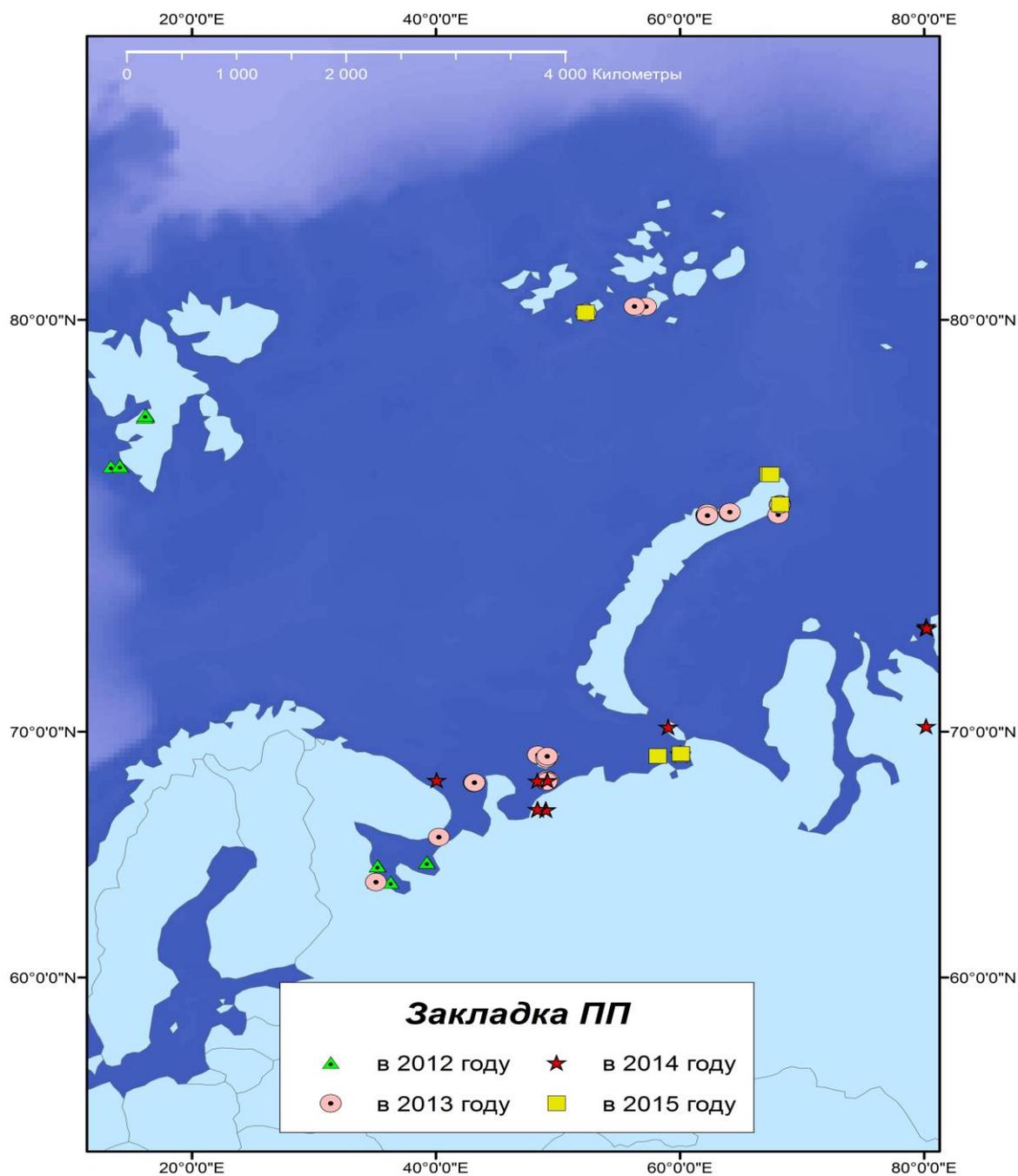


Рисунок А.1- Карта мест закладки пробных площадей в период с 2012 по 2015 года по маршрутам следования НИС «Профессор Молчанов»  
(составитель Сазонов А., аспирант МГУ)

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

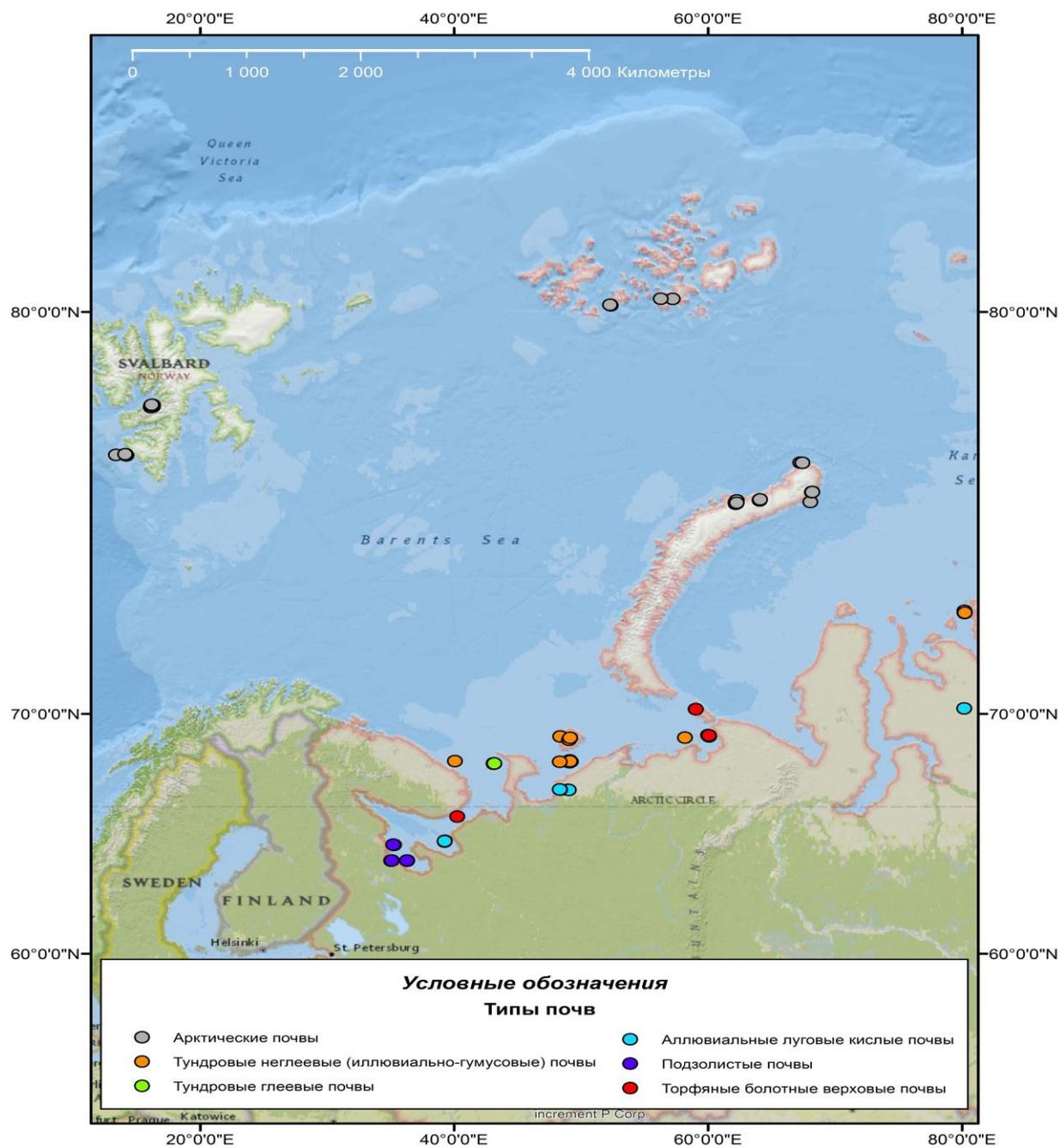


Рисунок Б.1- Карта основных типов почв Арктики

(составитель Сазонов А., аспирант МГУ)

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

### Физико-химические свойства почв Арктики и субарктики

Таблица В.1 – Агрохимическая характеристика почв Арктики и субарктики

Место закладки ПП	Горизонт	Гранулометрический состав			рН	Общая минерализация почв в пересчете на NaCl (мг/кг)	C <sub>орг</sub> в-ва, %
		Глина, %	Песок, %	Разновидность почвы			
<b>Арктические почвы</b>							
Пирамида 1РМ 2012 г.	1	15	85	Супесь	7,41	-	2,61
Пирамида 2РМ 2012 г.	1	0	0	Грунт	6,22	-	68,84
Пирамида 3РМ 2012 г.	1	0	0	Грунт	6,06	-	60,73
Пирамида 5РМ 2012 г.	1	87	13	Тяжелая глина	6,83	-	11,65
Пирамида 6РМ 2012 г.	1	58	42	Легкая глина	7,34	-	3,921
Баренцбург ВВ2 2012 г.	1	72	28	Средняя глина	5,62	-	6,09
Баренцбург ВВ3 2012 г.	1	0	0	Грунт	6,81	-	54,00 46
Баренцбург ВВ4 2012 г.	1	0	0	Грунт	5,16	-	40,86
Баренцбург 2012г.	2	22	78	Легкий суглинок	5,23	-	0,91
	3	35	65	Средний суглинок	5,46	-	1,16
Баренцбург 2, 2013 г.	1	33	67	Средний суглинок	6,12	-	-
Баренцбург мыс Норвежка 2 2014 г.	0(P)+0(1)	96,4	3,6	Тяжелая глина	5,27	1534,7	30,35
	BC	100	0	Тяжелая глина	5,12	709,45	8,102
Баренцбург мыс Норвежка 3 2014 г.	0+Ah	82,6	17,4	Тяжелая глина	4,31	926,55	7,88
	0(P)+0(1)	78,2	21,8	Средняя глина	5,15	14,5	31,78
	BC	99,6	0,4	Тяжелая глина	5,29	580,05	7,9
Баренцбург мыс Норвежка 4 2014 г.	0(P)+0(1)	65,4	34,5	Средняя глина	5,11	911,2	3,73
	BC	65,4	34,5	Средняя глина	5,01	255,7	11,19
Баренцбург мыс Норвежка 5 2014 г.	0(P)+0(1)	71,8	28,2	Средняя глина	5,26	395,7	7,05
	BC	80,1	19,9	Тяжелая глина	4,83	459,7	5,15
Баренцбург мыс Норвежка 6 2014 г.	0+Ah	91,8	8,2	Тяжелая глина	6,2	11,2	50,67
	BC	71,9	28,1	Средняя глина	4,57	376,2	3,85

Продолжение таблицы В.1

Место закладки ПП	Горизонт	Гранулометрический состав			рН	Общая минерализация почв в пересчете на NaCl (мг/кг)	C <sub>орг</sub> в-ва, %
		Глина, %	Песок, %	Разновидность почвы			
Баренцбург мыс Норвежка 7 2014 г.	0+Ah	87,1	12,9	Тяжелая глина	5,21	1968,8	37,44
	BC	48,4	51,6	Тяжелый суглинок	4,49	544,2	6,14
Баренцбург мыс Норвежка 8 2014 г.	0+Ah	94,4	5,6	Тяжелая глина	5,78	3275,55	4,77
	B	99,4	0,6	Тяжелая глина	4,13	559,2	5,15
Лонгийр 1, 2014 г.	B	88,7	11,3	Тяжелая глина	5,75	503,55	6,42
Лонгийр 2, 2014 г.	0+Ah	79,2	20,8	Средняя глина	5,67	1152,35	13,11
	B	89,9	10,1	Тяжелая глина	5,7	785,8	7,92
Баренцбург Вертолетная площадка. 1, 2014 г.	BC	100	0	Тяжелая глина	4,3	1251,45	12,49
Баренцбург Вертолетная площадка. 2, 2014 г.	BC	82,1	17,9	Тяжелая глина	4,46	1015,7	9,33
Баренцбург Вертолетная площадка. 3, 2014 г.	BC	100	0	Тяжелая глина	4,5	1186,95	11,42
o.Blomstrandhalvø ya 1, 2014 г.	0+Ah	80,1	19,9	Тяжелая глина	6,47	1331,2	33,46
	B	51	49	Легкая глина	7,14	1051,1	11,25
o.Blomstrandhalvø ya 2, 2014 г.	0+Ah	99,5	0,5	Тяжелая глина	5,89	1066	60,46
	B	85,2	14,8	Тяжелая глина	5,84	1379,35	16,84
НЗ, м. Желания 3МЖ 2012 г	1	16	84	Супесь	6,06	-	-
НЗ, м. Желания 6МЖ 2012 г	1	43	57	Тяжелый суглинок	6,91	-	-
НЗ, м. Желания 2013 г.	1	35	65	Средний суглинок	7,23	-	-
Русская Гавань (РГ Ксю) 2012 г.	1	37	63	Средний суглинок	7,21	-	-
НЗ, Русская Гавань 2012 г.	1	49	51	Тяжелый суглинок	5,89	-	-
	2	77	23	Средняя глина	6,83	-	-

Продолжение таблицы В.1

Место закладки ПП	Горизонт	Гранулометрический состав			рН	Общая минерализация почв в пересчете на NaCl (мг/кг)	C <sub>орг</sub> в-ва, %
		Глина, %	Песок, %	Разновидность почвы			
НЗ, Русская Гавань (1) 2013 г.	1	10	90	Связной песок	6,32	1549,5	4,34
	2	48	52	Тяжелый суглинок	6,25	2381,1	5,09
НЗ, Русская Гавань (2) 2013 г.	1	12	88	Супесь	6,19	1338,5	4,25
	2	35	68	Средний суглинок	6,53	733,5	6,42
НЗ, Русская Гавань (3) 2013 г.	1	34	59	Средний суглинок	6,24	2282,5	-
	2	39	61	Средний суглинок	5,42	802,6	0,99
Ледяная Бухта 2013 г.	1	3	97	Рыхлый песок	6,19	-	0,96
о.Гольфстрим 2012 г.	1	98	2	Тяжелая глина	6,61	-	11,87
	2	81	19	Легкая глина	7,53	-	-
	3	69	31	Средняя глина	8,25	-	6,06
ЗФИ 2012 г.	1	99	1	Тяжелая глина	6,74	-	-
ЗФИ, о.Хейса (1) 2013 г.	1	7	93	Связный песок	6,22	361,7	0,21
	2	4	96	Рыхлый песок	5,99	225,8	2,51
ЗФИ, о.Гукера (1) 2013 г.	2	16	84	Супесь	6,16	454,85	2,48
ЗФИ, о.Чамп (1) 2013 г.	1	14	86	Супесь	6,27	361,7	2,71
	2	12	88	Супесь	6,45	319,7	0,89
Мыс Желания 1 2015 г.	1(O <sub>ao</sub> )	82,8	17,2	Глина тяжелая	6,69	1088	16,49
	2(AC)	33	67	Суглинок средний	6,94	171,4	6,76
	3(C)	47	53	Суглинок тяжелый	7,62	129,9	2,38
	4(C)	35	65	Суглинок средний	8,2	180,7	2,11
Мыс Желания 2 2015 г.	1(C)	61	39	Глина легкая	7,5	151,3	3,14
о. Малый Оранский 1 2015 г.	1(AC)	65	35	Глина Средняя	8,41	280,7	3,02
	2(C <sub>1</sub> )	77	23	Глина Средняя	8,55	220,9	5,05
	3(C <sub>2</sub> )	79	21	Глина Средняя	8,01	173,9	6,79
о. Малый Оранский 2 2015 г.	1(HC)	70,3	29,7	Глина Средняя	6,43	3507,1	32,73
	2 (C(AC)?)	48	52	Суглинок тяжелый	8,07	480,3	6,54
о. Большой Оранский 1 2015 г.	O <sub>ao</sub>	88,8	11,2	Глина тяжелая	6,03	2621,3	33,56
о. Большой Оранский 2 2015 г.	O <sub>ao</sub>	87,1	12,9	Глина тяжелая	7,15	868,1	4,90

Продолжение таблицы В.1

Место закладки ПП	Горизонт	Гранулометрический состав			рН	Общая минерализация почв в пересчете на NaCl (мг/кг)	C <sub>орг</sub> в-ва, %
		Глина, %	Песок, %	Разновидность почвы			
ЗФИ,о.Гукера1 2015г.	1(O <sub>ao</sub> )	-	-	-	-	-	-
	2(AC)	82,6	17,4	Глина тяжелая	6,87	237,25	9,03
	3(C)	44	56	Суглинок тяжелый	7,41	89,05	4,49
	4(C)	48	52	Суглинок тяжелый	6,33	65,75	5,00
	5(C)	35	65	Суглинок средний	7,07	121,05	5,18
	пятно	38	62	Суглинок средний	6,69	150,85	4,96
ЗФИ,о.Гукера2 2015г.	O <sub>mr</sub>	53	47	Глина легкая	6,48	125,65	5,33
	C	43	57	Суглинок тяжелый	6,34	87,75	5,70
<b>Тундровые неглеевые (иллювиально-гумусовые) почвы</b>							
о.Колгуев 2012 г.	1	51	49	Средний суглинок	6,11	-	7,78
	2	45	55	Тяжелый суглинок	6,09	-	6,603
	3	78	22	Средняя глина	5,86	-	5,67
	4	26	74	Легкий суглинок	7,11	-	1,86
о. Колгуев 2 2013 г.	1	97	3	Тяжелая глина	4,07	846,1	10,35
	2	4	96	Тяжелая глина	4,26	682,5	7,203
о. Колгуев 2014 г.	1 (T)	9,3	2,7	Тяжелая глина	5,22	600,4	82,86
	2(G)	56	44	Легкая глина	5,48	256,85	15,98
	3(GG)	55,9	44,1	Легкая глина	6,01	188,3	9,54
м. Белый Нос, 2013 г.	2	23	77	Легкий суглинок	6,51	991,1	0,99
	3	27	73	Легкий суглинок	7,02	2292	6,57
м. Белый Нос 2014 г.	1(АН)	98,2	1,8	Тяжелая глина	7,34	553,7	9,89
	2(C <sub>ca</sub> )	96,8	3,2	Тяжелая глина	7,78	307,25	8,22
п. Диксон 2 2014 г.	1(O)	59,8	40,2	Легкая глина	6,54	124,95	21,52
	2(G)	96,6	3,4	Тяжелая глина	6,55	157,75	69,68
	3(CG)	97,5	2,5	Тяжелая глина	6,84	138,5	9,85
о. Матвеев 1 2015 г.	1(T <sub>1</sub> )	0	0	Торф	5,79	17779,05	52,27
	2(T <sub>1</sub> )	0	0	Торф	5,92	574,05	49,95
	3(T <sub>2</sub> )	0	0	Торф	5,84	425,55	48,10
	4(TG)	36	64	Суглинок средний	6,28	216,8	8,29
	5(G <sub>h</sub> )	91,8	8,02	Глина тяжелая	6,18	276,9	13,32
о. Матвеев 2 2015 г.	1(AO)	47	53	Суглинок тяжелый	6,63	365,6	8,82
	2(E <sub>g</sub> )	80,3	19,7	Глина тяжелая	7,28	52,4	0,78
	3([AT])	34	66	Суглинок средний	6,78	185,15	7,16
	4(BHF)	2	98	Песок рыхлый	6,89	73,55	1,16
	5(G)	93,7	6,3	Глина тяжелая	6,64	81,6	1,11

Продолжение таблицы В.1

Место закладки ПП	Горизонт	Гранулометрический состав			рН	Общая минерализация почв в пересчете на NaCl (мг/кг)	C <sub>орг</sub> в-ва, %
		Глина, %	Песок, %	Разновидность почвы			
о. Матвеев 3 2015 г.	1(T <sub>1</sub> )	0	0	Торф	6,54	384,7	7,93
	2(T <sub>2</sub> )	0	0	Торф	5,5	661,85	48,46
	3(T <sub>2</sub> )	0	0	Торф	5,16	1045,25	81,09
<b>Тундровые глеевые почвы</b>							
м. Канин Нос 2012 г.	1	0	0	Торф	-	-	24,79
	2	41	59	Суглинок	6,46	-	5,73
	3	14	86	Супесь	6,02	-	3,051
	4	55	45	Легкая глина	5,76	-	2,55
м. Канин Нос (юг), 2013г.	2	19	81	Легкий суглинок	6,31	455,1	0,69
	3	31	69	Средний суглинок	6,22	711	1,54
м. Канин Нос (север) 2013г.	2	20	80	Легкий суглинок	5,67	503	1,61
	3	7	93	Легкий суглинок	5,18	758,1	1,79
	4	32	68	Средний суглинок	6,09	935,4	3,57
мыс Белый Нос 1 2015 г.	1(OH <sub>1</sub> )	0	0	Торф	6,02	1375,4	82,49
	2(OH <sub>2</sub> )	81,7	18,3	Глина тяжелая	6,63	946,1	67,59
	3(AH)	93	7	Глина тяжелая	7,48	390,15	7,16
	4(BC <sub>Ca</sub> )	55	45	Глина легкая	7,84	338,95	6,88
мыс Белый Нос 2 2015 г.	1(T <sub>1</sub> )	0	0	Торф	6,84	719,6	40,61
	2(T <sub>2</sub> )	0	0	Торф	5,61	1153,4	76,36
	3(G)	77	23	Глина средняя	7,00	195,35	5,34
	4(BG)	62	38	Глина средняя	7,62	117,5	3,20
мыс Белый Нос 3 2015 г.	1(T <sub>1</sub> )	0	0	Торф	5,51	9011,4	81,79
	2(T <sub>2</sub> )	0	0	Торф	4,99	1653,6	82,10
	3(T <sub>3</sub> )	0	0	Торф	5,91	1773	75,35
	4(G)	94	6	Глина тяжелая	7,82	401,3	5,54
мыс Белый Нос 4 2015 г.	1(H <sub>1</sub> )	0	0	Торф	6,50	406,6	16,92
	2(H <sub>2</sub> )	0	0	Торф	5,72	1111,9	71,64
	3(G)	90	10	Глина тяжелая	6,48	100,15	3,65
мыс Белый Нос 5 2015 г.	1(H <sub>1</sub> )	98,5	1,5	Глина тяжелая	6,41	417,95	37,25
	2(H <sub>2</sub> )	0	0	Торф	5,16	2166,6	79,92
	3(H <sub>3</sub> )	0	0	Торф	6,23	843,6	77,04
	4(G)	97,7	2,3	Глина тяжелая	6,75	191,45	8,45
ЗФИ мыс Флора 1 2015 г.	1(O <sub>ao</sub> )	0	0	Торф	5,17	8399,8	79,77
	2(B <sub>g</sub> )	0	0	Торф	5,42	549,45	28,25
	3(G)	98,9	1,1	Глина тяжелая	6,25	253,1	12,55
	4(L <sub>Cg</sub> )	97,9	2,1	Глина тяжелая	6,01	661,6	17,05
ЗФИ мыс Флора 2 2015 г.	1(T <sub>mr</sub> )	0	0	Тоф	4,67	9440,1	80,32
	2(G)	96	4	Глина тяжелая	5,30	642	16,57
<b>Аллювиальные луговые кислые почвы</b>							
м. Зимнегорский 2012 г.	1	95	5	Тяжелая глина	-	-	45,09
	2	52	48	Легкая глина	6,93	-	-
	3	81	19	Тяжелая глина	6,03	-	10,39
	4	68	32	Средняя глина	6,62	-	6,45
п. Индига 2014 г.	1(O)	98,7	1,3	Тяжелая глина	6,8	251,5	71,76
	2(G <sub>cf</sub> )	91,4	8,6	Тяжелая глина	7,03	52,7	8,78
	3(G)	65,5	34,5	Средняя глина	6,01	434,7	7,45
	4(CRM)	97,2	2,8	Тяжелая глина	6,08	20,3	4,29

Продолжение таблицы В.1

Место закладки ПП	Горизонт	Гранулометрический состав			рН	Общая минерализация почв в пересчете на NaCl (мг/кг)	C <sub>орг</sub> в-ва, %
		Глина %	Песок %	Разновидность почвы			
п. Диксон 1 2014 г.	1(O)	69,8	30,2	Средняя глина	6,78	176,15	2,68
	2(G <sub>cf</sub> )	68	32	Средняя глина	5,94	106,5	4,65
	3(CRM)	72,6	27,4	Средняя глина	5,51	79,15	35,55
<b>Подзолистые почвы</b>							
д. Летняя Золотица 2012 г.	1	95	5	Тяжелая глина	6,12	-	15,77
	2	69	31	Средняя глина	5,85	-	2,42
	3	34	66	Средний суглинок	6,31	-	0,81
Соловецкие острова, 2012 г.	1	27	73	Легкий суглинок	7,09	-	4,08
	2	32	68	Средний суглинок	6,48	-	1,08
	3	26	74	Легкий суглинок	6,46	-	0,56
о. Кузова 2012 г.	1	0	0	Грунт	-	-	-
<b>Торфяные болотные верховые почвы</b>							
о. Сосновец 2012г.	1	0	0	Торф	-	-	76,32
	2	0	0	Торф	5,81	-	91,54
	3	0	0	Торф	-	-	
о. Вайгач, 2013г.	2	36	64	Средний суглинок	6,51	677,1	0,99
	3	59	41	Средний суглинок	5,23	896,1	0,501
о. Вайгач 2014 г.	1(C)	79,8	20,2	Глина средняя	6,5	172,8	22,91
	2(CR)	73,1	26,9	Глина средняя	6,57	107,65	16,73
п. Варнек 2014 г.	1(T <sub>h</sub> )	99,6	0,4	Глина тяжелая	6,93	661,65	71,97
	2(G)	99,3	0,7	Глина тяжелая	6,39	526,2	62,8
	3(CG)	100	0	Глина тяжелая	5,91	144,7	9,67
п. Варнек 1 2015 г.	1(O <sub>ao</sub> )	98,5	1,5	Глина тяжелая	6,84	830,3	29,53
	2(B <sub>g</sub> )	96,2	3,8	Глина тяжелая	8,00	282,9	6,79
	3(G)	94,9	5,1	Глина тяжелая	6,96	138,65	4,86
	4([AH])	93,6	6,4	Глина тяжелая	6,14	337,35	24,97
	5(D <sub>Ca</sub> )	76,9	23,1	Глина средняя	8,82	203,95	2,33
	(CG)	97,2	2,8	Глина тяжелая	7,89	97,05	3,93
	(Спятно <sub>Ca</sub> )	97,3	2,7	Глина тяжелая	8,76	253,9	3,53
п. Варнек 2 2015 г.	1(T <sub>1</sub> )	0	0	Торф	5,42	4838,8	81,87
	2(T <sub>2</sub> )	0	0	Торф	5,61	2021	75,80
	3(BG)	98,5	1,5	Глина тяжелая	6,64	77,85	6,16
	4(G)	91	9	Глина тяжелая	6,50	87,1	5,85

\*Примечание: « - » – данные отсутствуют.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

Валовое содержание и содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах Арктики и субарктики

Таблица Г.1 – Валовое содержание ТМ в почвах, мг/кг

Место закладки ПП	Гори- зонт	Валовое содержание ТМ, мг/кг											
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)	Стронций (Sr)
<b>Арктические почвы</b>													
Пирамида 1РМ 2012 г.	1	25	51	27	26	11	10,85	340,84	80	52	1,98	8,7	93
Пирамида 2РМ 2012 г.	1	594	94	83	91	10	10,5	131,69	106	135	4,56	128	333
Пирамида 3РМ 2012 г.	1	25	61	68	71	11	5,25	109,22	88	101	3,78	6	422
Пирамида 5РМ 2012 г.	1	25	176	53	54	21	17,5	1120,92	97	85	3,84	8	168
Пирамида 6РМ 2012 г.	1	25	74	43	40	21	12,25	154	80	67	3,3	7,6	110
Баренцбург ВВ2 2012 г.	1	25	63	27	25	32	18,55	292,04	89	171	4,32	6,1	203
Баренцбург ВВ3 2012 г.	1	25	71	39	39	13	19,25	654,58	106	195	4,08	6	1852
Баренцбург ВВ4 2012 г.	1	25	73	30	27	10	26,6	104,58	106	178	3,9	6	875
Баренцбург 2012 г.	2	-	61	31	29	-	17,5	358,66	102	178	4,14	-	257
	3	-	58	30	28	3	18,2	413,66	96	161	4,32	4	179
Баренцбург 2, 2013 г.	1	-	61	31	29	3	17,5	318,38	102	138	4,8	2	162
Баренцбург мыс Норвежка 3 2014 г.	ВС	-	54	25	22	-	14,14	158,03	86	171	4,5	-	193

Продолжение таблицы Г.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Валовое содержание ТМ, мг/кг											
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)	Стронций (Sr)
Баренцбург мыс Норвежка 4 2014 г.	0(P)+ 0(1)	0,8	110	36	35	0,3	16,48	673,94	95	171	3,96	-	452
	BC	8,3	61	30	28	9,4	17,05	295,14	89	191	4,56	-	157
Баренцбург мыс Норвежка 5 2014 г.	0(P)+ 0(1)	2,4	59	29	27	0,7	12,43	206,06	88	146	3,54	-	296
	BC	-	57	28	25	-	16,28	212,25	88	176	3,72	-	155
Баренцбург мыс Норвежка 6 2014 г.	0+Ah	25	107	38	38	20	19,11	608,87	112	222	4,92	-	1262
	BC	-	60	29	26	2	16,41	209,93	96	188	4,2	-	147
Баренцбург мыс Норвежка 7 2014 г.	0+Ah	0,2	85	42	42	5	15,65	381,13	89	149	3,72	-	682
	BC	3,6	59	28	26	5,6	16,28	221,55	98	210	4,26	-	164
Баренцбург мыс Норвежка 8 2014 г.	0+Ah	13	85	33	31	1	17,85	554,65	103	181	4,32	-	1065
	B	1,5	58	29	26	1	16,8	211,48	94	199	4,08	-	161
Лонгийр 1, 2014 г.	B	21	80	35	34	10,5	19,11	315,67	104	177	4,62	-	212
Лонгийр 2, 2014 г.	B	-	67	35	34	4	18,83	293,59	98	154	4,8	-	249
Баренцбург Вертолетная площадка. 1, 2014 г.	BC	-	88	38	38	8	26,36	584,08	125	225	4,14	-	154
Баренцбург Вертолетная площадка. 2, 2014 г.	BC	-	97	44	44	12	26,46	489,58	120	220	4,92	-	115

Продолжение таблицы Г.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Валовое содержание ТМ, мг/кг											
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)	Стронций (Sr)
Баренцбург Вертолетная площадка. 3, 2014 г.	BC	-	100	49	50	66	24,33	439,23	119	209	4,56	-	121
о. Blomstrandhalvøya 1, 2014 г.	0+Ah	-	76	27	24	4	13,79	934,23	66	56	2,82	-	96
	B	-	44	26	22	1	13,16	536,83	63	62	3,54	-	76
о. Blomstrandhalvøya 2, 2014 г.	0+Ah	-	78	25	22	5	10,71	822,68	53	35	1,8	-	108
	B	-	80	31	29	7	16,14	965,99	77	82	4,14	-	76
НЗ, м. Желания 3МЖ, 2012 г	1	-	48	25	22	3	12,6	725,07	69	57	2,52	-	52
НЗ, м. Желания 6МЖ, 2012 г	1	37	131	43	44	13	23,8	1434,65	85	125	4,56	10	67
НЗ, м. Желания, 2013 г.	1	-	80	44	44	13	24,85	1790,21	90	128	4,86	-	62
Русская Гавань (РГ Ксю), 2012 г.	1	25	93	46	48	48	24,15	481,83	98	153	4,2	6	158
НЗ, Русская Гавань 2012 г.	1	25	45	31	30	13	17,85	493,45	113	122	4,26	6	115
	2	25	75	39	38	17	22,4	667,75	88	109	4,2	6	91
НЗ, Русская Гавань (1), 2013 г.	2	-	95	39	39	17	25,9	734,37	97	156	5,04	-	60
НЗ, Русская Гавань (2), 2013 г.	1	-	79	32	30	5	21,7	561,62	84	116	4,68	-	75
	2	-	85	36	35	9	23,45	752,18	88	117	4,44	-	65

Продолжение таблицы Г.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Валовое содержание ТМ, мг/кг											
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)	Стронций (Sr)
НЗ, Русская Гавань (3), 2013 г.	2	-	95	40	40	21	25,9	814,93	92	130	5,22	-	59
Ледяная Бухта, 2013 г.	1	-	45	24	21	13	11,55	279,65	75	77	2,28	4	244
о.Гольфстрим, 2012 г.	1	25	75	41	41	12	16,8	360,21	90	141	3,48	6	221
	2	25	77	41	41	15	17,5	370,28	89	139	3,6	6	262
	3	25	38	20	10	10	4,55	329,23	80	10	1,5	6	131
ЗФИ, 2012 г.	1	25	77	41	42	21	17,5	363,31	83	122	3,6	6	256
ЗФИ, о.Хейса (1), 2013 г.	1	-	49	33	32	18	21,35	801,76	91	178	6,18	-	110
	2	9	43	22	18	13	23,45	777,75	61	209	6,6	5	121
ЗФИ, о.Гукера (1), 2013 г.	2	5	65	63	67	64	42	1375,00	127	289	8,52	3	227
ЗФИ, о.Чамп (1), 2013 г.	1	-	68	29	27	13	27,3	1037,25	66	143	6,12	5	216
	2	3	58	25	22	7	25,55	989,23	89	148	6,48	5	175
Мыс Желания 1 2015 г.	1(О <sub>ао</sub> )	16	197	6	9	13	12887	230	63	67	2237	2	5
	2(АС)	0	3	21	14	9	18749	171	0	60	1628	0	0
	3(С)	6	33	8	15	8	20322	632	88	80	3246	0	0
	4(С)	7	34	8	15	8	19974	655	103	79	3273	0	7
Мыс Желания 2 2015 г.	1(С)	11	71	23	36	12	34335	850	132	99	4627	0	39
о. Малый Оранский 1 2015 г.	1(АС)	5	43	2	10	11	16212	848	22	71	2439	0	33
	2(С <sub>1</sub> )	4	36	12	19	8	29758	240	34	88	3953	0	266
	3(С <sub>2</sub> )	6	51	22	30	11	41835	204	56	103	5147	2	443

Продолжение таблицы Г.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Валовое содержание ТМ, мг/кг											
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)	Стронций (Sr)
о. Малый Оранский 2 2015 г.	1(НС)	0	22	1	2	26	14470	311	0	64	1907	0	0
	2 (С(АС) ?)	0	26	0	4	5	11074	152	12	67	2124	0	0
о. Большой Оранский 1 2015 г.	O <sub>ao</sub>	0	40	3	10	6	14381	217	10	68	2309	0	55
о. Большой Оранский 2 2015 г.	O <sub>ao</sub>	0	32	6	7	6	11835	431	0	65	1945	0	33
ЗФИ,о.Гукера1 2015г.	1(O <sub>ao</sub> )	4	82	90	45	37	46028	620	133	128	5706	9	128
	2(АС)	4	78	141	53	50	54951	708	138	147	6715	15	133
	3(С)	2	71	85	41	20	50283	664	135	141	6283	0	96
	4(С)	26	70	114	46	32	55157	826	156	148	6882	7	122
	5(С)	2	71	115	53	39	58658	898	140	155	7102	11	134
	пятно	2	76	106	53	38	60674	867	149	168	7789	9	140
ЗФИ,о.Гукера2 2015г.	O <sub>mr</sub>	1	68	89	41	21	50444	692	109	140	6186	0	101
	С	0	73	102	52	25	63480	975	142	159	7260	0	115
Тундровые неглеевые (иллювиально-гумусовые) почвы													
о. Колгуев, 2012 г.	1	25	82	34	32	25	16,8	1120,92	93	83	3,6	6	227
	2	25	61	32	31	20	14,7	557,75	86	82	3	6	228
	3	25	21	20	14	37	9,45	385,77	80	35	1,98	6	197
	4	25	23	20	13	14	7,7	257,18	80	41	1,8	6	221

Продолжение таблицы Г.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Валовое содержание ТМ, мг/кг											
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)	Стронций (Sr)
о. Колгуев 2, 2013 г.	2	82	76	22	18	167	5,6	32,54	45	-	0,3	-	79
о. Колгуев 2014 г.	1 (Т)	39	172	26	23	13	9,275	962,89	54	14	0,558	-	127
	2(G)	-	26	24	21	-	7,875	113,10	78	65	2,592	-	194
	3(GG)	-	30	25	22	-	7,875	147,96	74	69	2,898	-	201
м. Белый Нос, 2013 г.	2	-	34	21	17	-	9,1	283,52	71	48	2,04	-	126
м. Белый Нос 2014 г.	1(АН)	-	90	9	3	355	193,55	30438,24	9	-	-	-	77
	2(C <sub>ca</sub> )	20	44	41	42	-	19,425	648,38	53	24	0,126	-	76
п. Диксон 2 2014 г.	1(O)	-	93	48	48	-	20,02	2113,24	80	81	2,832	-	195
	2(G)	11	58	44	44	26	19,67	733,59	113	162	5,802	-	248
	3(CG)	-	54	45	46	7	19,32	752,96	109	132	5,064	-	259
о. Матвеев 1 2015 г.	1(T <sub>1</sub> )	16	13	0	5	15	12240	451	7	63	1859	2	141
	2(T <sub>1</sub> )	0	1	1	3	17	8569	0	160	67	2367	2	123
	3(T <sub>2</sub> )	0	0	12	2	30	7272	0	47	63	1953	12	102
	4(TG)	0	0	0	3	4	6419	0	13	61	1822	0	32
	5(G <sub>h</sub> )	2	3	0	5	23	9290	0	141	70	2741	6	186
о. Матвеев 2 2015 г.	1(AO)	4	20	0	5	6	11648	230	62	67	2199	0	116
	2(E <sub>g</sub> )	15	1	5	4	26	8007	92	72	68	2533	0	187
	3([AT])	0	5	0	4	5	9939	219	19	65	2060	0	124
	4(BHF)	0	5	0	4	5	11490	62	23	65	2003	0	142
	5(G)	5	13	10	11	12	12069	229	90	72	2705	0	190

Продолжение таблицы Г.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Валовое содержание ТМ, мг/кг											
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)	Стронций (Sr)
о. Матвеев 3 2015 г.	1(T <sub>1</sub> )	10	14	0	8	93	11295	205	34	67	2320	16	195
	2(T <sub>2</sub> )	0	3	0	3	23	7963	2	7	62	1809	5	84
	3(T <sub>2</sub> )	0	46	40	41	13	10770	0	0	61	1668	3	97
Тундровые глеевые почвы													
м. Канин Нос 2012 г.	1	25	10	20	11	180	10,85	1556,27	80	19	1,5	6	145
	2	25	10	20	10	25	3,85	254,86	80	10	1,5	6	139
	3	25	10	20	10	27	3,85	272,68	80	17	1,5	6	157
	4	25	10	20	10	60	3,5	268,03	80	19	1,5	6	158
м. Канин Нос (юг), 2013г.	2	2	34	26	23	-	9,1	200,63	73	53	2,7	6	189
	3	-	64	42	42	9	19,25	672,39	96	131	4,2	-	149
м. Канин Нос (север), 2013г.	3	6	24	21	18	2	7	249,44	69	45	2,04	7	205
	4	-	64	45	45	6	18,9	608,87	114	132	4,08	2	145
мыс Белый Нос 1 2015 г.	1(OH <sub>1</sub> )	2	92	63	31	26	37720	556	67	107	4389	0	177
	2(OH <sub>2</sub> )	0	69	1	5	8	15538	703	21	71	2402	0	4
	3(АН)	0	17	12	1	9	8998	355	0	62	1727	0	0
	4(BC <sub>Ca</sub> )	5	50	12	29	11	26821	467	108	91	3828	0	155
мыс Белый Нос 2 2015 г.	1(T <sub>1</sub> )	1	42	0	8	10	15891	687	24	71	2469	0	49
	2(T <sub>2</sub> )	13	1	44	39	5	21555	111	2	63	1761	0	0
	3(G)	5	25	8	18	7	18521	103	98	88	4033	0	198
	4(BG)	2	92	63	31	26	37720	556	67	107	4389	0	177

Продолжение таблицы Г.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Валовое содержание ТМ, мг/кг											
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)	Стронций (Sr)
мыс Белый Нос 3 2015 г.	1(T <sub>1</sub> )	13	119	16	10	23	17596	3076	5	63	1840	3	59
	2(T <sub>2</sub> )	0	8	1	2	12	23947	63	0	60	1619	0	5
	3(T <sub>3</sub> )	0	3	14	7	22	16755	3	0	62	1731	6	5
	4(G)	8	34	14	21	11	20205	108	88	89	4027	0	199
мыс Белый Нос 4 2015 г.	1(H <sub>1</sub> )	7	57	42	15	48	17992	1619	38	76	2860	14	149
	2(H <sub>2</sub> )	0	4	0	7	14	15582	43	0	60	1648	0	6
	3(G)	7	33	12	22	9	19731	126	103	89	4084	0	205
мыс Белый Нос 5 2015 г.	1(H <sub>1</sub> )	11	161	7	13	23	16800	3706	29	72	2540	2	119
	2(H <sub>2</sub> )	0	19	12	10	269	20147	319	0	61	1709	0	19
	3(H <sub>3</sub> )	0	1	7	15	18	17069	103	0	62	1754	0	17
	4(G)	7	40	24	28	12	19965	140	68	88	3842	0	215
ЗФИ мыс Флора 1 2015 г.	1(O <sub>ао</sub> )	0	60	76	31	44	20212	273	22	77	2570	0	326
	2(B <sub>g</sub> )	0	89	58	30	21	35707	556	65	104	4230	0	181
	3(G)	5	104	85	57	27	54644	641	123	142	6583	1	283
	4(⊥C <sub>g</sub> )	4	100	99	61	27	52345	514	122	140	6392	1	298
ЗФИ мыс Флора 2 2015 г.	1(T <sub>mr</sub> )	0	68	59	22	44	19492	1951	23	75	2258	4	308
	2(G)	5	108	97	51	37	47540	456	111	140	6352	4	282

Продолжение таблицы Г.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Валовое содержание ТМ, мг/кг											
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)	Стронций (Sr)
Аллювиальные луговые кислые почвы													
м. Зимнегорский 2012 г.	1	25	111	24	20	10	12,25	591,06	80	33	1,8	6	262
	2	25	84	30	26	10	16,8	570,92	81	75	3,3	6	181
	3	25	62	28	26	19	16,8	532,96	80	78	3	6	143
	4	25	49	27	24	11	15,4	437,68	80	70	3	6	160
п. Индига, 2014 г.	1(O)	-	50	27	25	8	12,32	724,30	69	59	2,208	-	141
	2(G <sub>cf</sub> )	-	31	21	17	-	15,715	412,11	89	97	3,402	-	144
	3(G)	-	35	25	23	3	10,01	305,99	91	90	3,27	-	150
	4(CRM )	-	32	26	23	-	10,5	321,48	95	77	2,868	-	149
п. Диксон 1 2014 г.	1(O)	330	134	29	27	-	8,33	768,45	77	25	0,786	-	116
	2(G <sub>cf</sub> )	-	57	43	43	15	20,265	779,30	115	148	5,454	-	258
	3 (CRM)	5	57	47	48	12	18,445	600,35	116	151	5,124	-	259
Подзолистые почвы													
д. Летняя Золотица, 2012 г.	1	25	12	20	12	23	4,55	190,56	80	13	1,5	6	310
	2	25	10	20	10	35	3,85	160,35	80	10	1,5	6	341
	3	25	10	20	10	45	4,2	185,92	80	10	1,5	6	249

Продолжение таблицы Г.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Валовое содержание ТМ, мг/кг											
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)	Стронций (Sr)
Соловецкие острова, 2012 г.	1	25	10	20	10	15	0,875	134,79	80	10	1,5	6	356
	2	25	10	20	10	28	4,2	160,35	80	10	1,5	7,3	379
	3	25	10	20	11	25	4,55	159,58	80	10	1,5	6	360
о. Кузова 2012 г.	1	25	94	58	62	10	18,55	1454,79	89	40	1,86	6	194
Торфяные болотные верховые почвы													
о. Сосновец 2012г.	1	12	66	20	11	30	4,2	159,58	80	10	1,5	6	127
	2	25	125	20	11	12	3,5	77,46	80	10	1,5	6	103
	3	25	10	70	76	458,5	3,5	77,46	80	10	1,5	6	136
о. Вайгач, 2013г.	2	-	46	34	32	2	12,95	440,00	105	96	3,78	-	138
	3	-	55	39	38	5	16,45	519,79	103	123	3,9	-	159
о. Вайгач 2014 г.	1(С)	-	90	57	60	6	19,46	901,69	107	113	3,546	-	119
	2(СR)	-	71	62	66	6	21	824,23	116	126	4,122	-	130
п. Варнек 2014 г.	1(Т <sub>h</sub> )	8	32	27	24	2	8,89	230,85	88	78	3,456	-	191
	2(С)	-	24	19	15	13	6,335	213,03	63	41	1,716	-	127
	3(СG)	-	31	21	18	-	9,52	458,59	70	65	2,268	-	131
п. Варнек 1 2015 г.	1(О <sub>ао</sub> )	3	106	14	10	31	16335	456	19	73	2502	0	75
	2(В <sub>g</sub> )	7	37	12	28	12	28373	352	210	97	4851	0	212
	3(С)	7	37	15	28	12	23590	156	72	92	4012	0	213
	4([АН])	3	33	7	16	8	20972	268	43	80	3086	0	127
	5(С <sub>Ca</sub> )	4	40	12	23	11	23241	342	77	85	3484	3	355
	(СG)	7	33	28	25	9	24512	205	93	93	4157	0	229
	(Спятн о <sub>Ca</sub> )	5	41	13	27	10	24718	290	73	87	3707	0	295

Продолжение таблицы Г.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Валовое содержание ТМ, мг/кг											
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)	Стронций (Sr)
п. Варнек 2 2015 г.	1(T <sub>1</sub> )	19	38	13	13	20	12015	1057	6	64	1912	0	237
	2(T <sub>2</sub> )	1	7	14	13	18	13892	309	17	66	2081	0	259
	3(BG)	7	26	10	21	8	26088	33	7150	118	8128	0	226
	4(G)	6	28	17	41	8	24963	98	444	105	6405	0	223
ПДК [2]		32,0	87,0	53,0	85,0	50,0	н/д	1500,0	н/д	150,0	н/д	2,0	н/д
Кларк в почве *		10,0	50,0	20,0	40,0	8,0	46500	850,0	200	100	6000	6,5	400

\*по данным А.П. Виноградова ; н/д-нет данных; «-» - отсутствие элемента в образце.

Таблица Г.2 – Содержание подвижных форм ТМ в почвах, мг/кг

Место отбора ПП	Горизонт	Содержание подвижных форм ТМ в мг/кг					
		Свинец (Pb)	Медь (Cu)	Цинк (Zn)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Марганец (Mn)
<b>Арктические почвы</b>							
ЗФИ, о.Гукера, 2013 г.	1	0,249	36,5	0,199	0,714	0,295	100
ЗФИ, о.Гукера, 2012 г.	1	1,736	5,22	1,71	2,001	1,218	71,5
ЗФИ, о.Чамп, 2013г.	1	0,394	14	1,92	1,291	0,125	61,9
З, Русская Гаваньюнь 2012 г.	1	2,136	5,96	4,74	0,48	0,715	38,9
НЗ, Русская Гавань 11.06.2012	1	1,196	2,14	1,35	0,447	1,058	62,7
НЗ, м.Желания В7-2, 20.06.2012	1	0,976	36,5	1,09	0,518	0,501	62,6
<b>Тундровые неглеевые (иллювиальные-гумусовые) почвы</b>							
о.Колгуев, п.Бугрино 1, 2013г.	1	7,586	2,71	11,89	0,149	2,438	20,6
<b>Тундровые глеевые</b>							
м.Канин Нос юг, 2013г.	1	0,835	1,72	1,07	0,43	0,727	52,6
м.Канин Нос север, 2013г.	1	1,256	1,67	4,73	0,712	0,749	48,9
<b>Подзолистые почвы</b>							
Летняя Золотица 08.07.2012	1	2,626	0,72	3,75	0,152	0,048	12,2
арх.Кузова, о.Русский Кузов, 2012 г.	1	1,896	2,83	13,29	0,742	0,765	393
<b>Торфяные болотные верховые почвы</b>							
о.Вайгач, 2013г.	1	2,086	1,25	18,29	0,065	0,156	167
ПДК [МУ 2.1.7.730-99]		6,0	3,0	23,0	4,0	5,0	140,0

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(обязательное)

Коэффициент концентрации и суммарный показатель загрязнения в почве и растительном покрове Арктики и субарктики

Таблица Д.1 – Коэффициент концентрации ( $K_c$ ) относительно кларка и суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) (валовое содержание) ТМ различных типов почв Арктики и субарктики

Место закладки ПП	Горизонт	Коэффициент концентрации ( $K_c$ )												$Z_c$
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)	Стронций (Sr)	
<b>Арктические почвы</b>														
Пирамида 1РМ 2012 г.	1	2,5000	1,0200	1,3500	0,6500	1,3750	0,0002	0,4010	0,4000	0,5200	0,0003	1,3385	0,2325	3,58
Пирамида 2РМ 2012 г.	1	59,4000	1,8800	4,1500	2,2750	1,2500	0,0002	0,1549	0,5300	1,3500	0,0008	19,6923	0,8325	83,99
Пирамида 3РМ 2012 г.	1	2,5000	1,2200	3,4000	1,7750	1,3750	0,0001	0,1285	0,4400	1,0100	0,0006	0,9231	1,0550	6,33
Пирамида 5РМ 2012 г.	1	2,5000	3,5200	2,6500	1,3500	2,6250	0,0004	1,3187	0,4850	0,8500	0,0006	1,2308	0,4200	9,19
Пирамида 6РМ 2012 г.	1	2,5000	1,4800	2,1500	1,0000	2,6250	0,0003	0,1812	0,4000	0,6700	0,0006	1,1692	0,2750	5,92
Баренцбург ВВ2 2012 г.	1	2,5000	1,2600	1,3500	0,6250	4,0000	0,0004	0,3436	0,4450	1,7100	0,0007	0,9385	0,5075	6,82
Баренцбург ВВ3 2012 г.	1	2,5000	1,4200	1,9500	0,9750	1,6250	0,0004	0,7701	0,5300	1,9500	0,0007	0,9231	4,6300	9,07
Баренцбург ВВ4 2012 г.	1	2,5000	1,4600	1,5000	0,6750	1,2500	0,0006	0,1230	0,5300	1,7800	0,0007	0,9231	2,1875	5,67
Баренцбург 2012г.	2	0,0000	1,2200	1,5500	0,7250	0,0000	0,0004	0,4220	0,5100	1,7800	0,0007	0,0000	0,6425	2,55
	3	0,0000	1,1600	1,5000	0,7000	0,3750	0,0004	0,4867	0,4800	1,6100	0,0007	0,6154	0,4475	2,27
Баренцбург 2, 2013 г.	1	0,0000	1,2200	1,5500	0,7250	0,3750	0,0004	0,3746	0,5100	1,3800	0,0008	0,3077	0,4050	2,15

Продолжение таблицы Д.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Коэффициент концентрации (K <sub>c</sub> )											Z <sub>c</sub>	
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)		Строн- ций (Sr)
Баренцбург мыс Норвежка 3 2014 г.	BC	0,0000	1,0800	1,2500	0,5500	0,0000	0,0003	0,1859	0,4300	1,7100	0,0008	0,0000	0,4825	2,04
Баренцбург мыс Норвежка 4 2014 г.	0(P)+0 (1)	0,0800	2,2000	1,8000	0,8750	0,0375	0,0004	0,7929	0,4750	1,7100	0,0007	0,0000	1,1300	3,84
	BC	0,8300	1,2200	1,5000	0,7000	1,1750	0,0004	0,3472	0,4450	1,9100	0,0008	0,0000	0,3925	2,80
Баренцбург мыс Норвежка 5 2014 г.	0(P)+0 (1)	0,2400	1,1800	1,4500	0,6750	0,0875	0,0003	0,2424	0,4400	1,4600	0,0006	0,0000	0,7400	2,09
	BC	0,0000	1,1400	1,4000	0,6250	0,0000	0,0004	0,2497	0,4400	1,7600	0,0006	0,0000	0,3875	2,30
Баренцбург мыс Норвежка 6 2014 г.	0+Ah	2,5000	2,1400	1,9000	0,9500	2,5000	0,0004	0,7163	0,5600	2,2200	0,0008	0,0000	3,1550	9,41
	BC	0,0000	1,2000	1,4500	0,6500	0,2500	0,0004	0,2470	0,4800	1,8800	0,0007	0,0000	0,3675	2,53
Баренцбург мыс Норвежка 7 2014 г.	0+Ah	0,0200	1,7000	2,1000	1,0500	0,6250	0,0003	0,4484	0,4450	1,4900	0,0006	0,0000	1,7050	2,94
	BC	0,3600	1,1800	1,4000	0,6500	0,7000	0,0004	0,2606	0,4900	2,1000	0,0007	0,0000	0,4100	2,68
Баренцбург мыс Норвежка 8 2014 г.	0+Ah	1,3000	1,7000	1,6500	0,7750	0,1250	0,0004	0,6525	0,5150	1,8100	0,0007	0,0000	2,6625	5,12
	B	0,1500	1,1600	1,4500	0,6500	0,1250	0,0004	0,2488	0,4700	1,9900	0,0007	0,0000	0,4025	2,60
Лонгийр 1, 2014 г.	B	2,1000	1,6000	1,7500	0,8500	1,3125	0,0004	0,3714	0,5200	1,7700	0,0008	0,0000	0,5300	4,53
Лонгийр 2, 2014 г.	B	0,0000	1,3400	1,7500	0,8500	0,5000	0,0004	0,3454	0,4900	1,5400	0,0008	0,0000	0,6225	2,63
Баренцбург Вертолетная площадка. 1, 2014 г.	BC	0,0000	1,7600	1,9000	0,9500	1,0000	0,0006	0,6872	0,6250	2,2500	0,0007	0,0000	0,3850	2,66

Продолжение таблицы Д.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Коэффициент концентрации (K <sub>c</sub> )											Z <sub>c</sub>	
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)		Строн- ций (Sr)
Баренцбург Вертолетная площадка. 2, 2014 г.	BC	0,0000	1,9400	2,2000	1,1000	1,5000	0,0006	0,5760	0,6000	2,2000	0,0008	0,0000	0,2875	4,94
Баренцбург Вертолетная площадка. 3, 2014 г.	BC	0,0000	2,0000	2,4500	1,2500	8,2500	0,0005	0,5167	0,5950	2,0900	0,0008	0,0000	0,3025	12,0 4
о. Blomstrandhalvø ya 1, 2014 г.	0+Ah	0,0000	1,5200	1,3500	0,6000	0,5000	0,0003	1,0991	0,3300	0,5600	0,0005	0,0000	0,2400	1,96
	B	0,0000	0,8800	1,3000	0,5500	0,1250	0,0003	0,6316	0,3150	0,6200	0,0006	0,0000	0,1900	1,30
о. Blomstrandhalvø ya 2, 2014 г.	0+Ah	0,0000	1,5600	1,2500	0,5500	0,6250	0,0002	0,9679	0,2650	0,3500	0,0003	0,0000	0,2700	1,81
	B	0,0000	1,6000	1,5500	0,7250	0,8750	0,0003	1,1365	0,3850	0,8200	0,0007	0,0000	0,1900	2,28
НЗ, м. Желания 3МЖ 2012 г	1	0,0000	0,9600	1,2500	0,5500	0,3750	0,0003	0,8530	0,3450	0,5700	0,0004	0,0000	0,1300	1,25
НЗ, м. Желания 6МЖ 2012 г	1	3,7000	2,6200	2,1500	1,1000	1,6250	0,0005	1,6878	0,4250	1,2500	0,0008	0,0000	0,1675	8,13
НЗ, м. Желания 2013 г.	1	0,0000	1,6000	2,2000	1,1000	1,6250	0,0005	2,1061	0,4500	1,2800	0,0008	0,0000	0,1550	4,91
Русская Гавань (РГ Ксю) 2012 г.	1	2,5000	1,8600	2,3000	1,2000	6,0000	0,0005	0,5669	0,4900	1,5300	0,0007	0,9231	0,3950	9,09
НЗ, Русская Гавань 2012 г.	1	2,5000	0,9000	1,5500	0,7500	1,6250	0,0004	0,5805	0,5650	1,2200	0,0007	0,9231	0,2875	3,89
	2	2,5000	1,5000	1,9500	0,9500	2,1250	0,0005	0,7856	0,4400	1,0900	0,0007	0,9231	0,2275	5,16

Продолжение таблицы Д.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Коэффициент концентрации (K <sub>c</sub> )											Z <sub>c</sub>	
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)		Строн- ций (Sr)
НЗ, Русская Гавань (1) 2013 г.	2	0,0000	1,9000	1,9500	0,9750	2,1250	0,0006	0,8640	0,4850	1,5600	0,0008	0,0000	0,1500	4,53
НЗ, Русская Гавань (2) 2013 г.	1	0,0000	1,5800	1,6000	0,7500	0,6250	0,0005	0,6607	0,4200	1,1600	0,0008	0,0000	0,1875	2,34
	2	0,0000	1,7000	1,8000	0,8750	1,1250	0,0005	0,8849	0,4400	1,1700	0,0007	0,0000	0,1625	2,79
НЗ, Русская Гавань (3) 2013 г.	2	0,0000	1,9000	2,0000	1,0000	2,6250	0,0006	0,9587	0,4600	1,3000	0,0009	0,0000	0,1475	4,82
Ледяная Бухта 2013 г.	1	0,0000	0,9000	1,2000	0,5250	1,6250	0,0002	0,3290	0,3750	0,7700	0,0004	0,6154	0,6100	1,82
о.Гольфстрим 2012 г.	1	2,5000	1,5000	2,0500	1,0250	1,5000	0,0004	0,4238	0,4500	1,4100	0,0006	0,9231	0,5525	4,98
	2	2,5000	1,5400	2,0500	1,0250	1,8750	0,0004	0,4356	0,4450	1,3900	0,0006	0,9231	0,6550	5,38
	3	2,5000	0,7600	1,0000	0,2500	1,2500	0,0001	0,3873	0,4000	0,1000	0,0003	0,9231	0,3275	2,75
ЗФИ 2012 г.	1	2,5000	1,5400	2,0500	1,0500	2,6250	0,0004	0,4274	0,4150	1,2200	0,0006	0,9231	0,6400	5,98
ЗФИ, о.Хейса (1) 2013 г.	1	0,0000	0,9800	1,6500	0,8000	2,2500	0,0005	0,9432	0,4550	1,7800	0,0010	0,0000	0,2750	3,68
	2	0,9000	0,8600	1,1000	0,4500	1,6250	0,0005	0,9150	0,3050	2,0900	0,0011	0,7692	0,3025	2,81
ЗФИ, о.Гукера (1) 2013 г.	2	0,5000	1,3000	3,1500	1,6750	8,0000	0,0009	1,6176	0,6350	2,8900	0,0014	0,4615	0,5675	13,6 3
ЗФИ, о.Чамп (1) 2013 г.	1	0,0000	1,3600	1,4500	0,6750	1,6250	0,0006	1,2203	0,3300	1,4300	0,0010	0,7692	0,5400	3,08
	2	0,3000	1,1600	1,2500	0,5500	0,8750	0,0005	1,1638	0,4450	1,4800	0,0011	0,7692	0,4375	2,05
Мыс Желания 1 2015 г.	1(О <sub>ао</sub> )	1,6000	3,9400	0,3000	0,2250	1,6250	0,2771	0,2706	0,3150	0,6700	0,3728	0,3077	0,0125	5,16
	2(АС)	0,0000	0,0600	1,0500	0,3500	1,1250	0,4032	0,2012	0,0000	0,6000	0,2713	0,0000	0,0000	1,17
	3(С)	0,6000	0,6600	0,4000	0,3750	1,0000	0,4370	0,7435	0,4400	0,8000	0,5410	0,0000	0,0000	0
	4(С)	0,7000	0,6800	0,4000	0,3750	1,0000	0,4295	0,7706	0,5150	0,7900	0,5455	0,0000	0,0175	0
Мыс Желания 2 2015 г.	1(С)	1,1000	1,4200	1,1500	0,9000	1,5000	0,7384	1,0000	0,6600	0,9900	0,7712	0,0000	0,0975	2,17

Продолжение таблицы Д.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Коэффициент концентрации (K <sub>c</sub> )											Z <sub>c</sub>	
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)		Строн- ций (Sr)
о. Малый Оранский 1 2015 г.	1(AC)	0,5000	0,8600	0,1000	0,2500	1,3750	0,3486	0,9976	0,1100	0,7100	0,4065	0,0000	0,0825	1,37
	2(C <sub>1</sub> )	0,4000	0,7200	0,6000	0,4750	1,0000	0,6400	0,2824	0,1700	0,8800	0,6588	0,0000	0,6650	0
	3(C <sub>2</sub> )	0,6000	1,0200	1,1000	0,7500	1,3750	0,8997	0,2400	0,2800	1,0300	0,8578	0,3077	1,1075	1,63
о. Малый Оранский 2 2015 г.	1(HC)	0,0000	0,4400	0,0500	0,0500	3,2500	0,3112	0,3659	0,0000	0,6400	0,3178	0,0000	0,0000	3,25
	2 (C(AC ?))	0,0000	0,5200	0,0000	0,1000	0,6250	0,2382	0,1788	0,0600	0,6700	0,3540	0,0000	0,0000	0
о. Большой Оранский 1 2015 г.	O <sub>ao</sub>	0,0000	0,8000	0,1500	0,2500	0,7500	0,3093	0,2553	0,0500	0,6800	0,3848	0,0000	0,1375	0
о. Большой Оранский 2 2015 г.	O <sub>ao</sub>	0,0000	0,6400	0,3000	0,1750	0,7500	0,2545	0,5071	0,0000	0,6500	0,3242	0,0000	0,0825	0
ЗФИ,о.Гукера1 2015г.	1(O <sub>ao</sub> )	0,4000	1,6400	4,5000	1,1250	4,6250	0,9898	0,7294	0,6650	1,2800	0,9510	1,3846	0,3200	9,55
	2(AC)	0,4000	1,5600	7,0500	1,3250	6,2500	1,1817	0,8329	0,6900	1,4700	1,1192	2,3077	0,3325	15,3
	3(C)	0,2000	1,4200	4,2500	1,0250	2,5000	1,0814	0,7812	0,6750	1,4100	1,0472	0,0000	0,2400	6,73
	4(C)	2,6000	1,4000	5,7000	1,1500	4,0000	1,1862	0,9718	0,7800	1,4800	1,1470	1,0769	0,3050	11,6
	5(C)	0,2000	1,4200	5,7500	1,3250	4,8750	1,2615	1,0565	0,7000	1,5500	1,1837	1,6923	0,3350	12,1
	пятно	0,2000	1,5200	5,3000	1,3250	4,7500	1,3048	1,0200	0,7450	1,6800	1,2982	1,3846	0,3500	11,6
ЗФИ,о.Гукера2 2015г.	O <sub>mr</sub>	0,1000	1,3600	4,4500	1,0250	2,6250	1,0848	0,8141	0,5450	1,4000	1,0310	0,0000	0,2525	6,97
	C	0,0000	1,4600	5,1000	1,3000	3,1250	1,3652	1,1471	0,7100	1,5900	1,2100	0,0000	0,2875	9,29
Тундровые неглеевые (иллювиально-гумусовые) почвы														
о.Колгуев 2012 г.	1	2,5000	1,6400	1,7000	0,8000	3,1250	0,0004	1,3187	0,4650	0,8300	0,0006	0,9231	0,5675	6,28
	2	2,5000	1,2200	1,6000	0,7750	2,5000	0,0003	0,6562	0,4300	0,8200	0,0005	0,9231	0,5700	4,82
	3	2,5000	0,4200	1,0000	0,3500	4,6250	0,0002	0,4538	0,4000	0,3500	0,0003	0,9231	0,4925	6,12
	4	2,5000	0,4600	1,0000	0,3250	1,7500	0,0002	0,3026	0,4000	0,4100	0,0003	0,9231	0,5525	3,25

Продолжение таблицы Д.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Коэффициент концентрации (K <sub>c</sub> )											Z <sub>c</sub>	
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)		Строн- ций (Sr)
о. Колгуев 2 2013 г.	2	8,2000	1,5200	1,1000	0,4500	20,8750	0,0001	0,0383	0,2250	0,0000	0,0001	0,0000	0,1975	28,7
о. Колгуев 2014 г.	1 (Т)	3,9000	3,4400	1,3000	0,5750	1,6250	0,0002	1,1328	0,2700	0,1400	0,0001	0,0000	0,3175	7,39
	2(G)	0,0000	0,5200	1,2000	0,5250	0,0000	0,0002	0,1331	0,3900	0,6500	0,0004	0,0000	0,4850	1,20
	3(GG)	0,0000	0,6000	1,2500	0,5500	0,0000	0,0002	0,1741	0,3700	0,6900	0,0005	0,0000	0,5025	1,25
м. Белый Нос, 2013 г.	2	0,0000	0,6800	1,0500	0,4250	0,0000	0,0002	0,3336	0,3550	0,4800	0,0003	0,0000	0,3150	1,05
м. Белый Нос 2014 г.	1(АН)	0,0000	1,8000	0,4500	0,0750	44,3750	0,0042	35,8097	0,0450	0,0000	0,0000	0,0000	0,1925	79,9
	2(C <sub>ca</sub> )	2,0000	0,8800	2,0500	1,0500	0,0000	0,0004	0,7628	0,2650	0,2400	0,0000	0,0000	0,1900	3,10
п. Диксон 2 2014 г.	1(О)	0,0000	1,8600	2,4000	1,2000	0,0000	0,0004	2,4862	0,4000	0,8100	0,0005	0,0000	0,4875	4,94
	2(G)	1,1000	1,1600	2,2000	1,1000	3,2500	0,0004	0,8630	0,5650	1,6200	0,0010	0,0000	0,6200	5,43
	3(CG)	0,0000	1,0800	2,2500	1,1500	0,8750	0,0004	0,8858	0,5450	1,3200	0,0008	0,0000	0,6475	2,80
о. Матвеев 1 2015 г.	1(T <sub>1</sub> )	1,6000	0,2600	0,0000	0,1250	1,8750	0,2632	0,5306	0,0350	0,6300	0,3098	0,3077	0,3525	2,47
	2(T <sub>1</sub> )	0,0000	0,0200	0,0500	0,0750	2,1250	0,1843	0,0000	0,8000	0,6700	0,3945	0,3077	0,3075	2,12
	3(T <sub>2</sub> )	0,0000	0,0000	0,6000	0,0500	3,7500	0,1564	0,0000	0,2350	0,6300	0,3255	1,8462	0,2550	1,34
	4(TG)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0750	0,5000	0,1380	0,0000	0,0650	0,6100	0,3037	0,0000	0,0800	0
	5(G <sub>n</sub> )	0,2000	0,0600	0,0000	0,1250	2,8750	0,1998	0,0000	0,7050	0,7000	0,4568	0,9231	0,4650	2,87
о. Матвеев 2 2015 г.	1(АО)	0,4000	0,4000	0,0000	0,1250	0,7500	0,2505	0,2706	0,3100	0,6700	0,3665	0,0000	0,2900	0
	2(E <sub>g</sub> )	1,5000	0,0200	0,2500	0,1000	3,2500	0,1722	0,1082	0,3600	0,6800	0,4222	0,0000	0,4675	3,75
	3([AT])	0,0000	0,1000	0,0000	0,1000	0,6250	0,2137	0,2576	0,0950	0,6500	0,3433	0,0000	0,3100	0
	4(BHF)	0,0000	0,1000	0,0000	0,1000	0,6250	0,2471	0,0729	0,1150	0,6500	0,3338	0,0000	0,3550	0
	5(G)	0,5000	0,2600	0,5000	0,2750	1,5000	0,2595	0,2694	0,4500	0,7200	0,4508	0,0000	0,4750	1,50

Продолжение таблицы Д.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Коэффициент концентрации (K <sub>c</sub> )												Z <sub>c</sub>
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)	Стронций (Sr)	
о. Матвеев 3 2015 г.	1(T <sub>1</sub> )	1,0000	0,2800	0,0000	0,2000	11,6250	0,2429	0,2412	0,1700	0,6700	0,3867	2,4615	0,4875	13,1
	2(T <sub>2</sub> )	0,0000	0,0600	0,0000	0,0750	2,8750	0,1712	0,0024	0,0350	0,6200	0,3015	0,7692	0,2100	2,87
	3(T <sub>2</sub> )	0,0000	0,9200	2,0000	1,0250	1,6250	0,2316	0,0000	0,0000	0,6100	0,2780	0,4615	0,2425	2,65
Тундровые глеевые почвы														
м. Канин Нос 2012 г.	1	2,5000	0,2000	1,0000	0,2750	22,5000	0,0002	1,8309	0,4000	0,1900	0,0003	0,9231	0,3625	24,8 3
	2	2,5000	0,2000	1,0000	0,2500	3,1250	0,0001	0,2998	0,4000	0,1000	0,0003	0,9231	0,3475	4,62
	3	2,5000	0,2000	1,0000	0,2500	3,3750	0,0001	0,3208	0,4000	0,1700	0,0003	0,9231	0,3925	4,87
	4	2,5000	0,2000	1,0000	0,2500	7,5000	0,0001	0,3153	0,4000	0,1900	0,0003	0,9231	0,3950	9,00
м. Канин Нос (юг), 2013г.	2	0,2000	0,6800	1,3000	0,5750	0,0000	0,0002	0,2360	0,3650	0,5300	0,0005	0,9231	0,4725	1,30
	3	0,0000	1,2800	2,1000	1,0500	1,1250	0,0004	0,7910	0,4800	1,3100	0,0007	0,0000	0,3725	2,86
м. Канин Нос (север) 2013г.	3	0,6000	0,4800	1,0500	0,4500	0,2500	0,0002	0,2935	0,3450	0,4500	0,0003	1,0769	0,5125	1,12
	4	0,0000	1,2800	2,2500	1,1250	0,7500	0,0004	0,7163	0,5700	1,3200	0,0007	0,3077	0,3625	2,97
мыс Белый Нос 1 2015 г.	1(OH <sub>1</sub> )	0,2000	1,8400	3,1500	0,7750	3,2500	0,8112	0,6541	0,3350	1,0700	0,7315	0,0000	0,4425	6,31
	2(OH <sub>2</sub> )	0,0000	1,3800	0,0500	0,1250	1,0000	0,3342	0,8271	0,1050	0,7100	0,4003	0,0000	0,0100	1,38
	3(AH)	0,0000	0,3400	0,6000	0,0250	1,1250	0,1935	0,4176	0,0000	0,6200	0,2878	0,0000	0,0000	1,12
	4(BC <sub>Ca</sub> )	0,5000	1,0000	0,6000	0,7250	1,3750	0,5768	0,5494	0,5400	0,9100	0,6380	0,0000	0,3875	1,37
мыс Белый Нос 2 2015 г.	1(T <sub>1</sub> )	0,1000	0,8400	0,0000	0,2000	1,2500	0,3417	0,8082	0,1200	0,7100	0,4115	0,0000	0,1225	1,25
	2(T <sub>2</sub> )	1,3000	0,0200	2,2000	0,9750	0,6250	0,4635	0,1306	0,0100	0,6300	0,2935	0,0000	0,0000	2,50
	3(G)	0,5000	0,5000	0,4000	0,4500	0,8750	0,3983	0,1212	0,4900	0,8800	0,6722	0,0000	0,4950	0
	4(BG)	0,8000	0,7000	0,8500	0,6500	1,3750	0,5076	0,0941	2,8250	1,0900	1,1772	0,0000	0,5300	3,46

Продолжение таблицы Д.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Коэффициент концентрации (K <sub>c</sub> )												Z <sub>c</sub>
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)	Стронци й (Sr)	
мыс Белый Нос 3 2015 г.	1(T <sub>1</sub> )	1,3000	2,3800	0,8000	0,2500	2,8750	0,3784	3,6188	0,0250	0,6300	0,3067	0,4615	0,1475	7,17
	2(T <sub>2</sub> )	0,0000	0,1600	0,0500	0,0500	1,5000	0,5150	0,0741	0,0000	0,6000	0,2698	0,0000	0,0125	1,50
	3(T <sub>3</sub> )	0,0000	0,0600	0,7000	0,1750	2,7500	0,3603	0,0035	0,0000	0,6200	0,2885	0,9231	0,0125	2,75
	4(G)	0,8000	0,6800	0,7000	0,5250	1,3750	0,4345	0,1271	0,4400	0,8900	0,6712	0,0000	0,4975	1,37
мыс Белый Нос 4 2015 г.	1(H <sub>1</sub> )	0,7000	1,1400	2,1000	0,3750	6,0000	0,3869	1,9047	0,1900	0,7600	0,4767	2,1538	0,3725	9,29
	2(H <sub>2</sub> )	0,0000	0,0800	0,0000	0,1750	1,7500	0,3351	0,0506	0,0000	0,6000	0,2747	0,0000	0,0150	1,75
	3(G)	0,7000	0,6600	0,6000	0,5500	1,1250	0,4243	0,1482	0,5150	0,8900	0,6807	0,0000	0,5125	1,12
мыс Белый Нос 5 2015 г.	1(H <sub>1</sub> )	1,1000	3,2200	0,3500	0,3250	2,8750	0,3613	4,3600	0,1450	0,7200	0,4233	0,3077	0,2975	7,45
	2(H <sub>2</sub> )	0,0000	0,3800	0,6000	0,2500	33,6250	0,4333	0,3753	0,0000	0,6100	0,2848	0,0000	0,0475	33,6
	3(H <sub>3</sub> )	0,0000	0,0200	0,3500	0,3750	2,2500	0,3671	0,1212	0,0000	0,6200	0,2923	0,0000	0,0425	2,25
	4(G)	0,7000	0,8000	1,2000	0,7000	1,5000	0,4294	0,1647	0,3400	0,8800	0,6403	0,0000	0,5375	1,70
ЗФИ мыс Флора 1 2015 г.	1(O <sub>ао</sub> )	0,0000	1,2000	3,8000	0,7750	5,5000	0,4347	0,3212	0,1100	0,7700	0,4283	0,0000	0,8150	8,50
	2(B <sub>g</sub> )	0,0000	1,7800	2,9000	0,7500	2,6250	0,7679	0,6541	0,3250	1,0400	0,7050	0,0000	0,4525	5,34
	3(G)	0,5000	2,0800	4,2500	1,4250	3,3750	1,1751	0,7541	0,6150	1,4200	1,0972	0,1538	0,7075	8,82
	4(⊥C <sub>g</sub> )	0,4000	2,0000	4,9500	1,5250	3,3750	1,1257	0,6047	0,6100	1,4000	1,0653	0,1538	0,7450	9,44
ЗФИ мыс Флора 2 2015 г.	1(T <sub>mr</sub> )	0,0000	1,3600	2,9500	0,5500	5,5000	0,4192	2,2953	0,1150	0,7500	0,3763	0,6154	0,7700	9,10
	2(G)	0,5000	2,1600	4,8500	1,2750	4,6250	1,0224	0,5365	0,5550	1,4000	1,0587	0,6154	0,7050	10,4

Продолжение таблицы Д.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Коэффициент концентрации (K <sub>c</sub> )												Z <sub>c</sub>
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)	Строн- ций (Sr)	
<b>Аллювиальные луговые кислые почвы</b>														
м. Зимнегорский 2012 г.	1	2,5000	2,2200	1,2000	0,5000	1,2500	0,0003	0,6954	0,4000	0,3300	0,0003	0,9231	0,6550	4,17
	2	2,5000	1,6800	1,5000	0,6500	1,2500	0,0004	0,6717	0,4050	0,7500	0,0006	0,9231	0,4525	3,93
	3	2,5000	1,2400	1,4000	0,6500	2,3750	0,0004	0,6270	0,4000	0,7800	0,0005	0,9231	0,3575	4,51
	4	2,5000	0,9800	1,3500	0,6000	1,3750	0,0003	0,5149	0,4000	0,7000	0,0005	0,9231	0,4000	3,22
п. Индига 2014 г.	1(O)	0,0000	1,0000	1,3500	0,6250	1,0000	0,0003	0,8521	0,3450	0,5900	0,0004	0,0000	0,3525	1,35
	2(G <sub>cf</sub> )	0,0000	0,6200	1,0500	0,4250	0,0000	0,0003	0,4848	0,4450	0,9700	0,0006	0,0000	0,3600	1,05
	3(G)	0,0000	0,7000	1,2500	0,5750	0,3750	0,0002	0,3600	0,4550	0,9000	0,0005	0,0000	0,3750	1,25
	4(CRM )	0,0000	0,6400	1,3000	0,5750	0,0000	0,0002	0,3782	0,4750	0,7700	0,0005	0,0000	0,3725	1,45
п. Диксон 1 2014 г.	1(O)	33,0000	2,6800	1,4500	0,6750	0,0000	0,0002	0,9041	0,3850	0,2500	0,0001	0,0000	0,2900	35,1 3
	2(G <sub>cf</sub> )	0,0000	1,1400	2,1500	1,0750	1,8750	0,0004	0,9168	0,5750	1,4800	0,0009	0,0000	0,6450	3,72
	3(CRM )	0,5000	1,1400	2,3500	1,2000	1,5000	0,0004	0,7063	0,5800	1,5100	0,0009	0,0000	0,6475	3,70
<b>Подзолистые почвы</b>														
д. Летняя Золотица 2012 г.	1	2,5000	0,2400	1,0000	0,3000	2,8750	0,0001	0,2242	0,4000	0,1300	0,0003	0,9231	0,7750	4,37
	2	2,5000	0,2000	1,0000	0,2500	4,3750	0,0001	0,1886	0,4000	0,1000	0,0003	0,9231	0,8525	5,87
Соловецкие острова, 2012 г.	1	2,5000	0,2000	1,0000	0,2500	1,8750	0,0000	0,1586	0,4000	0,1000	0,0003	0,9231	0,8900	3,37
	2	2,5000	0,2000	1,0000	0,2500	3,5000	0,0001	0,1886	0,4000	0,1000	0,0003	1,1231	0,9475	5,00
	3	2,5000	0,2000	1,0000	0,2750	3,1250	0,0001	0,1877	0,4000	0,1000	0,0003	0,9231	0,9000	6,03
о. Кузова 2012 г.	1	2,5000	1,8800	2,9000	1,5500	1,2500	0,0004	1,7115	0,4450	0,4000	0,0003	0,9231	0,4850	6,79

Продолжение таблицы Д.1

Место закладки ПП	Гори- зонт	Коэффициент концентрации (K <sub>c</sub> )											Z <sub>c</sub>	
		Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Медь (Cu)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)	Хром (Cr)	Ванадий (V)	Титан (Ti)	Мышьяк (As)		Строн- ций (Sr)
<b>Торфяные болотные верховые почвы</b>														
о. Сосновец 2012г.	1	1,2000	1,3200	1,0000	0,2750	3,7500	0,0001	0,1877	0,4000	0,1000	0,0003	0,9231	0,3175	4,27
	2	2,5000	2,5000	1,0000	0,2750	1,5000	0,0001	0,0911	0,4000	0,1000	0,0003	0,9231	0,2575	4,50
	3	2,5000	0,2000	3,5000	1,9000	57,3125	0,0001	0,0911	0,4000	0,1000	0,0003	0,9231	0,3400	57,8
о. Вайгач, 2013г.	2	0,0000	0,9200	1,7000	0,8000	0,2500	0,0003	0,5176	0,5250	0,9600	0,0006	0,0000	0,3450	1,70
	3	0,0000	1,1000	1,9500	0,9500	0,6250	0,0004	0,6115	0,5150	1,2300	0,0007	0,0000	0,3975	2,28
о. Вайгач 2014 г.	1(C)	0,0000	1,8000	2,8500	1,5000	0,7500	0,0004	1,0608	0,5350	1,1300	0,0006	0,0000	0,2975	4,34
	2(CR)	0,0000	1,4200	3,1000	1,6500	0,7500	0,0005	0,9697	0,5800	1,2600	0,0007	0,0000	0,3250	4,43
п. Варнек 2014 г.	1(T <sub>h</sub> )	0,8000	0,6400	1,3500	0,6000	0,2500	0,0002	0,2716	0,4400	0,7800	0,0006	0,0000	0,4775	1,35
	2(G)	0,0000	0,4800	0,9500	0,3750	1,6250	0,0001	0,2506	0,3150	0,4100	0,0003	0,0000	0,3175	1,62
	3(CG)	0,0000	0,6200	1,0500	0,4500	0,0000	0,0002	0,5395	0,3500	0,6500	0,0004	0,0000	0,3275	1,05
п. Варнек 1 2015 г.	1(O <sub>ао</sub> )	0,3000	2,1200	0,7000	0,2500	3,8750	0,3513	0,5365	0,0950	0,7300	0,4170	0,0000	0,1875	4,99
	2(B <sub>g</sub> )	0,7000	0,7400	0,6000	0,7000	1,5000	0,6102	0,4141	1,0500	0,9700	0,8085	0,0000	0,5300	1,55
	3(G)	0,7000	0,7400	0,7500	0,7000	1,5000	0,5073	0,1835	0,3600	0,9200	0,6687	0,0000	0,5325	1,50
	4([AH])	0,3000	0,6600	0,3500	0,4000	1,0000	0,4510	0,3153	0,2150	0,8000	0,5143	0,0000	0,3175	0
	5(D <sub>Ca</sub> )	0,4000	0,8000	0,6000	0,5750	1,3750	0,4998	0,4024	0,3850	0,8500	0,5807	0,4615	0,8875	1,37
	(CG)	0,7000	0,6600	1,4000	0,6250	1,1250	0,5271	0,2412	0,4650	0,9300	0,6928	0,0000	0,5725	1,52
	(Спятн о <sub>Ca</sub> )	0,5000	0,8200	0,6500	0,6750	1,2500	0,5316	0,3412	0,3650	0,8700	0,6178	0,0000	0,7375	1,25
п. Варнек 2 2015 г.	1(T <sub>1</sub> )	1,9000	0,7600	0,6500	0,3250	2,5000	0,2584	1,2435	0,0300	0,6400	0,3187	0,0000	0,5925	3,64
	2(T <sub>2</sub> )	0,1000	0,1400	0,7000	0,3250	2,2500	0,2988	0,3635	0,0850	0,6600	0,3468	0,0000	0,6475	2,25
	3(BG)	0,7000	0,5200	0,5000	0,5250	1,0000	0,5610	0,0388	35,750 0	1,1800	1,3547	0,0000	0,5650	36,2
	4(G)	0,6000	0,5600	0,8500	1,0250	1,0000	0,5368	0,1153	2,2200	1,0500	1,0675	0,0000	0,5575	2,36

Таблица Д.2 – Коэффициент концентрации ( $K_c$ ) относительно ПДК и суммарный показатель загрязнения подвижными формами ТМ различных типов почв Арктики и субарктики

Место положения ПП	Коэффициент концентрации ( $K_c$ )						$Z_c$
	Свинец (Pb)	Медь (Cu)	Цинк (Zn)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Марганец (Mn)	
Арктические почвы							
ЗФИ, о.Гукера, 2013 г.	0,0415	12,1667	0,0087	0,1785	0,0590	0,7143	12,17
ЗФИ, о.Гукера, 2012 г.	0,2893	1,7400	0,0743	0,5003	0,2436	0,5107	1,74
ЗФИ, о.Чамп, 2013г.	0,0657	4,6667	0,0835	0,3228	0,0250	0,4421	4,67
НЗ, Русская Гаваньюнь 2012 г.	0,3560	1,9867	0,2061	0,1200	0,1430	0,2779	1,99
НЗ, Русская Гавань 11.06.2012	0,1993	0,7133	0,0587	0,1118	0,2116	0,4479	0,00
НЗ, м.Желания В7-2, 20.06.2012	0,1627	12,1667	0,0474	0,1295	0,1002	0,4471	12,17
Тундровые неглеевые (иллювиально-гумусовые) почвы							
о.Колгуев, п.Бугрино 1, 2013г.	1,2643	0,9033	0,5170	0,0373	0,4876	0,1471	1,26
Тундровые глеевые почвы							
м.Канин Нос юг, 2013г.	0,1392	0,5733	0,0465	0,1075	0,1454	0,3757	0,00
м.Канин Нос север, 2013г.	0,2093	0,5567	0,2057	0,1780	0,1498	0,3493	0,00
Подзолистые почвы							
Летняя Золотица 08.07.2012	0,4377	0,2400	0,1630	0,0380	0,0096	0,0871	0,00
арх.Кузова, о.Русский Кузов, 2012 г.	0,3160	0,9433	0,5778	0,1855	0,1530	2,8071	2,81

Продолжение таблицы Д.2

Место положения ПП	Коэффициент концентрации (K <sub>c</sub> )						Z <sub>c</sub>
	Свинец (Pb)	Медь (Cu)	Цинк (Zn)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Марганец (Mn)	
Торфяные болотные верховые почвы							
о.Вайгач 2013г.	0,3477	0,4167	0,7952	0,0163	0,0312	1,1929	1,19

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(обязательное)

Оценка буферных свойств почв Арктики и субарктики

Таблица Е.1 - Коэффициент подвижности элемента ( $K_p$ ) в почвах

Место отбора ПП	Коэффициент подвижности элемента ( $K_p$ )					
	Свинец (Pb)	Медь (Cu)	Цинк (Zn)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Марганец (Mn)
Арктические почвы						
ЗФИ, о.Гукера, 2013 г.	0,05	0,58	0,00	0,01	0,00	0,07
ЗФИ, о.Гукера, 2012 г.	0,07	0,13	0,02	0,05	0,06	0,20
ЗФИ, о.Чамп, 2013г.	0,00	0,48	0,03	0,05	0,01	0,06
НЗ, Русская Гаваньюнь 2012 г.	0,09	0,19	0,11	0,02	0,06	0,08
НЗ, Русская Гавань 11.06.2012	0,05	0,05	0,01	0,01	0,02	0,13
НЗ, м.Желания В7-2, 20.06.2012	0,03	0,85	0,01	0,01	0,04	0,04
Тундровые неглеевые (иллювиально-гумусовые) почвы						
Колгуев, п.Бугрино 1, 2013г.	0,09	0,12	0,16	0,01	0,01	0,63
Тундровые глеевые						
м.Канин Нос юг, 2013г.	0,42	0,07	0,03	0,02	0,00	0,26
м.Канин Нос север, 2013г.	0,21	0,08	0,20	0,04	0,37	0,20
Подзолистые почвы						
Летняя Золотица 08.07.2012	0,11	0,04	0,31	0,01	0,00	0,06
арх.Кузова, о.Русский Кузов, 2012 г.	0,08	0,05	0,14	0,01	0,08	0,27
Торфяные болотные верховые почвы						
о.Вайгач, 2013г.	0,00	0,04	0,40	0,00	0,08	0,38

Таблица Е.2 - Коэффициент защитных свойств ( $K_3$ ) почвы

Место отбора ПП	Коэффициент подвижности элемента ( $K_3$ )					
	Свинец (Pb)	Медь (Cu)	Цинк (Zn)	Никель (Ni)	Кобальт (Co)	Марганец (Mn)
<b>Арктические почвы</b>						
ЗФИ, о.Гукера, 2013 г.	95,02	42,06	99,69	98,93	99,54	92,73
ЗФИ, о.Гукера, 2012 г.	93,06	87,27	97,78	95,24	94,20	80,32
ЗФИ, о.Чамп, 2013г.	100,00	51,72	97,18	95,22	99,04	94,03
НЗ, Русская Гавань июнь 2012 г.	91,46	80,77	89,47	98,40	94,50	92,12
НЗ, Русская Гавань 11.06.2012	95,22	95,35	98,55	99,07	97,80	86,99
НЗ, м.Желания В7-2, 20.06.2012	97,36	15,12	99,17	98,82	96,15	95,64
<b>Тундровые неглеевые (иллювиальные-гумусовые) почвы</b>						
о.Колгуев, п.Бугрино 1, 2013г.	90,75	87,68	84,36	99,17	98,54	533,07
<b>Тундровые глеевые</b>						
м.Канин Нос юг, 2013г.	58,25	93,38	96,85	98,13	100,00	73,78
м.Канин Нос север, 2013г.	79,07	92,05	80,29	96,04	62,55	80,40
<b>Подзолистые почвы</b>						
Летняя Золотица 08.07.2012	89,50	96,40	68,75	98,73	99,79	93,60
арх.Кузова, о.Русский Кузов, 2012 г.	92,42	95,12	85,86	98,80	92,35	72,99
<b>Торфяные болотные верховые почвы</b>						
о.Вайгач, 2013г.	100,00	96,32	60,24	99,80	92,20	62,05

Таблица Е.3 - Средняя оценка буферных свойств почв Арктики и субарктики

Свинец (Pb)		Медь (Cu)		Цинк (Zn)		Никель (Ni)		Кобальт (Co)		Марганец (Mn)	
K <sub>п</sub>	K <sub>з</sub>	K <sub>п</sub>	K <sub>з</sub>	K <sub>п</sub>	K <sub>з</sub>	K <sub>п</sub>	K <sub>з</sub>	K <sub>п</sub>	K <sub>з</sub>	K <sub>п</sub>	K <sub>з</sub>
Арктические почвы											
0,05	95,35	0,38	62,15	0,03	96,67	0,02	97,61	0,03	96,87	0,10	90,31
Тундровые неглеевые (иллювиально-гумусовые) почвы											
0,09	90,75	0,12	87,68	0,16	84,36	0,01	99,17	0,01	98,54	0,63	36,69
Тундровые глеевые											
0,3	68,66	0,07	92,71	0,10	88,57	0,03	97,38	0,18	81,27	0,23	77,09
Подзолистые почвы											
0,09	90,96	0,04	95,76	0,22	77,30	0,01	98,76	0,04	96,07	0,16	83,29
Торфяные болотные верховые почвы											
0,00	100,0	0,04	96,32	0,40	60,24	0,00	99,80	0,08	92,20	0,38	62,05

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

(обязательное)

Корреляционный анализ

Таблица Ж.1 – Корреляционная зависимость валового содержания ТМ от агрохимических показателей по Спирману

Параметры		(Pb)	(Zn)	(Cu)	(Ni)	(Co)	(Mn)	(V)	(As)
(Pb)	Коэф.кор.		0,257	0,022	0,225	-0,075	0,014	-0,172	<b>0,328*</b>
	p		0,077	0,883	0,124	0,624	0,930	0,243	0,023
	N		48	48	48	45	45	48	48
(Zn)	Коэф.кор.	0,257		<b>0,446*</b>	<b>0,489*</b>	0,172	<b>0,332**</b>	<b>0,271*</b>	-0,062
	p	0,077		0,000	0,000	0,148	0,005	0,018	0,595
	N	48		76	76	72	71	76	76
(Cu)	Коэф.кор.	0,022	<b>0,446**</b>		<b>0,907**</b>	0,219	<b>0,244*</b>	<b>0,571**</b>	0,129
	p	0,883	0,000		0,000	0,064	0,040	0,000	0,266
	N	48	76		76	72	71	76	76
(Ni)	Коэф.кор.	0,225	<b>0,489**</b>	<b>0,907**</b>		0,070	<b>0,260*</b>	<b>0,634**</b>	0,087
	p	0,124	0,000	0,000		0,560	0,028	0,000	0,456
	N	48	76	76		72	71	76	76
(Co)	Коэф.кор.	-0,075	0,172	0,219	0,070		0,187	0,065	<b>0,362**</b>
	p	0,624	0,148	0,064	0,560		0,126	0,588	0,002
	N	45	72	72	72		68	72	72
(Mn)	Коэф.кор.	0,014	<b>0,332**</b>	<b>0,244*</b>	<b>0,260*</b>	0,187		0,078	-0,137
	p	0,930	0,005	0,040	0,028	0,126		0,519	0,254
	N	45	71	71	71	68		71	71
(V)	Коэф.кор.	-0,172	<b>0,271*</b>	<b>0,571**</b>	<b>0,634**</b>	0,065	0,078		-0,123
	p	0,243	0,018	0,000	0,000	0,588	0,519		0,292
	N	48	76	76	76	72	71		76
(As)	Коэф.кор.	<b>0,328*</b>	-0,062	0,129	0,087	<b>0,362**</b>	-0,137	-0,123	
	p	0,023	0,595	0,266	0,456	0,002	0,254	0,292	
	N	48	76	76	76	72	71	76	
Содержание глины, %	Коэф.кор.	0,143	0,157	-0,164	-0,044	<b>-0,250*</b>	-0,052	,053	<b>-0,447**</b>
	p	0,331	0,177	0,157	0,705	0,034	,670	,649	,000
	N	48	76	76	76	72	71	76	76
pH	Коэф.кор.	0,093	-0,182	-0,179	-0,096	0,045	0,122	<b>-0,287*</b>	0,164
	p	0,552	0,128	0,136	0,424	0,718	0,331	0,015	0,172
	N	43	71	71	71	68	66	71	71
Органическое вещество, %	Коэф.кор.	-0,151	0,053	-0,150	<b>-0,274*</b>	0,100	-0,129	-0,214	-0,146
	p	0,307	0,647	0,197	0,017	0,401	0,284	0,064	0,210
	N	48	76	76	76	72	71	76	76

\*корреляция значима на уровне 0.05 (2-сторон.);

\*\*корреляция значима на уровне 0.01 (2-сторон.).

## ПРИЛОЖЕНИЕ И

(справочное)

Статистическая обработка

Таблица И.1 – Относительная погрешность измерения

Элемент	Границы относительной погрешности <sup>**</sup> $\pm\delta$ , % (P=0,95)
As	30
Co	30
Cr	30
Cu	13
Fe	17
Mn	15
Ni	14
Pb	30
Sr	15
Ti	24
V	25
Zn	10

\*\* - Соответствует расширенной неопределенности измерений при коэффициенте охвата K=2