

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Сумина Валерия Александровна

Магистерская диссертация

ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ОТДЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ
ОСТРОВА ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН (АРХ. ШПИЦБЕРГЕН)

Образовательная программа магистратуры

«Естественная география»

Профиль «Геоморфология»

«К ЗАЩИТЕ»

Научный руководитель: к.г.н.,
Шарин Владимир Викторович

«__» _____ 2019

Рецензент: к.г.н.,
Егоров Игорь Владиленович

«__» _____ 2019

Санкт-Петербург

2019

СОДЕРЖАНИЕ:

Введение.....	3
Глава 1. Обзор литературы.....	7
1.1 Геоморфологическая изученность.....	7
1.2 Геоэкологические исследования.....	13
Глава 2. Физико-географическая и геолого-геоморфологическая характеристики районов исследования.....	19
2.1 Географическое положение.....	19
2.2 Климат.....	21
2.3 Современное оледенение.....	22
2.4 Гидрография.....	23
2.5 Растительный и животный мир.....	23
2.6. Антропогенное и техногенное влияние.....	25
2.7 Геологическое строение долины Чемберлендален.....	27
2.8 Геологическое строение долины Колесдален.....	33
2.9 Геоморфологическая характеристика долины Чемберлендален.....	39
2.10 Геоморфологическая характеристика долины Колесдален.....	46
Глава 3. Материалы и методы.....	53
3.1 Геологическое и геоморфологическое картирование.....	53
3.2 Геохимические исследования.....	56
Глава 4. Результаты исследования.....	62
4.1 Долина Чемберлендален.....	62
4.2 Долина Колесдален.....	72
Заключение.....	81
Список литературы.....	83
Приложение.....	86

ВВЕДЕНИЕ.

Архипелаг Шпицберген представляет собой уникальный объект для изучения самых разнообразных процессов. Сочетание природно-географических факторов обуславливает образование специфического облика, отличающего его как от ближайшей континентальной Субарктики, так и от расположенных восточнее других арктических островов. Это проявляется в повсеместном развитии денудационных и аккумулятивных геоморфологических процессов (склоновых, флювиальных и флювиогляциальных), а также в существенном влиянии геоморфологических условий на состав формирующихся почв.

Несмотря на то, что архипелаг расположен на значительном удалении от центров активной промышленной деятельности, физико-географические и климатические условия препятствуют здесь проявлению процессов самоочищения почв, что может приводить к избыточному накоплению ряда токсичных элементов (особенно тяжелых металлов) и негативно сказываться на всех звеньях экологической цепи.

Геоэкологические исследования на Шпицбергене носят, скорее, спорадический, нежели систематический характер - в настоящее время исследованы лишь небольшие в значительной степени удаленные друг от друга участки на ограниченный набор элементов. При этом ни одно из опубликованных к настоящему времени исследований не учитывает одновременное влияние и геологического и геоморфологического факторов на состав почв и характер распределения в них широкого круга элементов, в том числе и таких опасных, как тяжелые металлы. В этой связи становится очевидным **актуальность** данной работы, в которой представлены первые данные о распределении химических элементов в почвах в сочетании с геологическим строением и геоморфологическими процессами.

Основным **объектом** изучения являются почвы, горные породы и геоморфологические процессы, преобладающие на участках долины Чемберлендален и участке долины Колесдален.

Основная **цель** работы - оценка влияния геологических и геоморфологических факторов на распределение и миграцию тяжелых металлов и ряда нетоксичных элементов в почвах участков долины Чемберлендален и долины Колесдален.

Поставленная цель определяет следующие **задачи**:

1. Сбор и анализ опубликованной и фондовой литературы по геолого-геоморфологическому строению Земли Веделя Ярлсберга и Земли Норденшельда и оценка состояния экологической изученности;
2. Геоэкологическое опробование почв одного из исследованных участков, определение их химического состава (содержания тяжелых металлов и петрогенных элементов), а также состава расположенных в цирке долины коренных пород для оценки их вклада в геохимический фон участков опробования почв;
3. Составление трехмерных геолого-геоморфологических схем для обоих исследованных районов для корректной интерпретации полученных геохимических данных;
4. Интерпретация всей совокупности полученных данных: оценка влияния геологических и геоморфологических факторов на распределение тяжелых металлов и ряда нетоксичных элементов в пределах районов работ.

Фактический материал и вклад автора.

В основу работ легли результаты геоморфологических исследований и геоэкологического опробования, проведенных автором в составе Шпицбергенской партии АО «ПМГРЭ» в ходе летних полевых работ 2018 г. в пределах участка Колсбей, а также материалы, отобранные сотрудниками Шпицбергенской партии в пределах долины Чемберлендален в 2017 г.

Кроме того, в работе использованы опубликованные и фондовые литературные источники, посвящённые геоэкологическим и геоморфологическим исследованиям на территории Шпицбергена.

Отобранные в ходе полевых работ образцы почв (всего 23 шт.) были собственноручно подготовлены автором для проведения химического анализа в лаборатории на базе ААНИИ. Полученные аналитические данные были обработаны методами статистического анализа с использованием современного программного обеспечения Microsoft Excel, Statistica.

На основе существующих двухмерных геологических и геоморфологических карт масштаба (1:100 000, 1:50 000) автором были составлены трехмерные геологические и геоморфологические схемы участков долины Чемберлендален и морской террасы Колсбей с использованием пакетов программ Coral Draw, ArcMap, Global Mapper.

Результаты работы были представлены на Всероссийской конференции с международным участием “Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа”, г. Мурманск, 30 октября–2 ноября 2018 г.

Структура и объем диссертации.

Магистерская диссертация, изложенная на 93 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложения на 5 страницах. Главы 1 и 2 посвящены обзору литературы и состоянию изученности, физико-географическим и геолого-геоморфологическим характеристикам изучаемых районов. В 3 главе описаны материалы и методы исследования, в 4 результаты исследования.

Благодарности.

Автор выражает признательность научному руководителю к.г.н. Шарину В.В. за научные консультации и поддержку на протяжении всех этапов исследования. Автор благодарен начальнику Шпицбергенской партии АО ПМГРЭ Милославскому М.Ю. и ведущему геологу Костевой Н.Н. за оказанную помощь при написании работы; мл. науч. сотруднику каф.

геоморфологии СПбГУ Куксе К.А за обучение методике рентгенофлюоресцентного анализа в Лаборатории геоморфологических и палеографических исследований полярных регионов и мирового океана СПбГУ и за обсуждение полученных химических данных; ведущему научному сотруднику ФГБУ "ВНИИОкеангеология" Сергееву И.С. за консультации при обработке картографического материала.

Автор выражает искреннюю признательность за теплую атмосферу и поддержку во время полевых работ сотрудникам Шпицбергенской партии ПМГРЭ – 2018 на архипелаге Шпицберген, а также отдельно д.г-м.н. главному геологу Сироткину А.Н. и Окуневу А.С. за научные консультации в ходе исследования.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.

1.1 ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ.

Исследования на Шпицбергене имеют длительную историю, работы по многим научным направлениям активно проводятся на архипелаге и в настоящее время. Работы по геоморфологическому и четвертичному направлению занимают значительную долю исследований на архипелаге.

Наблюдения и описание строения и морфологии прибрежных террас, морфологией ледников и строением моренных образований научные экспедиции начали заниматься уже с середины 19 века. В основном сведения были отведены району Ис-фьорда.

С 1930 года ведутся гляциогеоморфологические работы, изучается комплекс морских террас и неотектонические движения. Большое значение уделяется аэрофотосъемке некоторых участков архипелага и серьезному изучению геоморфологии архипелага. Научные работы на архипелаге проводят много разных стран, главным образом, Польша, Норвегия, Англия Германия, Швеция и др.

Большую роль в изучении архипелага сыграло образование в 1948 году Норвежского Полярного института, в котором велись геоморфологические работы по изучению Шпицбергена. Впервые сотрудник Норвежского полярного института Р.В.Фейлинг-Хассен в 1948-1955 гг. (*Feyling-Hanssen, 1955*) провел детальное изучение террасового комплекса Билле-фьорда и Сассен-фьорда с получением радиоуглеродных датировок макрофауны морских террас. На основе этих данных в 1955 году была составлена монография Центральной части Западного Шпицбергена.

С 1957 по 1960 гг. Польская академия наук провела комплексные общегеографические исследования на Земле Веделя Ярлсберга и частично в районе Земли Серкап, в которые входило: геологическое картирование,

изучение новейших тектонических движений и изучение ледниковых форм рельефа (*Шарин В.В, 2004ф*).

Флювиогляционные формы рельефа в южной части архипелага изучали Ян. А., Евтухович С., Биркенмайер К. Работы велись по детальному описанию комплекса морских террас и составлению ряда гляциогеоморфологических карт краевых зон крупных ледников района залива Хорсунн.

В 1969 году Щупричинский Я. составил обобщающую карту "Гляциофлювиальные и аккумулятивные формы рельефа Шпицбергена" 1:500 000 масштаба. А экспедицией Польской Академии Наук был составлен ряд карт-схем маргинальных зон ледников южной оконечности о. Западный Шпицберген.

В основном работы того времени больше имели геологическую направленность, нежели геоморфологическую скорее из-за отсутствия интереса у исследователей и малой технической составляющей.

Советские научные работы на архипелаге начались с середины 20 века: - с 1962 года начала работу Шпицбергенская экспедиция НИИГА.

Исследования проводились на Земле Норденшельда, Земле Диксона, Земле Андре, Северо-Восточной Земле.

В 1965 году Семевским Д.В. и Шкатовым Е.П. была опубликована первая геоморфологическая карта Земли Норденшельда (*Семевский, Шкатов 1965*) (*рис 1.1.1*).

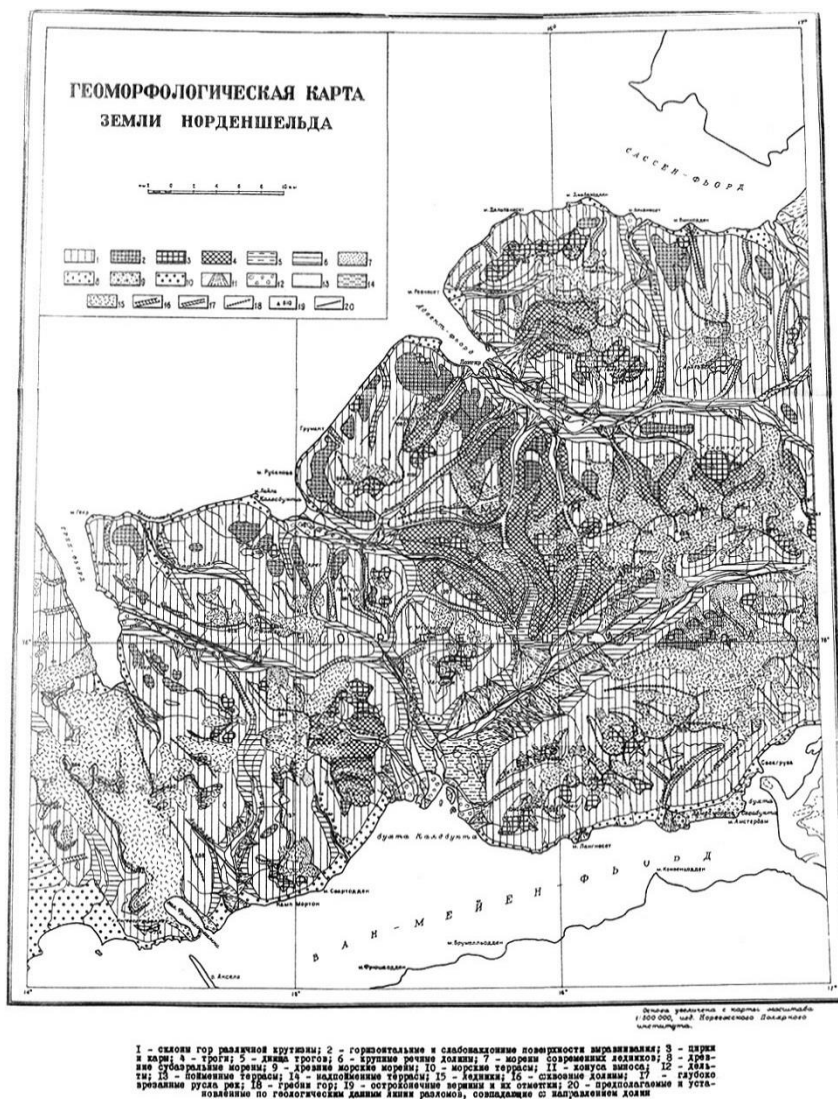


Рисунок 1.1.1 Геоморфологическая карта Земли Норденшельда (Семевский, Шкатов, 1965).

Гляциологические, гляциогеоморфические и геоморфологические наблюдения с 1965 года начала проводить Шпицбергенская гляциологическая экспедиция института географии АН СССР.

Польская научная база в заливе Хорсунн на равнине Каффи была открыта в 70-х годах, это дало новую силу исследованиям на архипелаге. Польские исследователи Щупричинский Я., Пулина М., Мушиаль А., Биркенмайер К. и др. работали над созданием геоморфологических карт некоторых районов острова Западный Шпицберген (Шарин В., 2004ф).

Норвежский Полярный институт в 1990 году провел аэрофотосъемку многих районов архипелага, и, в последствии результаты этой съемки легли в основу топографических карт.

Отечественные и зарубежные специалисты в 80-90-х годах детально изучали дно акватории: литологию донных отложений, рельеф, мощность четвертичных отложений и батиметрию фьордов (Шарин В., 2004ф).

Полученные за это время данные были довольно разрозненными, исследования проводили ученые из разных стран, которые не пересекались в своих научных направлениях. Объединенных международных научных работ в это время не проводилось.

В 2002 году Шариным В.В., Гусевым.Е.А., Мусатовым Е.Е. и Рекантом П.В. была составлена первая "Карта четвертичных образований архипелага Шпицберген и прилегающего шельфа" масштаба 1:1 000 000 (Шарин и др., 2002).

В 2012 году Шпицбергенской партией ПМГРЭ была составлена геоморфологическая карта масштаба 1:50 000 (рисунок 1.1.2), на которой выделены типы рельефа не только на суше, но и произведено картирование акватории дна прилегающих фьордов (Шарин и др., 2012).



Рисунок 1.1.2. Геоморфологическая карта центральной части острова Западный Шпицберген (Земля Норденшельда, архипелаг Шпицберген) (Шарин и др., 2012)

В 2012-2013 годах сотрудники ПМГРЭ продолжают изучение четвертичных отложений в бухте Петунья. Результатом научных работ является создание геоморфологических карт этого района (рис 1.1.3).

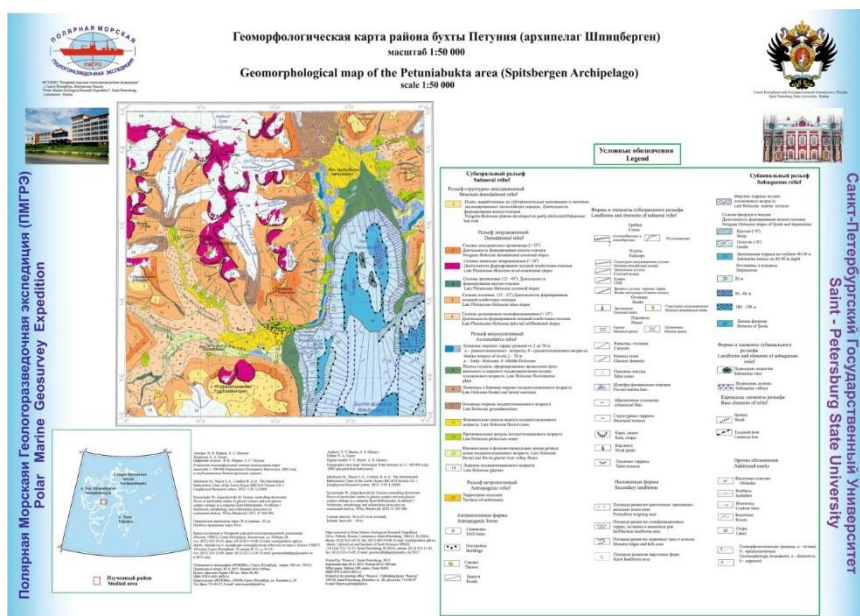


Рисунок 1.1.3. Геоморфологическая карта района бухты Петунья (архипелаг Шпицберген) (Шарин, Окунев, 2014)

В 2014 году опубликованы результаты геолого-геоморфологических исследований Земли Норденшельда. Район исследований был расположен между заливами Ис-фьорд, Грэн-фьорд и долиной реки Холендердален. В период с 2005 по 2011 года проводились отборы проб, по которым были получены новые радиоуглеродные датировки четвертичных отложений и проведена реконструкция палеографической обстановки и их накопления (Шарин и др., 2014).

Геоморфологические исследования и изучение четвертичных отложений на архипелаге продолжается и в настоящее время.

В настоящее время отечественными и зарубежными исследователями накоплен обширный материал, освещающий множество аспектов геоморфологического строения разных участков арх. Шпицберген. Однако изучение рельефа происходит не везде равномерно, при этом возможно изучение и по цифровым моделям. Научная работа на архипелаге ведется

1.2 ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Помимо ряда геоморфологических и геологических работ, которые регулярно проводят на архипелаге научные экспедиции разных стран, большое внимание уделяется также работам по оценке уровня загрязнения почв, растений, прибрежных вод и воздуха различными компонентами, и, в частности, тяжелыми металлами. Такие исследования регулярно проводятся в наиболее загрязненных районах, таких как поселок Баренцбург или законсервированный поселок Пирамида, поскольку антропогенная нагрузка вблизи жилых объектов проявлена наиболее интенсивно.

Кроме того, проводятся работы по определению фонового загрязнения почв в разных районах архипелага, удаленных от человеческих поселений и связанных с ними объектов на значительные расстояния. Подобные исследования совершенно необходимы для корректной оценки геохимического фона всего архипелага, поскольку без них невозможно правильно оценить степень антропогенного загрязнения почв в этом регионе. Это связано как с отличием в геологическом и геоморфологическом строении, так и с физико-географическими и климатическими особенностями территории, которые будут рассмотрены ниже и которые существенно отличаются от условий формирования почв на континенте.

Однако обзор степени геоэкологической изученности территории архипелага невозможен без предварительного определения используемых нами в работе терминов. Одним из них является понятие «тяжелые металлы» (ТМ).

Принято считать, что элементы, имеющие атомную массу больше 50 являются тяжелыми. Списки ТМ сильно разнятся у разных авторов, но традиционно в эту группу включаются следующие 14 элементов: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi.

Некоторые исследователи (Водяницкий, 2008) выделяют до 57 тяжелых металлов/металлоидов (As, Mn, Se, Fe, Mo, Ba, W, La, Ce, Sb, Sr, Sm, Th, U, Y,

Pr, Nd, Gd, Lu, Rb, Eu, Hf, Dy, Cs, Ta, Tb, Au, Ga, Ge, Nb, Ru, Rh, Pb, Ag, In, Sn, Te, Re, Os, Ir, Pt, Tl, Ho, Er, Tm, Yb, Zr), поскольку все эти элементы оказывают токсическое воздействие на живые организмы, накапливаясь в почвах в количествах, превышающих критические значения. В таком случае говорят о «загрязнении почв» ТМ.

Понятие «загрязнение почв» трактуется в учебнике «Экологический мониторинг почв» как «вид антропогенной деградации почв, при которой содержание химических веществ антропогенного происхождения превышает региональный фоновый уровень (Мотузова, 2007).

Однако мы, в след за Брауном, полагаем, что термин "загрязнение почв" стоит рассматривать немного шире и включать сюда как антропогенный, так и природные источники (Brown et al., 1999).

Под последним понимается естественное накопление в почвах ТМ и других элементов в процессе разрушения подстилающих коренных пород (Водяницкий, 2011).

ТМ относятся к числу приоритетных загрязняющих веществ, наблюдения за которыми обязательны во всех средах (Крячюнас и др., 2014), поскольку их накопление в подавляющем большинстве случаев приводит к отравлению живых организмов, включая человека. При загрязнении окружающей среды ТМ почвы являются биогеохимическим барьером, который поглощает тонкодисперсные вещества и газы, поступающие из атмосферы, одновременно очищая другие сопредельные среды. Но если в атмосфере и гидросфере происходит периодическое самоочищение от загрязнителей, то почва практически не обладает такой способностью. Это особенно актуально для арктических почв, развитых в пределах архипелага, поскольку они формируются в специфических климатических условиях и у них период самоочищения практически отсутствует.

На территории архипелага Шпицберген почвы развиты только в пределах пойменных террас крупных рек, поэтому площади для геоэкологического пробоотбора имеют не сплошное распространение.

Изучением химического состава почв архипелага активно занимаются с конца 20 века. Первые исследования в этом направлении были сделаны польской группой ученых, (*Plichta, Kuczyńska, 1991*) которые изучали распределение ТМ (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd) по разрезу почв морской низменности Каффиоры (*рис 1.2.1, уч.№1*).

В результате этого исследования было установлено, что концентрации ТМ в почвах Шпицбергена не превышает средние концентрации этих элементов в других регионах Земного шара, за исключением Cd, Pb для которых предполагается атмосферный перенос из районов с активной антропогенной деятельностью.

Кашулина Г.М. (*Кашулина, 2005*) проводила геохимические исследования особенностей почв в окрестностях поселка Баренцбург. Ею были определены валовые содержания большого спектра основных компонентов (Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Ti, Mn, P) и микроэлементов (Ni, Cu, Co, Cr, Cd, Zn, S, B, V) в почвенных разрезах 5 различных ландшафтных участков (*рис.1.2.1 уч. №.2*). В результате проведенных исследований были сделаны выводы о наличии устойчивой связи между распределением биогенных элементов (Mg, K, P, Mn) и органическим веществом почв.

Мелке Е. с коллегами (*Мелке, Климович, 2006*) проводили исследования на территории долины Чемберлендален и прибрежных районах залива Бельсунд (*рис.1.2.1 уч.№3*) для определения концентрации ряда ТМ (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb) в почвах. Результаты исследования показали, что концентрации большинства изученных элементов близки к значениям на других территориях Шпицбергена, опубликованным ранее, за исключением Mn.

Чмиел С. с коллегами (*Chmiel et al., 2009*) исследовал уровень радиоактивного загрязнения почв и распределения ряда ТМ (Fe, Mn, Zn, Pb, Cu, Cd) в коренных породах, почве, растениях и воде залива Бельсунд рядом с ледником Скотта (*рис1.2.1 уч.№9*). В большинстве случаев, концентрации ТМ, о которых идет речь, были близки к значениям, полученным ранее Пличтой В.

района равнины Каффейра (*Plichita, Kuczynska 1991*). В целом на этом участке уровень загрязнения был оценен как низкий.

Переверзев В.Н. (*Переверзев, 2012*) в своей работе дал характеристику и определил концентрации основных петрогенных окислов в почвах на побережье Биллефьорда и бухты Петунья острова Западный Шпицберген (*рис.1.2.1 уч. №4*). В результате им было установлено, что валовой химический состав почв наследуется почвами от почвообразующих пород и не превышает фоновых значений для данной местности.

Крячюнас В.В. и др. (*Крячюнас, 2014*) исследовали содержание тяжелых металлов (V, Zn, Cu, Cr, Ni, Co, Pb) в почвах западного побережья Шпицбергена вблизи поселков Лонгйир, Баренцбург, Нью-Олесунн (*рис.1.2.1 уч. №5*). Результаты этой работы показали увеличение концентрации V в районах залежей угля, тогда как Cu и Ni, как они считают, поступают из материнских пород, а Sr и Zn из атмосферы.

Халбах К. с коллегами (*Halbach et.al, 2017*) исследовала распределение ртути и различных ТМ (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, S, Zn) в почвах в окрестности поселка Нью-Олесунн (*рис.1.2.1 уч. №6*). Результатом работы послужил вывод о первостепенном влиянии состава подстилающих коренных пород на геохимический облик почв для большинства элементов, за исключением ртути.

Кашулина Г.М. с соавторами (*Кашулина и др., 2018*) проводила исследования на побережьях Ис-фьорда, Грэн-фьорда, Билле-фьорда, в районе Колесбухты и Конгрессдален (*рис.1.2.1 уч. №7*). Исследования показали, что в этих районах концентрации микроэлементов в почвах (Ag, As, Bi, Rb, Sc, Tl, V, Co, Cr, Cu, Mo, Sb, Mg, Mn, Ca, Zn) взаимосвязаны с составом коренными пород. В то же время содержание Cd (в 2 раза), Hg (в 4 раза), Se (в 4 раза) и Sr (в 2.5раза) выше, чем в почвообразующем материале.

Кукса К.А. с соавторами (*Кукса и др., 2014, 2017*) проводили геохимические исследования элементного состава почв, в том числе ряда ТМ (Fe, Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, V, As, Zn) на участках со значительной

антропогенной нагрузкой (поселок Пирамида, (рис.1.2.1 уч.№8)) и на «чистой» территории без антропогенной нагрузки (бухта Дундердален (рис.1.2.1 уч.№8)). Результаты этих исследований показали, что концентрации элементов в районе бухты Дундердален приближены к средним концентрациям архипелага. В то же время на территории пос. Пирамида по общему уровню содержания микроэлементов в почвах вдвое обогащены Fe и Mn относительно других районов мира и других исследованных территорий арх. Шпицберген.

В целом, обобщая результаты приведенных исследований можно отметить, что в настоящее время геоэкологические исследования на территории Шпицбергена не имеют систематического характера. От участка к участку отличаются не только набор определяемых элементов и применяемых для этого методик, но также и само исследуемое вещество: в одних случаях это поверхностные отложения, включающие корневую систему и произрастающие на них растения, в других это почвенные разрезы различной глубины. При этом лишь в двух из перечисленных десяти работ изучалось влияние подстилающих коренных пород на геохимический облик почв и содержание в них ТМ, а работ, учитывающих различие в геоморфологическом облике опробуемых участков, вообще ранее не проводилось.

Карта геоэкологической изученности территории разными авторами

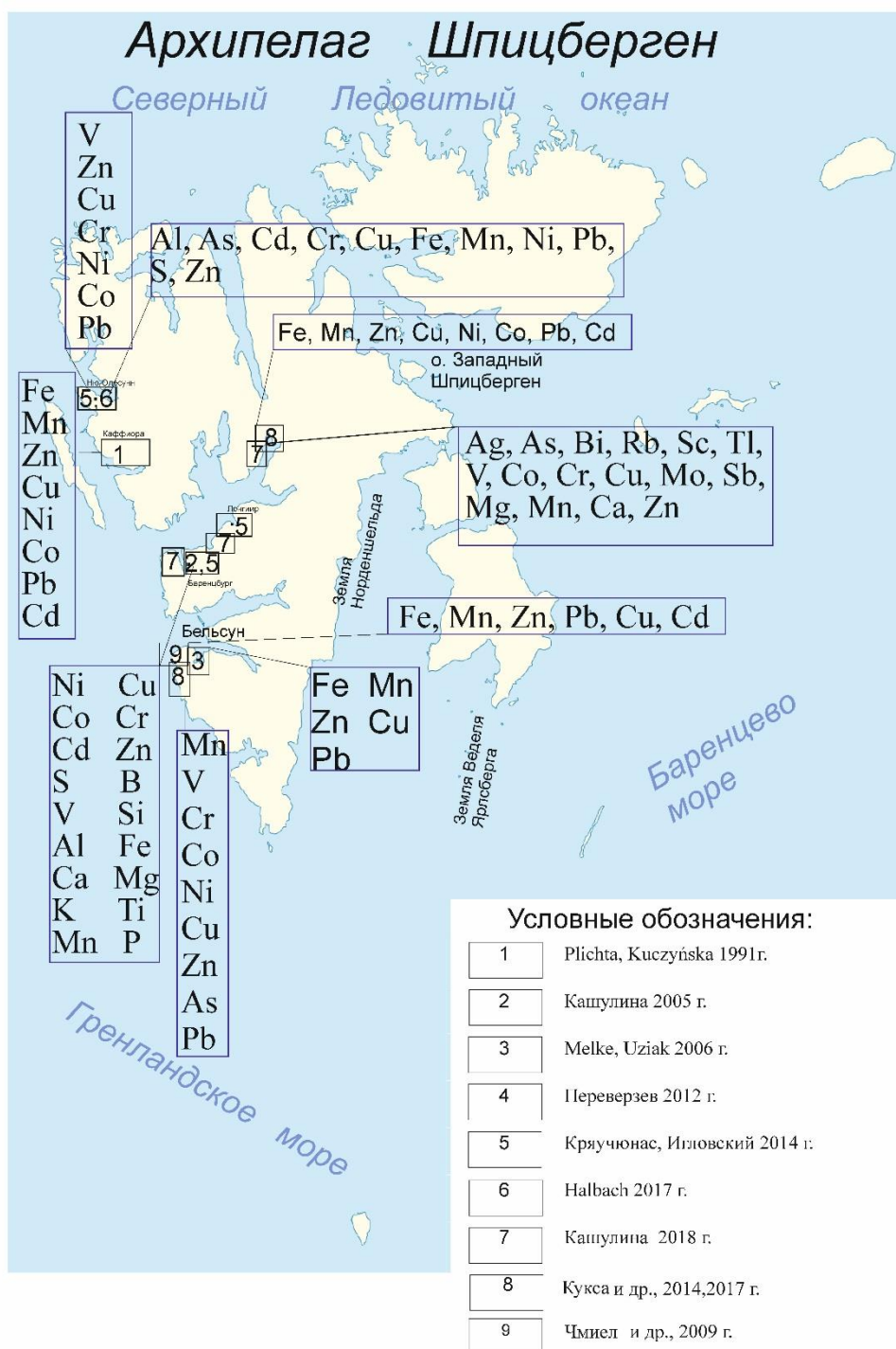


Рисунок 1.2.1 Расположение участков, на которых выполнялись геоэкологические исследования разными авторами (с указанием набора определяемых элементов) (составлено автором).

ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.

2.1. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Шпицберген (норв. *Svalbard*) – архипелаг, расположенный в Северном Ледовитом океане между 76°30' и 80°30' с.ш. и 110° и 32° в.д., омываемый с востока Баренцевым морем, с запада Гренландским (рис 2.1.1).

Архипелаг состоит из 3 больших островов: Западный Шпицберген, Северо-Восточная Земля (*Nordaustlandet*) и остров Эдж (*Edgeøya*); семи более мелких островов — остров Баренца (*Barentsøya*), Белый остров (*Kvitøya*), Земля Принца Карла (*Prins Karls Forland*), Коргсёйа (*Kongsøya*), Медвежий остров (*Bjørnøya*), Шведский остров (*Svenskøya*), остров Вильгельма (*Wilhelmøya*); а также большой группы маленьких островов общей площадью 61022 кв. км.

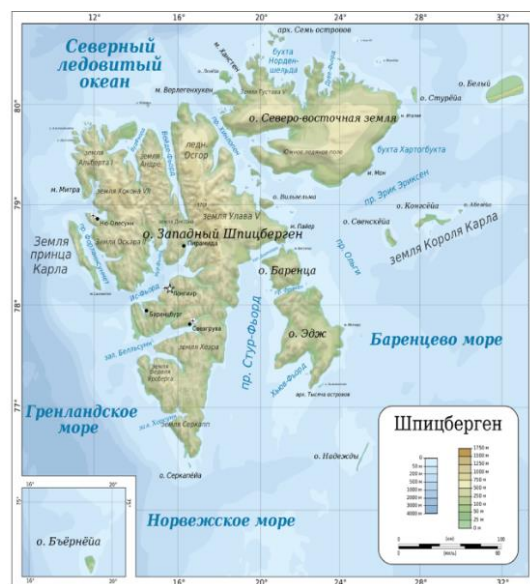
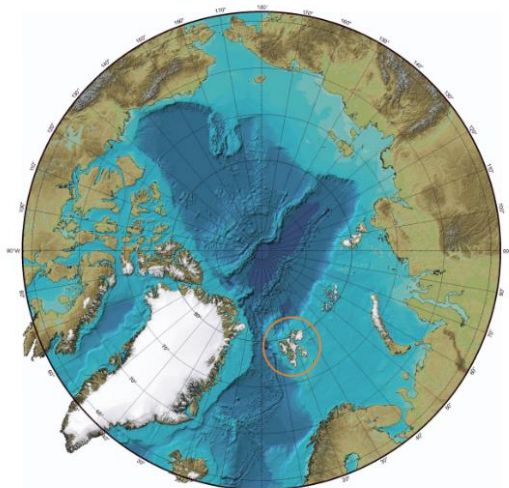


Рисунок 2.1.1 Карта Шпицбергена (<https://photoputeshestviya.ru>)

Первый изучаемый район находится в южной части острова Западный Шпицберген – Земля Веделя Ярлсберга (рис2.1.2). С севера Земля Веделя

Ярлсберга ограничена заливом Бельсунд, с запада Гренландским морем, а с юга заливом Хорсунд. Основную часть исследованной территории занимают прибрежные равнины, речные долины, горные массивы.

Рельеф Земли Норденшельда и Земли Веделя Ярлсберга относится к альпийскому типу с остроконечными пирамидальными вершинами, цирками, карами, узкими гребнями, разделенными долинами.

Изучаемые территории представляют собой глубоко расчлененные среднегорные территории со сложной системой хребтов и платообразных возвышенностей (Семевский, Шкатов 1965).



Рисунок 2.1.2 Схема расположения участков исследования (составлено автором)

Максимальная абсолютная отметка на Земле Веделя Ярлсберга – гора Циттеля (1176 м.). Отметки горных вершин колеблются в пределах 1000 м: г. Хогтанна (914 м.), г. Раудфьеллет (1016 м.), г. Паландера (728 м.).

Горные сооружения на Земле Норденшельда имеют, преимущественно, субмеридианальное простирание; их абсолютные высотные отметки достигают 1000 и более м (г. Норденшельдфьеллет – 1051 м).

2.2 КЛИМАТ

Архипелаг Шпицберген расположен в арктическом климатическом поясе. Несмотря на приполярное положение, климат на островах довольно мягкий, что обуславливается влиянием теплого Западно-Шпицбергенского течения (северная «ветвь» Гольфстрима). При этом с запада на восток влияние теплых вод уменьшается.

Мягкий климат особенно сказывается зимой, когда перепады температур максимальные, то возникает длительный период неустойчивой штормовой погоды. По данным метеостанции Исфьорд Радио в период январь - март (самые холодные месяцы) средняя t около -12°C . Минимум температур был зафиксирован в марте 1917 года — $-49,2^{\circ}\text{C}$. По данным этой же метеостанции средняя t в июле равна 5°C . Максимум температур был зафиксирован в июле 1979 года — $21,3^{\circ}\text{C}$ (Семенов и др., 2002).

Мягкие воздушные массы с юга и холодные полярные с севера приносят в климат архипелага сильные ветра. На уже упоминавшийся ранее метеостанции Исфьорд Радио скорость ветра больше 11 метров в секунду.

Осадки выпадают преимущественно в виде снега, среднее количество осадков на западном побережье 560 мм за год. Весна и раннее лето — самые сухие времена года, а осень — зима наоборот.

Изучаемая территория находится в зоне сплошного развития многолетней мерзлоты. Естественная оттайка грунтов в летний период колеблется до 2 м.

Летом погода крайне переменчива и характеризуется выпадением дождя, мокрого снега, сильными ветрами, частыми туманами и низкой облачностью.

Шпицберген имея суровые климатические условия, относится к зоне арктических тундр. Соответственно, растительность не отличается большим разнообразием, но все же на изучаемой территории встречается довольно большое количество различных видов растений, среди которых главное место занимают мхи (*Calliergon*, *Drepanocladus*) и лишайники (Иванов, 1935). Причиной этому служит вечная мерзлота - плохой дренаж почвы, короткий вегетационный период (6-10 недель), климатические особенности.

2.3 СОВРЕМЕННОЕ ОЛЕДЕНЕНИЕ.

Земля Веделя Ярлсберга - район интенсивного современного оледенения, наиболее распространенный тип оледенения здесь - это «шпицбергенский тип оледенения». Наиболее крупным ледником на этой территории является выводной ледник Речёршбреен. Горные ледники располагаются преимущественно в горных долинах.

На Земле Норденшельда развиты небольшие по размерам ледники в основном долинного типа. На архипелаге распространены пульсирующие ледники. Считается, что ледники Альдегонды и Гренфьорд совершали резкие подвижки в голоцене (малый ледниковый период) (Кокин, 2010).

2.4 ГИДРОГРАФИЯ

Гидрографическая сеть района довольно густая и представляет собой сильно развитую сеть ручьев и рек, которые имеют «гуляющие русла». Уровень воды имеет сезонное колебание, который зависит от таяния ледников и выпадения осадков. Наибольший уровень воды в реках достигается весной. Наиболее крупные водотоки - это Чемберлендален, Дундердален, Орвиндален, Лонгедален, Колесдален.

Долины Чемберлендален и Колесдален являются крупнейшим с протяженностью до 16 км, шириной до 4 км. В днищах долинах часто встречаются озера, долины имеют преимущественно ледниковое питание, а в пределах прибрежных участков занимает место полоса осушки.

Береговая линия довольно неоднородна: протяженные прямолинейные участки, выступающие мысы, вдающиеся в сушу бухты, береговые обрывы, заливы, пляжи постоянно чередуются.

2.5 РАСТИТЕЛЬНЫЙ И ЖИВОТНЫЙ МИР

Шпицберген имея суровые климатические условия, относится к зоне арктических тундр. Соответственно, растительность не отличается большим разнообразием, но все же на изучаемой территории встречается довольно большое количество различных видов растений, среди которых главное место занимают мхи (*Calliergon*, *Drepanocladus*) и лишайники (*Иванов, 1935*). Причиной этому служит вечная мерзлота - плохой дренаж почвы, короткий вегетационный период (6-10 недель), климатические особенности.

Вершины гор, склоны, перевалы, в основном, лишены растительности. Долины рек, террасы, приморские равнины преимущественно заболочены, имеют покрытую мхами и лишайниками поверхность. У подножия гор, в защищенных от ветра местах встречается цветковая растительность, которая распространена крайне неравномерно, а отдельными островками.

Встречаются большие пространства, покрытые дриадой (рис.2.5.1), осокой, арктической пушицей (рис.2.5.2), камнеломкой и др. Древесной растительности в ее привычном виде нет, все деревья имеют карликовый рост. Полярная береза и полярная ива не превышают 30 см высоты и 3-5 см толщины.



Рисунок 2.5.1 Дриада (фото автора)



Рисунок 2.5.2 Пушица арктическая (фото автора)

В июле-августе на архипелаге распространены грибы: сыроежки, грузди, подберезовики.

Животный мир так же, как и растительный, не особенно разнообразен, но приспособлен к суровым условиям существования.

На Свальбарде проживают 3 семейства наземных млекопитающих: песец (рис 2.5.3), белый медведь, свальбардский олень (рис. 2.5.4). На побережьях встречаются нерпы, моржи, морской заяц. В летний период на архипелаге господствуют пернатые: пуночки, полярные крачки, морской песочник, кайры, моевки, поморники и др. В заливах много рыб и нерпы.



Рисунок 2.5.3 Песец (фото автора)



*Рисунок 2.5.4 Свальбардский олень
(фото автора)*

2.6 АНТРОПОГЕННОЕ И ТЕХНОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ

Рядом с долиной Чемберлендален нет постоянного населения, хозяйственных построек и не проводятся промышленные работы. Район почти полностью освобожден от антропогенной нагрузки и не загрязнен отходами жизнедеятельности. На побережье Решершфьорда стоит деревянная постройка. Летом в районе проходят небольшие группы ученых и туристов.

На территории долины Колесдален находится законсервированный советский поселок Колсбей. Поселок состоит из нескольких барачков, и одноэтажных домиков, на окраине располагается законсервированный сортировочный цех, в котором ранее проходила погрузка на корабль и сортировка добытого в Груманте угля (*рис 2.6.1*). Также сохранились остатки железной дороги, по которой транспортировали груз. На территории поселка и долины Колесдален разбросаны железные отходы (банки, рельсы, бочки и т.д.).

Ежегодно поселок посещает большой поток туристов, научных сотрудников и местных жителей, что естественно сказывается на загрязнённости поселка и прилегающих территорий.



Рисунок 2.6.1 Поселок Колсбей (фото Окунева А.С.)

На берегу озера Фар расположен деревянный барак (рис 2.6.2).



Рисунок 2.6.2 Озеро Фар (Теппдаттен) (фото Окунева А.С.)

2.7 ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ДОЛИНЫ ЧЕМБЕРЛЕНДАЛЕН

Северная часть Земли Веделя Ярлсберга сложена породами нескольких геологических комплексов, которые формируют основные структурные этажи этого региона: докембрийское – раннепалеозойское складчатое основание; комплекс девонского грабена; комплекс отложений последевоновского чехла; и также четвертичные осадки (рис.2.7.1).

Наиболее древние породы этого района выходят на поверхность на севере и западе изученной площади и представлены метаморфизированным осадочно-вулканогенным комплексом Вереншельдбреен (Synnøve, 2007).

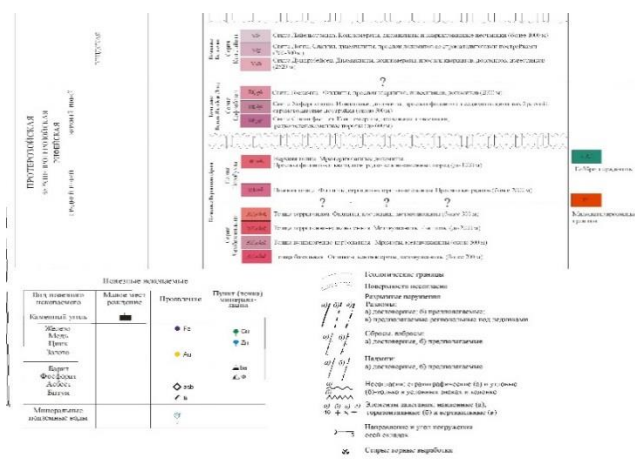
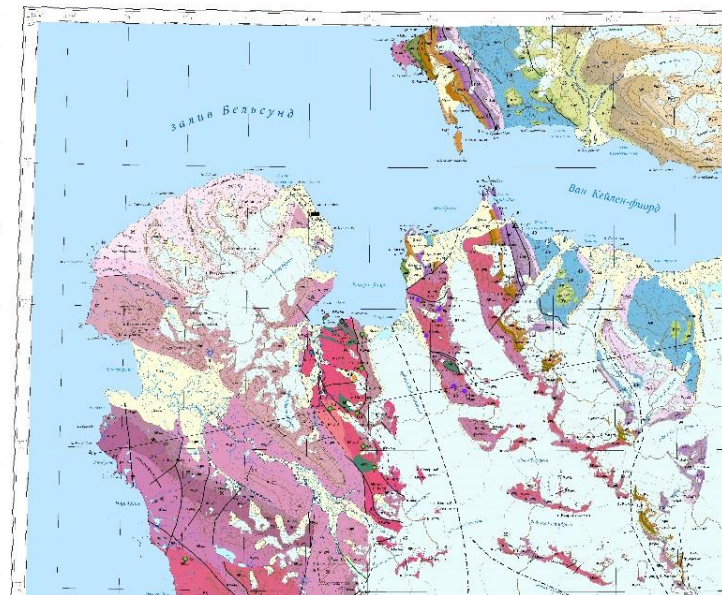


Рисунок 2.7.1 Часть карты геологического строения Земли Веделя Ярлсберга (о. Западный Шпицберген, (Милославский и др., 2018)

2.7.1. Протерозой. Эонотема Рифей. Комплекс Вереншельдбреен.

Серия Чемберлендален.

Изучаемая территория – долина реки Чемберлендален представлена (нижней) серией Чемберлендален. В районе ледника Речёрчбреен серия Чемберлендален, предположительно, имеет тектоническое сочленение по крупному разлому с (верхней) серией Нордбухта.

В районе долины реки Чемберлендален осадочно-вулканогенная серия характеризуется широким присутствием в своих разрезах горизонтов метавулканитов основного и среднекислого состава, а также наличием пластообразных интрузий основного и ультраосновного состава.

Всего в составе серии Чемберлендален выделяют 4 толщи: 1) базальная с конгломератами (RF2chd1); 2) вулканогенно-карбонатная (RF2chd2); 3) терригенно-вулканогенная (RF2chd3); 4) терригенная (RF2chd4).

Во всех толщах присутствуют метавулканиты в различных качествах, так как все породы испытали региональный метаморфизм.

RF₂chd₁. Базальная толща прослеживается по западному борту ледника Речёрч, которая перекрывается вулканогенно-карбонатной толщей. Базальная толща по составу терригенная, в ней преобладают филлиты и кварцито-песчаники, карбонатные породы встречаются редко в виде небольших прослоев (доломиты и мраморизованные известняки).

RF₂chd₂. Вулканогенно-карбонатная толща выходит на поверхность в западной части горного массива, разделяющего долину Чемберлена и ледником Речёрч. По составу эта толща преимущественно карбонатная: преобладают светло-серые, темно-серые мраморизованные доломиты; также карбонатные песчаники. Горизонтально залегают слои филлитов и прослои основных и ультраосновных метавулканитов. Например, на восточном склоне горы Обсерватория встречаются ультраосновные тела мощностью до 50 метров.

RF₂chd₃. Терригенно-вулканогенная толща составляет основной объем серии Чемберлендален и представлена породами пестрого литологического состава. Доминирующими породами этой толщи являются метавулканиты, габброиды и перидотиты. Метавулканиты здесь подразделяются на 2 вида: 1) собственно метаэффузивные породы основные и ультраосновные разности (выделяются по наличию в них порфировых вкраплений зеленоватого цвета) и среднекислые разности (светлоокрашенные зеленовато-серого цвета) и 2) метатуффоиды (по составу бывают основные зеленоватого цвета и среднекислые рыжевато-серые). Отличительной особенностью от метаэффузивов является повышенная карбонатность пород.

В филлитах (разной окраски от темно-серой до рыжевато-серой) присутствует переменное количество карбонатов.

RF₂chd₄. Терригенная толща развита локально, только в юго-западной части долины, представлена в основном филлитами и редкими прослоями метапесчаников и метавулканитов (зеленокаменных пород).

По содержанию микрокомпонентов в породах серии Чемберлендален выделяются следующие особенности: содержание SiO₂ в метапесчаниках достигает 80%, к тому же, в минеральном составе преобладает кварц. Неоднозначно оценивается содержание CaO – от 0,12% до 43%. Высокие содержания CaO в породах связаны, как правило, с содержанием кальцита. Остальные петрогенные окислы присутствуют в породах в следующих количествах: TiO₂ – от 0,13 до 3,71 %; Al₂O₃ – от 1,72 до 23%; Fe – от 1,04 до 12,2; MgO – от 0,5 до 7,87%; Na₂O – от 0,1 до 5,8%; K₂O от 0,044 до 4,18. Значения содержания петрокомпонентов характеризуется большими вариациями, что указывает на неоднородность представленной выборки.

2.7.2 Комплекс Ведель Ярлсберг Ленд. Серия Софиебоген. Свита Госхамна.

RF₃gh. Свита Госхамна частично развита в западной части изучаемого участка, граничит с серией Чемберлендален по западному борту долины

Чемберлендален. Серия Софиебоген не является типичной в долине Чемберлендален и выходит на поверхность отдельными островками.

Главные литологические единицы свиты Госхамна – глинисто-серицитовые сланцы; подчиненное значение имеет прослой песчаников и карбонатных пород. В основном свита имеет складчатый характер залегания и смещена серией мелких разломов.

По составу свита Госхамна представлена темно-серыми и зеленовато-серыми филлитизированными сланцами. По составу они довольно однообразны – слюдисто-кварц-карбонатные.

2.7.3 Венд. Комплекс Бельсунн. Серия Кап-Лайель. Свита Дундрабейсен.

Vdb. Свита Дундрабейсен имеет дочернее присутствие на изучаемой территории. С западного борта долины Чеберлендален свита граничит со свитой Госхамна, окаймляя ее. Свита имеет обширное поле выхода на поверхность – это горные массивы между долиной Чемберлендален и Дундердален.

Свита Дундрабейсен представлена в большей степени диамиктитами серовато-зеленых, рыжеватых оттенков. Диамиктиты неравномерно чередуются с прослоями песчаников, конгломератов и карбонатов. Характерной особенностью пород толщи является более разнообразный состав обломков – кварциты, известняки, кварцитовидные песчаники, доломиты, сланцы.

Четвертичные отложения в долине Чемберлендален в основном представлены ледниковыми отложениями, т.е. *основной и конечной моренами*. Развиты они на склонах, в районах движения ледников. Литологически эти образования представлены грязекаменными смесями, с большим количеством валунов, как местных пород, так и принесенных. В долине есть пойменный аллювий, представленный гравийно-галечным материалом. Пролувиальные отложения образовались в результате переноса и отложения продуктов

выветривания у подножий склонов временными горными реками и обладающими большой силой потоками. Эти отложения характеризуются плохой отсортированностью, включают обломки разного размера и разной степени окатанности. У подножий гор они образуют конусы выноса и часто сочетаются с делювиальными отложениями, образуя делювиально-пролювиальные отложения. Моренные отложения представляют собой несортированный грубообломочный материал, состоящий из глины, суглинков, супесей. Развиты на склонах рядом с ледниками и в подножьях склонов. Делювиально-солифлюкционные отложения распространены у подножий склонов. Длительность формирования неоплейстоцен-голоцен.

2.7.4 Тектоника

Исследуемый участок в долине реки Чемберлендален располагается в зоне сочленения двух структур первого порядка: горст-антиклинория западного побережья Шпицбергена и Западно-Шпицбергенского грабенообразного прогиба. Формирование этих структур связано с процессами появления альпийского тектогенеза, вероятнее всего, в позднепалеогеновое-неогеновое время.

Структуры горст-антиклинория отражены в районе Речёрч-фьорда тектоническими блоками, сложенными породами верхнего палеозоя. В долине Чемберлендален вскрывается ядро антиклинали Антониобреен, представленное среднерифейским вулканогенным комплексом. Структуры серии Чемберлендален имеют преимущественно северо-западное простирание с падением пород к юго-западу. Для пород характерно до трёх систем складок. Вертикальные изоклинальные складки сминают контакт между пластовыми интрузиями.

Разрывные структуры в северной части Земли Веделя Ярлсберга имеют широкое распространение. Крупные разломы, которые можно отнести к региональным приурочены к крупным ледникам (Речёрчбреен) и имеют продольное субмеридиональное простирание.

В долине Чемберлендален существуют 2 (восточный и западный) разлома – в западном и восточном бортах долины.

Западный разлом отделяет породы серии Чемберлендален от пород свиты Госхамна, которые перекрыты породам венда. Восточный разделяет породы вулканогенно-карбонатной и терригенно-вулканогенной тощ серии Чемберлендален и хорошо читается на горном хребте к западу от ледника Речерчбреен. В целом эти два разлома можно рассматривать как границы грабена, ограничивающего вулканогенную структуру долины Чемберлена.

Геологический разрез долины Чемберлендален (рис.2.7.2), составленный по геологической карте Земли Веделя Ярлсберга (Милославский и др, 2018) показывает геологические свиты и выходы интрузивных образований, которые в долине перекрыты четвертичными отложениями. Разрез позволяет правильно интерпретировать влияние коренных пород на подстилающие почвы.



Рисунок 2.7.2 Геологический разрез долины Чемберлендален (составлен по карте «Геологическое строение Земли Веделя Ярлсберга» (Милославский и др., 2018).

Участок геоэкологического исследования расположен на участке, слагающем терригенно-вулканогенную толщу (RF2chd3), граничащий с выходами интрузивных образований (vRF2).

мощные ледники, прорезающие побережье, разделяют эту часть архипелага на отдельные районы, корреляция структур которых вызывает затруднения.

В тектоническом отношении район Земли Норденшельда находится на сочленении двух структур первого порядка - горст-антиклинория западного побережья Шпицбергена и Центрально-Шпицбергенского грабенообразного прогиба. Границей двух этих структур является долгоживущая западная граничная зона *разломов (Лившиц, 1973)*, подвижки по которой продолжались вплоть до четвертичного времени.

Центрально-Шпицбергенский грабенообразный прогиб располагается в центральной части острова Западный Шпицберген и сложен породами верхнего палеозоя – неогена. Они характеризуются спокойным залеганием и формируют широкие открытые складки, мульды и купола, углы залегания на крыльях которых обычно не превышают 10° . Исключением являются участки, прилегающие к зонам граничных разломов, где молодые породы также в значительной степени могут быть дислоцированы (*Лившиц, 1973*).

2.8.2 Мезозой. Меловая система.

Отложения мезозоя на исследуемой территории прослеживаются в профиле и скрыты пачками вышележащих толщ.

K₁cf. Свита, которая представлена большей частью песчаниками, серыми и светло-серыми, среднезернистыми, кварцитовидными. В подчиненном количестве – прослой алевролитов и глинистых песчаников темно-серого цвета. В нижней части разреза – прослой гравелитов с линзами и прослоями конгломератов. К алевролит-аргиллитовым пачкам приурочены угольные пласты и пропластки до 0,2 м угля и углистого аргиллита. Мощность свиты от 40 до 120 м.

K₁hf. Отложения свиты представлены переслаиванием тоноко-среднеплитчатых темно-серых алевролитов, аргиллитов с прослоями мелкозернистых алевритистых песчаников. По всему разрезу большое

количество прослоев и линз (до 0,5 м) глинистых и песчанистых известняков, конкреции овальной формы.

2.8.3 Кайнозой. Система Палеогеновая.

Отложения палеогеновой системы представлены всеми тремя отделами, они слагают большую часть площади работ. Отложения объединены в серию Ван-Майенфьорден (*Лившиц, 1973*) и подразделены на 6 свит, имеющих палеоцен-олигоценый возраст: баренцбургская, колесбухтинская, грумантская и холендердалендская нерасчлененные, фрюшаоденская, колиндеродденская, стурвольская.

P_{1br}. Отложение баренцбургской свиты распространены в основном в тех же районах, что и меловые отложения. Верхняя часть свиты сложена светло-серыми и серыми мелко-среднезернистыми кварц-полевошпатовыми и кварцевыми песчаниками массивными, иногда горизонтально слоистыми. По разрезу встречаются конкреции пирита и сидерита. Часты прослои мелкогалечного конгломерата, гравелита. Для нижней части свиты являются появление в разрезе обугленного детрита и отдельных маломощных угольных пропластков и линз (*Лившиц, 1973*).

P_{1cl}. Отложения этой свиты согласно перекрывают отложения баренцбургской свиты, связаны с ними постепенным переходом и распространены на тех же отложениях, что и нижележащие. В целом, разрез свиты слагают алевролиты, аргиллиты, темно-серые, с поверхности выветривания желтоватой окраски и прослоями алевритистых песчаников (редко) с бурыми пятнами (до 10 см) выветрелого пирита. По всему разрезу рассеянная галька черного кремния хорошей окатанности до 3 см в диаметре. В средней части разреза пласт алевролита общей мощностью до 1 м, с большим количеством отпечатков брахиопод. В рельефе контакт между баренцбургской и колесбухтинской свитами хорошо выражен по обрывам нижележащей толщи и пологим осыпным склонам колесбухтинской свиты почти повсеместно (*Лившиц, 1973*).

P_{1g+hl}. Отсутствие надежного маркирующего горизонта между холендердаленской и грумантской свитами, связанными между собой постепенным переходом, не позволяет выделить отдельно эти толщи на площади. Грумантская свита распространена значительно шире, чем нижележащие отложения, залегает согласно и связана с нижележащей постепенным переходом. Свита представлена однообразной тощей зеленовато-серой полевошпат-кварцевых песчаников и мало отличимых от них внешне песчанистых алевролитов.

Вышележащая холендердаленская свита сложена большей частью алевролитами и аргиллитами с прослоями песчаников в верхней части. Алевролиты темно-серые, крупнозернистые, слюдистые, иногда со скорлуповатой отдельностью, с мелкими стяжениями пирита. Мощность свиты крайне непостоянна, меняется от 40 до 70 м.

P_{1-2fr}. Отложения свиты широко развиты на исследуемой площади, где, как правило, слагают средние части гор. Породы свиты согласно перекрывают песчаники нижележащей толщи. Контакт между свитами на исследуемой площади нигде не отмечался в коренном обнажении, так как отложения свиты представлены обильными осыпями, перекрывающими нижележащие отложения. Разрез свиты однообразен и представлен черными аргиллитами и алевролитистыми аргиллитами, при выветривании образуют удлинённую щебенку. По разрезу отмечаются прослой бурых известковистых аргиллитов (до 0,2 м) и глинистых известняков, а также плотных ожелезненных пород красновато-бурого цвета.

P_{2cln}. Отложения свиты слагают преимущественно привершинные части гор. Они согласно перекрывают аргиллиты фрюшаодденской свиты и связаны с ними постепенным переходом. Разрез в целом представлен переслаиванием мощных (15-40 м) пачек песчаников с менее мощными (15-25 м) пачками алевролитов и аргиллитов. Песчаники серые, зеленовато-серые, мелко-среднезернистые. В кровле свиты отмечаются многочисленные растительные остатки хорошей сохранности (*Лившиц, 1973*).

P_{2-3st}. Отложения свиты развиты не повсеместно и слагают наиболее высокие вершины гор. Они залегают на отложениях нижележащей колиндеродинской свиты согласно и связаны с ними постепенным переходом. Разрез свиты представлен серыми, светло-серыми от мелко- до крупнозернистых полимиктовыми песчаниками, ритмично переслаивающимися с серыми аргиллитами и тонкослоистыми серыми алевролитами. По всему разрезу характерны включения каменных углей до 0,2 м (*Лившиц, 1973*).

Четвертичные отложения в долине почти полностью перекрывают материнские породы. Ледниково- морские отложения развиты в долине и у подножий склонов, образуются при оттайки обломочного материала в ледниках. Характеризуются слабой сортировкой обломочного материала. Морские террасы развиты у побережья, полностью или частично денудированы. Наибольшим распространением из пород четвертичного возраста имеют отложения делювиально-солифлюкционного генезиса. Они слагают шлейфы вблизи подножий склонов. Сложены в основном крупнообломочным не окатанным материалом, супесью и суглинками с включением глыб, щебня. Пролувиальные отложения слагают все конусы выноса в долине. Флювиогляциальными отложениями сложены все днища долины. Отложения представляют собой хорошо сортированные пески с включением супеси, щебня и гальки, а также валунов. Аллювиальными отложениями также сложена долина. Они представлены в основном мелкообломочным материалом.

Участок геоэкологического опробования в долине Колесдален перекрыт четвертичными отложениями, поэтому данные геологического разреза служат важную роль для интерпретации результатов. Участок опробования расположен на отложениях баренцбургской свиты (P1br), слагающей в основном светло-серые и серые мелко-среднезернистые кварцевые песчаники (*рис.2.8.2*).

Свиты имеют согласное залегание относительно друг друга, на изучаемой территории нет разломов.



Рисунок 2.8.2. Разрез геологического строения долины Колесдален (составлено по данным (Милославский и др., 2018ф)).

2.9 ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДОЛИНЫ ЧЕМБЕРЛЕНДАЛЕН

Земля Веделя Ярлсберга характеризуется крупными долинами, которые разделяют горные хребты с платообразными возвышенностями. На изучаемой территории распространены ледники, самый большой из них – Речёрчбреен (рис.2.9.1) (Zagorski et al., 2002) и (Лаврушин Ю.А., 1969).

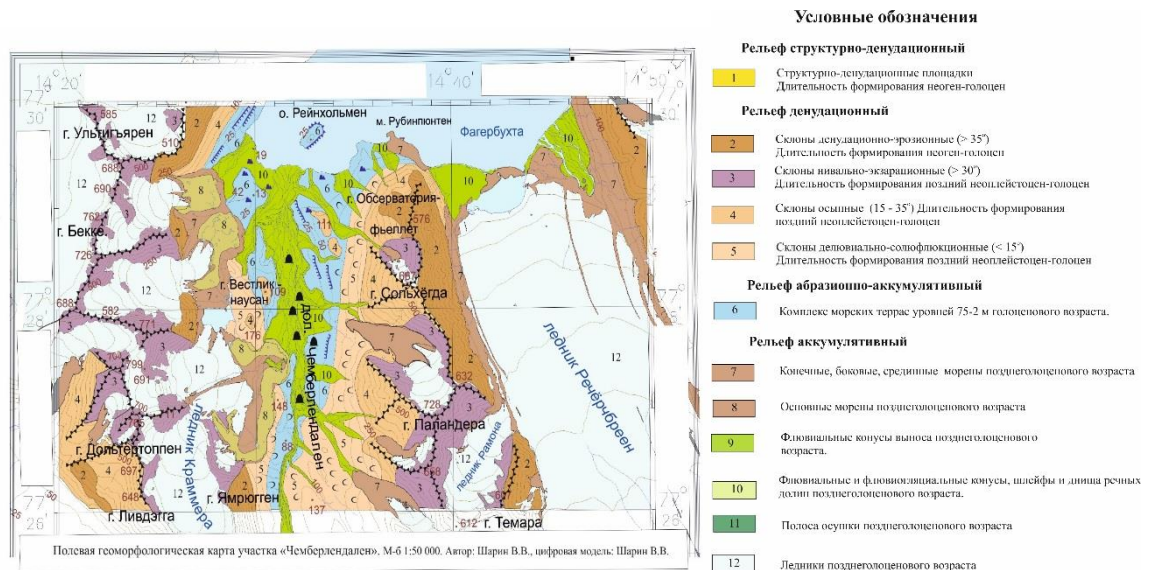


Рисунок 2.9.1. Геоморфологическая карта участка Чемберлендален. (Кукса и др., 2018).

2.9.1. Денудационный рельеф

Занимает лидирующее место по распространению на изучаемой территории и состоит из склонов различного генезиса. В своем большинстве склоны этого района являются полигенетическими формами рельефа. На всех склонах можно выделить денудационную часть, которая является наиболее крутой, и аккумулятивную у подножий (рис.2.9.2).

Денудационно-эрозионные склоны сформированы в неоген-голоцене на склонах выделяются выходы коренных пород с эрозионными желобами и бороздами V-образной формы. В связи с протекающими процессами морозного выветривания, в верхней части склона выражен «ступенчатый» рельеф. Такой рельеф препятствует перемещению вниз по склону отложений гравитационного ряда (глыбы, щебень, дресва).

Денудационно-эрозионные склоны имеют четко выраженные грани, где углы склонов бывают более 35° . Часто склоны имеют выпуклый, ступенчатый профиль.

Нивально-экзарационные склоны преобладают на территории занятой современным оледенением. Формирование таких склонов происходит в большей степени из-за нивальных процессов, в меньшей из-за экзарационных. Длительность формирования плиоцен-голоцен. При нивально-экзарационных процессах образуются кары, которые в свою очередь появляются на уровне снеговой границы в небольших углублениях на склонах под воздействием замерзающего и оттаивающего, снега и льда. Такие процессы способствуют разрушению скальных пород и большему разрастанию и углублению кара.

Склоны сложены коренными породами, поверхность осложнена ледниковыми бороздами, по которым переносится обломочный материал.

Осыпные склоны имеют большое распространение в районе. Формируются за счет процессов криогенного выветривания, дезинтеграции пород и ослабления их прочности, и механическому перемещению продуктов выветривания вниз по склону. Материал процессов выветривания не окатан, плохо сортирован и представлен глыбами, щебнем, дресвой. Углы осыпных склонов имеют крутизну 15° - 35° . Длительность формирования плиоцен-голоцен.

Перемещение материала происходит по бороздам и желобам, приуроченным к трещинам. Вымываемый материал обычно представлен в виде пластичной массы, стекающей вниз по склонам.

Ведущими процессами в формировании склонов являются осыпание, плоскостной смыв и водная эрозия. Такие склоны приурочены к площади развития протерозойских пород и, соответственно, продуктами осыпания к подножиям являются глыбы и щебень. Вынос обломочного материала происходит по склоновым эрозионным бороздам и ложбинам, у основания которых формируются пролювиальные конусы выноса.

Делювиально-солифлюкционные склоны. Приурочены к формированию в позднем неоплейстоцене-голоцене. Ведущим процессом в перемещении материала по склонам является *солифлюкция* (рис. 2.9.3). Это движение насыщенного влагой верхнего слоя грунта по еще замерзшей, не оттаявшей поверхности (склону). Развивается в процессе повторяющегося промерзания и протаивания грунта. Это снижает прочность грунтов и разрушает структурные связи в результате переувлажнения. Развитие *солифлюкции* происходит из-за преобладания в составе грунта рыхлого материала и его высокой водонасыщенности. При движении грунта образуется террасированность склонов, создавая ассиметричные натежные террасы. Поэтому такие склоны имеют пятнистый рисунок с выпуклыми неровностями и натеками. Склоны имеют слабую задернованность с редкими выходами коренных пород.



Рисунок 2.9.2 Склоны в долине Чемберлендален (фото Окунева А.С.)

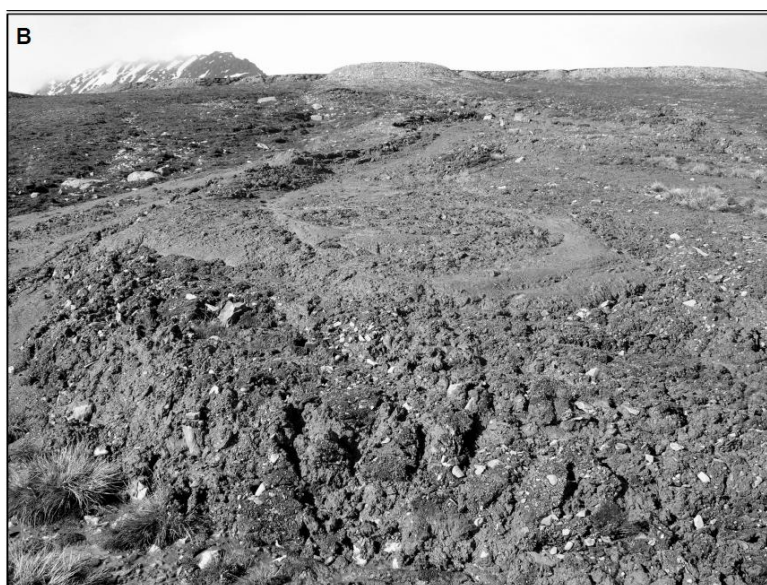


Рисунок 2.9.3 Солифлюкция над поселком Колсбей (Zagorski et al., 2002)

2.9.2 Абразионно-аккумулятивный рельеф преобладает на приморских равнинах, в крупных долинах рек.

Абразионно-аккумулятивные террасы прослеживаются в устье долины Чемберлен и занимают остров Рейнхольмен. Поверхность террас осложнена многочисленными реликтовыми останцами структурно-денудационными грядами и возвышенностями. В районе долины Чемберлендален установлено площадное распространение морских террас уровней: 1-2 м, 2-5 м, 10-12 м, 25-30 м, 50-55 м.

2.9.3. Аккумулятивный рельеф в долине Чемберлендален представлен поверхностями флювиального, флювиогляциального, ледникового, морского и пролювиального генезиса.

Конечные, боковые и срединные морены имеют возраст формирования - поздний голоцен. Расположены вокруг ледников, на поверхности ледников и по их периферии.

Конечные морены располагаются по периферии языков ледника и представляют собой не сортированные, хаотичные нагромождения в виде холмов и возвышенностей высотой до 30 метров. *Конечно-моренные гряды и валы* встречаются вдоль краёв бывших ледников, формируют моренный краевой комплекс. Имеют валообразную продолговатую форму, состоят из скопления продуктов разрушения горных пород.

Боковые морены располагаются по «бокам» ледникового языка. Они протягиваются грядами вдоль всего ледника. Длина боковых морен зависит от самого ледника, высота может достигать 30 метров. Боковые морены имеют тенденцию двигаться вместе с языком ледника, в результате чего боковые морены переходят в конечные.

Срединные морены формируются на самом теле ледника в форме гряд и шлейфов высотой до 12 метров. Образуются он за счет движения и слияния двух языков ледника в один или разных ледников. По форме срединные

морены повторяют все движения ледника. Двигаются по направлению движения ледника.

Основные морены (рис. 2.9.4) сформировались в позднем голоцене. Такие морены формируются при отступании холодных, примерзших к ложу ледников, которые после таяния ледника остаются в виде крупных ледокаменных образований, тают и образуют многочисленные неглубокие озера. Морены такого типа представляют собой валунно-глыбовый материал, сложенный в форме холмов высотой до 2 метров.



Рисунок 2.9.4. Основная морена в долине Чемберлендален (Zagorski et al., 2002)

Флювиальные и флювиогляциальные конусы и днища речных долин. Возраст – поздний голоцен. Речные долины служат звеном между ледниковыми и морскими формами рельефа и отложениями. Вверху по долине развиты ледники, от которых берут начало реки. Горные ледники образуют многочисленные притоки, которые примыкают и питают основное русло долины. Таким образом, аллювиальные отложения сочленяются с флювиальными и ледниковыми отложениями в ледниковых областях, а с другой с морскими осадками. За счет блуждающих потоков талых вод образуются зандровые конусы. Они представляют полого наклонные конусы с крутым продольным профилем, в котором осаждается самый крупный материал. Зандровые шлейфы состоят из множества слившихся конусов,

которые образовались блуждающими водотоками, оставляющими гравийно-галечно-песчаный материал. Они питаются за счет стока талых вод с ледников.

В долине Чемберлендален (рис. 2.9.5) флювиальные и флювиогляциальные процессы проносят большое количество хорошо сортированного рыхлого материала с ледников и склонов, который осаждается в конусах выноса и на морских террасах, которые распространены по периметру изучаемой части долины Чемберлендален.



Рисунок 2.9.5. Долина Чемберлендален (фото Окунева А.С)

2.9.4. Формы и элементы рельефа.

Гребни и хребты отрогов в изучаемом районе образованы сходящимися денудационно-эрозионными или нивально-экзарационными склонами. Являются наиболее четкими элементами орографии. Гребни исследованного района, образованные денудационно-эрозионными или нивально-экзарационными склонами, обычно пилообразные или острые.

Бровки и уступы морских террас высотой достигают до 4 метров. Бровки террас значительно размыты и уступы задернованы и перекрыты процессами солифлюкции. По простиранию этих элементов морских террас возможно четко установить палеоберега, обрамляющие палеозалив в долине Чемберлендален.

Осыпные конусы приурочены к подножьям склонов. Для образования осыпных конусов характерными факторами является морозный климат и

присутствие коренных пород. Для них характерна сортированность материала по размерам.

Пинго распространены вдоль долины Чемберлена. Это бугры пучения, образованные в результате вспучивания грунта при промерзании с подтоком вод к месту промерзания. При этом происходит рост бугра.

Горные перевалы отмечены на большинстве горных хребтов района. В формировании перевалов ведущую роль играет эрозия. Ледниковые перевалы сконцентрированы в основном на участках ледоразделов.

Абразионные останцы реликтовые в рельефе представлены серией гряд до 3 метров высотой, хорошо обработанных волновыми процессами и процессами криогенного выветривания. Реликтовые приурочены к приморским равнинам и крупным долинам.

2.9.5. Наложённые формы рельефа.

Площади развития солифлюкционных террас приурочены к делювиально-солифлюкционным склонам и на уступах морских террас. Развитие солифлюкции имеет ведущую роль среди перигляциальных процессов на изучаемой территории. Медленное движение переувлажненного грунта по склонам образует ступенчатые натёки в виде террас.

Каменные реки развиты на тех же склонах и проявляют себя преимущественно в летнее время года. Представляют собой линейно вытянутые скопления каменных глыб и щебня, медленно перемещающихся в неглубоких ложбинах вниз по склонам гор под действием силы тяжести и процессов солифлюкции; иногда представлены в виде языков, сложенных щебнем и глыбами.

2.10 ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИКА ДОЛИНЫ КОЛЕСДАЛЕН

В геоморфологическом отношении Земля Норденшельда (рис.2.10.1) – это район, лишенный сплошного ледникового покрова, характеризующийся разнообразием генетически различных форм рельефа - как денудационных, так и аккумулятивных (Семевский, Шкатов, 1965).

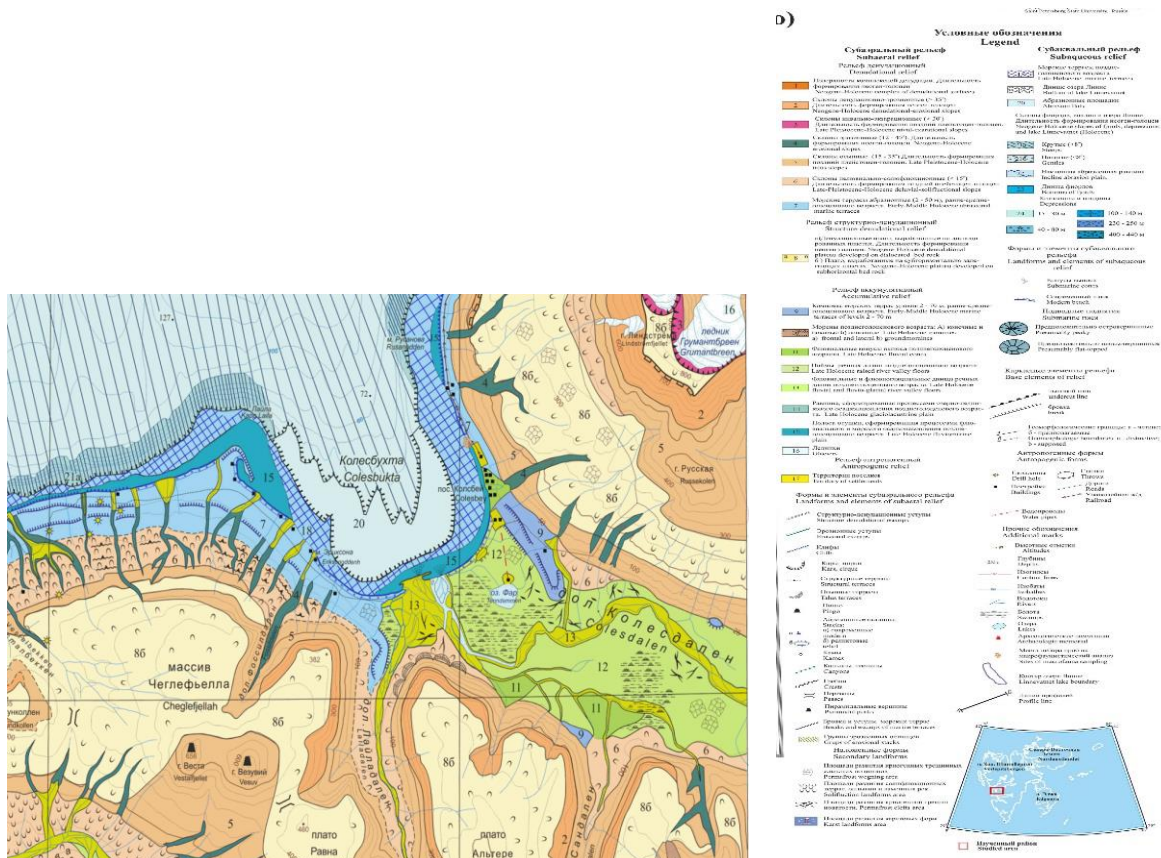


Рисунок 2.10.1. Часть геоморфологической карты центральной части острова Западный Шпицберген (Земля Норденшельда, архипелаг Шпицберген). (Шарин, 2012.)

Денудационный рельеф. Разлит в основном на палеогеновых песчаниках и аргиллитах. Образован сочетанием горных хребтов и платообразных возвышенностей, ориентированных преимущественно в субмеридиональном направлении.

Большое влияние на формирование геоморфологического облика изучаемой территории оказывает совокупность денудационных и

аккумулятивных процессов. В долине Колесдален преобладают денудационные, а именно склоновые процессы, которые влияют на эволюцию и форму склонов. Интенсивность склоновых процессов напрямую зависит от слагающих пород: чем породы рыхлее, тем быстрее происходят склоновые процессы. От вершин горных массивов до подножий сменяются как склоновые процессы, так и генезис слагающих пород. Стоит также учитывать фактор сурового климата и слабого развития растительного покрова, которые сопутствуют развитию склоновых процессов.

Денудационно-эрозионные склоны с углами 35° образуются при процессах выветривания калледеродденских песчаников на привершинных участках горных массивов. Длительность формирования неоген-голоцен.

Ниже по склону образуются *осыпные склоны* с углами 35° , сложенные аргиллитами и алевролитами, по которым транспортируются вышележащие породы. Длительность формирования плейстоцен-голоцен. Механизм осыпания состоит в скатывании и скольжении вниз по склонам относительно небольших глыб и щебня под действием силы тяжести. В результате у подножий склонов образуются конусы осыпания, которые в последствии разрастаются. Отделение глыб и щебенки коренных пород происходит в результате морозного выветривания, который резко увеличивает фактор поступления грубообломочного материала со склонов в условиях полярного климата.

Эрозионные процессы прослеживаются по всему периметру склонов от вершин до подножий, приурочены к руслам рек, образуют *эрозионные склоны*. Под действием текучих вод происходит размывающее действие склонов. Такие процессы распространены в пределах менее прочных и легче поддающихся размыву породах. Склоны имеют глубокие рассечённые глубокими эрозионными рывтинами, по которым летом, во время снеготаяния протекают ручьи. Длительность формирования неоген-голоцен.

Делювиально-солифлюкционные склоны приурочены к подножию гор из-за преобладания процессов солифлюкции, промерзания и оттайки почв, а

также плоскостного смыва и криогенных процессов. Весной, в случае интенсивного таяния снега стекающие со склона воды очень быстро оказываются перегруженными обломочным материалом и тем самым сопутствуют развитию солифлюкции.

Солифлюкция происходит в результате обводнения грунта из-за повторного промерзания и протаивания, когда вязко-пластичный материал (состоящий преимущественно из рыхлого обломочного материала) сползает вниз по склону. При солифлюкции на склонах образуются языкообразные натёки, имеющие выпуклые фронтальные уступы, чешуйчатость и бугорчатость из-за неравномерного сползания материала. Связано это с разной скоростью движения обводненного грунта, что способствует который настолько сильно переувлажняют поверхность, что на ней начинают образовываться ступенчатые натёки. Движение вязко-пластичной массы по склону аккумулируется у подножий склонов.

Морские террасы абразионные. Выражены в виде ряда ступеней над поверхностью моря до подножия склонов, вытянуты вдоль современной береговой линии, высотой до 50 м. Длительность формирования ранний-средний голоцен.

Структурно-денудационный рельеф.

Плато, выработанные на субгоризонтально залегающих пластах (рис.2.10.2). Плато бронируются пластами коренных пород палеогенового возраста. На плато часто встречаются площади развития криогенных и солифлюкционных полигонов. Длительность залегания неоген-голоцен.

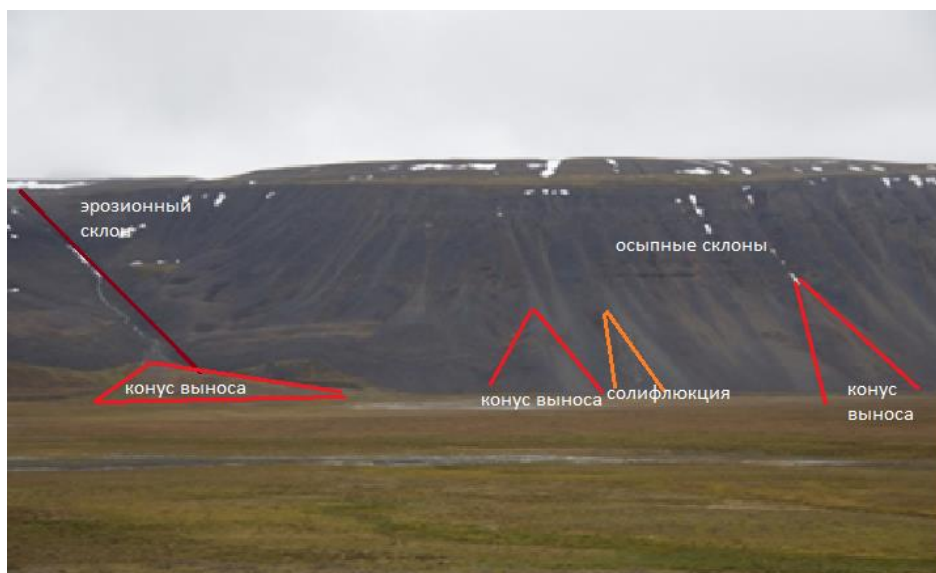


Рисунок 2.10.2. Плато в долине Колесдален (фото автора)



Рисунок 2.10.3 Долина Колесдален (фото автора)

Аккумулятивный рельеф. Развита в крупной долине Колесдален, где он представлен поймой и комплексом морских террас. Также к аккумулятивному рельефу относятся современные береговые и прибрежные образования, морские террасы, сформированные голоценовой и современной аккумуляцией.

Комплекс морских террас. Морские террасы протягиваются узкой полосой вдоль побережья, в рельефе четко выражены и многоступенчатые,

высотой до 45 м. Простираются глубоко в устье долины Лайладален. Подвержены абразионным и денудационным процессам. Длительность формирования – поздний голоцен.

В долине Колесдален *пойма* имеет ширину до 1,5 км. Колесдален имеет много протоков. В летнее время при хороших погодных условиях, по мере усиления таяния ледников в днище появляется больше действующих русел, соответственно, количество рыхлого обломочного материала резко возрастает. В периферической части долины, где скорости водотока ниже, чем в вершинной части, происходит накопление мелкого песчано-алевритового материала. В долине накапливается пойменный аллювий, мощностью до 1 м. Пойма частично заболочена, частично осложнена криогенными трещинами и старичными озерами, эродирована временными водотоками со склонов. Длительность формирования – поздний голоцен.

Флювиальные и флювиогляциальные днища речных долин сформированы деятельностью поверхностных текучих вод при аккумуляции аллювиального, флювиогляциального и делювиального обломочного материала. На бортовых частях формируются флювиальные конусы выноса, в которых аккумулируется рыхлых материал, приносимый водотоками. Длительность формирования – поздний голоцен.

Реки переносят с плато много обломочного материала, который осаждается в *флювиальных конусах выноса*, которые прослеживаются у подножий по всей долине Колесдалена (*рис.2.10.3*). Материал в таких конусах выноса характеризуется плохой сортированностью и слабой окатанностью. Длительность формирования – поздний голоцен.

Полоса осушки, сформированная процессами флювиального и морского осадконакопления, протягивается широкой полосой до 100 м. вдоль почти всего побережья. Длительность формирования – поздний голоцен.

Формы и элементы рельефа.

Структурные террасы встречаются на левом борту долины в виде террасовидных уступов на склонах, образованный выступом отпрепарированного денудацией пласта плотной породы, выходящего на поверхность и имеющего горизонтальное или близкое к нему залегание.

Осыпные террасы распространены на склонах, в тех участках, которые слагают рыхлые породы. Продукты выветривания под действием силы тяжести скатываются вниз по склону, образуя террасу. Преимущественно связаны с морозным выветриванием. Характеризуются гравитационной сортировкой – большие обломки накапливаются на удалении от подножия склонов, т.к. обладают большей энергией, чем мелкие.

Наложенные формы рельефа.

Площади развития солифлюкционных террас, оплывин и каменных рек выражены в рельефе почти повсеместно, встречаются на поверхности плато, склонах, в долине реки. Из-за смещения почв и грунтов образуются ступени.

Площади развития криогенных трещинных жильных полигонов и трещиноватости (рис.2.10) связаны с процессами промерзания и оттаивания грунтов. Встречаются бугры пучения и полигональные образования. Распространены преимущественно в пойме, склонах и морских террасах. Образуют сеть, которая разрастается и образует формы многоугольников. Трещины заполняются мерзлыми грунтами или водой, превращающейся при замерзании в лёд, что способствует дальнейшему расширению трещиноватости.



Рисунок 2.10. Криогенные трещины в долине Колесдален (фото автора)

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

3.1 ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ

Для создания геологических и геоморфологических 3D схем использовались фондовые отчеты, предварительные и опубликованные ранее карты Шпицбергенской партии АО «ПМГРЭ»:

1. Геоморфологическая карта центральной части о. Западный Шпицберген (Земля Норденшельда, арх. Шпицберген) м.1:50 000 (*Шарин и др.,2012*)
2. Предварительная геологическая карта с пунктами проявления полезных ископаемых центральной части Земли Норденшельда м.1:50 000 (*Милославский и др.,2018ф*)
3. Предварительная геологическая карта северной части Земли Веделя Ярлсберга (арх. Шпицберген) м. 1:100 000 (*Милославский и др.,2018*)
4. Полевая геоморфологическая карта участка «Чемберлендален», м. 1:50 000. (*Кукса и др.,2018*)

Изначально координаты каждой карты привязывали к цифровой модели архипелага Шпицберген «ASTER GDEM», которую можно найти в открытом доступе на сайте (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Для пространственной привязки карт к цифровой модели рельефа арх. Шпицберген использовалась программа GlobalMapper13.

Далее все структуры и элементы карты полигонально оцифровывались и наносились на карты новым слоем в программе ArcMap 10.4.1.

После оцифровки полученные карты в формате растровых данных были визуализированы и наложены на поверхность рельефа цифровой модели в 3D формате в приложении ArcScene 10.4.1. (*рисунок 3.3.1, рисунок 3.3.2*).

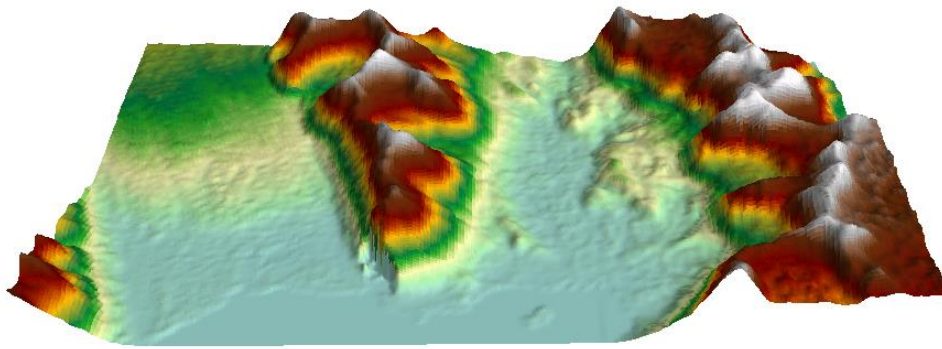


Рисунок 3.3.1. 3D схема участка долины Чемберлендален без оцифровки (в приложении ArcScene 10.4.1.)

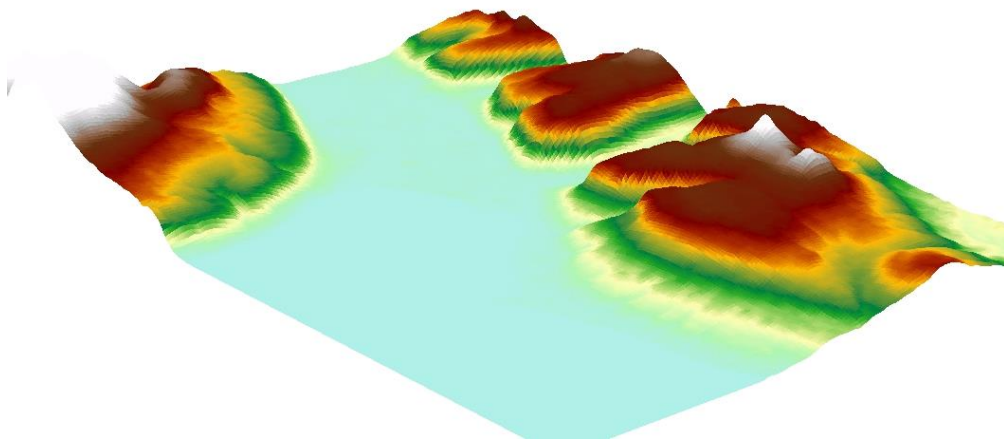


Рисунок 3.3.2. 3D схема участка долины Колесдален без оцифровки (в приложении ArcScene 10.4.1.)

Для нанесения геологических и геоморфологических характеристик (структурных линий, разломов, уловных обозначений и др.) использовалась программа CorelDRAW X6.

К геологическим 3D схемам выполнено дополнение в виде геологического профиля, на котором прослеживаются залегание горных

пород, выходы интрузивных образований и складчатость в программе CorelDRAW X6.

Обозначение образцов коренных пород, которые были отобраны в цирке долины Чемберлендален и близ морской террасы Колсбей выполнялось на обрезанных геологических картах в программе CorelDRAW X6.

3.2 ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения информации о содержании химических элементов в почвах в районе долины Чемберлендален и морской террасы Колсбей были проведены комплексные геоэкологические работы.

Первый участок геоэкологического опробования расположен на восточном борту долины Чемберлендален в её устьевой части. Всего было отобрано 14 проб почв (ЭП-1 – ЭП-14), 2 образца коренных пород на территории 150x250 м., обозначенных на карте (рис. 3.2.1).

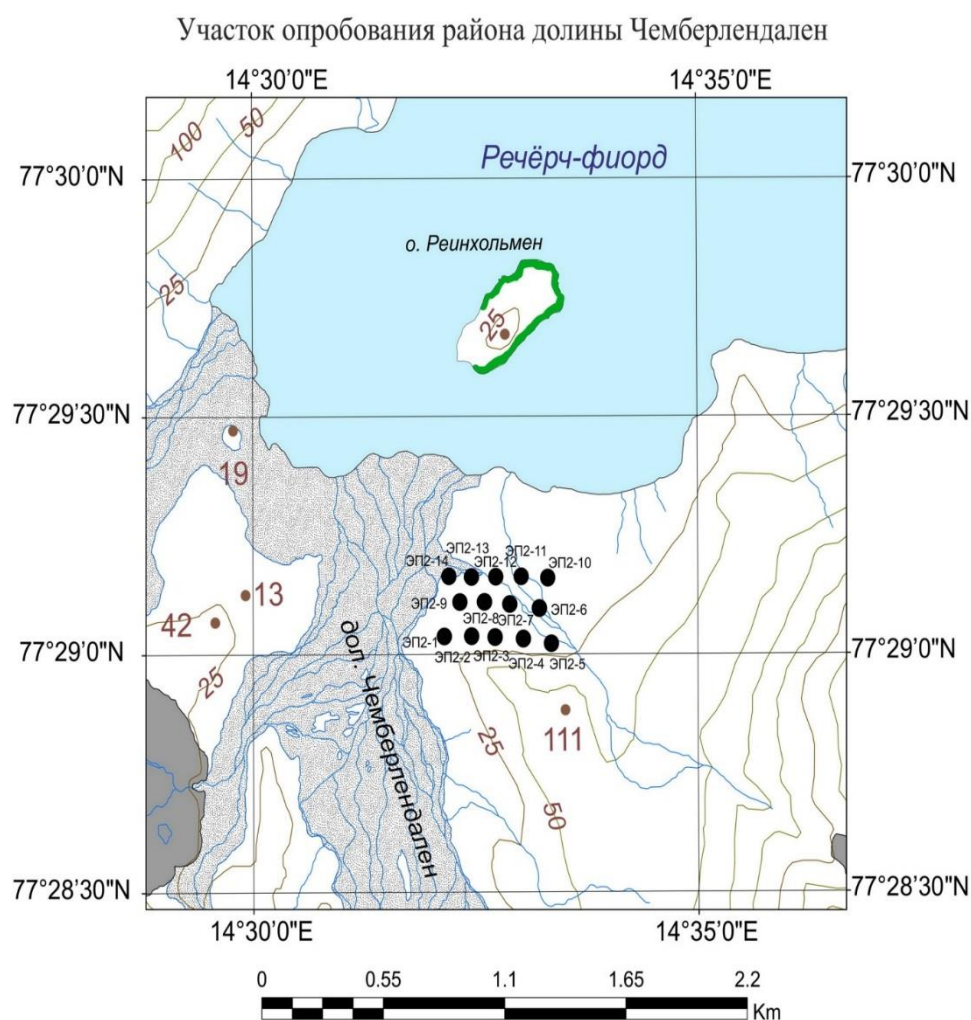


Рисунок 3.2.1. Участок геоэкологического опробования долины Чемберлендален.) (Кукса и др., 2018).

Второй участок геоэкологического опробования расположен на восточном борту долины Колсбей в её устьевой части. На морской аккумулятивной террасе – далее «терраса Колсбей» (рабочее название) – было отобрано 23 пробы (ЭП-АК-1 – ЭП-АК-23) на территории 300х400 м., их местоположение обозначенных на карте (рис.3.2.2).

Материалы для геоэкологического исследования долины Чемберлендален были получены в ходе геологических и геоморфологических работ на арх. Шпицберген сотрудниками Шпицбергенской партии АО «ПМГРЭ» (2017 г.). Материалы включают в себя образцы почв и коренных пород и геолого-геоморфологическое описание участка работ.

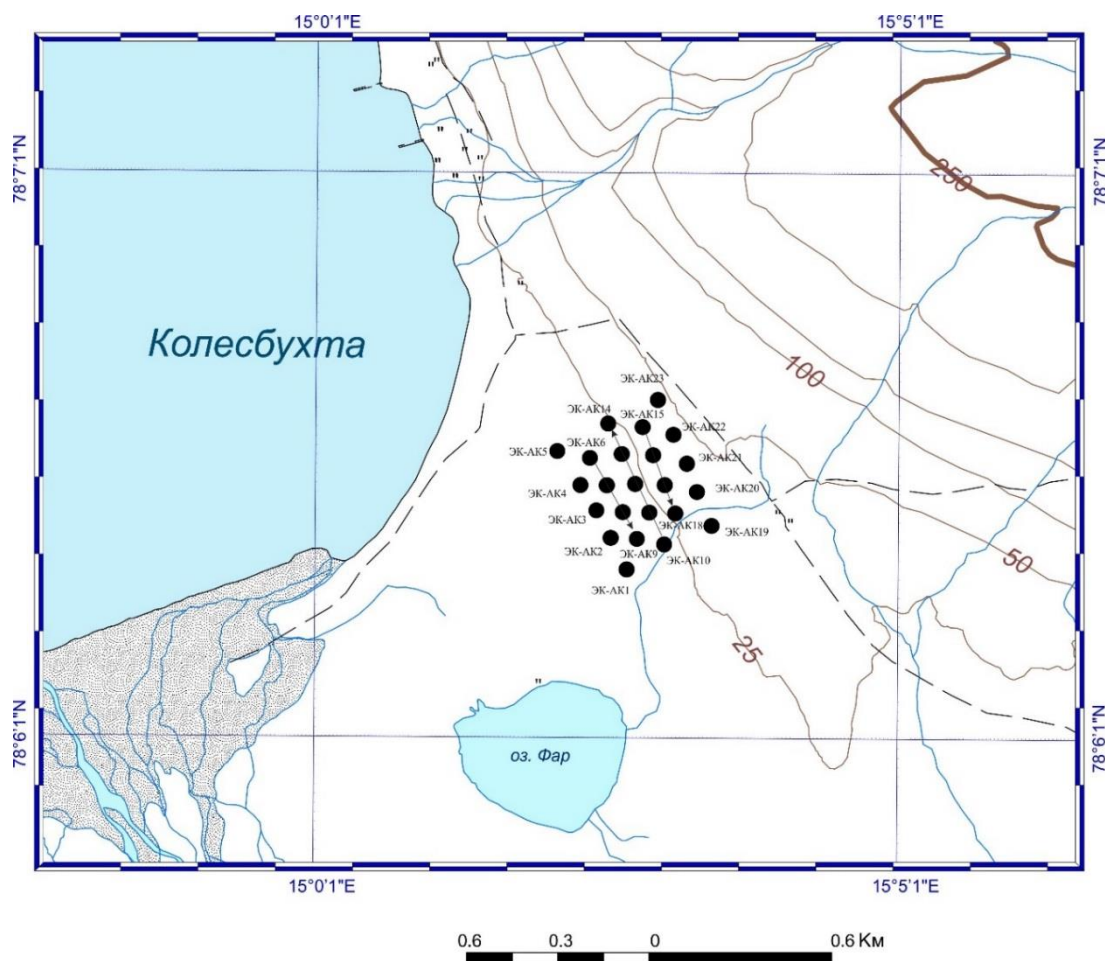


Рисунок 3.2.2. Участок геоэкологического опробования долины морской террасы в Колсбее. (Милославский и др., 2018).

Данные по участку морской террасы Колсбей были получены автором в составе Шпицбергенской партии в ходе полевого сезона 2018 г. (*рис.3.2.3, рис.3.2.4*)

Работы на точках мониторинга выполнялись в летний период, когда поверхность не покрыта снегом и льдом.

Отбор проб на определение химического состава выполнялся на заранее выбранном относительно равнинном участке с ненарушенным растительным покровом. На каждом участке собирались образцы мхов типа дрепанокладус крючковатый (*рис. 3.2.3*) или саниония кручковатая (*рис. 3.2.4*), почв (навеской 100 гр.) и образец коренной породы (*рис 3.2.5*). Шаг опробования составлял 50м. Координаты точки отбора фиксировались GPS.



Рисунок 3.2.3 Саниония крючковатая (Иванова, 2018)



Рисунок 3.2.4 Дрепанокладус крючковатый (Иванова, 2018)



Рисунок 3.2.5 Место отбора песчаников и аргиллитов (Фото Окунева А.С).

Отобранные пробы почв и мхов подвергались предварительной камеральной обработке. Образцы мхов были высушены и отсортированы, образцы почв очищены от включений и встречающейся растительности, просеяны через сито с ячейкой в 1 мм и измельчены в ступке.

Затем в лаборатории просеянные почвы квартовались и навеска 20 мг дотиралась в агатовой ступке до порошкообразного состояния. Полученный порошок затем запрессовывался в специальную таблетку, в которой выполнялось определение содержаний рентгенофлуоресцентным анализом.



Рисунок 3.2.3. Участок геоэкологического опробования на морской аккумулятивной террасе в Колсбее. (фото автора)



*Рисунок 3.2.4. Отбор проб на участке морской террасы в Колсбее
(фото Вопиловской О.А.)*

Определения химического состава почв проводились в Лаборатории геоморфологических и палеографических исследований полярных регионов и мирового океана СПбГУ, а также частично в ресурсных центрах СПбГУ (Геомодель и МАСВ).

Определения массовой доли элементов (Si, Ti, Al, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, V, Cr Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Pb) в пробах почв проводились на анализаторе Спектроскан-Макс GV.

Истертую пробу засыпали в предварительно подготовленную пресс-форму и спрессовывали гладким пуансоном. Получившуюся таблетку помещали в обойму, а обойму в спектрометр.

Измерения проводились при рабочем напряжении $U=40$ kV и силе тока 2-4 мА на родиевой рентгеновской трубке, при экспозиции 20-100 сек в зависимости от уровней концентрации анализируемых элементов. Относительная ошибка анализа элементов не превышала 5%.

Минеральный состав почв определялся методом рентгеновской дифракции в РЦ Рентгенодифракционные методы исследования, Научный парк СПбГУ, а отдельные оптические характеристики минералов в РЦ ОЛМИВ, Научный парк СПбГУ.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 ДОЛИНА ЧЕМБЕРЛЕНДАЛЕН

Среднее содержание элементов в почвах Чемберлендалена и основные статистические параметры их распределения приведены в таблице 4.1

Таблица 4.1. Основные статистические параметры распределения петрогенных и редких элементов почве участка Чемберлендален

Элемент	Среднее значение	MIN	MAX	Ст. отклонение	Коэф.вариации
SiO ₂ %	40,61	30,36	48,15	5,1	12,8%
TiO ₂ %	1,82	0,96	2,53	0,58	31,9%
Al ₂ O ₃ %	15,14	10,01	20,65	2,86	18,9%
Fe ₂ O ₃ %	9,4	6,68	11,72	1,34	14,3%
MnO, %	0,12	0,07	0,17	0,02	25,8%
MgO, %	3,75	2,35	5,19	1,08	29,0%
CaO %	2,24	1,25	3,21	0,76	34,4%
K ₂ O %	2,52	1,91	3,21	0,3	12,3%
P ₂ O ₅ %	0,38	0,2	0,56	0,1	30,0%
Sr г/т	155	92	225	46,05	29,7%
Mn г/т	897	522	1305	231,5	25,8%
V г/т	191	108	258	56,2	29,5%
Co г/т	82	24	123	27,5	33,7%
Ni г/т	121	93	196	32,1	26,5%
Cu г/т	83	9	147	42,7	33,7%
Zn г/т	103	77	125	13,8	13,5%
As г/т	6,8	5,3	9	1,04	15,4%
Pb г/т	33	16	51	12,24	37,4%

Из полученных данных видно (рис.4.1.1), что основными компонентами почв являются кремнезем SiO₂ (32,9–48,1%) и Al₂O₃ (10,0– 20,6%). Концентрации Fe₂O₃ колеблются от 6,7 до 11,7%, MgO от 2,3 до 5,2%, K₂O от 1,9 до 3,2%, CaO от 1,2 до 3,2%. Уровни содержания остальных компонентов – TiO₂, MnO, Na₂O, P₂O₅ - не превышают 2 %.

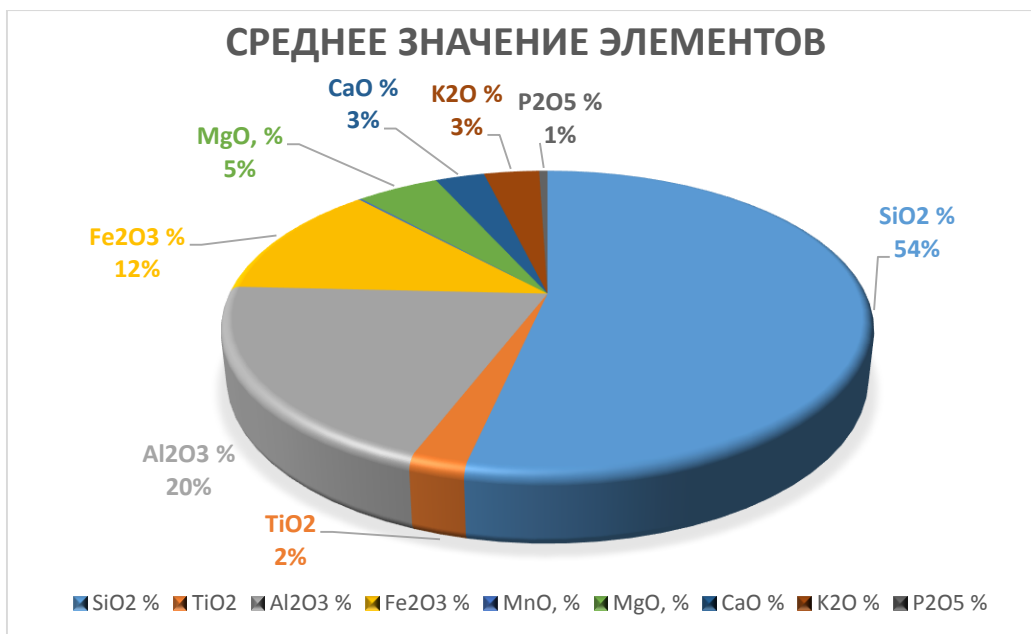


Рисунок 4.1.1 Соотношение основных петрогенных элементов в почве участка Чемберлендален

В целом по содержанию редких элементов (рис.4.1.2) почвы Чемберлендалена в наибольшей степени богаты (в $г/м$): V – 191, Cr – 155, Zn – 103. Содержание остальных элементов значительно ниже и составляют в среднем для As – 6,8 ($г/м$), для Pb – 33 ($г/м$).

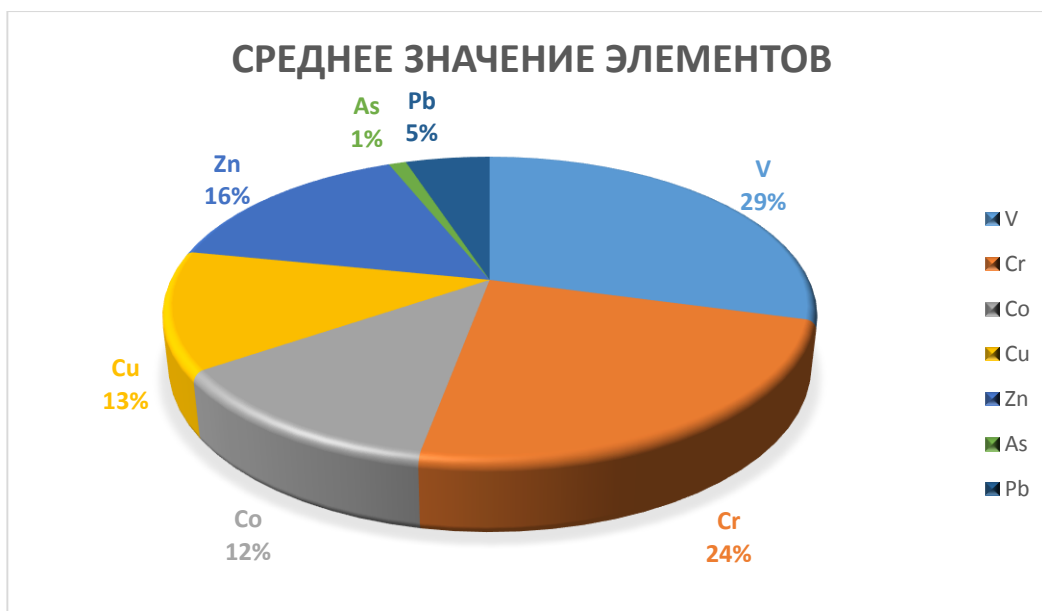


Рисунок 4.1.2 Соотношение редких элементов в почве участка Чемберлендален

Анализ данных приведенных в таблице 4.1 показал, что элементы распределены неравномерно в пределах участка опробования. Например, Pb и Ca имеют наибольшие коэффициент вариации - 37 и 34% соответственно – и распределены максимально неравномерно. Близкие значения наблюдаются также для большинства ТМ за исключением Zn и As (13 и 15%). В то же время для большинства петрогенных окислов характерно более равномерное распределение, что видно также из рисунка 4.1.3.

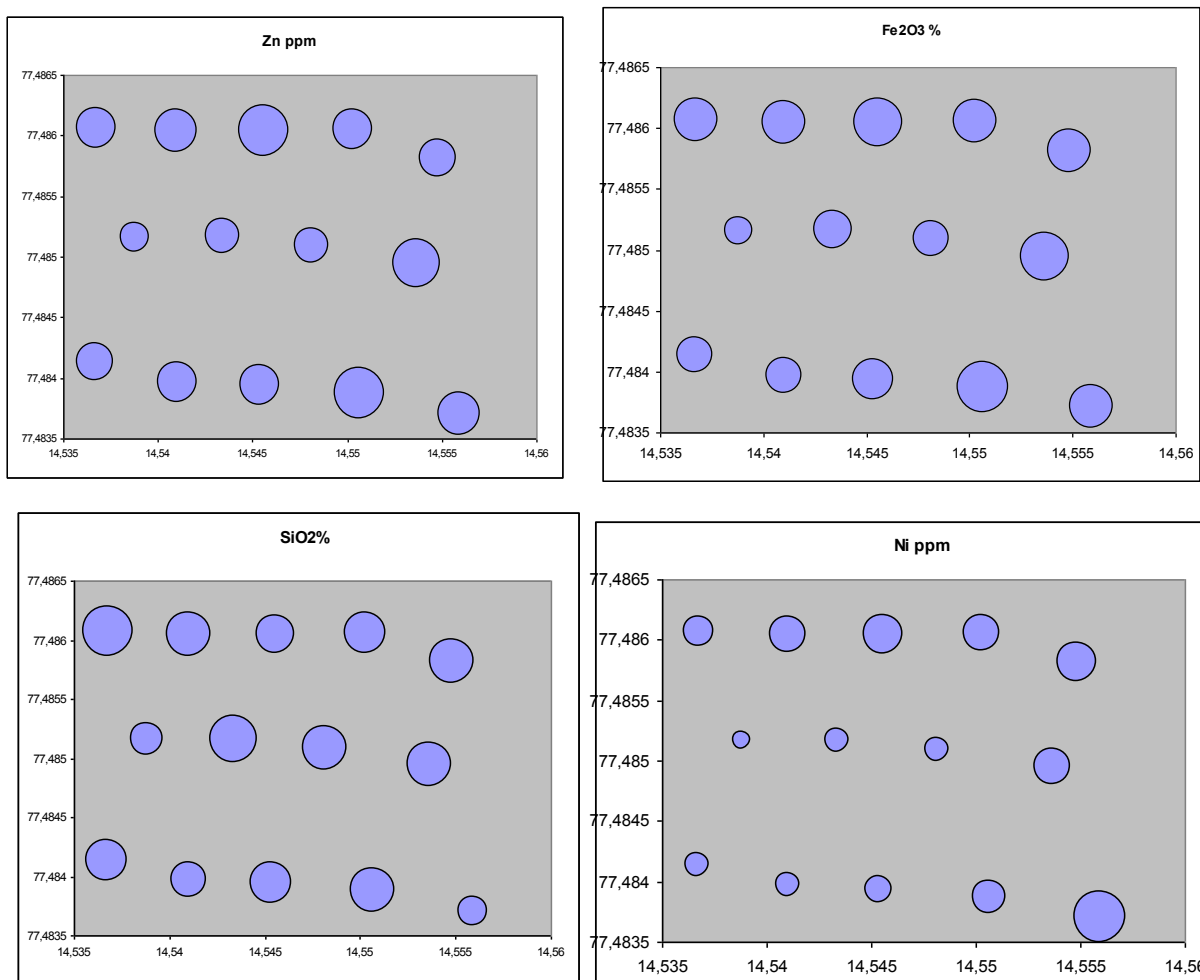


Рисунок 4.1.3. Площадное распределение отдельных элементов в пределах участка Чемберлендален. Диаметр кружка пропорционален концентрации соответствующего элемента.

Сравнение уровней содержания основных элементов в почвах участка Чемберлендален и других районов арх. Шпицберген представлено в таблице 4.2 и проиллюстрировано на рис. 4.1.4

Таблица 4.2. Уровни содержания железа и ТМ в почвах участка Чемберлендален и других районах архипелага Шпицберген по литературным данным.

Эл-ты	Поселок Пирамида ⁴	Бухта Дундер ⁴	Чемберлен- дален ⁴	Фьорд Кафьера ²	Ню- Алесунд ³	Среднее мировое значение ¹
Fe, вес. %	5	2,5	7	2,9	1,35	1,5-3
V, г/т	81,3	46	191			20-500
Zn, г/т	73	54	103	75	55	9-362
Ni, г/т	36	46	121	24,1	21	4-110
Pb, г/т	21	23	33	12,5	11	1,5-70
As, г/т	5,4	6	7	3,92	6,6	1,3-27
Mn, г/т	736	560	897	392	420	500-1000
Co, г/т	16	73	82	7,4		10-15

(1) *Cabata-Pendias, 2011*

(2) *Plichta, 1991*

(3) *Halbach, 2017*

(4) *Кукса и др. 2014, 2017, 2018*

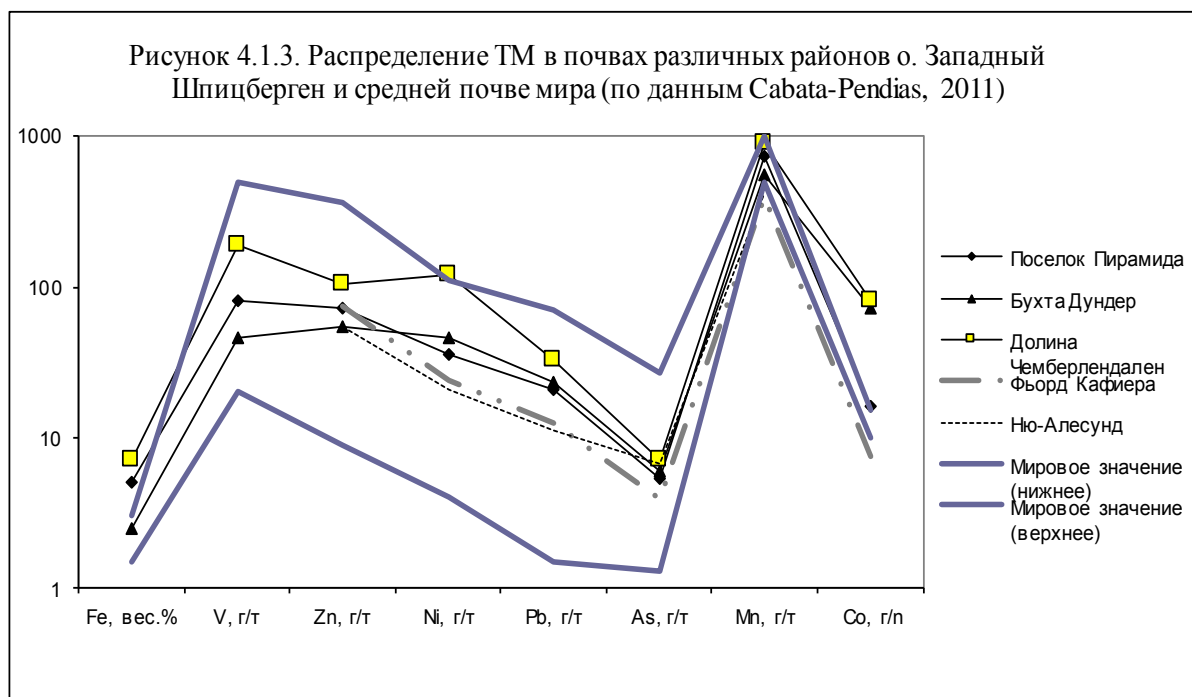


Рисунок 4.1.3. Распределение ТМ в почвах различных районов о. Западный Шпицберген и средней почве мира (по данным Cabata-Pendias, 2011).

Как видно из этих данных, среднее содержание ТМ в почвах долины Чемберлендален близки к содержаниям в почвах других участков о. Западный Шпицберген и укладывается в диапазон концентраций, приводимый для средней почвы мира (Cabata-Pendias, 2011). Основное отличие заключается в содержании Fe, Zn, Ni концентрации которых в несколько раз превышают значения в других районах арх. Шпицберген.

В экологическом отношении особую важность представляют уровни концентрации ТМ. Для оценки уровней загрязнения почв участка Чемберлендален данными элементами были рассчитаны коэффициент концентрации (Kc), опасности (Ko) и суммарный показатель загрязнения (Zc) для Mn, V, Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Sr (таблица 4.3).

В качестве фоновых использовались содержания элементов в средней почве мира (по Kabata-Pendias, 2011). Данные по ПДК для данной группы элементов были взяты из ГН 2.1.7.2041-06. “Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве”.

Таблица 4.3. Суммарные показатели загрязненности почв участка Чемберлендален ТМ. $K_c = C_i / C_{фон}$, $K_o = C_i / ПДК$, $Z_c = \text{SUMM}(K_c) - (n-1)$, где n – число элементов, для которых $K_c > 1$.

Эл-ты	C_i (среднее содерж.в почве) (г/т)	K_c (коэф. концентрации)	K_o (коэф. опасности)	Z_c (суммарный показатель загрязнения)
Mn, г/т	897	1,8	0,60	10,4
V, г/т	191	1,5	1,3	
Co, г/т	82	7,3	16,4	
Cu, г/т	83	2,1	20,8	
Zn, г/т	103	1,5	4,5	
As, г/т	6,8	1,0	3,4	
Pb, г/т	33	1,2	1,0	
Sr, г/т	155	0,9	1,85	

Величины Z_c : допустимая < 16 ; умеренно опасная 16-32; опасная 32-128; чрезвычайно опасная > 128 .

Как видно из полученных данных, величина суммарного показателя загрязнения (Z_c) находится в пределах 10,4 единиц, что позволяет оценивать степень загрязнения почв из района долины Чемберлендален как допустимую (Санитарные правила СП 2.1.7.1386-03).

При этом наибольшая величина K_o характерна для Cu (20,8) и Co (16,4). Значения данной величины для остальных элементов намного ниже: Zn (4,5), As (3,4), Sr (1,85). Для остальных элементов величины K_o не превышают 1.

Таким образом, несмотря на относительно высокие концентрации V, Sr, Zn в почвах участка Чемберлендален, они не превышают ПДК и не представляют угрозы для проживающих там живых организмов.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА УЧАСТКЕ ЧЕМБЕРЛЕНДАЛЕН

Для корректной интерпретации полученных геохимических данных были построены геологическая и геоморфологическая 3d-схемы с участка Чемберлендален (*приложение 1.1 и 1.2*).

Участок геоэкологического исследования находится на терригенно-вулканогенной толще, которую слагают преимущественно ультраосновные и основные метавулканыты и филлиты. Рядом прослеживаются выходы интрузивных образований: габбро основного состава и перидотитов. Также в долине Чемберлендален выявлено несколько рудопроявлений медно-цинковой минерализации.

Химический состав коренных пород, отобранных на участке геоэкологического исследования (*рис 4.1.4*) приведен на рисунке 4.1.5 и рисунке 4.1.6

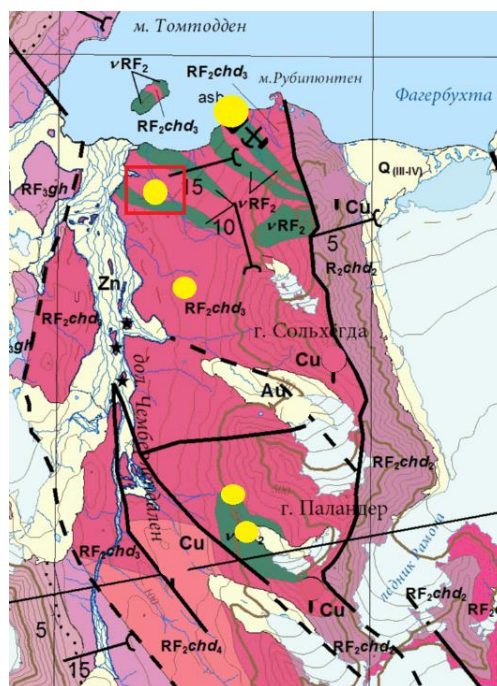


Рисунок 4.1.4 Схема геологического строения устья долины Чемберлендален и места отбора коренных пород (желтые кружки) (Милославский и др., 2018).

Нормировка химического состава почв к составу метаперидотита приведена на рисунке 4.1.7, а к габбро-диориту на рисунке 4.1.8

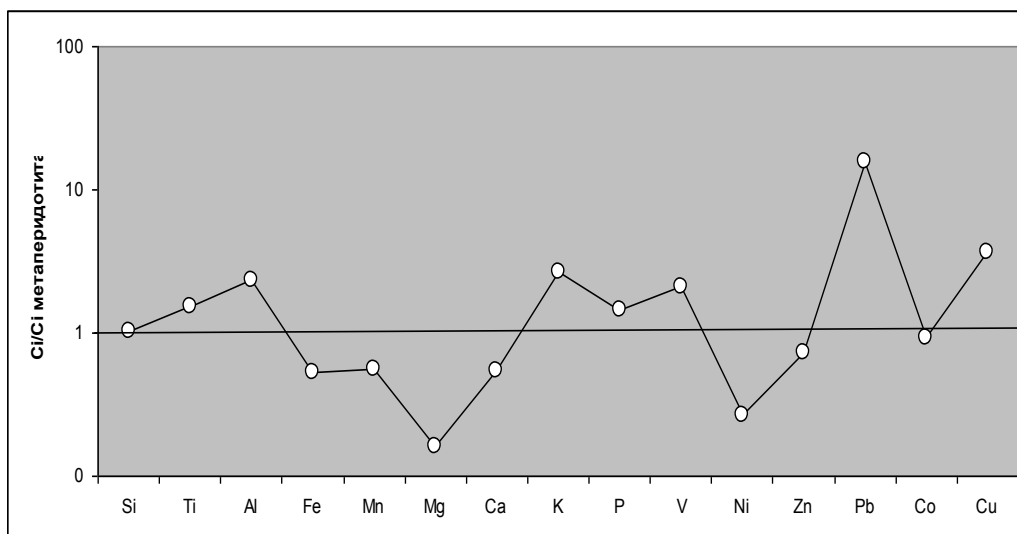


Рисунок 4.1.7 Распределение элементов в почвах участка Чемберлендален, нормированные на состав метаперидотита.

Как видно из рис. 4.1.7, относительно подстилающего метаперидотита в почве отмечаются повышенные концентрации Pb и Cu. Концентрации остальных элементов близки к составу метаперидотита – в почвах наблюдается лишь двукратное превышение по уровням содержания Al, V и K и обедненность Mg и Ni.

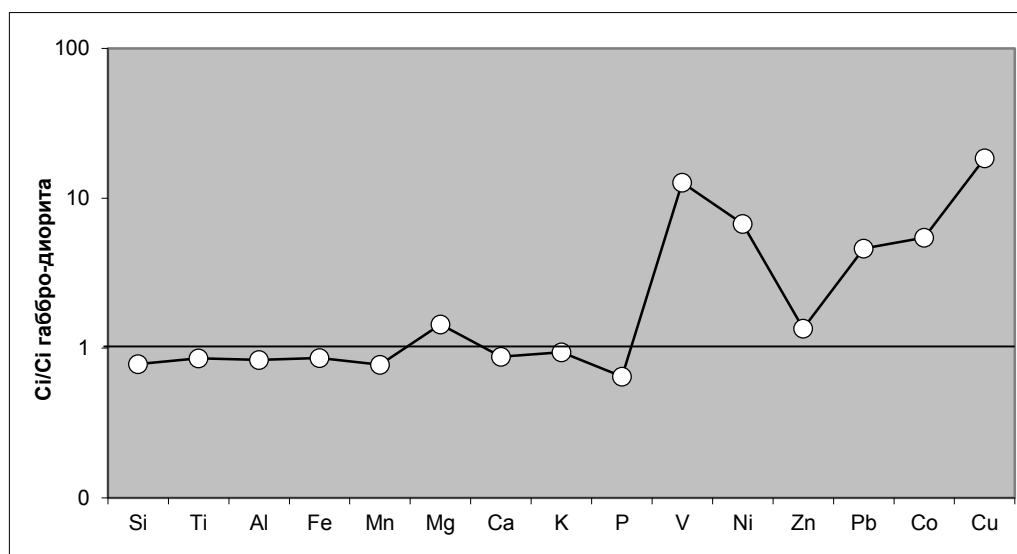


Рисунок 4.1.8 Распределение элементов в почвах участка Чемберлендален, нормированные на состав габбро-диорита.

В то же время относительно габбро-диорита почва обогащена лишь V, Ni, Pb, Cu, Co. Это значит, что основной вклад в элементный состав почв привносит именно метаперидотит.

Поскольку долина Чемберлендален не подвержена антропогенной и техногенной нагрузке, мы полагаем, что причиной повышенной концентрации Pb и Cu могут являться геоморфологические процессы.

В главе 2.9 приведена полная геоморфологическая характеристика изучаемого района. Основываясь на данные геоморфологической 3d-схемы и описание изучаемого района можно заключить, что:

1. Участок геоэкологического опробования, находящийся на морской террасе и частично на флювиальных и флювиогляциальных конусах выноса первично подвержен действию флювиальных и флювиогляциальных процессах. Основными геоморфологическими процессами, ответственными за перемещение и аккумуляцию рыхлого материала являются постоянные водотоки и потоки талых ледниковых вод, сопровождающиеся гидродинамической сортировкой материала.
2. В летнее время, по мере усиления таяния ледников появляется больше действующих русел и количество рыхлого обломочного материала, выносимого в долину, резко возрастает. В периферической части долины, где скорости водотока ниже, чем в вершинной части, происходит накопление мелкого песчано-алевритового материала. Постоянные водотоки и потоки талых ледниковых вод переносят рыхлый материал, обогащенный разными минералами, на большие расстояния с цирка долины, который в процессе транспортировки подвергается гидродинамической сортировке и может, как мы полагаем, приводить к накоплению в почвах минералов тяжелой фракции и сопутствующих им элементов (V, Ni, Pb, Cu, Co) на участке геоэкологического опробования.

3. Различные склоновые процессы: осыпные, нивально-эрозионные, солифлюкционные и делювиальные оказывают на участок геоэкологического опробования меньшее влияние. В первую очередь материал поступает со склонов г. Обсерватория-Фьеллет и г. Сольхёгда. Под действием силы тяжести, массового смещения обломочного материала и плоскостного смыва продукты выветривания и обломочный материал перемещается со склонов и аккумулируется у подножий, где на них действуют как постоянные водотоки, так и временные потоки талых ледниковых вод. На нижних частях склона образуются делювиально-солифлюкционные отложения, в виде вязкопластической массы на еще не растаявшей поверхности. При таянии льдов и снега на поверхности склонов делювиальные процессы, приводят к переносу рыхлого материала с привешинных частей в долину Чемберлендален. Таким образом, осадочный материал склонов долины формируется при совместном действии гравитационных, солифлюкционных процессов и делювиального смыва. В результате вниз по склону перемещается плохо сортированный обломочный материал, который вряд ли может являться причиной избирательного обогащения почв.

4.2 ДОЛИНА КОЛЕСДАЛЕН

Среднее содержание элементов в почвах и основные статистические параметры их распределения приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4. Основные статистические параметры распределения петрогенных элементов и ТМ в почве участка Колсбей

ЭЛЕМЕНТ	СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ	ДИСПЕРСИЯ	МАХ	МИН	КОЭФ.ВАРИАЦИИ
SiO ₂ %	60,1	10,7	70,4	27,08	18%
TiO ₂ %	0,7	0,1	0,8	0,37	15%
Al ₂ O ₃ %	12,1	2,2	14,23	4,87	18%
Fe ₂ O ₃ %	6,2	1,4	12,3	4,5	23%
MnO, %	0,1	0,4	0,1	0,02	44%
MgO, %	1,0	0,1	1,28	0,7	14%
CaO %	0,5	0,2	1,2	0,32	58%
K ₂ O %	2,2	0,3	2,52	1,1	13%
P ₂ O ₅ %	0,2	0,1	0,5	0,15	39%
Sr г/т	140	12,6	162	104	9%
V г/т	127	25,4	159	51	20%
Co г/т	41	27,1	115	19	66%
Cu г/т	32	6,4	52	25	20%
Zn г/т	55	9,6	79	38	17%
As г/т	12	1,2	15	10	11%
Pb г/т	41	19,3	122	20	48%

Как видно из *рисунка 4.2.1*, основными компонентами изученных почв являются кремнезем SiO₂ (от 27,1% до 70,3%), Al₂O₃ (от 4,8% до 14,2%) и Fe₂O₃ (от 4,5% до 12,3%). Уровни содержания остальных породообразующих окислов – P₂O₅, TiO₂, MnO, Na₂O – не превышают 2,5 %.

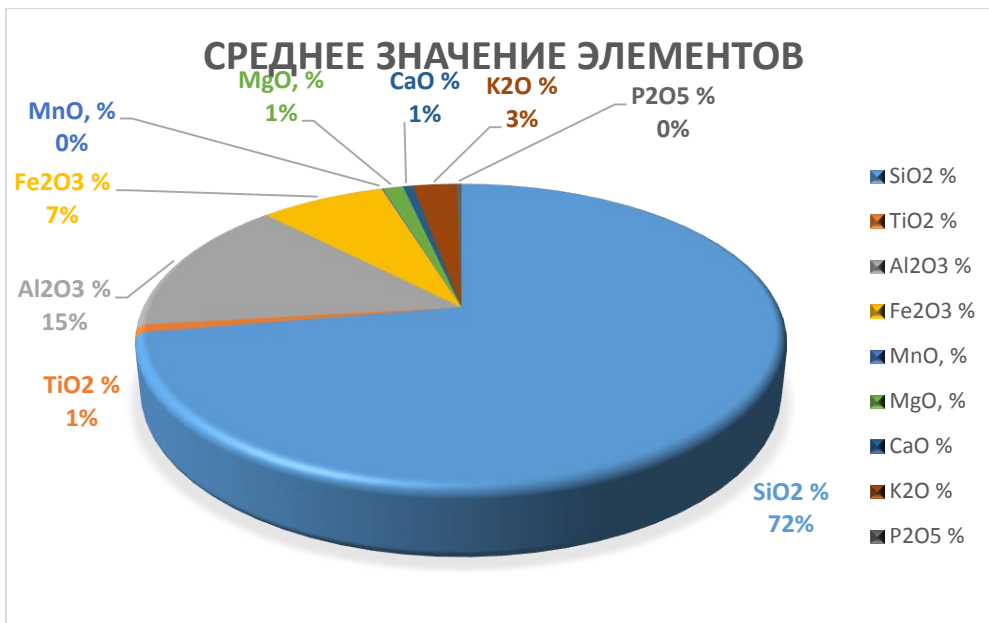


Рисунок 4.2.1. Соотношение основных петрогенных окислов в почве террасы Колсбей.

Содержание ТМ в почвах Колсбея следующее (в г/т) (рис.4.2.2): концентрации Sr колеблются в пределах от 104 до 162, при среднем содержании 140. На втором месте V – 127, на третьем Zn со средним значением – 55. Средние концентрации Pb и Co равны и составляют 41, концентрация Cu и As еще ниже и колеблются в районе 32 и 12 г/т соответственно.



Рисунок 4.2.2. Соотношение редких элементов в почвах участка Колсбей

Следует отметить, что наибольшие значения коэффициента вариации характерны для Ca, Mn, Co, Pb. Эти элементы распределены в почвах участка

опробования наиболее неравномерно. Величины коэффициента вариации для остальных элементов меньше 33%, что говорит о достаточно равномерном их распределении в пределах исследованного участка.

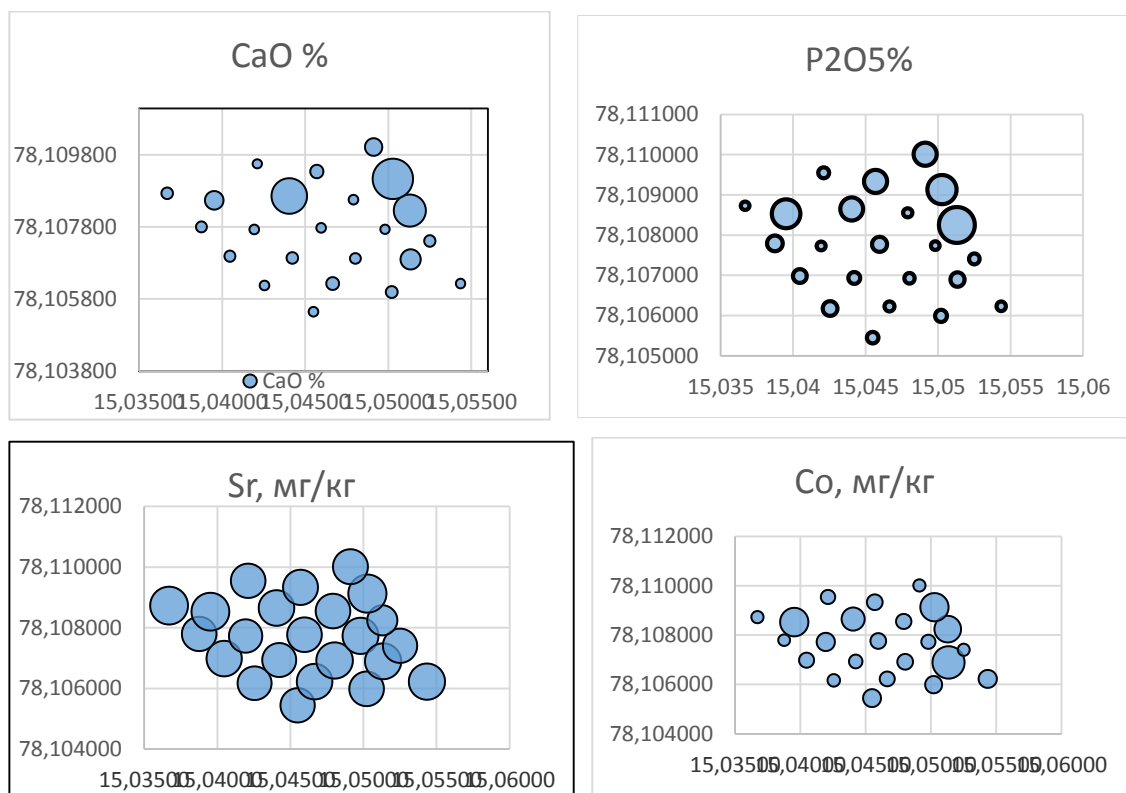


Рисунок 4.1.3. Площадное распределение отдельных элементов в пределах участка Колсбей. Диаметр кружка пропорционален концентрации соответствующего элемента.

Сопоставление концентраций элементов в почвах участка Колсбей с почвами других районов Шпицбергена (табл. 4.5, рис. 4.2.3) показало, что среднее содержание ТМ в почвах изучаемого участка не превышает таковое для средней мировой почвы (по данным Kabata-Pendias, 2011). По сравнению с почвами других районов архипелага, почвы участка Колсдален отличаются лишь повышенными содержаниями Pb (в среднем 41 г/т), которое, почти в 2 раза превышает максимальные концентрации для средней мировой почвы. Концентрации Co, хотя и не превышают средних значений для других районов Шпицбергена, однако также больше чем вдвое выше в почвах участка

Колсбей, чем в средней мировой почве. В то же время концентрация Ni лишь немного превышает максимальные значения для средней мировой почвы.

Таблица 4.5. Концентрации элементов в почвах различных районов Шпицбергена

Элемент	Средняя почва 1	Шпицберген					
		Поселок Пирамида 4	Бухта Дундердален 4	Фьорд Каффиера 2	Нью-Алесунд 3	Чемберлендален 4	Колсдален 4
Fe, вес. %		5	2,5	2,9	1,35	7	4,4
Mn, г/г	500-1000	736	560	392	420	897	547
Zn, г/г	50-100	73	54	75	55	103	55
Cu г/г	15-40	36	47	23,4	15	83	32
Ni, г/г	20-30	36	38	24,1	21	121	36
Co, г/г	10-15	16	73	7,4		82	41
Pb, г/г	15-25	21	8,7	12,5	11	33	41
As, г/г	1,3-27	73,6	56	3,92	6,6	6,8	12

- (1) Kabata-Pendias, 2011
- (2) Plichta, Kuckzinska, 1991
- (3) Halbach et al., 2017
- (4) Кукса и др. 2014, 2017, 2018

В основном концентрации элементов в почвах террасы Колсбей близки к содержаниям в почвах других участков о. Западный Шпицберген и укладывается в диапазон концентраций, приводимый для средней почвы мира (Kabata-Pendias, 2011).

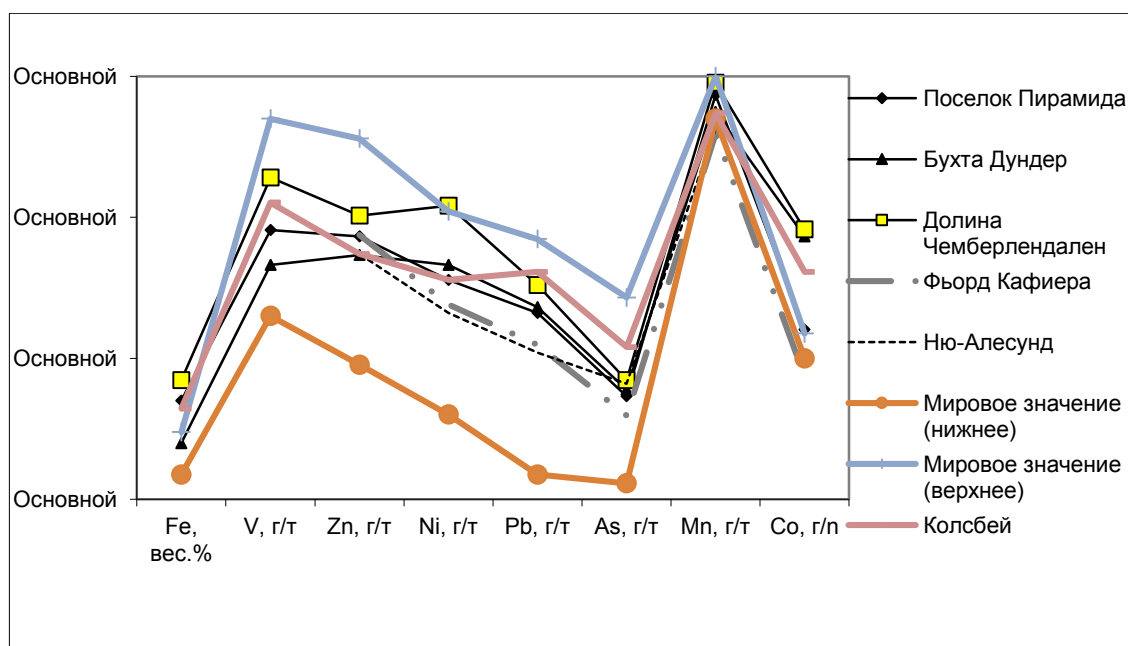


Рисунок 4.2.3. Распределение концентрации железа и ТМ в почвах

исследованных районов Шницбергена и средней почве мира (по Kabata-Pendias, 2011).

Для оценки уровня загрязнения почв исследованного участка тяжелыми металлами таким же образом, как и для участка Чемберлендален, были рассчитаны коэффициенты концентрации (Kc), опасности (Ko) и суммарный показатель загрязненности (Zc) для Mn, V, Cr, Ni, Cu, As и Pb (табл. 4.6).

Таблица 4.6. Суммарные показатели загрязненности почв участка Колесдален тяжелыми металлами. $Kc = C_i / C_{фон}$, $Ko = C_i / ПДК$, $Zc = \sum (Kc) \cdot (n-1)$, где n – число элементов, для которых $Kc > 1$.

Эл-ты	Ci (среднее содерж.в почве) (г/т)	Kc (коэффициент концентрации)	Ko (коэф. опасности)	Zc (суммарный показатель загрязнения)
Mn, г/т	547	1,1	0,4	6,01
V, г/т	127	1,0	0,8	
Cr, г/т	104	1,7	17,3	
Co, г/т	41	3,6	8,2	
Ni, г/т	36	1,2	9,0	
Cu, г/т	32	0,8	10,7	
Zn, г/т	55	0,8	2,4	
As, г/т	12	1,8	6,0	
Pb, г/т	41	1,5	1,3	
Sr, г/т	140	0,4	0,9	

Величины Zc: допустимая <16; умеренно опасная 16-32; опасная 32-128; чрезвычайно опасная >128.

Как видно из полученных данных, величина суммарного показателя загрязнения (Zc) находится в пределах 6,01 единиц, что позволяет оценивать степень загрязнения почво-грунтов района морской террасы Колсбей как допустимую (Санитарные правила СП 2.1.7.1386-03). При этом наибольшая величина коэффициента опасности Ko выявлена для Cr (17,3) и Cu (10,7). Несколько меньшие величины характерны для Ni (9,0), Co (8,2), As (6,0) и Zn (2,4). Содержания остальных элементов в почвах не превышают фоновых значений для данной местности. Таким образом, относительно высокие концентрации Pb и Co в пределах участка Колсбей не превышают ПДК и не представляют угрозы для живых организмов.

2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА УЧАСТКЕ КОЛЕСДАЛЕН

Участок геоэологического опробования расположен на западном борту долины Колесдален, на аргиллитах и песчаниках Баренцбургской свиты, которые практически полностью перекрыты четвертичными отложениями (см. профиль геологической 3d-схемы, Приложение 2.1). Отбор коренных пород проводился непосредственно на участке геоэологического опробования (рис. 4.2.1). Были взяты один образец аргиллита и один песчаника.



Рисунок 4.2.1. Схема геологического строения устья долины Колесдален с местом отбора коренных пород, обозначенный красным маркером. (/Милославский и др, 2018ф).

По данным химического анализа, в составе песчаников и аргиллитов среди петрогенных окислов преобладают SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 – в сумме они составляют 90-96%. Что касается микроэлементов, то коренные породы обогащены в первую очередь барием (до 1000 г/т), а также в меньшей степени Rb, Sr, V и S (первые сотни г/т). Концентрации остальных элементов (Sc, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As) в них не превышают первых десятков г/т.

Нормировка состава почв на состав подстилающего песчаника Баренцбургской свиты позволяет оценить относительную обогащенность или обедненность почв соответствующими элементами. Как видно из рис.

4.2.3.



Рисунок 4.2.3 Распределение элементов в почвах террасы Колсбей, нормированные на состав песчаников

В почве повышены содержания Fe, Ca, P, Zn и Pb, и понижены содержания Mn. Концентрации остальных элементов в почве очень близки к таковым в коренной породе. Содержание Zn в почвах относительно песчаника имеет самое большое значение равное 5 единицам. Концентрации остальных ТМ не так сильно увеличены.



Рисунок 4.2.4 Распределение элементов в почвах террасы Колсбей, нормированные на состав аргиллитов

Относительно аргиллитов (рис. 4.2.4) почва обогащена в значительно меньшей степени – наблюдается лишь полуторакратное превышение концентрации Ti, Al, Mg, Ca, P и Zn, и пониженные содержания Mn, а также Si, K, V и Co. Таким образом, получается, что основной вклад в концентрацию ТМ в почвах привносит аргиллиты.

Геоморфологические процессы, влияющие на гекоэкологический участок схожи с процессами в долине Чемберлендален. Обобщение полевых наблюдений и геоморфологическая 3d схема (см. Приложение 2.2) легли в основу интерпретации полученных результатов.

- 1) Флювиальные и флювиогляциальные процессы: Постоянные водотоки и потоки талых ледниковых вод несут продукты разрушения с ледников, далее по склонам и по долине, аккумулируя их во флювиальных конусах выноса, на морских террасах. Материал при флювиогляциальных и флювиальных процессах отличается хорошей сортированностью. Часть эродированного вещества аккумулируется в долине и на морской террасе при половодье, когда летом происходит сильное таяние ледников.
- 2) Склоновые процессы переносят обломочный материал путем осыпания, денудации и эрозии, соответственно, все отложения почти без сортировки материала с плато и со склонов аккумулируется на морской террасе.
- 3) Повсеместно развиты солифлюкционные процессы, заболачивание территории и развитие площадей криогенной трещиноватости, которые способствуют обводнению территории и аккумуляции рыхлого материала.

Таким образом, опираясь на данные геоморфологических исследований, мы можем сделать вывод, что химический состав почв

(в том числе характер распределения и уровни концентрации ТМ) на данном участке обусловлен в первую очередь составом подстилающих коренных пород (аргиллитов и в меньшей степени песчаников Баренцбургской свиты). Геоморфологические процессы, по всей вероятности, ответственны за незначительное обогащение почв пиритом (источник Fe, S), апатитом (Ca, P) и титаномагнетитом (Ti, Fe, V), которые обычно накапливаются в тяжелой фракции осадков в устье крупных водотоков.

Повышенные концентрации Zn и Pb (в 3 и 5 раз соответственно) не находят удовлетворительного объяснения с точки зрения геологического и геоморфологического строения исследованного участка и могут быть отнесены на счет антропогенной деятельности, которая осуществлялась в непосредственной близости от участка геоэкологических работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В представленной работе впервые была предпринята попытка оценить совместное влияние геологического строения и геоморфологических процессов на уровни содержания и характер распределения в почвах ТМ и ряда нетоксичных элементов. Были исследованы химический состав почв, подстилающих коренных пород, геоморфологическое и геологическое строение двух участков в пределах о. Западный Шпицберген: в долине Чемберлендален и на морской террасе Колсбей. По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- 1) По уровням содержаний ТМ почвы обоих исследованных участков близки к почвам других районов о. Западный Шпицбергена и укладывается в диапазон концентраций, приводимый для средней почвы мира по (*Kabata-Pendias, 2011*);
- 2) Суммарный показатель загрязнения ТМ для террасы Колсбей равен 6,0 единицам, а для долины Чемберлендален 10,4, что позволяет оценивать степень загрязнения почв обоих участков как допустимую;
- 3) Основным источником поступления химических элементов в почвы на обоих участках являются подстилающие горные породы. Однако для почв обоих участков выявлено избирательное обогащение рядом ТМ: для Чемберлендалена это V, Ni, Pb, Cu, Co, а для Колсбея – Pb и Zn.;
- 4) Выявленное повышенное содержание ряда ТМ в почвах изученных участков связано: для Чемберлендалена с геоморфологическими процессами (флювиальными и флювиогляциальными, в значительно меньшей степени склоновыми), а для участка Колсбей – с антропогенной нагрузкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Алексеев И.И, Абакумов Е.В. Таксонометрическое и морфометрическое разнообразие почв орешностей залива Гренфьорд (архипелаг Шпицберген) 2016. – Т. 25, № 4. – С. 156-161.
2. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. – М.:ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН. 2008.
3. Водяницкий Ю.Н. Об опасных тяжелых металлах/металлоидов в почвах. – М.:ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН. 2011.
4. Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах. – М.:ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН. 2012.
5. Геоморфологическая карта центральной части острова Западный Шпицберген (Земля Норденшельда, архипелаг Шпицберген). Шарин В.В., Окунев А.С., Лазарева Е.И. изд. «Ренова» СПб. 2012 г.
6. Горячкин С. В., Караваева Н. А., Таргульян В. О. География почв Арктики: современные проблемы // Почвоведение. 1998. № 5. С. 520–530
7. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве» утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 19 января 2006 года.
8. Добровольский В.В. Геохимия почв Шпицбергена // Почвоведение. 1990. № 2. С. 5
9. Иванов И.М. Шпицберген, 2-е изд., испр. и доп. 112 с. - Архангельск, 1935
- 10.Иванова А.В. Курсовая работа /Характер распределения микроэлементов во мхах острова Западный Шпицберген// СПбГУ 2018
- 11.Кашулина Г.М. Геохимические особенности почв окрестностей пос. Баренцбург, Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицберген. Сб. материалов VI Междунар. конф. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2003. Вып. 6. С. 321-330.Лаврушин Ю.А. Четвертичные отложения Шпицбергена, 1969. С. 176
- 12.Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., Микроэлементы в почвах и растениях Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 439 с.
- 13.Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Тез. докл. XIV Всерос. науч. конф. с междунар. участием (г. Мурманск, 30 октября–2 ноября 2018 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2018. 133 с.
- 14.Кокин О.В., Кириллова А.В. Реконструкция динамики ледника Гренфьорд (Западный Шпицберген) в голоцене // Лёд и Снег, 2017. №57(2). С. 241-252.

15. Кокин О.В. Рельеф и отложения краевых зон ледников западного Шпицбергена (на примере ледников Грэнфьорд и Альдегонда). Автореф. дис.к.г.н. М.: 2010. С. 26.
16. Кукса К.А., Шарин В.В., Костева Н.Н., Окунев А.С. / Распределение тяжелых металлов и ряда нетоксичных элементов в почвах бухты Дундер (архипелаг Шпицберген, о. Западный Шпицберген) // География арктических регионов 2017. Кол. монография по матер. Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, РГПУ им. А. И. Герцена, 9–10 ноября 2017 г. СПб.: , 2017. С. 83–87К. А.
17. Кукса К.А., Шарин В.В., Окунев А.С., Костева Н.Н., Сироткин А.Н., Сумина В.А. Влияние состава коренных пород на геохимический облик и уровни содержания тяжёлых металлов в почвах о. Западный Шпицберген (долина Чемберлендален)// Комплексные исследования природы Шпицберген и прилегающего шельфа: Тез. Докл. XIV Всерос. науч. конф. Апатиты: изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2018, с. 63-64.
18. Кряучунас В.В, Игловский С.А., Шахова Е.В., Малков А.В. Тяжелые металлы в арктических почвах западного побережья архипелага Шпицберген, Архангельск, Экология человека. № 9. С. 8–13. 2014.
19. Милославский М.Ю., Сироткин А.Н., Костева Н.Н. Главные черты геологического строения складчатого основания северной части Земли Веделя Ярлсберга (Юго-Западный Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицберген и прилегающего шельфа: Тез. Докл. XIV Всерос. науч. конф. Апатиты: изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2018, с. 77-78.
20. Переверзев В.Н. Почвы на морских и моренных отложениях побережья Биллефьорда (Остров Западный Шпицберген) // Почвоведение, 2012, № 11, с. 1160–1170
21. Переверзев В.Н., Литвинова Т.И. Почвы морских террас и коренных склонов на побережьях фьордов острова Западный Шпицберген // Почвоведение, 2010, № 3, с. 259–269
22. Печуров Л. В. Шпицберген — М.: Мысль, 1983. —124 с.
23. Семевский Д.В., Шкатов Е.П. Геоморфология Земли Норденшельда (Западный Шпицберген) // Материалы по геологии Шпицбергена, изд. НИИГА, 1965. С. 232-240.
24. Семевский Д.В. Неотектоника архипелага Шпицберген // Материалы по стратиграфии Шпицбергена, изд. НИИГА, 1967. С. 225-238.
25. Семенов А.В., Анциферова А.Р., Давыдов А.А. Климат Баренцбурга. Изменение основных характеристик за последние 40 лет (По данным наблюдений зональной гидрометеообсерватории «Баренцбург» // Комплексные исследования природы Шпицбергена, Апатиты, изд. КНЦ РАН. 2002 С. 139 – 145.
26. СП 2.1.7.1386-03 Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления/

- постановление от 16 июня 2003 года N 144//О введении в действие СП 2.1.7.1386-03 (с изменениями на 31 марта 2011 года)
27. Хисдаль В. Архипелаг Шпицберген (Свальбард): природа и история. — М.: Научный мир, 2005. — 132 с.
28. Шарин В.В., Кукса К.А., Табунс Э.В., Окунев А.С. Соотношение природного и антропогенного факторов в геохимическом облике почв из района посёлка Пирамида (архипелаг Шпицберген). // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 12. М.: Изд. «Геос», 2014: стр. 157-160.
29. Шарин В.В. Геоморфологическое строение центральной части острова Западный Шпицберген (архипелаг Шпицберген). // Геоморфологические процессы и их прикладные аспекты. VI Щукинские чтения – Труды (коллектив авторов). М. Географический факультет МГУ, 2010, стр. 379-381.
30. Шарин В.В., Кокин О.В., Гусев Е.А., Окунев А.С., Максимов Ф.Е., Арсланов Х.А. Новые геохронологические данные четвертичных отложений северо-западной части Земли Норденшельда (архипелаг Шпицберген). // Вестник Санкт-Петербургского Университета, Сер. 7. 2014. Вып. 1. Стр. 158-167.
31. Шарин В. В., Окунев А. С., Лазарева Е. И. Геоморфологическая карта центральной части острова Западный Шпицберген (Земля Норденшельда, архипелаг Шпицберген) / ред. Е. А. Гусев. Масштаб 1 : 50 000. СПб.: Изд-во Ренова, 2012.
32. Шарин В.В., Гусев Е.А., Мусатов Е.Е., Рекант П.В. Карта четвертичных образований архипелага Шпицберген и прилегающего шельфа (масштаб 1:1000 000) // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Апатиты, 2003, с. 108-110.
33. Шарин В.В., Окунев А.С. Карта четвертичных отложений центральной части острова Западный Шпицберген (Земля Норденшельда, архипелаг Шпицберген). Масштаб 1:50 000. СПб, изд. «Ренова», 2014 г.
34. Feyling-Hanssen, R.W. Late-Pleistocene of Billefjorden, West Spitsbergen // Norsk Polarinst., Skriafter, 107. 1955. Pp. 186.
35. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. Fourth Ed. Publ. CRC Press, 2011.
36. Klimowicz, Z., Melke, J., Uziak, S. and Chodorowski, J.. 2006. Soil cover of the south Bellsund embankment, western Spitsbergen [in Polish]. Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska 54 (10): 185–200
37. Kuxa K., Tabuns E., Sharin V. Natural vs. anthropogenic sulfur in Spitsbergen soils: first results // 2 nd International Conference Polar Climate and Environmental change in the Last Millenium. Torun, Poland, 2015, August 24–26. Torun, 2015. P. 55–56.
38. Plichta W., Kuczynska I. Metal contents in soils of Kaffiøyra, Spitsbergen // Polish Polar Res. 1991. Vol. 12(2). P. 183–193.

39. Halbach K. et al., The presence of mercury and other trace metals in surface soils in the Norwegian Arctic, *Chemosphere*, 2017.
40. Chmiel S., et. al., Heavy metals and radioactivity in environmental samples of the Scott glacier region on Spitsbergen in summer 2005
41. Chmiel C. et al., 2009 Heavy metals and radioactivity in environmental samples of the Scott glacier region on Spitsbergen in summer 2005 // *QUAESTIONES GEOGRAPHICAE*, 28A/1, p. 23-29
42. Szymański W., et. al., Distribution, genesis, and properties of Arctic soils: a case study from the Fuglebekken catchment, Spitsbergen, vol. 34, no. 3, pp. 289–304, 2013 doi: 10.2478/popore-2013-001
43. Synnøve, Elvevold, Dallmann, Winfried, Blomeier, Dierk. *Geology of Svalbard*. Norwegian Polar Institute, Polar Environmental Centre, 2007.
44. Sharin V.V. Geomorphological map of Spitsbergen (Svalbard) and surrounding shelf (1:1000 000 scale) // *Polish Polar Studies, XXVII Polar Symposium, Pracownia Sztunk Plastycznych Sp. z.o.o.* 87-100, Topun, 2000,
45. Zagorski P., Harasimiuk M. & Jezierski W., *Geographical environment of NW part of Wedel Jarlsberg Land (Spitsbergen, Svalbard) 2002*

Фондовые материалы:

46. Милославский М.Ю., Сироткин А.Н., Окунев А.С., Вопиловская О.А., Сергеев И.С. /Полевой отчёт по результатам полевых работ 2018 года по объекту «Геологическое доизучение и оценка минерально-сырьевого потенциала недр центральной части Земли Норденшельда (архипелаг Шпицберген)» //АО «ПМГРЭ», 2018.
47. Шарин В.В. Рельеф и четвертичные образования архипелага Шпицберген и прилегающего шельфа. Диссертация на соискание учёной степени кандидата географических наук. Санкт-Петербург, СПбГУ, 2004 г., 128 с.

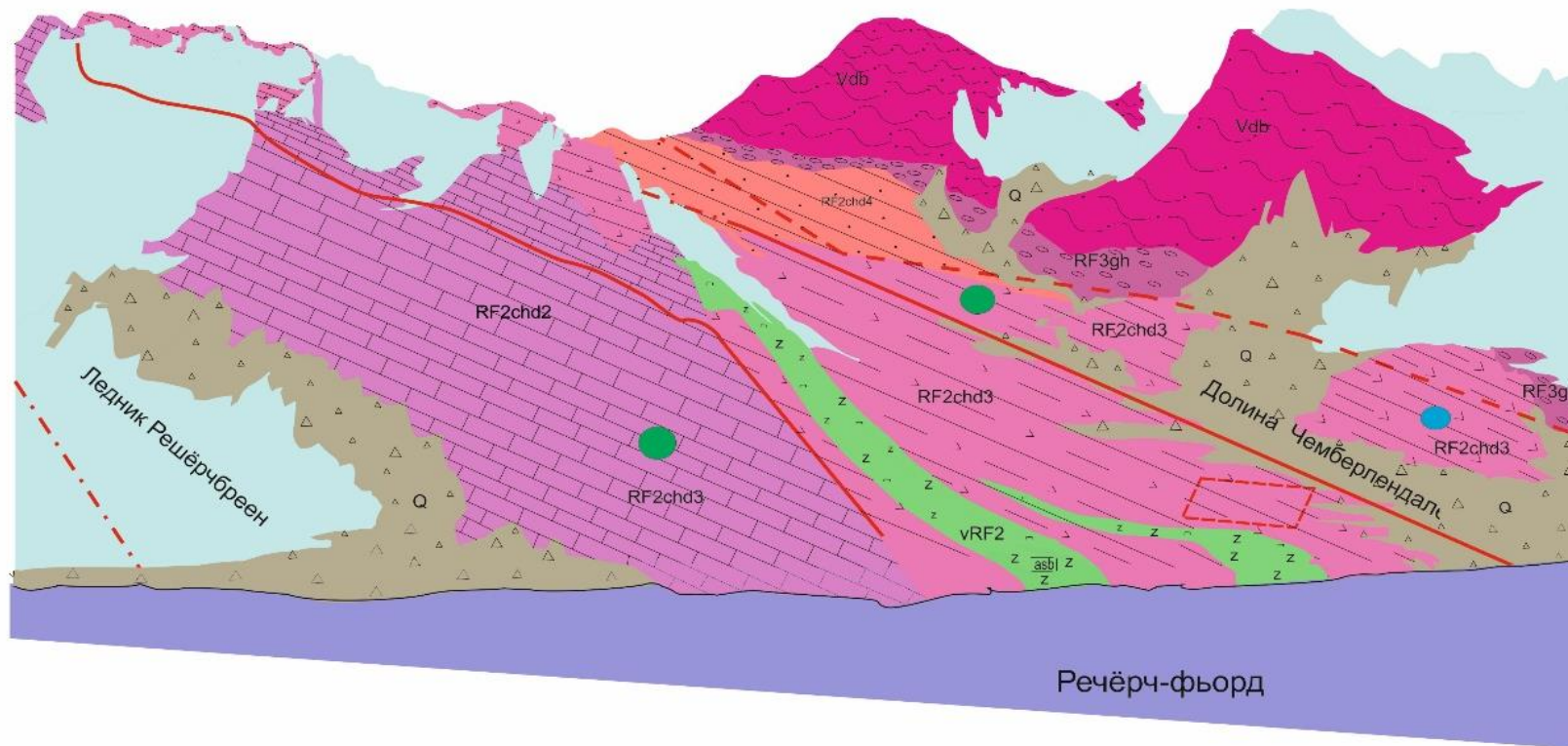
Электронные ресурсы:

48. Норвежский полярный институт - Norwegian Polar Institute [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.npolar.no, свободный.
49. Карты Шпицбергена - Map of Svalbard [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://toposvalbard.npolar.no>, свободный.
50. Полярная морская геологоразведочная экспедиция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pmge.ru>, свободный.
51. Трест Арктик Уголь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.arcticugol.ru/> свободный.
52. Польская академия наук - Polish Academy of Science [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pan.pl>, свободный.
53. USGS - GIS Data Science [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov/>, свободный.

Приложение 1.1

Геологическая 3d схема долины Чемберлендален.

Геологическая 3d схема долины Чемберлендален






Условные обозначения к геологической 3d схеме долины Чемберлендален.

Условные обозначения




	Ледники		Интрузивные образования: габбро, перидотиты
---	---------	---	---

Эратема Кайнозойская. Система Палеогеновая. Отдел Четвертичный.		Четвертичные отложения: морского, водно-ледникового, ледниково-морского генезиса. Состав: галечники, гравийники, пески, валунные суглинки, алевроиты.	
Система Вендская. Комплекс Бельсунн. Серия Кап-Лайель..		Свита Дундрабейсен. Диамиктиты, конгломераты, прослои кварцитов, доломитов, известняков.	
Верхний Рифей. Серия Софиебоген. Комплекс Ведель Ярлсберг Ленд.		Свита Госхамна. Филлиты, прослои кварцитов, известняков, доломитов.	
Серия Нордбухта.		Нижняя толща. Филлиты, серицито-хлоритовые сланцы. Прослои кварцитов.	
Акротема Протерозойская. Эратема Верхнепротерозойская. Система Верхний Рифей. Комплекс Боршельдсборген.	Серия Чемберлендален		Толща терригенная Филлиты, песчаники, метавулканыты.
			Толща терригенно-вулканогенная. Метавулканыты, Филлиты.
			Толща вулканогенно-карбонатная. Мраморы, метавулканыты.
			Толща базальная. Филлиты, конгломераты, метавулканыты.

Разломы

	Достоверные
	Предполагаемые
	Предполагаемые региональные под ледниками

Полезные ископаемые

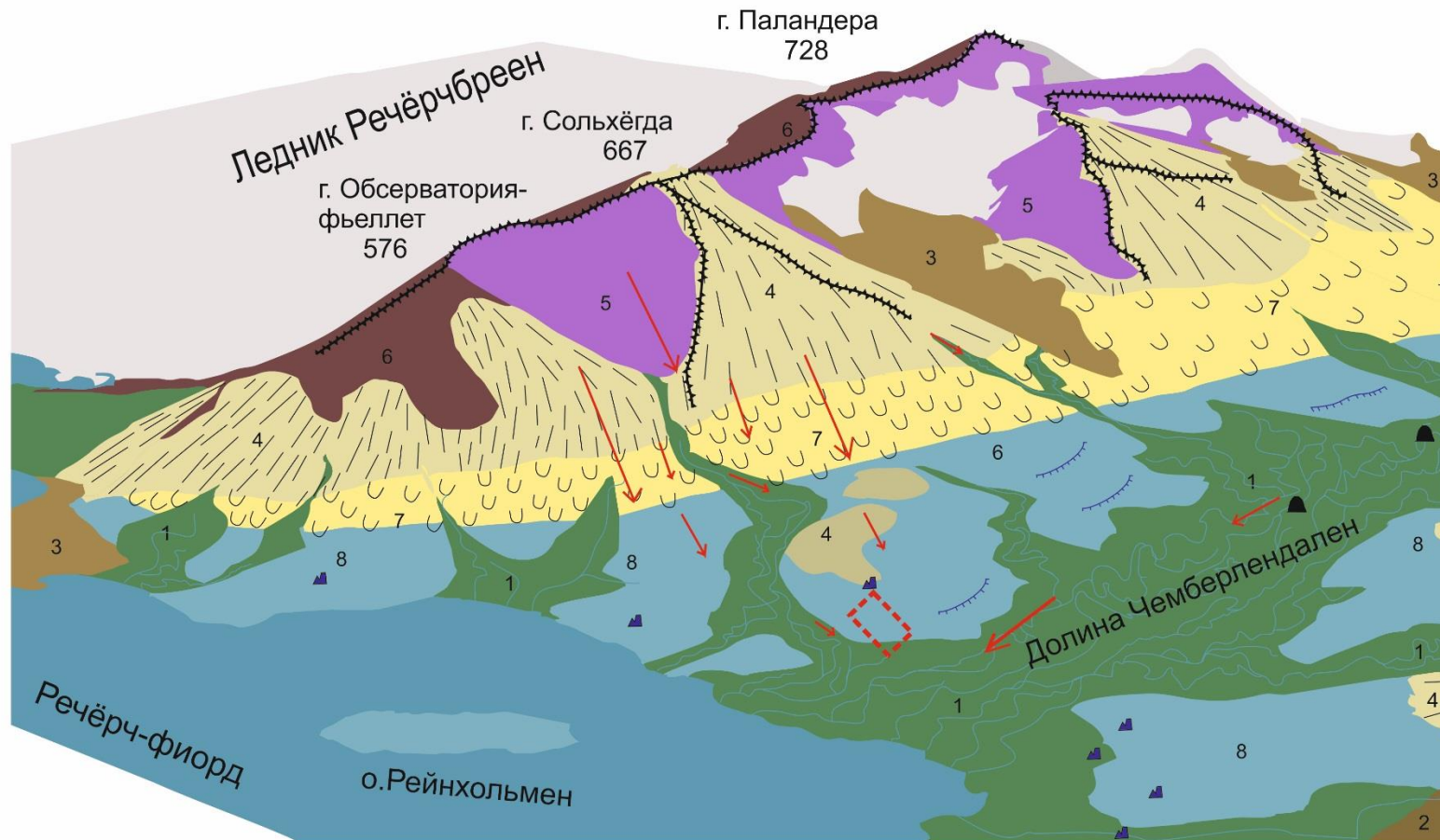
	Cu (точка минерализации)
	Zn (точка минерализации)
	Проявление асбеста

	Участок геозкологического исследования
---	--

Приложение 1.2

Геоморфологическая 3d схема долины Чемберлендален.





Геоморфологическая 3D схема долины реки Чемберлендален







Условные обозначения к геоморфологической 3d схеме долины Чемберлендален.

Условные обозначения

Рельеф аккумулятивный

-  Флювиальные и флювиогляциальные конусы выноса, днища речных долин
-  Основные морены
-  Боковые, конечные, срединные морены
-  Ледники








Рельеф денудационный

-  Склоны осыпные (поздний неоплейстоцен - голоцен)
-  Склоны нивально-экзарационные (поздний неоплейстоцен - голоцен)
-  Склоны денудационно-эрозионные (неоген - голоцен)
-  Склоны делювиально-солифлюкционные (поздний неоплейстоцен - голоцен)

Рельеф абразионно-аккумулятивный

-  Комплекс морских террас (голоцен)

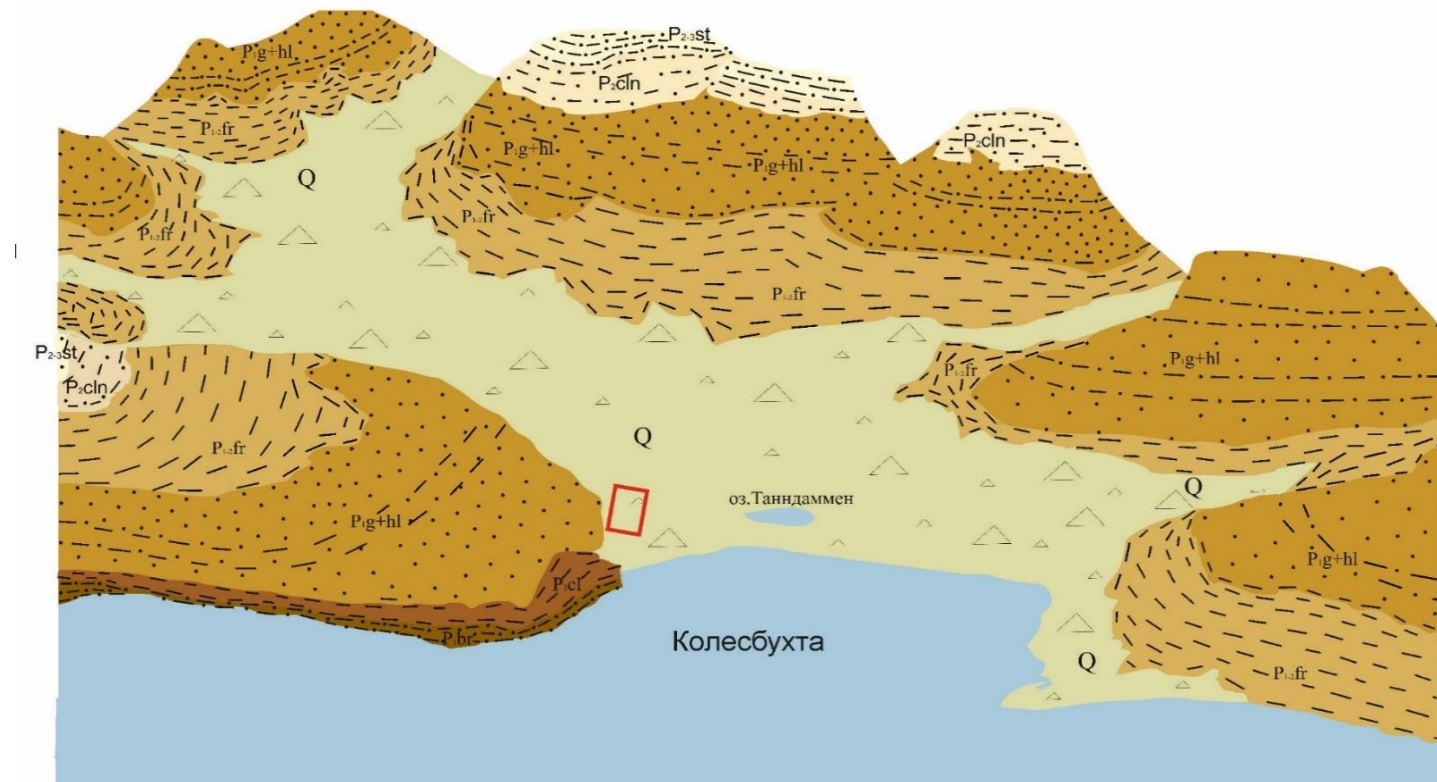
Формы и элементы рельефа

-  Пинго
 -  Абразионные останцы реликтовые
 -  Гребни
 -  Бровки и уступы морских террас
- Наложенные формы*
-  Площади развития солифлюкционных террас, каменных рек, оплывин
 -  Участок геоэкологического опробования
 -  Направление движения геоморфологических процессов

Приложение 2.1

Геологическая 3d схема долины Колесдален.



Геологическая 3D схема участка Колсбей




Условные обозначения к геологической 3d схеме долины Колесдален.

Условные обозначения:

Эоценома			
Фанерозойская	Эрагема Кайнозойская. Система Палеогеновая		
		Серия Ван-Мейсфиорден	
			Четвертичные отложения: морского, ледникового, ледниково-морского генезиса. Состав: галечники, гравийники, пески, валунные суглинки, алевроиты
			Свита Стурвольская. Песчаники преобладают с прослоями алевролитов, аргилитов, включения угольной крошки. Карбонатизирующие отпечатки растений (около 700 м)
			Свита Каллендероденская. Песчаники преобладают с прослоями алевролитов, сменяются вверх по разрезу пачкой равномерного переслаивания аргилитов и алевролитов. Карбонатизирующие отпечатки растений (до 250 м)
			Свита Фрюнаоденская. Аргилиты, алевроитовые аргилиты голубовато-серого и черного цвета, прослой алевролитов и железистых глин. По всему разрезу рассеянный галечник (240 м)
			Свита Грумская-Холендердаленская. Песчаники преобладают, прослой алевролитов, алевроитовых аргилитов. По всему разрезу рассеянный галечный материал.
	Свита Колесбухтинская. Монотонная толща аргилитов, алевролитов, локально пластичные глины (оранжевые с выветрелой поверхностью). По всему разрезу свиты рассеянный галечный материал. Конкреции карбонатного состава.		
	Свита Баршбургская. Аргилиты, битуминозные алевролиты, песчаники, конгломераты в кровле. Отпечатки растений (170 м)		

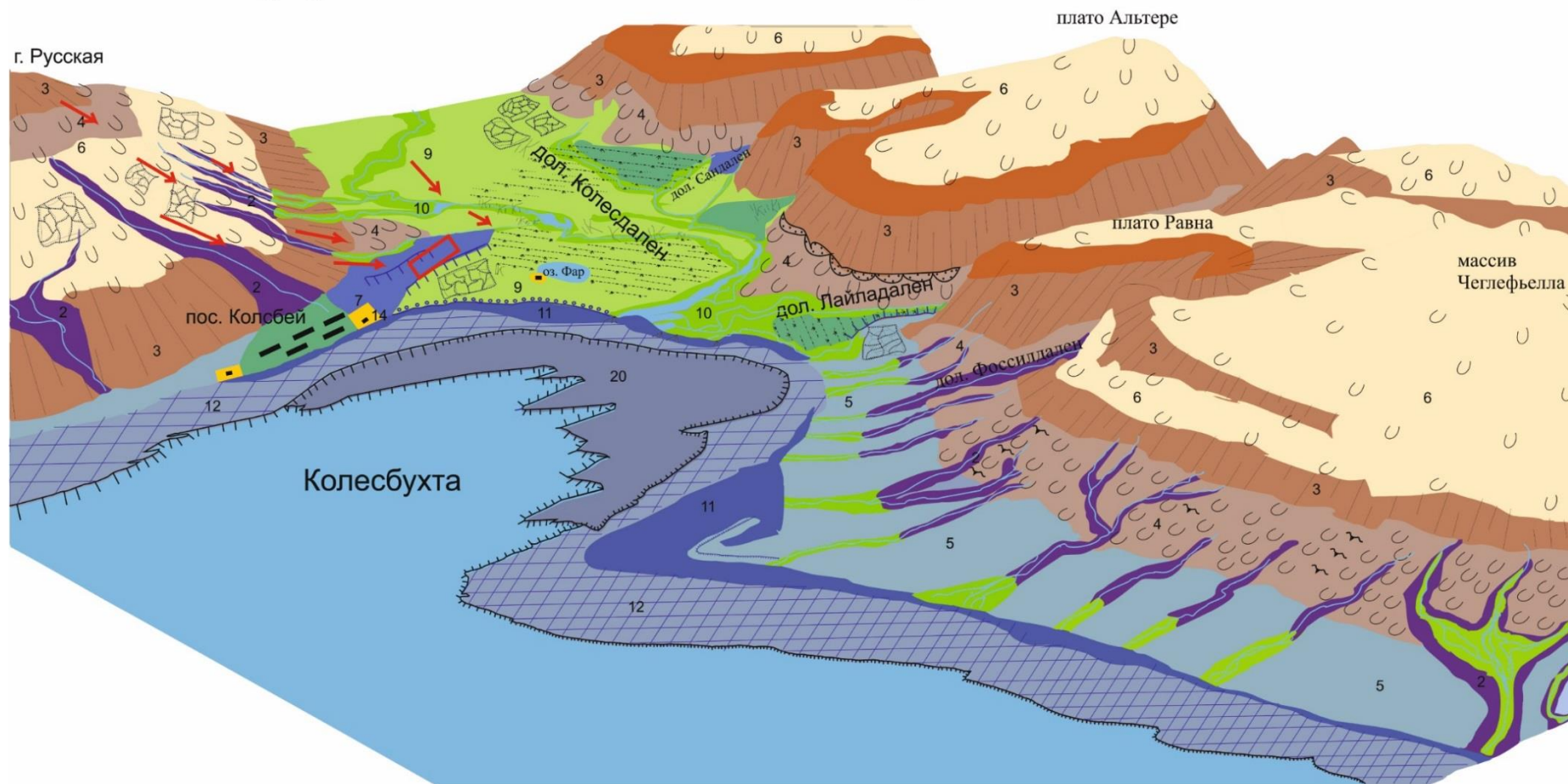
Мезозойская эра Меловая система Серия Адвентдален		Свита Каролинефельлет. Песчаники, алевролиты, аргилиты, рассеянная галька кремнистого состава. Пиритовые и карбонатные конкреции.
		Свита Гельвецияфельлет. Песчаники сероцветные, прослой алевролитов глинистых и песчаных темно-серого цвета, в подошве - прослой гравелитов с линзами конгломератов

	Участок геозкологического исследования
---	--

Приложение 2.2

Геоморфологическая 3d схема долины Колесдален.


Геоморфологическая 3D схема участка Колсбей



Условные обозначения к геоморфологической 3d схеме долины Колесдален.

Условные оозначения:

Субаэральный рельеф		9	Поймы речных долин позднеголоценового возраста		Наложенные формы
	Рельеф денудационный	10	Флювиальные и флювиогляциальные днища речных долин позднеголоценового возраста		 Площади развития криогенных трещинных жильных полигонов
1	Склоны денудационно-эрозионные (>35). Формирование неоген-голоцен	11	Полоса осушки, сформированная процессами флювиального и морского оадконакопления. Формирование поздний голоцен		 Площади развития солифлюкционных террас, опльвин и каменных рек
2	Склоны эрозионные (12-45). Формирование неоген-голоцен	Субаквальный рельеф			 Площади развития криогенной трещинноватости
3	Склоны осыпные (15-35). Формирование поздний плейстоцен-голоцен	12	Морские террасы позднеголоценового возраста		Формы и элементы субаквального рельефа
4	Склоны делювиально-солифлюкционные (<15). Поздний плейстоцен-голоцен	13	Абразионные площадки		 Конусы выноса
5	Морские террасы абразионные (2-50м), ранне-средне голоценового возраста		Рельеф абразионный		 Современный пляж
	Рельеф структурно-денудационный	14	Территории поселков		Каркасные элементы рельефа
6	Плато, выработанные на субгоризонтально залегающих пластах. Формирование неоген-голоцен		Формы и элементы субариального рельефа		 Бровка
	Рельеф аккумулятивный		Структурные террасы		 Болота
7	Комплекс морских террас уровня 2-70м, ранее-средне голоценового возраста		Осыпные террасы		 Постройки
8	Флювиальные конусы выноса позднеголоценового возраста		Бровки и уступы морских террас		 Участок экологического опробования

 Направление движения геоморфологических процессов