

Санкт-Петербургский государственный университет

БИЛАЯ Наталья Андреевна

Выпускная квалификационная работа

***Особенности почвообразования в районах активного вулканизма
Центральной Камчатки***

Уровень образования магистратура
Направление 06.04.02 «Почвоведение»
Основная образовательная программа
ВМ.5522 «Почвоведение»

Научный руководитель:
профессор Санкт-Петербургского государственного университета,
доктор биологических наук
Чуков Серафим Николаевич

Научный консультант:
старший научный сотрудник лаборатории
общей геоботаники БИН РАН,
кандидат биологических наук
Кораблев Антон Павлович

Рецензент:
ведущий научный сотрудник Института биологии
Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук,
доктор биологических наук, доцент,
Лодыгин Евгений Дмитриевич

Санкт-Петербург
2022

Оглавление

Введение	3
1 Характеристика района исследования	5
1.1 Геологическое строение	5
1.2 Рельеф.....	7
1.3 Климат	8
1.4 Почвенный покров	8
1.5 Растительность	12
2 Обзор литературы	13
2.1 Особенности геологии исследуемых территорий	13
2.2 Большое трещинное Толбачинское извержение	14
2.3 Особенности растительности исследуемых территорий	15
2.4 Особенности почв на исследуемых территориях.....	16
2.5 Природоохранная деятельность на исследуемой территории	19
3 Материалы и методы	21
3.1 Полевые работы.....	21
3.2 Лабораторные исследования	21
3.3 Статистическая обработка и графические построения.....	22
4 Объекты исследования	23
4.1 Материал, собранный на плато Толбачинский дол	23
4.2 Материал, собранный на плато Ушковский дол	31
5 Результаты и обсуждение	38
5.1 Физико-химическая характеристика почвенных горизонтов исследуемых территорий	38
5.2 Характеристика различий элементного состава горизонтов исследуемых территорий.....	51
Заключение.....	53
Благодарности	54
Список литературы.....	54

Введение

Формирование почв и растительности в зоне активного вулканизма отличается специфичностью процессов. Активная деятельность вулканов, постоянный приток материала оказывает существенное влияние на формирование экосистем.

Условия формирования почв на Камчатке характеризуются высоким контрастом, в связи с тем, что зачастую даже близко расположенные вулканические конусы существенно отличаются по химическому, механическому, минералогическому составам продуктов извержений. Кроме того, играет роль и разная удаленность от активных центров вулканов. Разные условия вулканизма определяют разнообразие химического состава формирующихся почв (Захарихина, Литвиненко, 2019б). Все это позволяет изучать разнообразие процессов формирования почв в условиях активного вулканизма и их связи с почвообразующими породами.

Для сравнения особенностей почвообразования в условиях разных режимов пеплопадов были выбраны 2 района: вулканическое плато Толбачинский дол (район активного голоценового вулканизма, территория перекрыта продуктами извержения 1975-1976 гг.) и плато Ушковский дол (район слабых перманентных пеплопадов).

Согласно литературным данным изучением специфики почв, формирующихся в условиях активного вулканизма занимались многие отечественные ученые, такие как Ливеровский, Герасимов, Ильина, Зонн, Шоба, Маречек, Белоусова, Тонконогов, Карпачевский, Геннадиев, Захарихина, Литвиненко и др. (Карпачевский Л.О., и др., 2009; Ливеровский Ю.А., 1971; Зонн С.В. и др., 1963; Белоусова Н.И., Тонконогов В.Д., 1968; Геннадиев А.Н., 2007; Захарихина Л.В., 2008, 2009; Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В., 2008а, 2008б, 2009, 2010, 2019). Однако они в большей степени уделяют внимание изучению особенностей почвообразования в разные стадии активности вулканизма, либо отличиям между разными почвенными провинциями, чем отличиям, связанным с разными режимами пеплопадов (удаленность от вулканов, периодичность перекрытия). Подобного рода исследование было проведено Захарихиной (2009) – по влиянию непрерывных вулканических пеплопадов Карымского вулкана на особенности формирования почв и растений (Центральный район Южной почвенной провинции Камчатки), однако наши исследования проведены в Северной почвенной провинции, где условия почвообразования значительно отличаются (Захарихина, 2008).

Таким образом, исследование влияния вулканической активности разной степени на формирование почвенного покрова и растительности Камчатки обладает научной **новизной** и является **актуальной** задачей.

Кроме того, вулканические плато Толбачинский и Ушковский дол находятся на территории объекта всемирного наследия ЮНЕСКО «Вулканы Камчатки» (природный парк «Ключевской»), данная территория является весьма популярной среди туристов, в связи с чем актуальная информация об особенностях формирующихся почв и растительных сообществ на плато является весьма ценной. Впоследствии данная информация будет направлена в администрацию природного парка «Ключевской».

Цель работы – определить влияние интенсивности вулканической деятельности на физико-химические характеристики почв.

Для достижения цели перед нами были поставлены следующие **задачи**:

1. Оценить влияние разных режимов пеплопадов (интенсивных и слабых) на морфологические характеристики почв.
2. Охарактеризовать различия физико-химических показателей и элементного состава почв в зависимости от времени генезиса горизонтов в районе Толбачинского дола (в тефре и погребенном гумусовом горизонте).
3. Выявить различия физико-химических характеристик почв в зависимости от режима пеплопадов.

1 Характеристика района исследования

1.1 Геологическое строение

Камчатка — молодая область, где происходят активные современные тектонические процессы и современный вулканизм.

Земная кора представлена континентальным и переходным (от океанической к континентальной земной коре) типами, мощность составляет 30 км. Восточная часть Камчатки находится в зоне активных контактов Тихоокеанской литосферной плиты и Охотского блока Евразийской литосферной плиты. (Чурикова Т.Г. и др., 2017а).

Архейские, наиболее древние породы, представлены нижней толщей гнейсов, протерозойские – толщей кристаллических сланцев, позднедокембрийские – верхней толщей филлитов (Любимова Е. Л., 1961). Геология нижнего мезозоя неясна, так как охарактеризована только верхнемеловыми отложениями. Породы мезозойского возраста представлены гранитами, диоритами, верхней метаморфизированной эффузивной толщей, свитой граувакковых песчаников и аспидных сланцев, зеленокаменной вулканогенно-сланцевой толщей диабазовых порфиритов и туфогенных пород (Васильев Н. Б., 2019).

Верхний мел характеризуется началом камчатской фазы складчатости и, позднее, эпохой интенсивного вулканизма. В это время образовались складки толщи мезозойских пород. С позднемеловыми и палеоген-нижнемиоценовыми породами связаны хромитовые, медные и марганцевые рудонакопления (Власов Г.М., 1958).

Породы палеогена представлены глинистыми и песчаными отложениями с участием вулканических пород (распространены в северной и северо-западных частях полуострова).

Нижнечетвертичные породы представлены мощным комплексом эффузивов на выровненной поверхности палеогеновых и более древних (верхнемеловых) отложений, возникший в результате трещинных излияний, связанных с основными тектоническими разломами северо-восточного и северо-западного направлений (Любимова Е. Л., 1961).

Четвертичные породы представлены на равнинах и в межгорных депрессиях аллювиальными, аллювиально-пролювиальными, делювиальными, ледниковыми и вулканогенными отложениями (Васильев Н. Б., 2019).

Современное тектоническое положение Камчатки сложилось в позднемиоцен-плиоценовое время (3–6 млн лет назад) (Чурикова Т.Г. и др., 2017а). Современный рельеф сформировался в основном в четвертичном периоде в результате вулканической деятельности, поднятий и опусканий, оледенения и трансгрессии. (Любимова Е. Л., 1961).

Исследуемая территория. Ушковский и Толбачинский доли расположены в юго-западном секторе Ключевской группы вулканов (Центральная Камчатка) (рис. 1). Эти два

вулканических плато находятся на небольшом расстоянии друг от друга, обращены на юг, расположены на одинаковых высотах над уровнем моря, но при этом имеют разную историю извержений (Нешатаева В. Ю., 2014). В связи с этим они были выбраны в качестве модельных территорий для сравнительного анализа растительного покрова и изучения вулканогенной динамики растительности Нешатаевой и коллегами (Нешатаева В. Ю., 2014).

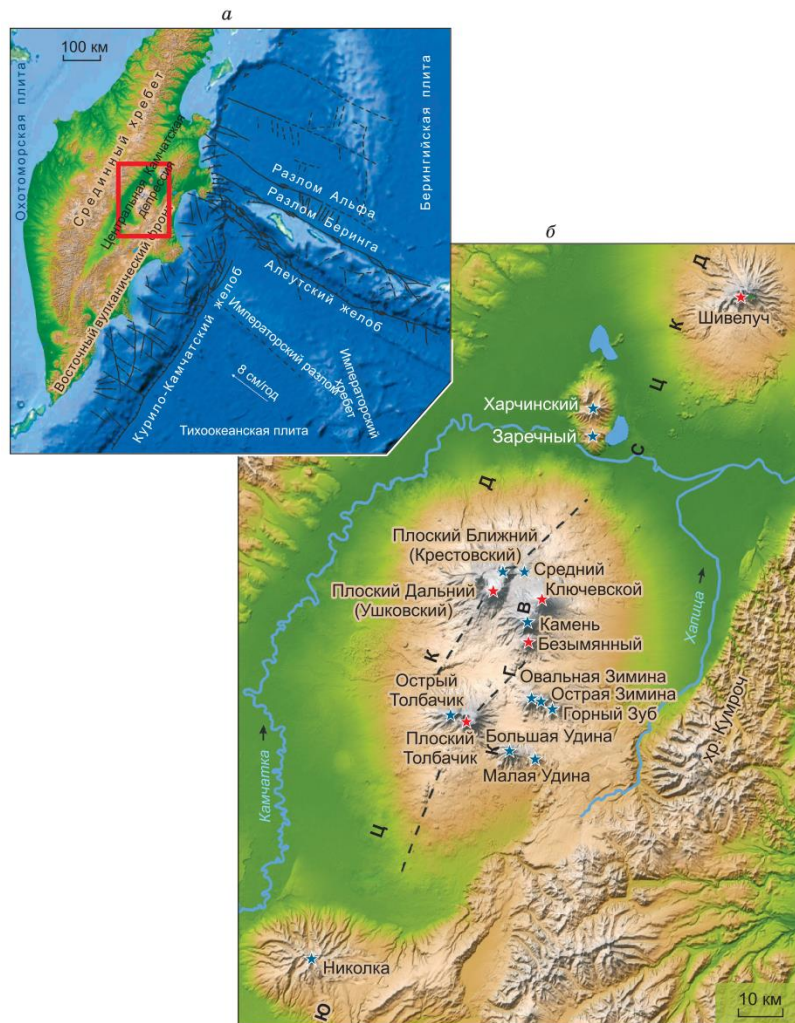


Рисунок 1. Физико-географическое и тектоническое положение Центральной Камчатской депрессии и Ключевской группы вулканов: а – положение ЦКД и срединного хребта, б – обзорная карта ЦКД (Чурикова Т.Г. и др., 2017а)

Ключевская группа вулканов одна из самых крупных и наиболее активных вулканических структур на Камчатке и в мире. Группа расположена в северной части Центральной Камчатской депрессии (ЦКД), входит в Восточную вулканическую область (Чурикова Т.Г. и др., 2017а). Она расположена на плоской возвышенности – «пьедестале» высотой до 1300-1400 м, которая сложена базальтами, переслаиваемыми с рыхлыми вулканическими продуктами (Васильев Н. Б., 2019).

Восточную вулканическую область (где и располагается Ключевская группа вулканов), слагают вулканогенные четвертичные породы – лавовые покровы, чередующиеся с толщами

рыхлых пирокластических отложений (Любимова Е. Л., 1961). Лавовые покровы, главным образом, состоят из лав основного состава; преобладают андезиты, андезито-базальты, базальты. Ограниченное развитие имеют дациты и риолиты. Пирокластические породы представлены туфами, преимущественно андезитового состава; от очень тонких и рыхлых, состоящих из вулканического пепла, до туфо-брекчий, образованных крупными глыбами андезита и вулканическим песком (Любимова Е. Л., 1961).

Мощность вулканогенного комплекса достигает 1000 м. Ключевская группа вулканов характеризуется максимальными в пределах всей Камчатки объёмом четвертичных вулканических пород – 5000 куб.км. (Васильев Н. Б., 2019).

1.2 Рельеф

Рельеф Камчатки был сформирован в конце кайнозойской эры, в основном представлен тектоническим, структурно-вулканическим и аккумулятивным типами рельефа. Основные формы рельефа – высокие вулканические плато-долы с расположенными на них отдельными вулканами или их группами. Это обширные безводные, местами почти лишённые растительности пространства, покрытые на значительной площади чёрным вулканическим песком и лапилли. Крупные разломы, вытянутые в северо-восточном и северо-западном направлении, определяют тектоническую структуру Камчатки, расположение вулканов, гидрологическую сеть, характер береговой линии полуострова (Нешатаева В. Ю., 2014).

В пределах Камчатки выделяют пять крупных геоморфологических структур: горная зона Срединного хребта, зона Восточного хребта, цепь гористых полуостровов к востоку от зоны Восточного хребта, Центральная Камчатская депрессия, Западно-Камчатская низменность (Слюнин Н.В., 1990). В центральной части полуострова тянутся два хребта – Срединный (западный) и Восточный (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С., 2011).

На Камчатке насчитывается около 30 действующих и более 100 потухших вулканов. В результате эруптивной деятельности вулканов значительная часть поверхности полуострова в той или иной степени перекрыта толщей пирокластического материала (тефрой), который является здесь почвообразующей породой. Ведущие рельефообразующие факторы на Камчатке – вулканическая аккумуляция и денудация. В целом формы рельефа, созданного при преобладании аккумулятивной деятельности над эрозионной, достаточно молоды (Мелекесцев И.В., 1980). Рельеф района исследований горный, вулканическое плато расположены на высотах от 1800 м до 70 м над ур. моря (Кораблев А.П., 2011).

1.3 Климат

Климат центральной Камчатки сходен с климатом средней Сибири: умеренно теплое лето и длинная морозная зима (Гришин С.Ю., Шляхов С.А., 2009). Годовая сумма осадков здесь составляет 700 мм, на высоте 900 м среднемесячная температура июля 11.4°C, января – 23.6°C (Кораблев А.П., 2011). Климат не соответствует географической широте полуострова (Васильев Н. Б., 2019) в результате зональной циркуляции атмосферы умеренных широт (преобладание западных румбов); муссонной циркуляции (восточноазиатские муссоны, с которыми связаны зимние северные, северо-западные, в северной части полуострова – северо-восточные ветры; местной циркуляции, которая связана с вхождением гребня высокого давления в зону Центрально-Камчатской депрессии в зимнее время года (Любимова Е. Л., 1961).

На Камчатке выделяют восточный, западный центральный, северный и горный климатические районы. Исследуемая территория относится к горному климатическому району. Зима здесь продолжительная и снежная. В предгорьях и на склонах средняя толщина снежного покрова превышает 240 см. Снег лежит в среднем более 220 дней, причём во многих местах, особенно в карах и цирках, он не стаивает всё лето (Любимова Е. Л., 1961).

Климат района исследований континентальный. На данной территории отмечается большая амплитуда годовых температур, меньшее количество осадков в сравнении с побережьями Камчатки, а также низкие показатели среднегодовых температур и влажности воздуха. Жаркие дни, тем не менее, на данной территории случаются редко, что связано с расположением плато высоко над уровнем моря — 300–400 м. Также возможны сильные ветра, особенно на склонах вулканов.

Для короткого вегетационного периода района исследований (июль—август) характерна прохладная погода с частыми туманами и дождями. Заморозки могут наблюдаться уже в первой половине июля. Зима начинается довольно рано: снег ложится на вершины гор уже в начале сентября. В феврале температура воздуха может достигать -45° С (Васильев Н. Б., 2019).

1.4 Почвенный покров

Почвенный покров Камчатки относится к лугово-лесной зоне лесных грубогумусных почв Дальневосточной таежно-лугово-лесной области (Доклад..., 2019). В целом для полуострова выделяют 28 типов почв (Доклад..., 2018). Четыре типа почв: слоисто-пепловые, лесные охристые и охристо-подзолистые, дерново-лесные, торфяно-болотные относятся к вулканическим. Для вулканических почв характерна высокая скорость фильтрации и низкая

водоподъемная способность. Более 70% равнинных территорий занимают лесные охристые и светлоохристые вулканические почвы (Доклад..., 2019).

Почвообразующие породы – слоистые пирокластические отложения разного возраста, механического и химического состава, периодическое погребение ранее существовавших генетических горизонтов и «омоложение» поверхностных органогенных горизонтов почв при вулканических извержениях обуславливает специфичные характеристики почв Камчатки (Доклад..., 2019).

Почвы отличаются слоистостью профиля, легким механическим составом, рыхлостью сложения, промывным водным режимом, бедностью элементов питания, слабостью микробиологических процессов, бедностью беспозвоночными. Биологическую активность почв сдерживает заболачивание и островная вечная мерзлота, которые замедляют разложение растительных остатков и способствуют образованию грубого и очень подвижного гумуса (до 7— 15 % в верхних горизонтах) (Васильев Н. Б., 2019).

Почвообразующие породы – кислые и слабокислые породы вулканического происхождения- слабо трансформируются в связи с низкими температурами и избыточной влажностью (Доклад..., 2018). В окрестностях вулканов восточной вулканической зоны для почв характерен более основной состав, в связи с часто повторяющимися извержениями пирокластического материала среднего и основного составов. При перекрытии почвы пепловым материалом процессы иллювиирования прерываются, и преобладающим становится процесс гумусонакопления. Далее поверхностный органогенный горизонт формируется в течение около 100 лет (Доклад..., 2019).

В целом вулканические почвы Камчатки, формирующиеся на слабовыветрелых и геохимически обедненных вулканических пеплах, характеризуются низкими фоновыми содержаниями большинства химических элементов относительно их общей распространенности в почвах континентов, однако для разных почвенных провинций характерно повышенное валовое содержания элементов, типичных для вулканических пород среднего и основного составов: Na, Ca, Mg, Cd, Mn, Co, Cu (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С., 2019). Устойчиво наблюдается дефицит элементов, характерных для кислых вулканитов: La, Ce, Pr, Nd, Nb, Hf, Tl, Rb и Th (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С., 2019), а также таких элементов, как Cr, Ni, Sr, Sn, Mo и Ag (Доклад..., 2019). Наиболее низкие содержания в почвах характерны для В, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Ba, Pb (Доклад..., 2019).

Физико-химические свойства почв полуострова обуславливают слабое накопление легкоподвижных форм элементов, поступающих со свежими пеплами в процессе вулканических извержений (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С., 2009). Почвы характеризуются подвижным фульватным гумусом.

Захарихиной Л.В. и Литвиненко Ю.С. было проведено районирование вулканических почв Камчатки (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С, 2011), схема которого представлена на рисунке 2.

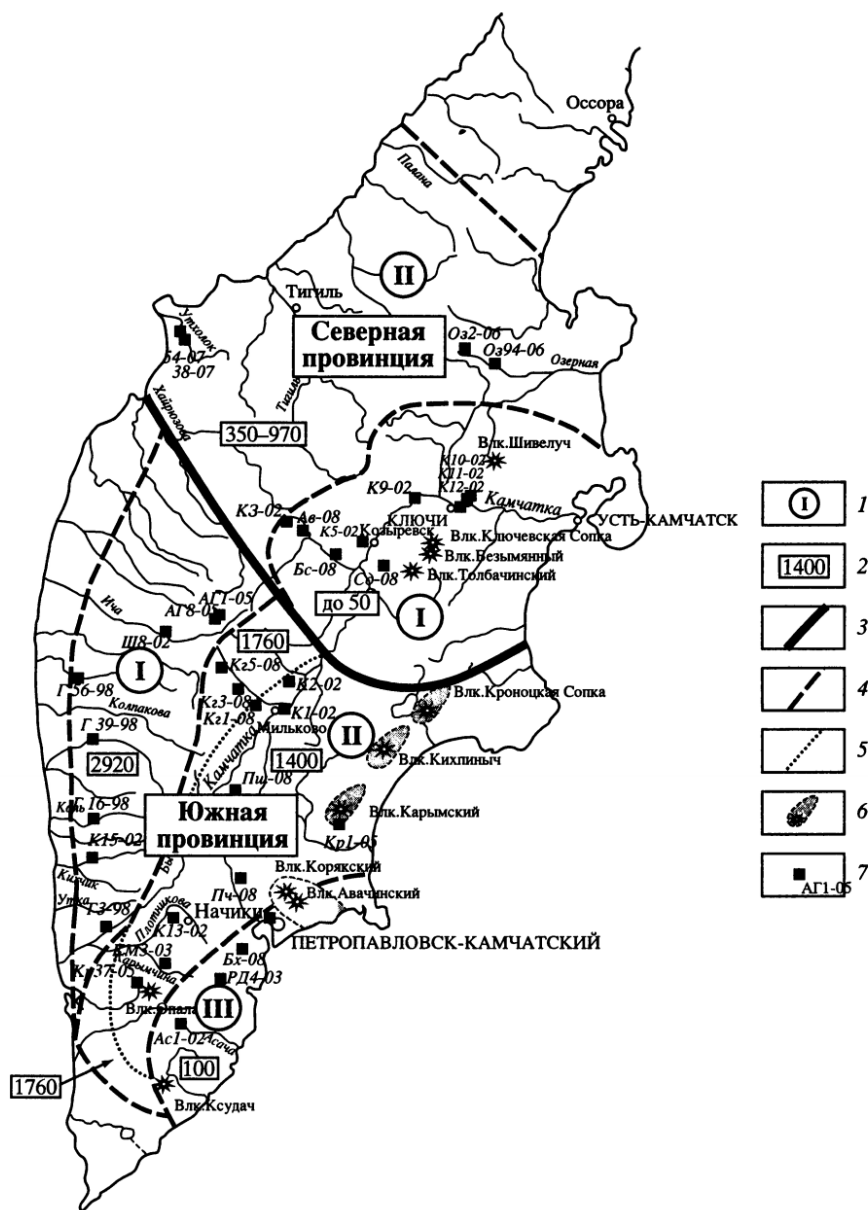


Рис. 2. Схематическая карта районирования вулканических почв Камчатки:
 1 – районы внутри почвенных провинций, в пределах Северной провинции: I – Восточный, II – Западный; в пределах Южной провинции: I – Западный, II – Центральный, III – Юго-восточный; 2 – возраст приповерхностных пеплов (лет); 3 – граница между почвенными провинциями; 4 – границы районов внутри провинций; 5 – граница между почвами, поверхностные горизонты которых сформированы в пеплах идентичного состава вулканов Опала и Ксудач в пределах Центрального района Южной провинции; 6 – локальные ареалы свежих пеплов вблизи действующих вулканов Камчатки; 7 – места заложения опорных почвенных разрезов, уточняющих ареалы вулканических пеплов

Рисунок 2. Схематическая карта районирования и геохимической специализации вулканических почв Камчатки (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С, 2011)

Были выделены Северная и Южная почвенные провинции Камчатки.

1. Для Северной провинции характерны почвы, сформированные на пеплах вулканов северной группы Камчатки (Шивелуч, Толбачик, Безымянный, Ключевская сопка), Вулканы

находятся в молодой базальтоидной стадии развития, здесь часто происходят извержения незначительного количества пирокластического материала базальтового, андезитобазальтового составов.

2. Почвы Южной провинции образованы преимущественно на пеплах вулканов южной Камчатки (Опала, Ксудач, Курильское озеро). Вулканы находятся зрелой фазе развития вулканизма, когда редко происходят крупные кальдерообразующие извержения, продуктов риолитового и риолито-дацитового состава.

На основании особенностей приповерхностных вулканических пеплов данных территорий в пределах провинций были выделены районы. Территории, имеющие сходное строение почвенных профилей, можно проследить по ареалам приповерхностных вулканических пеплов, которые в целом повторяют границы почвенных районов с пепловыми горизонтами, отложившимися в результате известных крупных извержений вулканов Камчатки в голоцене (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С, 2011).

Сравнение элементных составов почв Камчатки с литературными данными о геохимии вулканических почв Европейского континента (Италии, Исландии, Греции, Франции, Венгрии, Азорских и Канарских островов) (Martínez Cortizas et al., 2004), представленное на рисунке 3, показывает относительно низкие содержания большинства химических элементов в почвах региона.

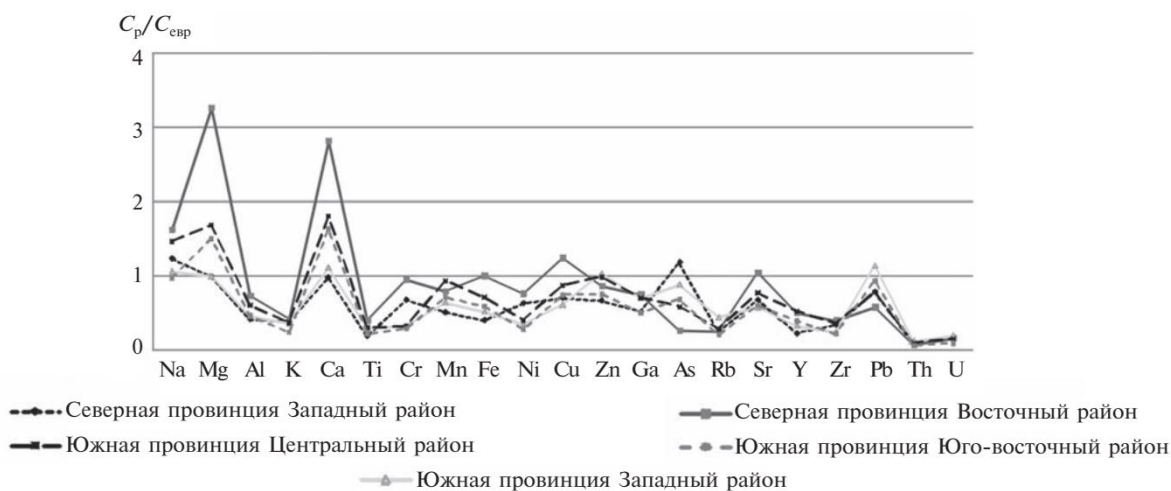


Рисунок 3. Концентрации валовых содержаний элементов для почв разных районов Камчатки (C_p) относительно средних содержаний элементов (Севр) для вулканических почв Европы (Захарихина, Литвиненко, 2019б)

Это связано с тем, что вулканические почвы Европы сформированы в более теплом климате. Они образованы в хорошо выветренных пеплах, обогащены глинистыми минералами, способствующими накоплению химических элементов (Shoji et al., 1993). Почвы Камчатки характеризуются преобладанием слабыветренного вулканического стекла и первичных минералов пеплов в верхней части их профиля (Захарихина, Литвиненко, 2011).

Для почв полуострова в сравнении с европейскими вулканическими почвами характерны лишь устойчиво повышенные содержания Na, Ca и Mg, что связано с региональными геохимическими особенностями приповерхностных пеплов региона (Захарихина, Литвиненко, 2019а). Формирование почв в условиях вулканизма за рубежом также изучали и раньше (Ugolini C.F., Dahlgren A., 2002). Данное исследование было основано на сравнении между собой различных вулканических почв, расположенных в разных климатических условиях, на разных континентах.

1.5 Растительность

Растительность Ключевской группы вулканов представлена еловыми, лиственничными и березовыми лесами, альпийскими лугами и горными тундрами у подножия вулканов (Нешатаева В. Ю., 2014). В массиве Ключевской группы вулканов выделяют лесной, субальпийский и альпийский пояса. Лесной пояс разделен на полосы лиственничников (на высотах до 200 м над уровнем моря), ельников (до 400 м) и каменноберезняков (до 800 м). Субальпийский пояс маркируется формациями кедрового и ольхового стлаников (до 1200 м). Для гор Камчатки характерен не выраженный альпийский пояс (Нешатаева В. Ю., 2014). Горные тундры распространены почти до 2000 м, отдельные высшие растения встречаются (при господстве накипных лишайников) — до 2500 м над уровнем моря.

Растительный покров на склонах вулканов Ключевской сопки, Острога Толбачика и других преобразован под действием многочисленных извержений в течение исторического периода (Нешатаева В. Ю., 2014). На лавовых покровах растительность восстанавливается не менее 2000 лет. Таким образом растительность молодых потоков (1500 лет, 1000 лет и др.) более разрежена (Гришин С.Ю., Шляхов С.А., 2009). Видовой состав начальных этапов первичной сукцессии очень разнообразен и носит случайный характер (Кораблев А.П., 2011; Walker, del Moral, 2003).

Регулярный привнос продуктов вулканических извержений, в том числе приоритетных химических элементов для растений, вулканических пеплов и почв: Ca, Mg, Mn, P, Cu, Zn и Sr (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С., 2019в) определяет повышенный геохимический фон растений, влияет на все биогеохимические процессы, протекающие в природных средах, что приводит к относительной обогащенности растений полуострова химическими элементами на фоне бедности почв региона (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С., 2019в).

2 Обзор литературы

2.1 Особенности геологии исследуемых территорий

Толбачинский дол – это обширное позднеплейстоцен-голоценовое лавовое плато. Оно входит в состав Толбачинского массива, который извергался неоднократно в течение голоцена и исторического времени (Чурикова Т.Г. и др., 2017а). Вулканы Толбачинские занимают юго-западную часть Ключевского дола, между верховьями рек Студёная и Левый Толбачик. Группа состоит из двух стратовулканов – Острый Толбачик и Плоский Толбачик и более ста мелких вулканических конусов в линейной зоне развития ареального вулканизма.

На склонах системы Толбачинских вулканов в течение последних 10 тыс. лет активно работает трещинная зона моногенных шлаковых и шлаколавовых конусов, извергающих лавы различного химического состава.

Геологическая история массива состоит из четырех последовательных этапов вулканической активности: 1) формирование пьедестала Толбачинского массива, 2) субсинхронный рост двух стратовулканов – Острого Толбачика и Плоского Толбачика, 3) развитие дайкового комплекса, 4) формирование наложенной зоны шлаковых и шлаколавовых моногенных конусов (Чурикова Т.Г. и др., 2017б). На этапе 4, который начался около 10 тыс. лет назад и продолжается до настоящего времени, образовалась зона моногенных конусов. Конусы состоят в основном из шлака, но часто формируют лавовые потоки длиной до 10 км. Около 2 тыс. л.н. начался так называемый «контрастный» период извержений, в течение которого извергались как высокоглиноземистые, так и высокомагнезиальные базальты (Брайцева и др., 1984).

Зона моногенных конусов и лавовых потоков Толбачинского вулканического массива состоит из двух рифтоподобных ветвей, разделенных 8-километровым промежутком, свободным от конусов, в районе вершины вулкана Плоский Толбачик: южная (где проводилось исследование) и северная (Чурикова Т.Г. и др., 2017а). Южная ветвь более активна и обширна, чем северная, все исторические извержения моногенных конусов происходили именно здесь (Чурикова Т.Г. и др., 2017а).

Вся зона покрыта переслаивающимися лавовыми потоками и пеплово-шлаковыми отложениями голоценовых извержений. В ходе извержения 1975–1976 гг. поверхность исследуемой территории Толбачинского дола была полностью заполнена большим объемом перемещенной по воздуху тefры (Чурикова Т.Г. и др., 2017а).

До БТТИ территория Толбачинского дола была покрыта продуктами исторических извержений, в основном представленные многократными эпизодами эксплозивной активности кратера вулкана Плоский Толбачик (в том числе в 1740 г.) (Брайцева и др., 1984).

2.2 Большое трещинное Толбачинское извержение

В июле - сентябре 1975 г., в 18 км к юго-западу от кратера активного вулкана Плоский Толбачик, произошло очень крупное извержение, уникальное для Камчатки. Центр его находился на высоте около 900 м н. у. м., в высотной полосе субальпийского пояса. В результате извержения было выброшено 0.7 км³ темной базальтовой тефры, которая покрыла слоем мощностью более 10 см территорию площадью 470 км². Образовались также 3 шлаковых конуса высотой до 300 м и излились лавовые потоки общей площадью до 9 км² (Федотов С.А., 1984). После окончания этого извержения, центр которого получил впоследствии название Северный прорыв, в 10 км к югу от него, на высоте около 400 м возник второй центр – Южный прорыв.

Фоновым (основным) режимом эксплозивной деятельности извержения Северного прорыва было непрерывное струйное истечение пирокластического материала (газа, пепла, шлака, бомб) (Федотов С.А. и др., 1984). Разлет бомб не превышал 300-500 м. Крупная пирокластика была представлена шлаками-обрывками пузыристых базальтов размером от 1-3 мм до 10 см.

Состав шлака соответствовал субщелочному глиноземистому базальту. Текстура шлака пористая и шлаковидная. Пирокластический материал Толбачинского извержения отличался большим разнообразием формы и размеров обломков при общем уменьшении размеров частиц пепла от 2 мм до 0,5 мм по мере удаления от центра извержения (Флеров Г.Б. и др., 1984; Krasheninnikov S.P. et. al., 2020).

Пеплы представлены преимущественно вулканическим стеклом, шлаковидными обломками базальтов, измененными обломками базальтов красно-бурого цвета и единичными обломками кристаллов плагиоклаза и темноцветных минералов. Состав пеплов в пределах 20 км от центра извержения не дифференцирован.

Такого масштаба вулканические катастрофы происходят на Камчатке не каждое столетие. Мощный пеплопад погубил растительность дола на площади около 400 км², а местность превращена в безжизненную шлаково-пепловую пустыню (Федотов С.А., 1984). Погибли горные леса, подгольцовые стланики и луга, горные тундры и несомкнутая растительность старых лавовых потоков (Гришин С.Ю., Шляхов С.А., 2009).

Полная гибель растительности верхней части лесного пояса (на высоте 600-800 м) произошла при отложениях тефры мощностью более 100 см (лиственница погибла при отложениях мощностью 70 см, ель – 40 см, береза каменная – 25 см), субальпийского пояса – более 40 см (ольховый стланик погиб при отложениях мощностью 40 см, лиственница – 35 см,

береза каменная и кедровый стланик – 25 см), альпийского пояса – 20 см (Гришин С.Ю., Шляхов С.А., 2009).

В районах дола, где отложились многометровые толщи тефры (где расположен район исследования), и образовалась шлаковая пустыня, началась первичная сукцессия, которая может быть сопоставима по длительности с сукцессией на лаве.

2.3 Особенности растительности исследуемых территорий

Согласно данным Нешатаевой и соавторов (Нешатаева В. Ю. и др., 2014) флора вулканов Ушковский и Толбачик в целом насчитывает 427 видов, представленных 183 родами и 55 семействами. В конкретной флоре вулкана Ушковский (включая плато Ушковский дол) отмечено 116 видов, отсутствующих на Толбачике. Во флоре вулкана Толбачик (включая плато Толбачинский дол) отмечены 63 вида, отсутствующие на вулкане Ушковский. Соответственно, 245 видов являются общими для обеих конкретных флор. Представляется более информативным рассмотреть соотношение дифференциальных видов в различных экологических группах (Нешатаева В. Ю. и др., 2014).

Отличия данных групп растительных сообществ обусловлено относительно высоким уровнем вулканической активности вулкана Толбачик (извержения, пеплопады и истечение лав) в исторический период, тогда как на вулкане Ушковский подобные явления происходили в относительно далекие времена (около 350 лет), что позволило растительному покрову восстановиться и стабилизироваться (Нешатаева В. Ю. и др., 2014).

Во флорах вулканов Ушковского и Толбачика имеется 11 видов, внесенных в «Красную книгу Камчатки» (2007). Три вида (*Cypripedium yatabeanum*, *Claytonia sarmentosa*, *Rhodiola rosea*) отмечены для обоих вулканов, причем первые два являются на них одинаково редкими. *Rhodiola rosea* относительно немногочисленна на Толбачике и гораздо более обычна и обильна на Ушковском, где встречается в пределах значительного интервала высот, в том числе и под пологом каменноберезовых и лиственничных лесов (Нешатаева В. Ю. и др., 2014). Из прочих 8 видов 6 отмечены только для вулкана Ушковский (*Cypripedium guttatum*, *Chrysosplenium wrightii*, *Saxifraga setigera*, *Astragalus sealei*, *Lomatogonium carinthiacum*, *Leontopodium kamtschaticum*), 2 вида известны только на Толбачике (*Oxytropis anadyrensis* и *Taraxacum albescens*) (Нешатаева В. Ю. и др., 2014).

На Толбачинском доле большинство растительных сообществ являются вулканогенно-трансформированными аналогами типов сообществ фоновых районов Камчатки (Кораблев А.П., 2011). По сравнению с фоновыми участками на плато Ушковский дол (тундра голубичная) (по Некрасов Т.Л., Кораблёв А.П., 2019) отмечены изменения структуры сообществ, существенно отличается флористический состав, положение в сукцессионных

рядах, количественное соотношение видов-доминантов, содоминантов и подчиненных видов, нарушено соотношение различных экологических групп видов (Кораблев А.П., 2011).

На основании обобщенных характеристик растительного покрова: степени развития горизонтальной и вертикальной структур и доминирующих жизненных растений (Walker, del Moral, 2003 и Walker et al., 2010) Кораблев А. П. и др. 2018 выделяют следующие стадии сукцессии растительности: 1 – первичной колонизации (разреженные мохово-лишайниковые и травяные группировки); 2 – закрепления субстрата и развития трав и мхов (мохово-лишайниковые и травяные группировки сомкнутостью >5%, моховые и злаковые (*Leymus interior*) сообщества); 3 – поселения древесных видов и начала дифференциации вертикальной структуры (кустарниковые и стланиковые группировки); 4 – смыкания стлаников и развития деревьев (древесные группировки и стланиковые сообщества); 5 – формирования лесных сообществ (лиственничные, тополевые, березовые леса и редколесья) (Кораблев А.П. и др., 2018). Характер протекания первичных сукцессий на тефре зависит от степени подвижности тефры, расстояния до ближайших источников семян, а также от высоты над уровнем моря (Кораблев А.П., 2011).

Первые три стадии сукцессии характеризуются успешным развитием мхов, лишайников и поликарпических трав. В наиболее суровых условиях на первой стадии развития лесной растительности мхи незначительно уступают травам по проективному покрытию и видовому богатству (Кораблев А.П. и др., 2018).

В исследованиях 1980-х гг. на пеплово-шлаковых полях Толбачинского дола не были обнаружены мхи, вероятно из-за сильной подвижности субстрата. На участках, где продолжается активная эрозия, мхи *Niphotrichum canescens*, *Politrichum piliferum*, *Racomitrium lanuginosum* представлены единичными экземплярами, закрепившимися на отдельных гранулах тефры (Кораблев А.П. и др., 2018).

2.4 Особенности почв на исследуемых территориях

Территории исследования относятся к восточному району Северной почвенной провинции Камчатки. Процесс почвообразования почв на пеплах Ключевской группы вулканов подвержен влиянию ранней стадии вулканической деятельности (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С., 2011).

Регулярное поступление продуктов современной вулканической деятельности при почвообразовательном процессе обуславливает наибольшее богатство валовыми содержаниями химических элементов почв, образованных в окрестностях наиболее активных вулканов полуострова (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С., 2019б). В результате для почв

характерен наиболее широкий спектр приоритетных элементов и наиболее высокие значения их Кс (коэффициентов концентрации).

Региональный фон в восточном районе Северной почвенной провинции превышает в основном типоморфные для основных вулканитов и для андезитовых приповерхностных пеплов территории элементы: Mg, Cr, Ca, Co, Ni, Fe, V, Sc, Cu. Вулканические аэрозоли, выщелачивающие из почв легкоподвижные соединения, обуславливают низкое содержание подвижных форм химических элементов в почвах Восточного района (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С., 2019в).

Все вулканические пеплы, залегающие в почвах, фактически не выветрелы и слабо трансформированы. В зоне активного почвообразования находятся только пепловые прослои, подстилающие поверхностные органогенные горизонты. После перекрытия почвы вулканическим пеплом выветривания пепловых горизонтов, перешедших в погребенное состояние, фактически не происходит.

Поверхностные органогенные горизонты почв восточного района Северной почвенной образованы на молодых андезитовых пеплах вулкана Толбачик извержений 1975-1976 гг. и вулкана Безымянный извержения 1956 г. (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С., 2011). Для вулканических пеплов, залегающих в почвах, в том числе в зоне активного почвообразования, характерна слабая трансформация и почти полное отсутствие выветривания.

Все почвы Северной провинции сформированы в андезитовых и андезито-базальтовых вулканических пеплах извержений Северной группы вулканов Камчатки. Роль почвообразующих пород для всех дневных погребенных органогенных горизонтов почв выполняют вулканические пеплы извержений вулканов Шивелуч, Безымянный, Толбачик (андезитовый состав) и Ключевская сопка (базальтовый состав) (рис. 4) (Карпачевский Л.О. и др., 2009). Поверхностные органогенные горизонты образованы здесь в молодых пеплах вулкана Толбачика извержений 1975-1976 гг. и вулкана Безымянного извержения 1956 г (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С., 2011).

**Вулканические пеплы, формирующие почвенный профиль
в 20 км северо-восточнее п. Ключи**

Индекс	Источник	Календарный возраст, лет	Глубина зале- гания, см	Химический состав
Бз1956	Влк. Безымянный	50	7–10	Андезитовый
Ш1	Влк. Шивелуч	350	31.5–35	
Кл	Влк. Ключевской	–	40–41	Базальтовый
Ш2	Влк. Шивелуч	970	51–61	Андезитовый
Кл	Влк. Ключевской	–	83–84	Базальтовый
Ш3	Влк. Шивелуч	1400	87–93.5	Андезитовый
Кл	Влк. Ключевской	–	105–108	Базальтовый
КС1	Влк. Ксудач	1760	130–139	Риолито-дацитовый
Ш5	Влк. Шивелуч	2500	155–157	Андезитовый

Примечание. “–” – нет данных.

Рисунок 4. Вулканические пеплы извержений вулканов Шивелуч, Безымянный, Толбачик (андезитовый состав) и Ключевская сопка (базальтовый состав)

Территория плато Толбачинский дол на протяжении последних 2.5 тыс. лет испытывает влияние преимущественно эксплозивных извержений, сопровождающихся мощными пеплопадами, происходящих в центральной части плато (Брайцева и др., 1984).

Поскольку почвы Толбачинского дола подвержены постоянному поступлению пирокластики, почвообразование имеет синлитогенный характер, то есть приращение почв вверх по профилю идёт за счёт выпадения пирокластического материала (тефры) (Васильев Н. Б., 2019). Такие слаборазвитые почвы на свежих вулканических выбросах по классификации почв России 2004 г. относятся к типу слоисто-пепловых (Vitric Andosols).

Напочвенный покров на исследуемой территории только формируется, поскольку в прошлом был погребен в результате обильного выброса пирокластического материала во время Большого Толбачинского трещинного извержения 1975 года (Васильев Н. Б., 2019). Периодическое выпадение пепла тормозит развитие подзолистого процесса на плато, хотя в отдельных случаях он может быть выражен довольно хорошо.

Почвы Толбачинского дола, расположенные чуть севернее исследуемой территории, и аналогичные изучаемым нами, были частично описаны Гришиным С.Ю. и Шляховым С.А. (Гришин С.Ю., Шляхов С.А., 2009). Исследуемая нами территория относится к группе, профили почв которой представляют собой не почвенно-пирокластический чехол, а скорее набор слоев пирокластических отложений, часть из которых затронуты педогенными процессами, но обычно в небольшой степени. Почвы состоят из горизонтов С и АС, но встречались почвенные разрезы, в которых не было обнаружено горизонтов, которые можно было бы назвать АС, поскольку эту толщу слагает слабо преобразованная тефра (Гришин С.Ю., Шляхов С.А., 2009). В местах распространения почв данной группы, по-видимому, уже

до БТТИ лиственничные леса отсутствовали, так как под поверхностным слоем шлака не обнаруживается хорошо развитого гумусово-аккумулятивного горизонта. Его место занимает горизонт АС, представляющий собой коричнево-темно-серый песок, содержащий небольшое количество хорошо разложившегося органического вещества. Других следов процесса почвообразования в нем не прослеживается. По словам Гришина С.Ю. и Шляхова С.А., «поверхностные образования, описываемые этими разрезами, можно отнести к почвам лишь в том смысле, что сейчас на нем формируется растительный покров, хотя и очень разреженный». Следовательно, почвы исследуемых территорий можно назвать экочвами (по классификации И.А. Соколова, 2004) – почвоподобные тела, выполняющие экологические и биосферные функции почв (Гришин С.Ю., Шляхов С.А., 2009).

2.5 Природоохранная деятельность на исследуемой территории

Территория исследования расположена в пределах природного парка регионального значения «Ключевской» (включен в объект Всемирного наследия ЮНЕСКО в номинации «Вулканы Камчатки» в 2001 г) (рис. 5). Природный парк «Вулканы Камчатки» объединяет шесть особо охраняемых природных территорий Камчатского полуострова: Кроноцкий заповедник, Южно-Камчатский федеральный заказник и природные парки «Налычево», «Южно-Камчатский», «Быстринский» и «Ключевской». Находится под управлением КГБУ «Природный парк «Вулканы Камчатки» (<http://www.vulcanikamchatki.ru/novosti...>).

Площадь природного парка — 375 981 га. Природный парк располагается на территории Усть-Камчатского и Мильковского (юго-западный участок парка) муниципальных районов (<http://www.kamchatsky-krai.ru/geography...>).

В 2017 году природный парк «Вулканы Камчатки» был объявлен одним из самых посещаемых объектов в списке Всемирного наследия ЮНЕСКО. На территории природного парка «Ключевской» ведется мониторинг туристического потока, что позволяет отслеживать возникающие потребности и угрозы и оперативно на них реагировать (Доклад..., 2019). В 2016 году для контроля и упорядочивания турпотоков к месту Нового Толбачинского трещинного извержения 2012-2013 годов у подножья вулкана Плоский Толбачик начато строительство туристической базы и инспекторского кордона. В 2016-2017 гг. кроме административных и бытовых сооружений был обустроен единственный в данной местности родник (Доклад..., 2019).

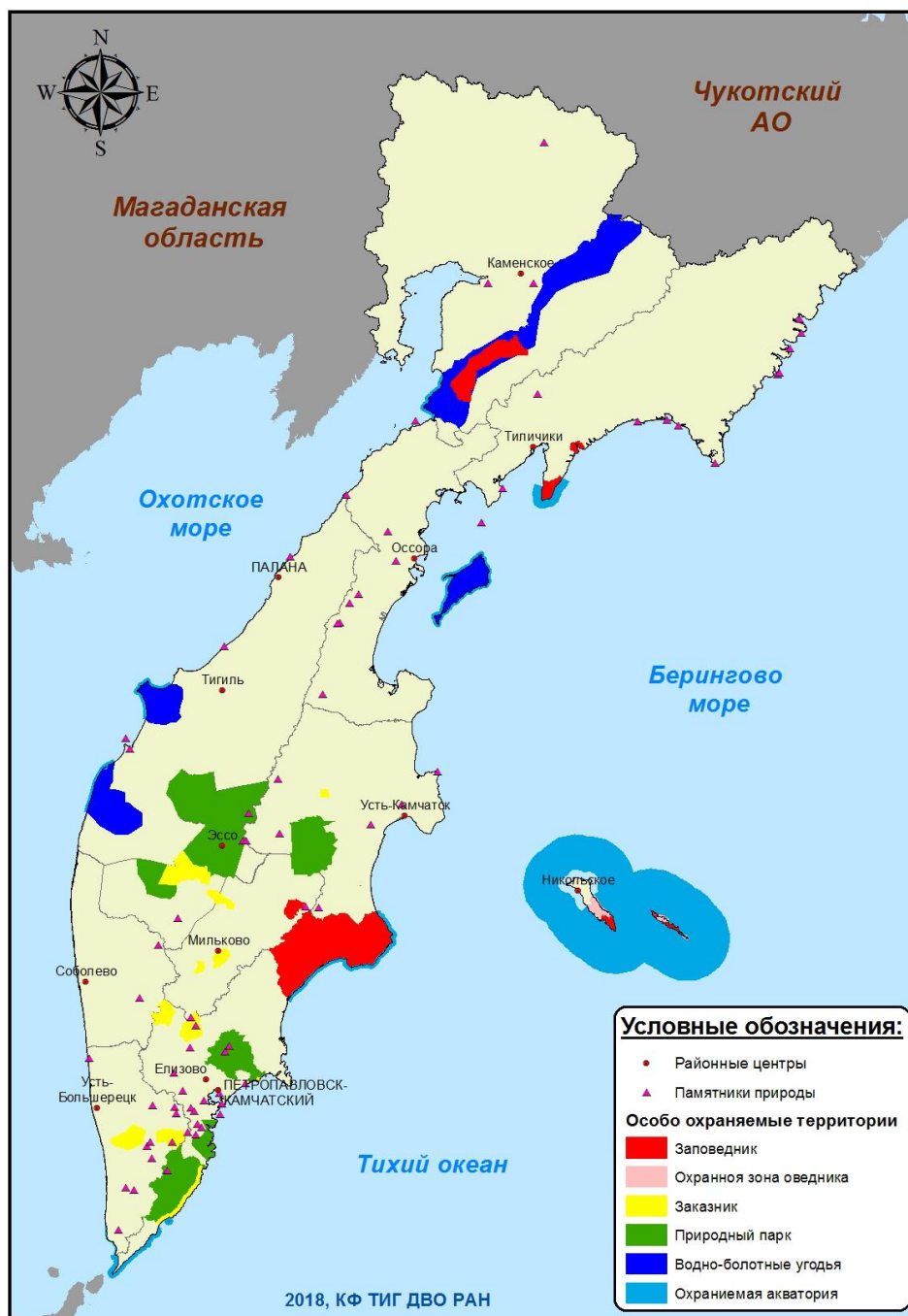


Рисунок 5. Карта-схема особо охраняемых природных территорий Камчатского края и водноболотных угодий международного значения по состоянию на 01.01.2019 года (Доклад..., 2019)

3 Материалы и методы

3.1 Полевые работы

Полевая часть работ была проведена летом 2018 и 2019 г в ходе Камчатских геоботанических экспедиций Ботанического института им. В.Л. Комарова Российской Академии Наук. В 2018 году были описаны полуямы и отобраны образцы тефры и погребенного гумусового горизонта на Толбачинском доле. В 2019 году мной были описаны полуямы и произведен отбор проб гумусового горизонта и корнеобитаемого слоя на территории Ушковского дола. Вблизи всех описанных почвенных разностей также были сделаны геоботанические описания сообществ. Всего нами были проанализированы 20 проб тефры, 14 проб погребенного гумусового горизонта на Толбачинском доле, а также 5 проб гумусового горизонта и 5 проб корнеобитаемого слоя с территории Ушковского дола.

Также для каждой точки наблюдения были отмечены абсолютная высота, расстояние до эпицентра БТТИ, расстояние до источников семян (уцелевших тундр – для точек на Толбачинском доле), размер выходов лавы, размерность частиц тефры, мощность слоя тефры (до захороненной почвы – для точек на Толбачинском доле), стадия сукцессии.

3.2 Лабораторные исследования

В камеральных условиях для всех образцов была проведена мезоморфологическая характеристика с определением цвета по шкале Манселла, структуры, описанием включений, описанием размерности агрегатов.

Далее в лабораторных условиях нами была проведена подготовка проб к дальнейшему анализу. Изначально пробы были просушены в сушильном шкафу при 100°C до воздушно-сухого состояния. Далее пробы с высоким содержанием песчаной фракции были растерты в агатовой ступке и измельчены в шаровой мельнице, после чего пробы были просеяны через сито с диаметром ячейки 0,2 мм.

Для определения валового исследуемых элементов (Cu, Cr, Co, V, Ni, Li, Zn, P, S, Ca, Mn) был использован метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. Измерения проводились на приборе ICP-9000 на базе РОЦ Химия СПбГУ, а также на приборе ICP-E-9800 в ООО "Эко-Экспресс-Сервис". Перед проведением измерений навески были переведены в жидкую фазу методом разложения проб с использованием микроволновой печи минерализатора на валовое содержание элементов в пробе (Методика..., 2008). Градуировочные растворы для каждого исследуемого элемента были приготовлены с массовой концентрацией элементов 0,001, 0,01, 0,1, 1, 10, 50 и 100 мг/л.

Определение содержания органического вещества в пробах осуществлялось методом потерь при прокаливании (ППП) согласно ГОСТу 23740-2016.

Определение содержания гигроскопической влажности (ГВ) в пробах осуществлялось согласно ГОСТу 28268-89.

Актуальная кислотность была измерена рН-метром (рН-150МИ) по стандартной методике.

3.3 Статистическая обработка и графические построения

Далее была проведена первичная обработка полученных данных с помощью стандартного пакета Microsoft Excel, статистическая обработка с помощью пакета Statistica 7, а также в программной среде R.

Были использованы статистические методы: корреляционный анализ (с применением коэффициента корреляции Пирсона, а также коэффициента корреляции Спирмена, в случае категориальных переменных), метод главных компонент (principal component analysis PCA), при уровне значимости $p < 0,05$.

Для всех исследованных элементов (Cu, Cr, Co, V, Ni, Li, Zn, P, S, Ca, Mn) нами были рассчитаны коэффициенты концентрации. Расчет производили по формуле $K_c = K_i / K_b$, где K_i – концентрация конкретного элемента в данной пробе, K_b – региональный фон данного элемента для восточного района северной провинции Камчатки (по Л. В. Захарихиной и Ю. С. Литвиненко, 2019).

Все карты были построены с помощью программы ArcGIS 10.1. В качестве топоосновы нами был использован номенклатурный лист топографической карты N-57-V. Карты были построены в географической системе координат Pulkovo-1942, в проекции Гаусса-Крюгера для зоны с центральным меридианом 159°. Для построения карт распределения коэффициентов концентраций элементов K_c и глубин погребенного гумусового горизонта на Толбачинском доле пользовались модулем SpatialAnalyst. Для интерполяции данных (построения непрерывной поверхности) использовали метод обратно взвешенных расстояний (ОВР) по Лебедев С.В., Нестеров, Е. М., 2018.

4 Объекты исследования

4.1 Материал, собранный на плато Толбачинский дол

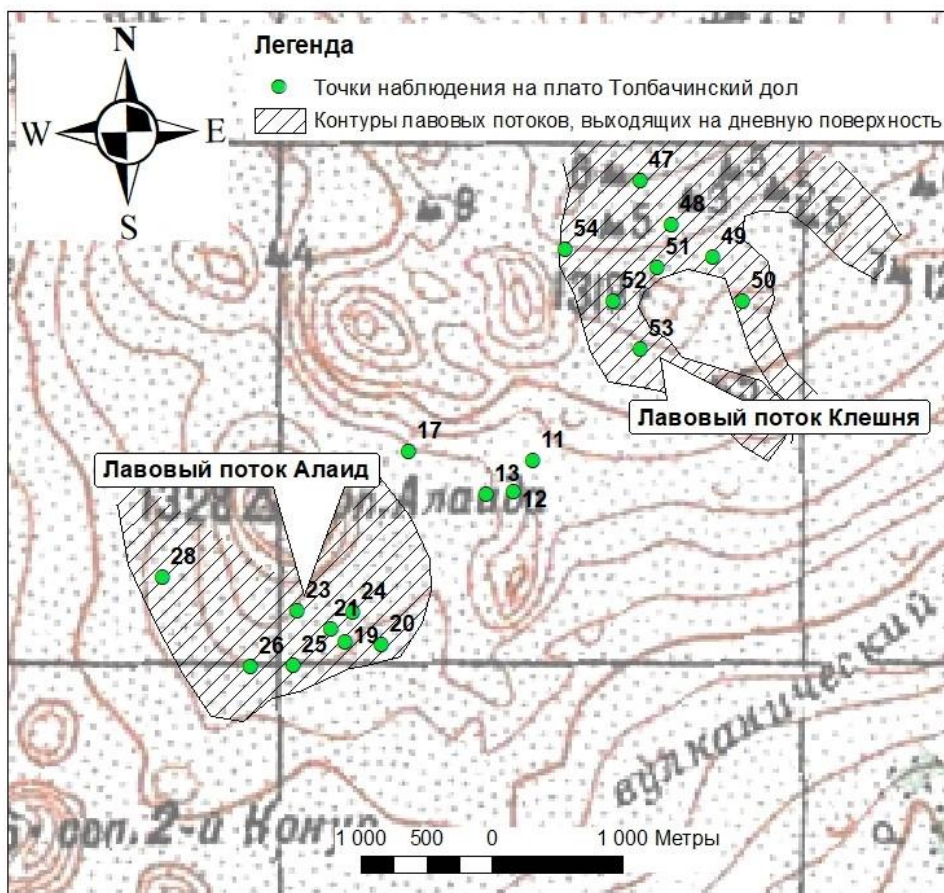


Рисунок 6. Карта фактического материала, собранного на плато Толбачинский дол

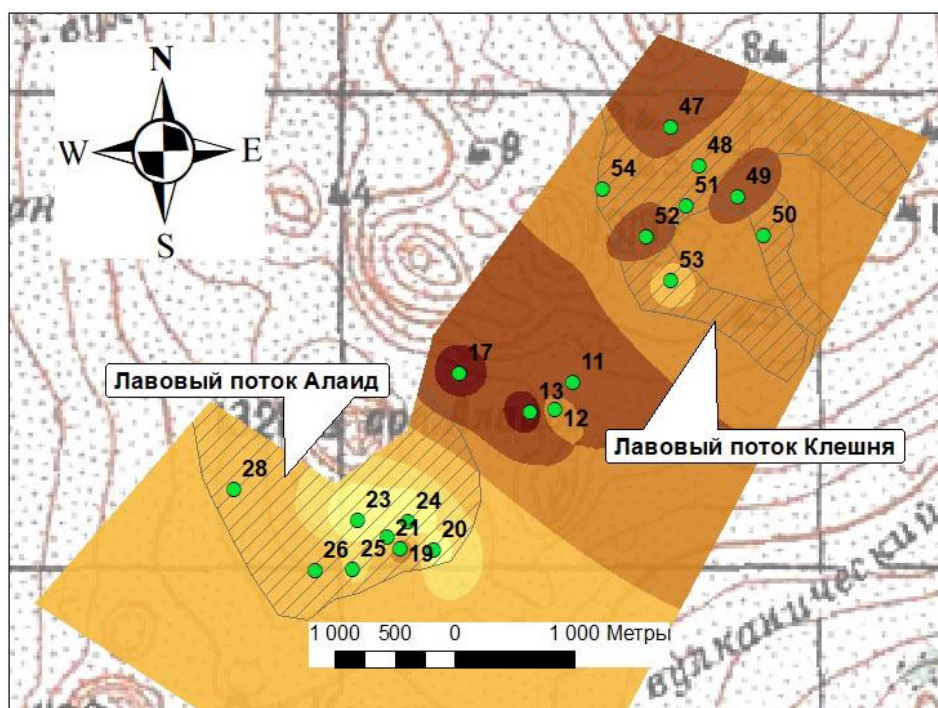
На плато Толбачинский дол (рис. 6) на 20 точках наблюдения были описаны полуямы, а также заложены пробные площади для описания растительных сообществ. 14 из них расположены на территории с погребенным гумусовым горизонтом (на лавовых потоках Клешня и Алаид, выходящих на дневную поверхность).

Из каждой полуямы были отобраны поверхностные пробы тefры (с глубины 2-12 см), а также пробы погребенного гумусового горизонта, где он присутствовал.

Поскольку на Толбачинском доле почвы подвержены постоянному поступлению пирокластики, почвообразование имеет синлитогенный характер. Все описанные слаборазвитые почвы на свежих вулканических выбросах относятся к вулканическим слоисто-пепловым (Vitric Andosols).

На всей исследуемой территории Толбачинского дола растительность представляет собой травяные и мохово-лишайниковые группировки. Проективное покрытие сосудистых растений на пробных площадях лавовых потоков Клешня и Алаид варьирует от 0 до 4%. Проективное покрытие мхов и лишайников – от 0.5 до 20%.

Мощность верхнего горизонта С (тефра БТТИ) на исследуемой территории варьирует от 4 см до более 1 м, в среднем достигая 71 см (рис. 7).



Легенда

- Точки наблюдения на плато Толбачинский дол
 - ▨ Контурсы лавовых потоков, выходящих на дневную поверхность
- Глубина погребения гумусового горизонта**
- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <15 | 30 - 40 |
| 15 - 20 | 40 - 50 |
| 20 - 30 | >50 |

Рисунок 7. Мощность тефры БТТИ (глубина погребенного гумусового горизонта на Толбачинском доле)

В большей степени образцы тефры БТТИ не оструктурены, характеризуются темной окраской (dark grayish brown, dark brown). Образцы погребенного гумусового горизонта оструктурены слабо, характеризуются непрочно-комковатой структурой, слабой сцементированностью (механической природы), наличием корней, более бурой окраской (very dark grayish brown, dark olive brown), чем вышележащая тефра. В верхней части все разрезы более сухие, выглядят светлее.

Далее приведены описания 6 наиболее характерных полей с территории Толбачинского дола.

18-021 (рис. 8):

Разрез глубиной 35 см был заложен на территории выхода лавового потока Алаид на дневную поверхность, на высоте 1104 м над уровнем моря. Мощность тефры БТТИ составляет

13 см (С), ниже нее расположен погребенный гумусовый горизонт АС мощностью 10 см. Образец погребенного горизонта был взят с глубины 14-24 см.

Напочвенный покров непосредственно вблизи разреза отсутствовал, корнеобитаемых слоев не наблюдалось, однако в образце погребенного органогенного горизонта присутствовали единичные растительные остатки.

Мезоморфологическая характеристика горизонта С: для основной массы тефры характерен размер 3-5 мм, 7-10% составляют крупные фрагменты 7-10 мм. Окраска основной массы – 5YR 2,5/2 (dark reddish brown), единичных крупных обломков – 5YR 2,5/1 (black).

Мезоморфологическая характеристика погребенного горизонта АС: материал (гумусированная тефра) более дисперсный и однородный, большая его часть имеет размер 1-3 мм в диаметре, 10% – 3-5 мм, единично встречаются обломки тефры до 1 см. Окраска 7,5YR 3/2 (dark brown).

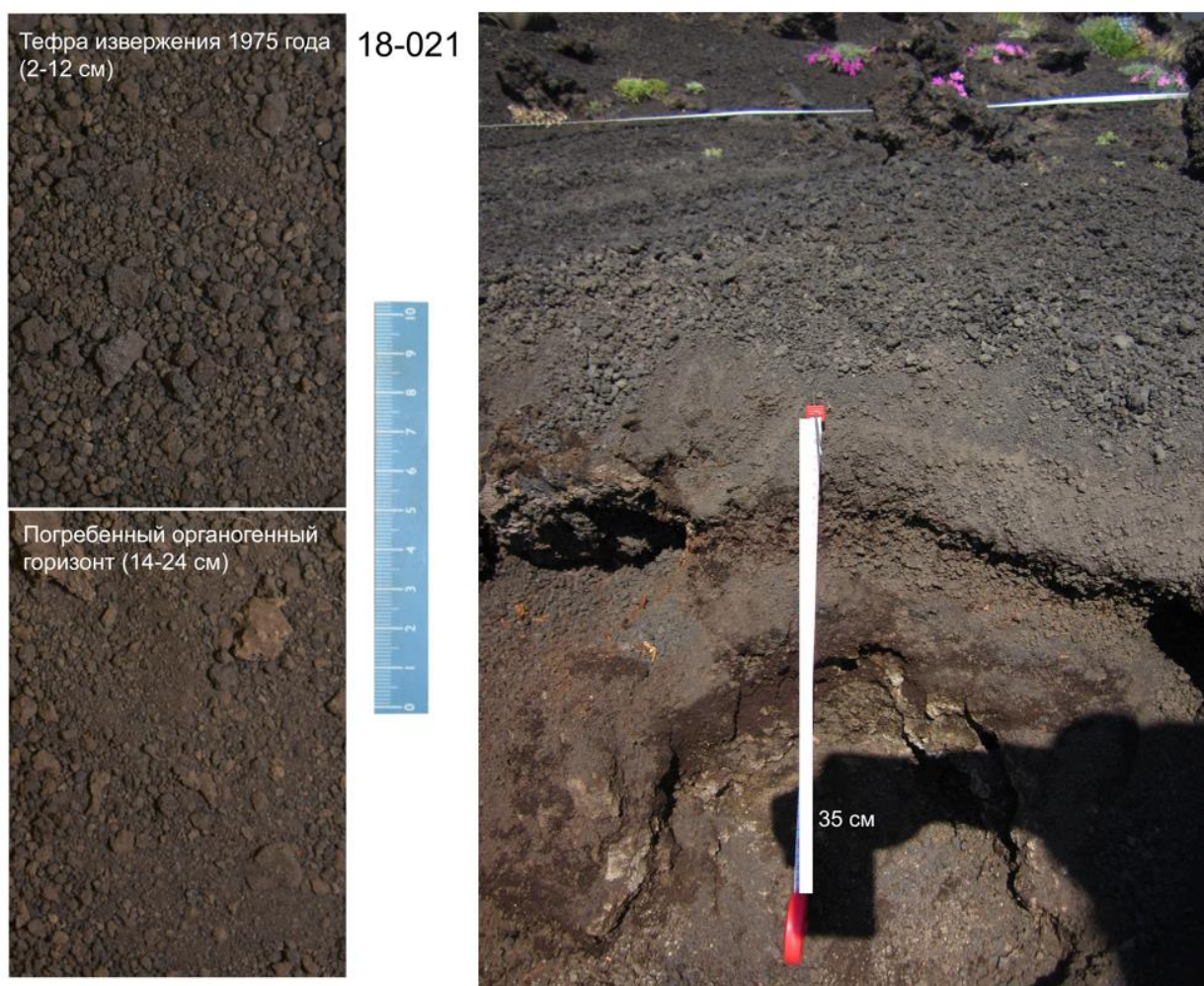


Рисунок 8. Фото образцов и разреза 18-021

18-024 (рис. 9):

Глубина разреза составила 27 см. Разрез заложен на территории выхода лавового потока Алайд на дневную поверхность, на высоте 1094 м над уровнем моря. В данной точке

наблюдения мощность тефры БТТИ (С) составила 14 см. Мощность погребенного горизонта АС составила 13 см. Отбор пробы данного горизонта производили с глубины 15-25 см.

Напочвенный покров у разреза представлен травянистыми сообществами, погребенный гумусированный горизонт пронизан корнями.

Мезоморфологическая характеристика горизонта С: осколки тефры пористые, на изломе ячеистые. В основном, размер тефры 4-5 мм в диаметре, 2-3% объема составляют обломки тефры 1 см в диаметре, также фрагментарно встречаются обломки 1-2 см. В малых количествах присутствует тонкодисперсный материал. Окраска образца – 5YR 2,5/1 (black) + 7,5YR 3/1 (very dark grey). Встречаются тонкие корешки растений.

Мезоморфологическая характеристика погребенного горизонта АС: горизонт не оструктурен, гумусированная тефра отличается более бурой окраской. Около 60% материала характеризуется размером 2-5 мм, 30% материала – <1 мм и 10% – 5-10 мм в диаметре. Окраска образца 7,5YR 2,5/1 + 7,5YR 3/1 (very dark grey). Встречаются фрагменты растительных остатков.

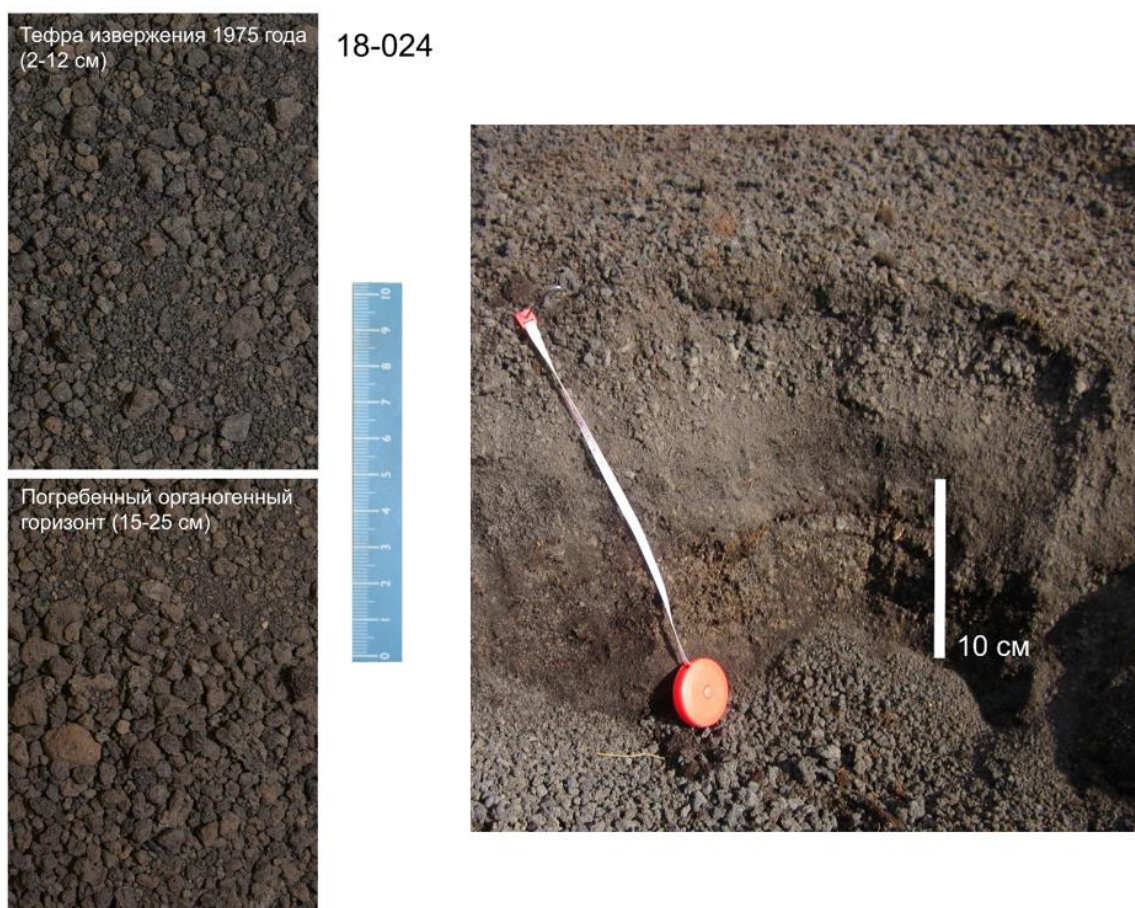


Рисунок 9. Фото образцов и разреза 18-024

18-025 (рис. 10):

Данный разрез глубиной 30 см также был заложен на территории выхода лавового потока Алаид на дневную поверхность, на высоте 1078 м над уровнем моря. Мощность тефры

БТТИ составляет 21 см (С), ниже нее расположен погребенный гумусовый горизонт АС мощностью более 10 см. Образец погребенного горизонта был взят с глубины 18-28 см.

Напочвенный покров непосредственно вблизи разреза отсутствовал, корнеобитаемых слоев не наблюдалось, однако в поверхностном горизонте тефры БТТИ присутствовало небольшое количество растительных остатков, в частности, кустарничков.

Мезоморфологическая характеристика горизонта С: структура образца рыхлая, тефра мелкопористая, в основном имеет размер 3-5 мм, редко 5-7 мм. Окраска 5YR 2,5/1 (black).

Мезоморфологическая характеристика погребенного горизонта АС: гумусированная тефра более бурая, преобладают агрегаты 0-3 мм, присутствуют более крупные обломки 7-10 мм в диаметре (2-3%). Окраска основной массы: 7,5YR 2,5/1 (black), более бурые фрагменты: 7,5 YR 3/2 (dark brown).

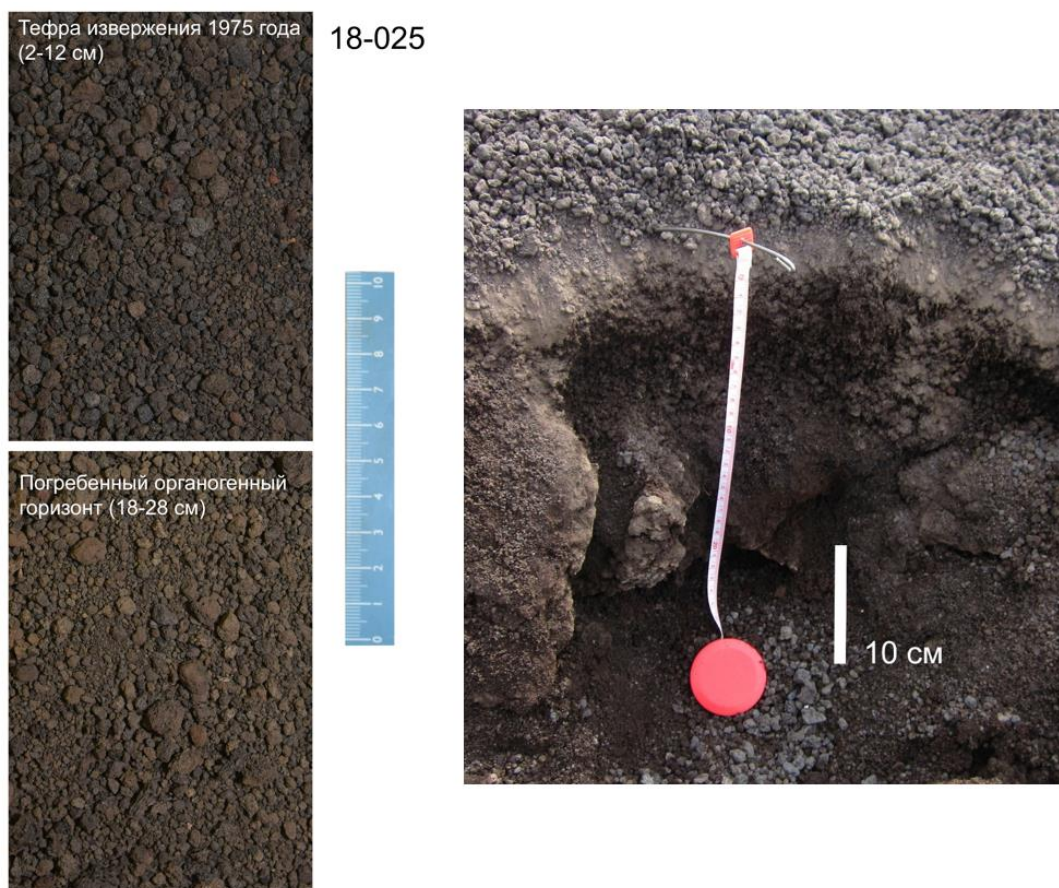


Рисунок 10. Фото образцов и разреза 18-025

18-050 (рис. 11):

Глубина разреза составила 28 см. Разрез заложен на территории выхода лавового потока Клешня на дневную поверхность, на высоте 1232 м над уровнем моря. В данном разрезе мощность тефры БТТИ (С) составила 19 см. Мощность погребенного горизонта АС составила более 9 см. Отбор пробы данного горизонта производили с глубины 19-28 см.

Напочвенный покров представлен лишайниками, их видовое разнообразие богаче, чем на территории лавового потока Алаид. В погребенном гумусированном горизонте присутствуют единичные растительные остатки.

Мезоморфологическая характеристика горизонта С: горизонт слабо оструктурен (мелкокомковато-ореховатая структура), размер тефры в основном 4-5 мм в диаметре, фрагментарно встречаются обломки 1-2 см. В малых количествах присутствует тонкодисперсный материал. Окраска основной массы образца: 5Y 2,5/1 (black), 2% (буроватые включения): 10YR 4/2 (dark greish brown).

Мезоморфологическая характеристика погребенного горизонта АС: присутствуют слабо сцементированные, легко распадающиеся агрегаты – сцепление сухое, структура нет. В основном, агрегат представляют собой небольшие (5 мм в диаметре) округлые комки, 5-7% агрегатов достигают размеров 10*15 мм. Окраска горизонта: 7,5YR 3/1 (very dark gray) + 3/2 (dark brown).

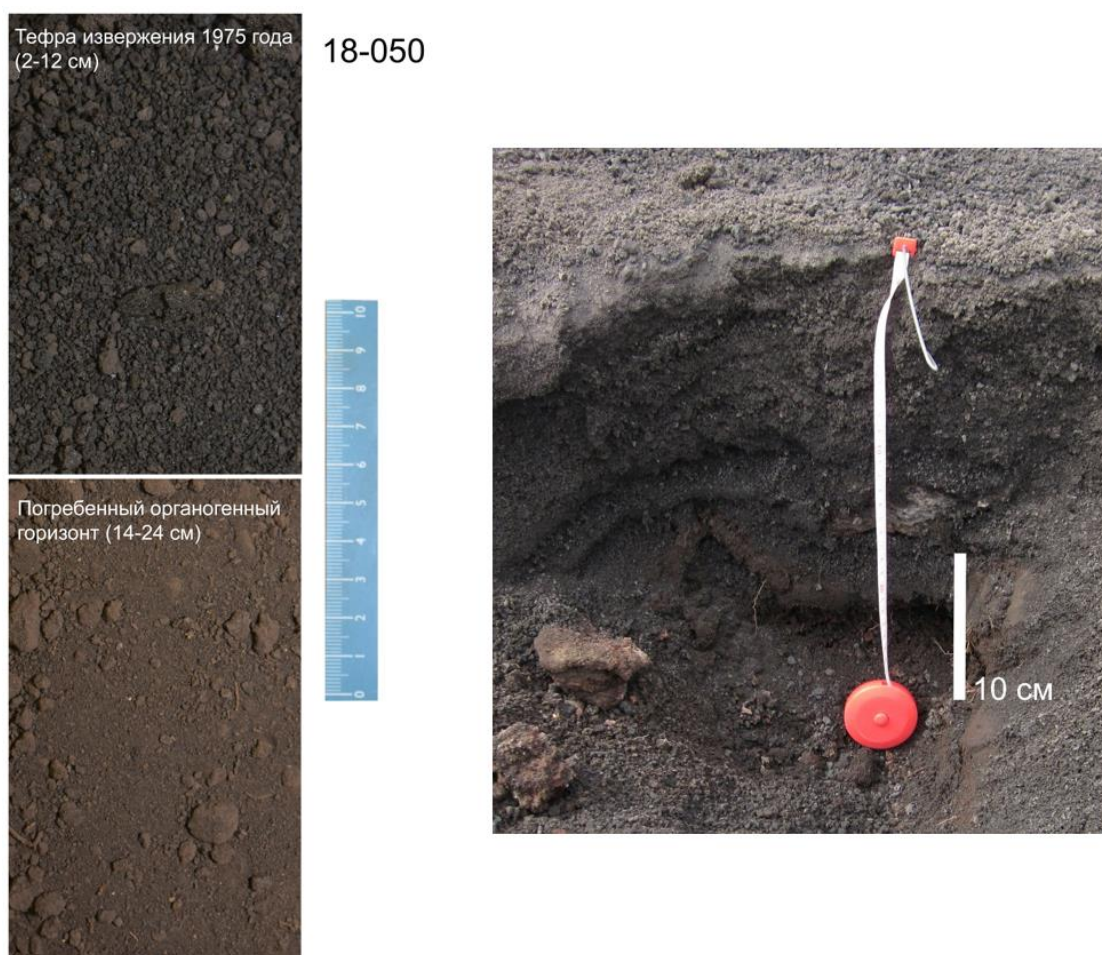


Рисунок 11. Фото образцов и разреза 18-050

18-051 (рис. 12):

Данный разрез глубиной 34 см также был заложен на территории выхода лавового потока Клешня на дневную поверхность, на высоте 1260 м над уровнем моря. Мощность

тефры БТТИ составляет 25 см (С), ниже нее расположен погребенный гумусовый горизонт АС мощностью 9 см. Образец погребенного горизонта был взят с глубины 20-30 см.

Напочвенный покров непосредственно вблизи разреза представлен лишайниками, в погребенном горизонте присутствуют мелкие растительные остатки.

Мезоморфологическая характеристика горизонта С: образец не оструктурен, тефра мелкопористая, по размеру в основном преобладают осколки тефры 2-3 мм, 2-3% составляют фрагменты 7-10 мм, присутствует довольно много мелкозема (<1 мм). Окраска образца однородная: 5YR 2,5/1 (black).

Мезоморфологическая характеристика погребенного горизонта АС: горизонт плохо оструктурен, структура мелкокомковатая, комки округлые, легко разваливаются. Окраска горизонта: 10YR 3/2 (very dark greish brown).

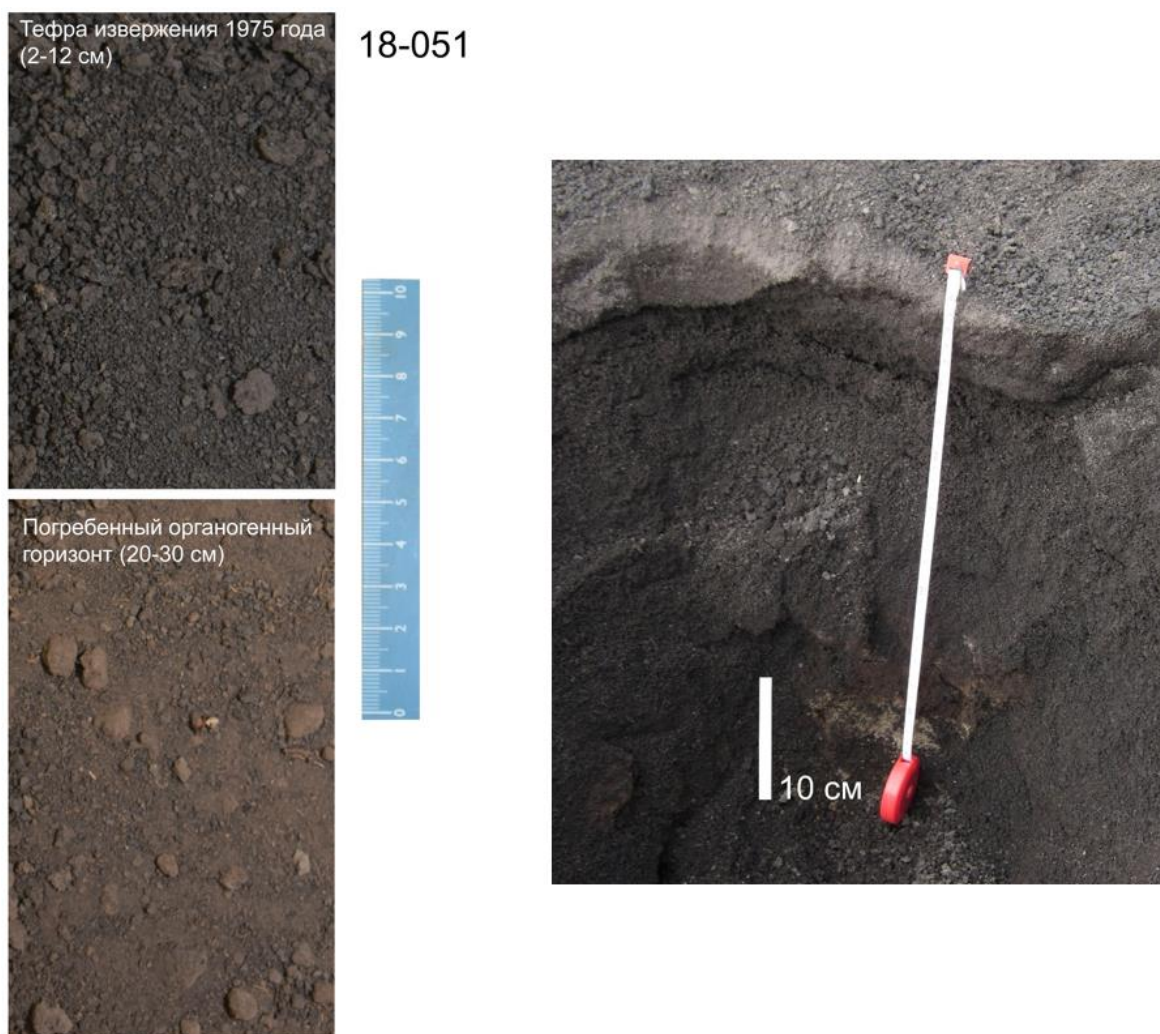


Рисунок 12. Фото образцов и разреза 18-051

18-052 (рис. 13):

Глубина разреза составила 63 см. Разрез заложен на территории выхода лавового потока Клешня на дневную поверхность, на высоте 1237 м над уровнем моря. В данном разрезе

мощность тефры БТТИ (С) составляет 36 см. Мощность погребенного горизонта АС составила 25 см. Отбор пробы из данного горизонта производили с глубины 36-46 см.

Напочвенный покров представлен лишайниками. В образцах из обоих горизонтов присутствуют единичные мелкие растительные остатки.

Мезоморфологическая характеристика горизонта С: горизонт не оструктурен, тефра однородная, мелкопористая, поры покрыты желтым пылеватым материалом. Окраска образца: 5YR 2,5/1 (black) + 10YR 5/4 (yellowish brown) + 10YR 4/3 (brown).

Мезоморфологическая характеристика погребенного горизонта АС: горизонт слабо оструктурен, слабо сцементирован. Структура непрочнo-комковатая, разбивается на комковато-порошистую и отдельно-частичную. Агрегаты преимущественно достигают размеров 5-10 мм. Окраска горизонта: 2,5Y 3/3 (dark oleum brown).

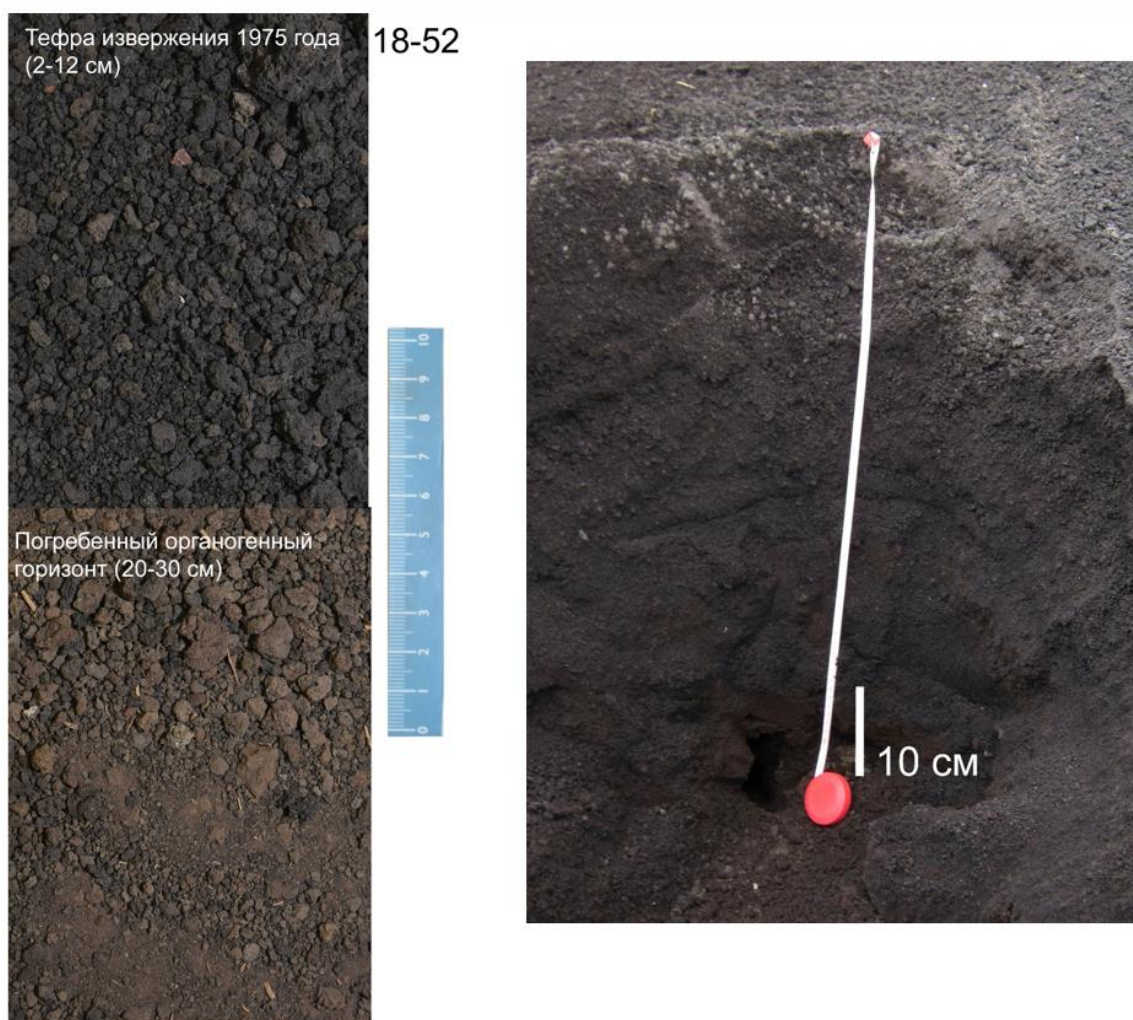


Рисунок 13. Фото образцов и разреза 18-052

4.2 Материал, собранный на плато Ушковский дол

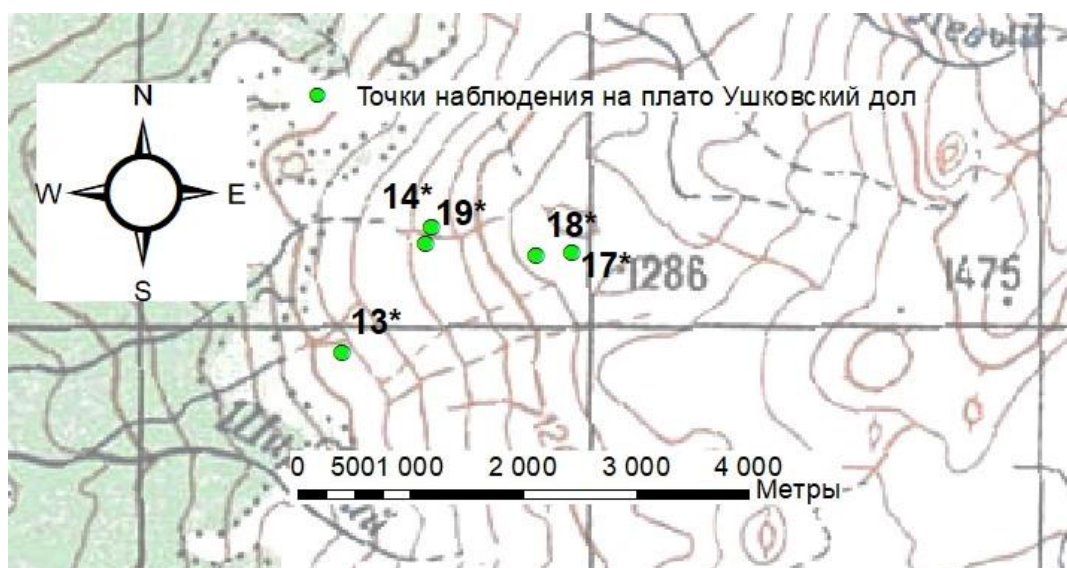


Рисунок 14. Карта фактического материала, собранного на плато Ушковский дол

На плато Ушковский дол (рис. 14) было заложено 5 пробных площадей для описания растительных сообществ, с описанием почвенных профилей. Разрезы были доложены до глубины залегания многолетней мерзлоты. Из каждого разреза были отобраны пробы органогенного горизонта и корнеобитаемого слоя (на 10 см ниже органогенного).

Все описанные почвы относятся к вулканическим слоисто-пепловым (Vitric Andosols). Почвы формируются под субальпийской луговой растительностью.

В разрезах с Ушковского дола остатков растений больше, чем в разрезах на Толбачинском доле, материал гораздо более тонкодисперсный, крупная тефра отсутствует, встречается только мелко-песчаный пепел вулканов Шивелуч (Ш1) и Безымянный (1956 г).

19-13 (рис. 15):

Глубина разреза составила 50 см. Разрез был заложен в наиболее низкой точке среди описанных на Ушковском доле, на высоте 1022 м над уровнем моря. Верхние 8 см представлены грубогумусовым горизонтом АО, содержащим большое количество неразложившихся остатков растений. Далее залегает темно-бурый гумусированный горизонт (АУ), рыхлый, с механическим составом – легкий суглинок. Мощность серогумусового горизонта АУ составляет 14 см (8-22). Отбор пробы из данного горизонта производили с глубины 8-18 см. Ниже него на глубине 32-34 см виден прослой пепла вулкана Шивелуч (Ш1, 350 л.): светло-серый, влажноватый, легкий суглинок. Далее на глубине 34-50 см залегает темно-бурый, опесчаненный горизонт АВ (легкий суглинок, непрочно-комковатый), на глубине 35-37 см - прослой черного пепла (вероятнее всего, вулканический песок Ключевской

сопки). Обилие корней наблюдается до глубины 38 см, образец из корнеобитаемого слоя был отобран с глубины 28-38 см.

Напочвенный покров представлен субальпийской луговой растительностью. В образцах присутствует большое количество растительных остатков (корней).

Мезоморфологическая характеристика горизонта АУ: у горизонта присутствует слоистость – грубогумусовые прослойки и прослойки мелкозема. Агрегаты среднецементированы растительными остатками (детритом). Окраска основной массы: 7,5YR 3/2 (dark brown) + 2,5/2 (very dark brown). 5-7% образца составляют более светлые пятна: 2,5Y 7/2 (light grey).

Мезоморфологическая характеристика образца корнеобитаемого слоя (28-38 см): структура мелкокомковатая, агрегаты представляют собой окатанные комки 2-3 см в диаметре. Слабоструктурен, комки легко распадаются, детрита меньше, чем в вышележащем грубогумусовом горизонте, он мельче. Окраска слоя: 7,5 YR 4/2 (brown).

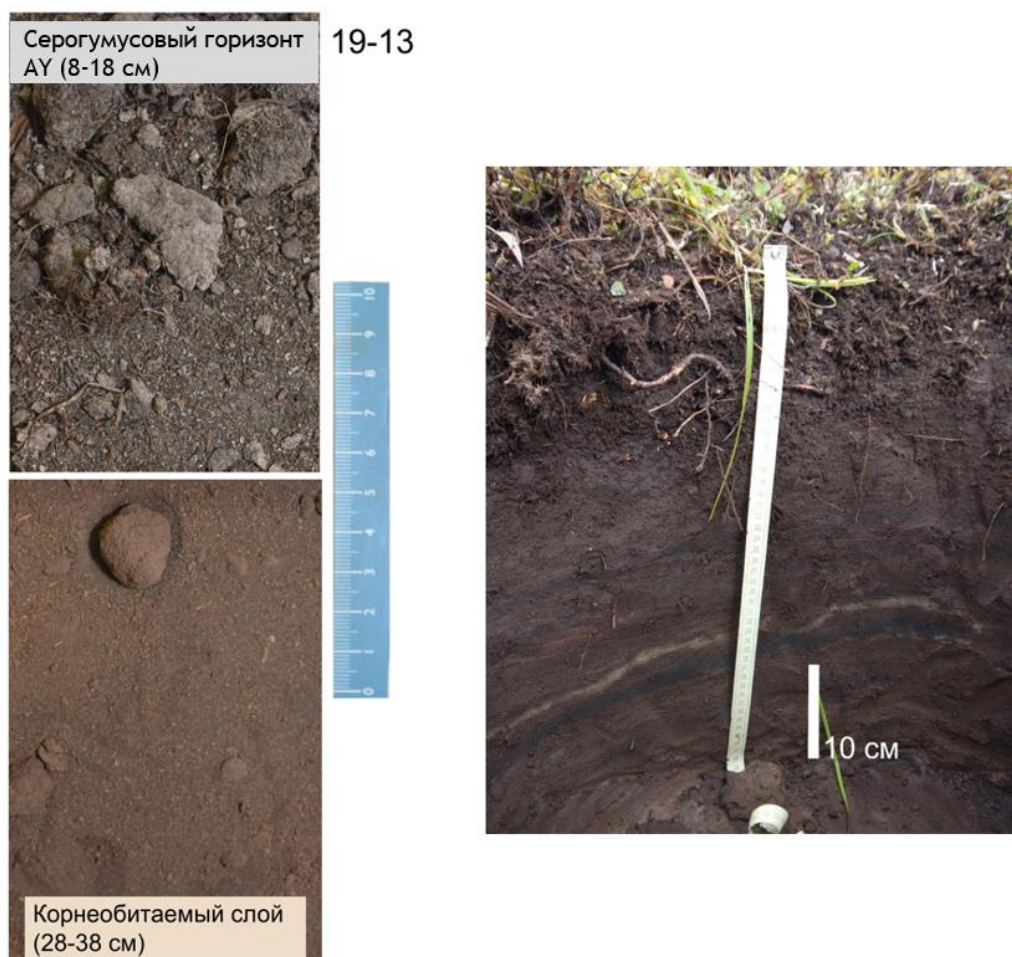


Рисунок 15. Фото образцов и разреза 19-13

19-14 (рис. 16):

Данный разрез глубиной 54 см был заложен на высоте 1119 м над уровнем моря. Верхние 20 см представлены грубогумусовым горизонтом АО, содержащим большое

количество неразложившихся остатков растений. Мощность серогумусового горизонта АУ составляет 10 см (20-30), ниже него на глубине 39-45 см залегает прослой пепла вулкана Шивелуч (Ш1, 350 л.): светло-палево-серый, влажноватый, с механическим составом – легкий суглинок. Отбор пробы из данного горизонта производили с глубины 20-30 см. Корни растений присутствуют практически во всем разрезе до глубины 50 см, образец из корнеобитаемого слоя был отобран с глубины 40-50 см.

Напочвенный покров непосредственно вблизи разреза представлен субальпийской луговой растительностью, в гумусовом горизонте растительные остатки составляют около 10% объема.

Мезоморфологическая характеристика горизонта АУ: оструктурен за счет растительных остатков, вероятно не гумусом. Агрегаты округлые, немного слоистые, легко распадаются. Окраска образца: 7,5YR 3/2 (dark brown).

Мезоморфологическая характеристика образца корнеобитаемого слоя (40-50 см): образец однородный, есть растительные остатки (детрит), которые, вероятно, цементируют агрегаты. Внутри агрегаты темнее, они составляют около 5% объема образца. Основная окраска: 7,5YR 8/1 + 7/1 (light grey white), тонкодисперсный детрит внутри агрегатов: 7,5YR 3/3 (dark brown).

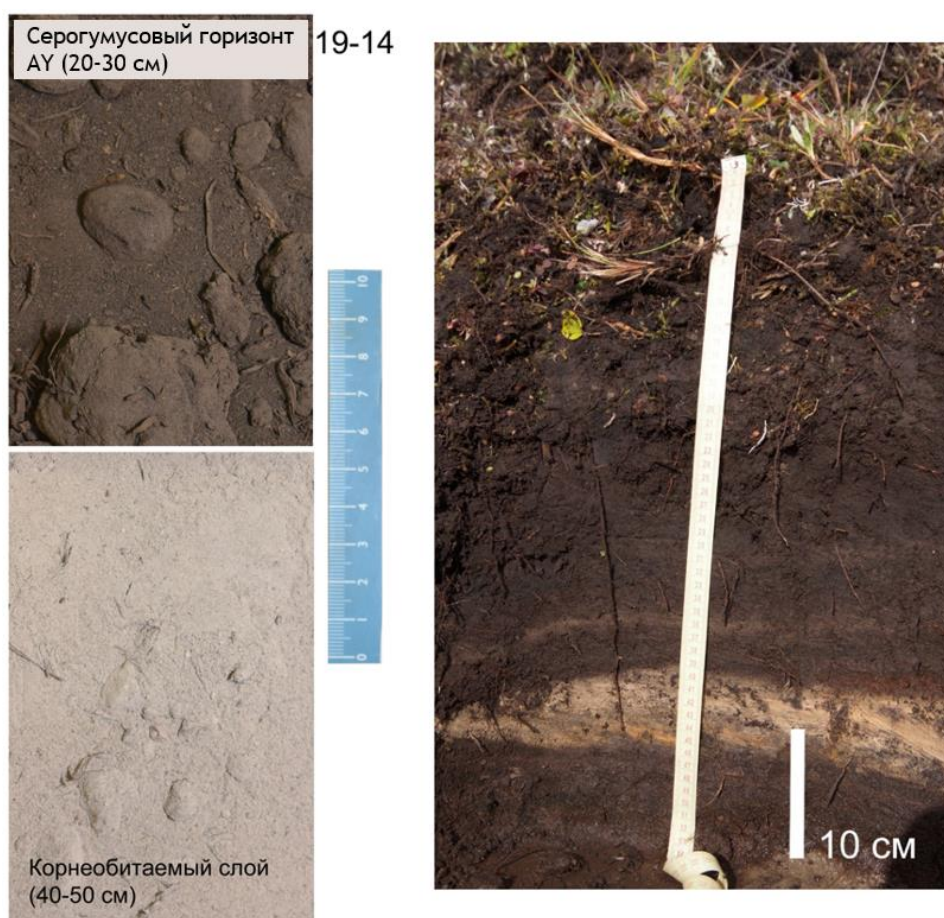


Рисунок 16. Фото образцов и разреза 19-14

19-17 (рис. 17):

Глубина разреза составила 35 см. Разрез был заложен в наиболее высокой точке среди описанных на Ушковском доле, на высоте 1293 м над уровнем моря. В данном разрезе верхние 5 см представлены подстилкой, состоящей из очеса мхов и опада травянистых и кустарничковых растений. Мощность грубогумусового горизонта АО составила 5 см (5-10). Обилие корней наблюдается до глубины 25 см, образец из корнеобитаемого слоя был отобран с глубины 15-25 см.

Напочвенный покров представлен субальпийской луговой растительностью. В образцах присутствует большое количество растительных остатков (мелких корней).

Мезоморфологическая характеристика горизонта АО: в крупных агрегатах присутствует слоистость – более крупный детрит в центре, далее мелкозем и детрит снаружи, предположительно, горизонт криогенно нарушен. В целом, 60% объема образца составляет детрит, около 40% - мелкозем. Окраска детрита: 5YR 2.5/2 (dark reddish brown), мелкозема: 7,5YR 4/1 (dark grey), белесого прослоя: white page 7,5YR $\frac{1}{8.5}$ + 7.5YR $\frac{1}{8.5}$ white – результат криогенеза.

Мезоморфологическая характеристика образца корнеобитаемого слоя (15-25 см): образец слабо оструктурен, присутствует много мелкозема, есть агрегаты, скрепленные детритом, внутри агрегаты более темные. Окраска основной массы: 5YR 3/2 (dark reddish brown), внутри агрегатов: 7,5YR 3/2 (dark brown).

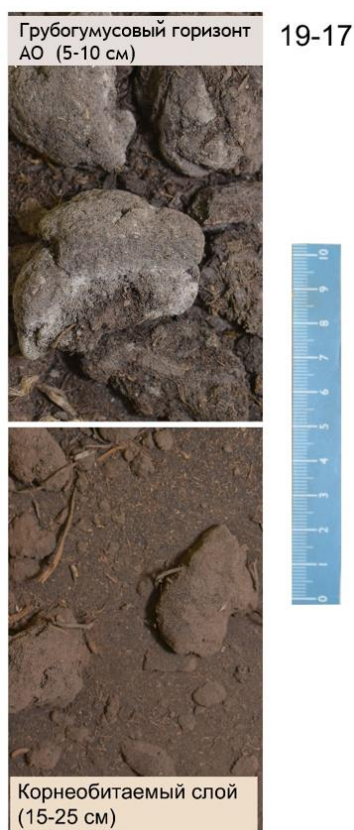


Рисунок 17. Фото образцов из разреза 19-17

19-18 (рис. 18):

Данный разрез глубиной 43 см был заложен на высоте 1224 м над уровнем моря. Мощность серогумусового горизонта АУ составляет 12 см (2-14). Отбор пробы из данного горизонта производили с глубины 2-12 см. Прослоев пепла вулкана Шивелуч в данном разрезе не наблюдалось. Ниже глубины 14 см залегает темно-бурый (светлее вышележащего), опесчаненный горизонт АВ (легкий суглинок, непрочно-комковатый). Корни растений присутствуют практически во всем разрезе до глубины 38 см, образец из корнеобитаемого слоя был отобран с глубины 22-32 см.

Напочвенный покров непосредственно вблизи разреза представлен субальпийской луговой растительностью, в гумусовом горизонте присутствует много остатков кустарничковых растений.

Мезоморфологическая характеристика горизонта АО: образец представлен комковатыми отдельностями средней степени прочности. Агрегаты сцементированы за счет постмортальных остатков растений. Основная окраска горизонта: 7,5YR 3/1 (very dark grey) + 3/2 (dark brown), 15% составляют светло-серые фрагменты: 10YR 7/3 (very pale brown).

Мезоморфологическая характеристика образца корнеобитаемого слоя (22-32 см): структура мелкокомковатая – комковатая, агрегаты средней степени сцементированы, при этом детрит отсутствует. Образец представлен пылеватым пеплом желтовато-серого цвета. Основная окраска: 2,5Y 5/3 (lade oil brown).

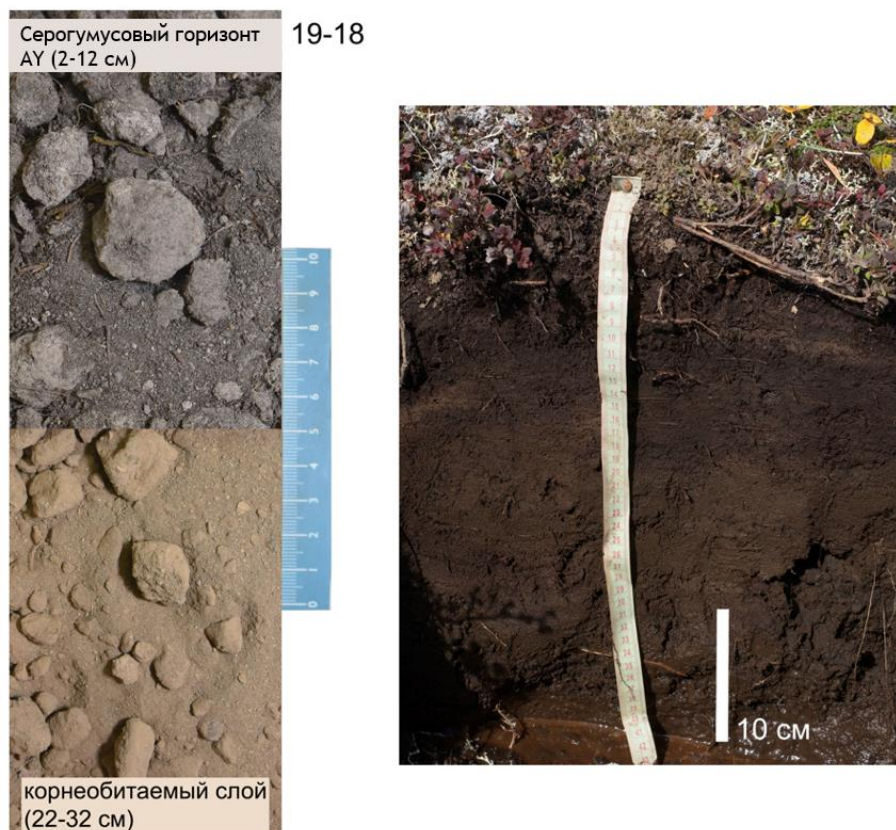


Рисунок 18. Фото образцов и разреза 19-18

19-19 (рис. 19):

Глубина разреза составила 65 см. Разрез был заложен на высоте 1147 м над уровнем моря. В верхней части разреза (2-5 см) прослеживается серая прослойка пепла вулкана Безымянный (изв. 1956 г.) – рыхлая, с признаками перегнойности. Далее залегает темно-бурый хорошо гумусированный горизонт (АУ), рыхлый, с механическим составом – легкий суглинок. Мощность серогумусового горизонта АУ составила 5 см (5-10). Ниже него на глубине 23-26 см отчетливо виден прослой пепла вулкана Шивелуч (Ш1, 350 л.): светло-серый, влажноватый, уплотненный, легкий суглинок. Наибольшее обилие корней наблюдается до глубины 36 см, образец из корнеобитаемого слоя был отобран с глубины 16-26 см.

Напочвенный покров представлен субальпийской луговой растительностью. В образцах присутствует среднее количество растительных остатков (листья злаков, небольшое количество корней).

Мезоморфологическая характеристика горизонта АУ: горизонт довольно хорошо оструктурен, структура крупно-глыбистая. Агрегаты представлены комками размерами 5*3, 4,5*3, 7*4 см (толщина у всех 3 см), скрепленными большим количеством растительного детрита. Горизонт характеризуется очень пылеватым составом (тонко-супесчаный). Окраска основной массы: 7,5YR 3/2 (dark brown), присутствуют также желтовато-палевые фрагменты: 2,5Y 7/3 (raw brown).

Мезоморфологическая характеристика образца корнеобитаемого слоя (16-26 см): образец оструктурен хуже верхнего, структура глыбистая, легкий механический состав. Окраска слоя в сухом состоянии: 10YR 4/3 (brown), присутствуют палевые включения: 2,5Y 8/2 (raw brown).

Серогумусовый горизонт
AY (5-10 см) 19-19



Корнеобитаемый слой
(16-26 см)



Рисунок 19. Фото образцов и разреза 19-19

5 Результаты и обсуждение

По всем исследованным показателям (ППП, ГВ, рН; содержание Ca, Co, Cr, Cu, Zn, Mn, Ni, Li, V, P, S) горизонтов почв была произведена предварительная статистическая обработка.

В первую очередь, была проведена проверка нормальности распределения. Для оценки вероятности нулевой гипотезы о нормальном распределении использовали тест Шапиро-Уилкса. Все переменные имеют нормальное распределение ($p\text{-level} > 0,05$).

При обработке данных были отмечены несколько выделяющихся значений. Для выделения выбросов был выбран критерий, основанный на нормальном распределении: критическое значение $X_{кр} = x_{ср} + 3\sigma$. При $x > X_{кр}$ наблюдение исключали из рассмотрения. Одним из выделяющихся наблюдений являются образцы из разреза 19-17 (высокие значения рН, ППП), что вероятно связано с высоким расположением данной пробной площади по сравнению с остальными, с наличием криогенных процессов (в отличие от остальных разрезов).

5.1 Физико-химическая характеристика почвенных горизонтов исследуемых территорий

Нами были проанализированы разбросы значений исследуемых показателей по 3 группам горизонтов, формирующихся разное время: 1 группа – формирующийся поверхностный горизонт (тефра) с территории Толбачинского дола (время, прошедшее с последнего перекрытия территории, около 50 лет); 2 группа – погребенный гумусовый горизонт с территории Толбачинского дола (время, прошедшее с предыдущего перекрытия территории (за которое формировался горизонт), около 250 лет); 3 группа – гумусовый горизонт с территории Ушковского дола (время, прошедшее с предыдущего масштабного перекрытия территории, около 350 лет). Для выявления статистически значимых различий между группами был применен Т-тест для независимых выборок.

Нужно отметить, что сравниваемые группы по территориям (Толбачинский и Ушковский долы) находятся на сходных высотах над уровнем моря (по высотам данные выборки значимо не отличаются) (рис. 20).

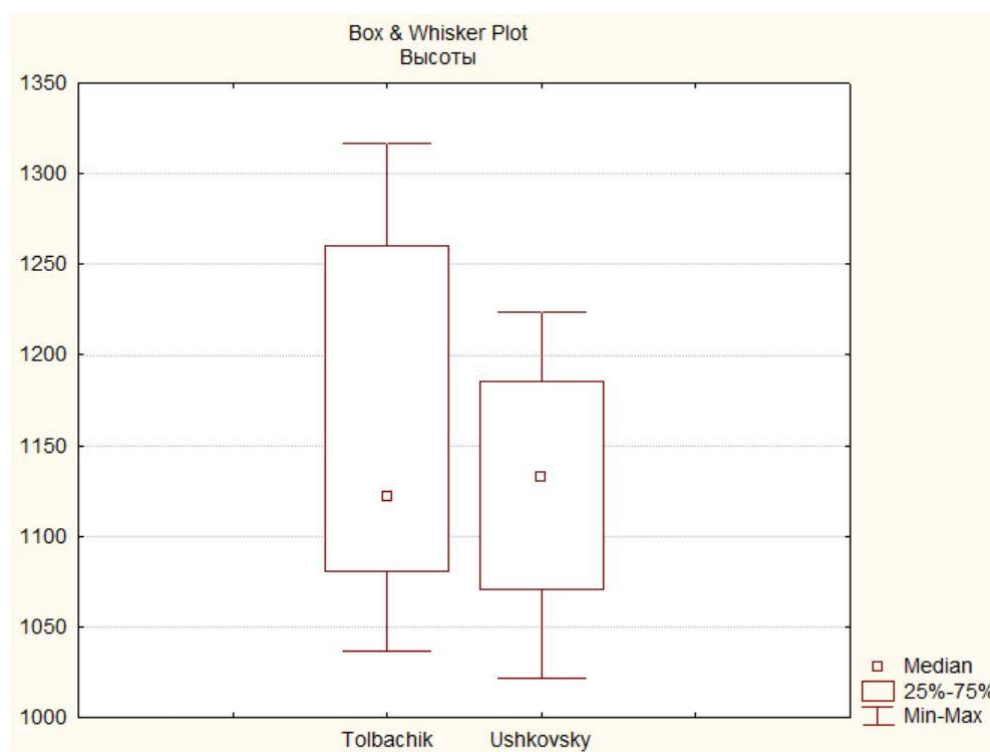


Рисунок 20. диаграмма box-plot по высотам (м) для точек наблюдения на Толбачинском и Ушковском долах

Нами также были проанализированы данные по элементному составу 3 исследуемых групп (горизонтов) (по элементам: Ni, Cu, Cr, Ca, Zn, Co, Mn, Ni, Li).

Для половины исследуемых элементов (Ni, Cu, Cr, Ca) характерно снижение концентрации от 1 группы горизонтов (тефра с территории Толбачинского дола) к 3 (гумусовый горизонт с территории Ушковского дола) (рис. 21, 22, 23, 24). Однако значимое различие между выборками существует не для всех групп. По содержанию Ca и Cr значимо отличаются только поверхностный и погребенный гумусовый горизонты Толбачинского дола, а также поверхностный горизонт Толбачинского дола и гумусовый горизонт Ушковского дола. Значимых различий между гумусовыми горизонтами Ушковского и Толбачинского долов не обнаружено. По содержаниям Ni и Cu все 3 группы значимо различаются.

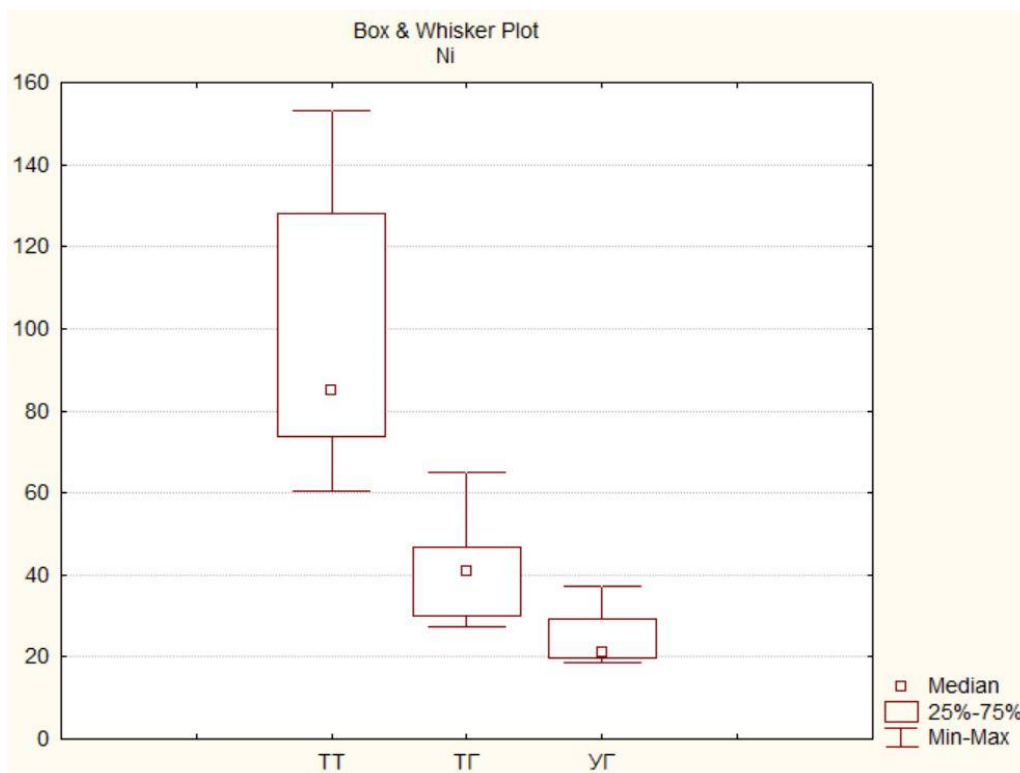


Рисунок 21. Диаграмма box-plot по содержанию Ni (ppm) в разных горизонтах: TT – тефра (Толбачинский дол), TG – погребенный гумусовый горизонт (Толбачинский дол), UG – гумусовый горизонт (Ушковский дол)

Ni (мед. 82 ppm) является умеренно опасным тяжелым металлом (по Водяницкий Ю.Н., 2017). Его концентрации в пробах тефры Толбачинского дола превышают региональный фон и кларк в земной коре среднем в 4 раза, до 153 ppm, что соотносятся с литературными данными (Васильев Н.Б., 2019). Ni также является одним из типоморфным элементов основных андезитовых приповерхностных пеплов исследуемой территории (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С, 2019в), чем и обусловлены его высокие концентрации. Концентрации Ni в погребенном гумусовом горизонте Толбачинского дола значительно меньше, чем в тефре, превышают региональный фон в среднем в 1,7 раза, до 65 ppm. В гумусовом горизонте Ушковского дола его содержание еще меньше (медиана 21 ppm), не превышает региональный фон. Кроме того, нами была отмечена средняя отрицательная связь между концентрацией Ni в гумусовых горизонтах и стадией сукцессии ($r=-0,66$).

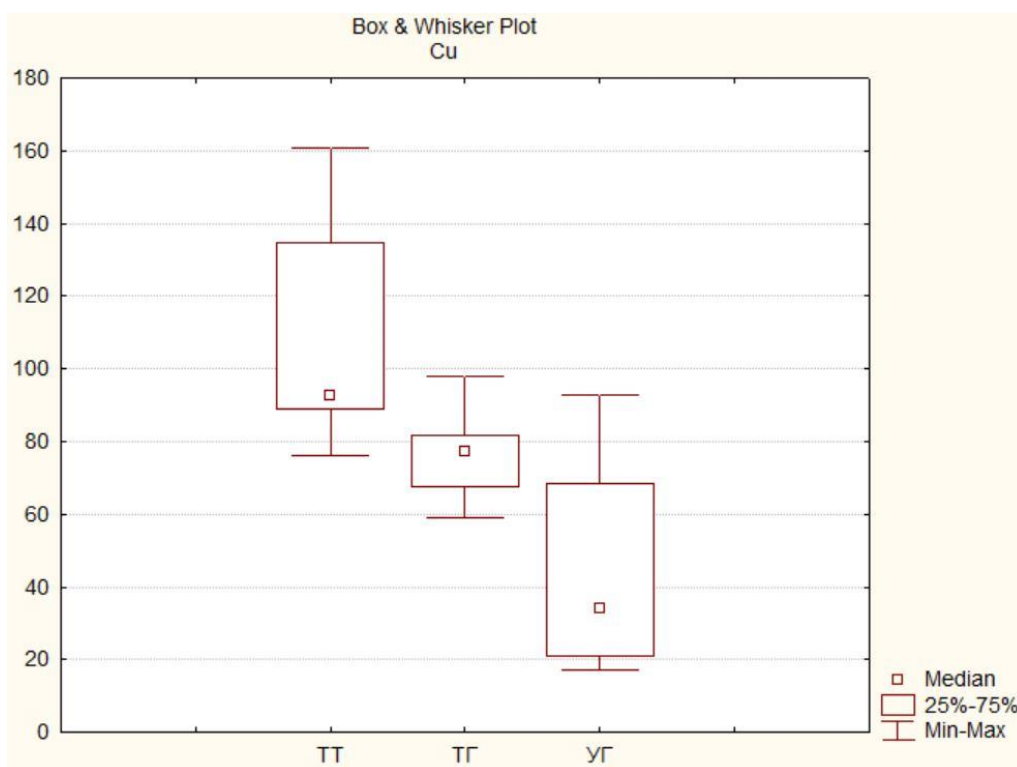


Рисунок 22. Диаграмма box-plot по содержанию Cu (ppm) в разных горизонтах: ТТ – тefра (Толбачинский дол), ТГ – погребенный гумусовый горизонт (Толбачинский дол), УГ – гумусовый горизонт (Ушковский дол)

Концентрации Cu в тefре Толбачинского дола превышают региональный фон в каждой точке наблюдения, в среднем в 2 раза. Повышенные концентрации данного элемента также соотносятся с данными из литературы (Васильев Н.Б., 2019), и могут быть обусловлены тем, что Cu является типоморфным элементом для основных вулканитов и для андезитовых приповерхностных пеплов исследуемой территории (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С., 2019в). В погребенном гумусовом горизонте Толбачинского дола содержание Cu меньше, превышает региональный фон в среднем в 1,3 раза, до 98 ppm. В гумусовом горизонте Ушковского дола содержание Cu значительно меньше (медиана 34 ppm) и превышает региональный фон только в 1 точке (19-14) в 1,6 раза. Кроме того, нами была отмечена средняя отрицательная связь между концентрацией Cu в гумусовых горизонтах и стадией сукцессии ($r=-0,66$).

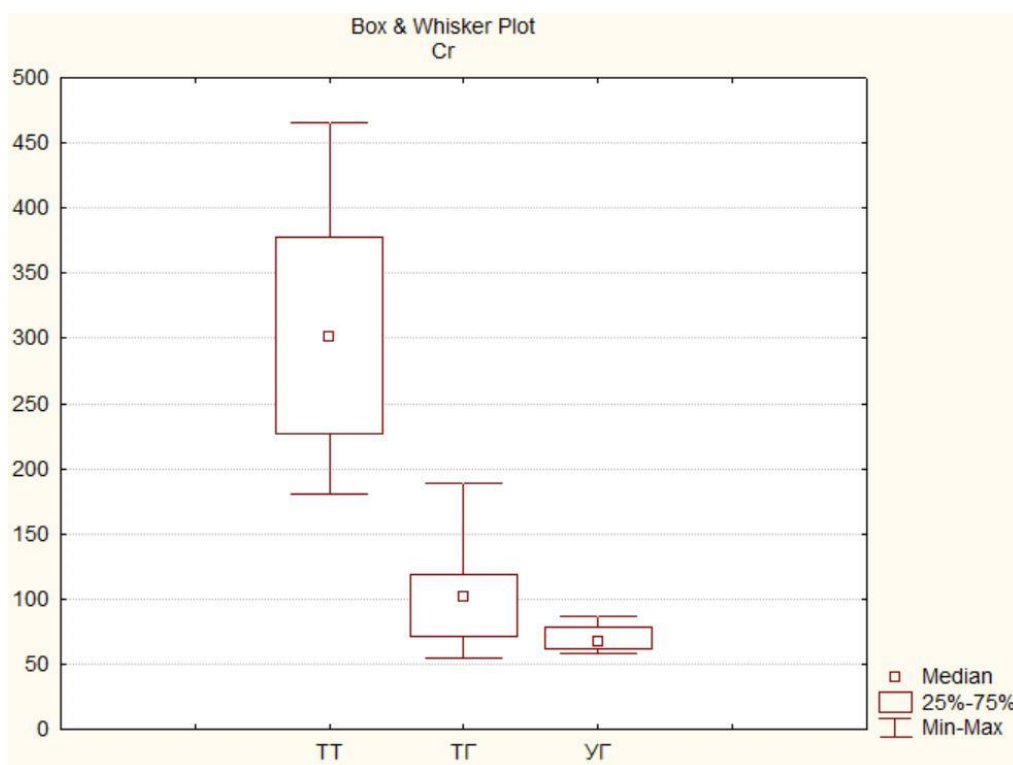


Рисунок 23. Диаграмма box-plot по содержанию Cr (ppm) в разных горизонтах: ТТ – тefра (Толбачинский дол), ТГ – погребенный гумусовый горизонт (Толбачинский дол), УГ – гумусовый горизонт (Ушковский дол)

Концентрации Cr в тefре Толбачинского дола имеют превышения регионального фона в среднем в 4,5 раза. Повышенное содержание Cr также соотносится с литературными данными (Васильев Н.Б., 2019), и вероятно обусловлено тем, что Cr также является типоморфным элементом для основных вулканитов и для андезитовых приповерхностных пеплов исследуемой территории (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С, 2019в). В погребенном гумусовом горизонте Толбачинского дола содержание Cr значительно меньше (медиана 101 ppm), превышает региональный фон в среднем в 1,5 раза, до 189 ppm. Содержание Cr в гумусовом горизонте Ушковского дола незначительно меньше (медиана 67 ppm) и не превышает региональный фон.

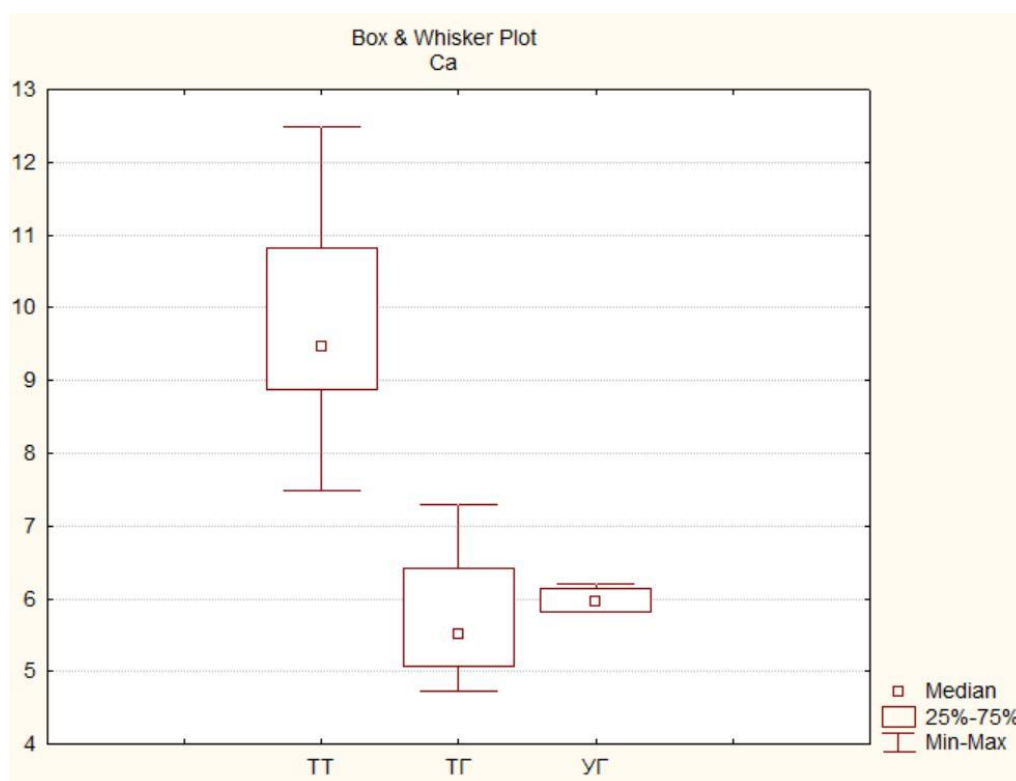


Рисунок 24. Диаграмма box-plot по содержанию Ca (%) в разных горизонтах: TT – тefра (Толбачинский дол), TG – погребенный гумусовый горизонт (Толбачинский дол), UG – гумусовый горизонт (Ушковский дол)

Концентрации Ca в тefре стабильно превышают региональный фон примерно в 1,8 раза (медиана 9,42%). Вероятно, это обусловлено тем, что Ca является типоморфным для основных вулканитов и для андезитовых приповерхностных пеплов исследуемой территории (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С, 2019в), и для пород Толбачинского массива в сравнении с породами других вулканов ЦКД в целом характерно обогащение в том числе данным элементом (Чурикова Т.Г. и др., 2017б). В погребенном гумусовом горизонте Толбачинского дола содержание Ca значительно меньше (медиана 5,51%), не превышает региональный фон. Содержание Ca в гумусовом горизонте Ушковского дола отличается незначительно (медиана 5,96%) и также не превышает региональный фон.

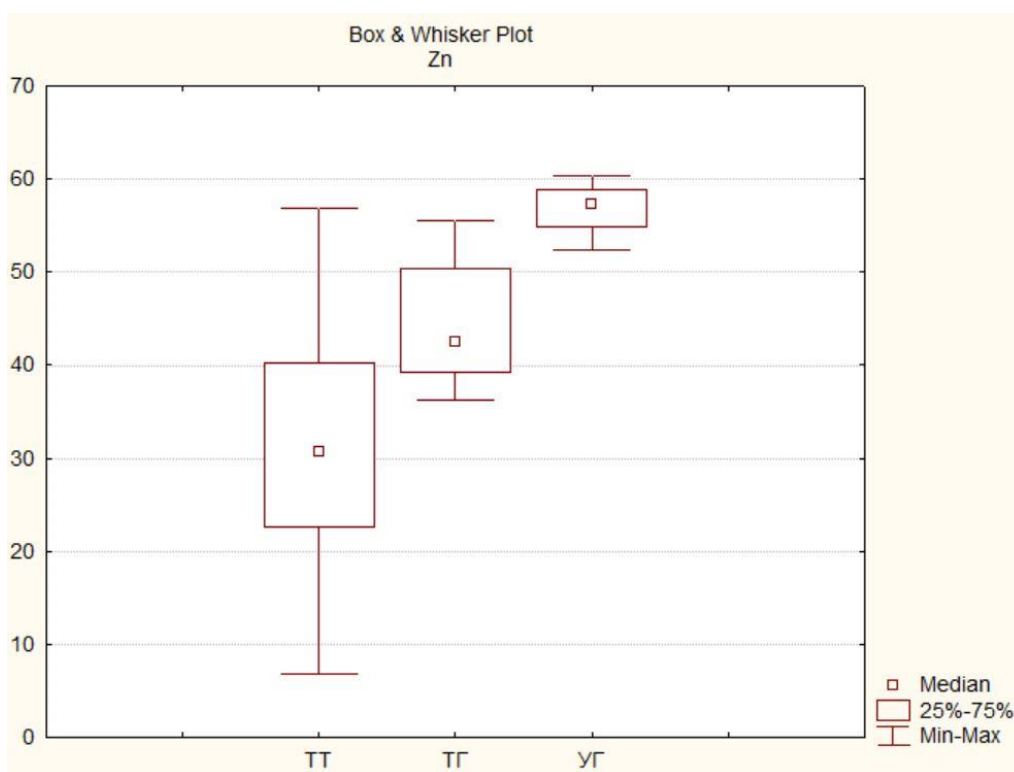


Рисунок 25. Диаграмма box-plot по содержанию Zn (ppm) в разных горизонтах: ТТ – тефра (Толбачинский дол), ТГ – погребенный гумусовый горизонт (Толбачинский дол), УГ – гумусовый горизонт (Ушковский дол)

Содержания Zn во всех 3 группах горизонтов статистически значимо различаются, причем в среднем концентрации возрастают от 1 группы (тефра с территории Толбачинского дола) к 3 группе (гумусовый горизонт с территории Ушковского дола) (рис. 25). Предположительно это связано с тем, что уровень обеспеченности вулканических почв Камчатки для растений подвижными формами Zn – низкий, и он со временем накапливается в гумусовых горизонтах (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С., 2009). Данное предположение частично подтверждается наличием средней положительной связи между органическим веществом горизонтов и концентрацией Zn ($r=0,58$). Кроме того, нами была отмечена положительная корреляция между содержанием Zn в гумусовых горизонтах и общим проективным покрытием растительности ($r=0,64$).

Zn является особо опасным тяжелым металлом (по Водяницкий Ю.Н., 2017), однако его содержание в пробах всех групп ниже регионального фона и кларка в земной коре. Концентрация Zn в пробах тефры Толбачинского дола наименьшая (мед. 30 ppm). В погребенном гумусовом горизонте Толбачинского дола содержание Zn выше (медиана 42 ppm). Медиана концентрации Zn в гумусовом горизонте Ушковского дола равна 57 ppm.

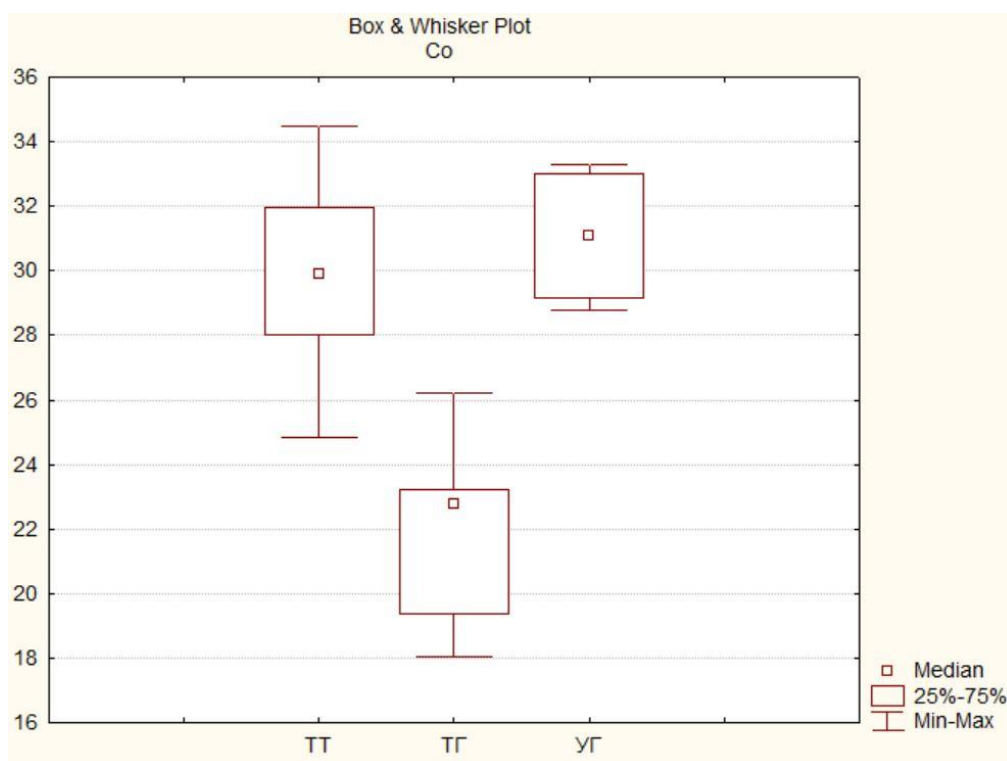


Рисунок 26. Диаграмма box-plot по содержанию Co (ppm) в разных горизонтах: ТТ – тефра (Толбачинский дол), ТГ – погребенный гумусовый горизонт (Толбачинский дол), УГ – гумусовый горизонт (Ушковский дол)

По содержанию Co в пробах 2 группа значимо отличается от 1 и 3, однако между собой 1 и 3 группа отличаются незначительно (рис. 26). Во всех пробах тефры Толбачинского дола концентрации Co (медиана 30 ppm) незначительно превышают региональный фон, и примерно в 2 раза – кларк в земной коре (по Виноградову А.П., 1962). Его высокие концентрации могут быть обусловлены тем, что Co тоже относят к типоморфным элементам основных вулканитов и андезитовых приповерхностных пеплов исследуемой территории (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С, 2019в). Содержание Co в гумусовом горизонте Ушковского дола отличается незначительно (медиана 31 ppm). В погребенном гумусовом горизонте Толбачинского дола содержание Co значительно меньше (медиана 23 ppm) и не превышает региональный фон. Кроме того, нами была отмечена сильная положительная связь между содержанием Co в гумусовых горизонтах и общим проективным покрытием растительности ($r=0,79$).

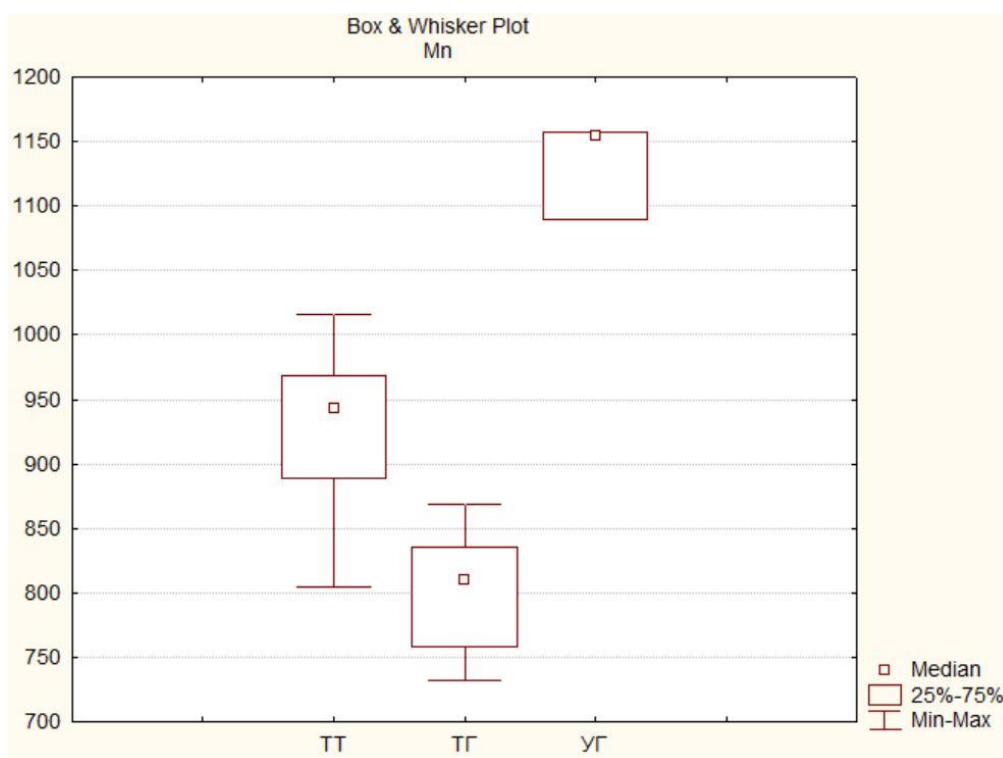


Рисунок 27. Диаграмма box-plot по Mn (ppm) в разных горизонтах: ТТ – тefра (Толбачинский дол), ТГ – погребенный гумусовый горизонт (Толбачинский дол), УГ – гумусовый горизонт (Ушковский дол)

По содержанию Mn все 3 группы горизонтов значительно отличаются. Концентрации Mn (рис. 27) в большинстве проб тefры Толбачинского дола несколько ниже регионального фона (мед. 923 ppm). Содержание Mn в гумусовом горизонте Ушковского дола значительно выше (мед. 1156 ppm), и варьирует на уровне регионального фона. В погребенном гумусовом горизонте Толбачинского дола содержание Mn наименьшее (мед. 810 ppm). Можно было бы предположить, что такой высокий уровень Mn в гумусовом горизонте Ушковского дола связан с потенциальной возможностью его накопления в гумусовых горизонтах (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С, 2009), однако данное предположение отвергается, поскольку существует средняя отрицательная связь между ППП и содержанием Mn ($r=-0,55$).

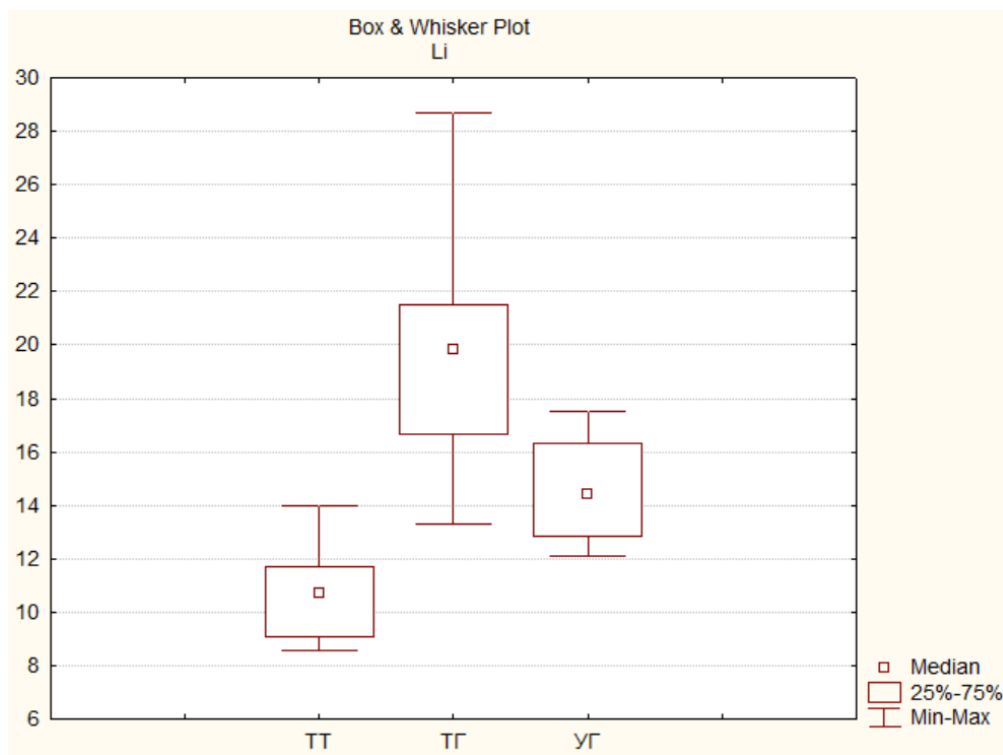


Рисунок 28. Диаграмма box-plot по Li (ppm) в разных горизонтах: TT – тефра (Толбачинский дол), TG – погребенный гумусовый горизонт (Толбачинский дол), UG – гумусовый горизонт (Ушковский дол)

Концентрации Li (рис. 28) по всем 3 группам достоверно отличаются. В тефре Толбачинского дола (мед. 11 ppm) они колеблются на уровне регионального фона, однако для Восточного района Северной почвенной провинции Камчатки это довольно редкий элемент, поэтому его содержание примерно в 3 раза ниже кларка (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С., 2019б). Содержание Li в гумусовом горизонте Ушковского дола несколько выше (медиана 14 ppm) и превышает региональный фон в среднем в 1,3 раза. В погребенном гумусовом горизонте Толбачинского дола содержание Li наибольшее (медиана 20 ppm) и превышает региональный фон в среднем в 1,7 раза. Возможно, Li в данном случае накапливается органикой, поскольку помимо такого распределения лития в горизонтах нами была выявлена сильная положительная связь Li с ППП ($r=0,83$).

Для большинства элементов (Ca, Co, Cr, Mn, Ni, V) концентрации в погребенном гумусовом горизонте Толбачинского дола уменьшаются с увеличением мощности вышележащей тефры БТТИ (сильная отрицательная связь), однако для концентраций Li в погребенном гумусовом горизонте прослеживается обратная зависимость (средняя положительная связь, $r=0,63$).

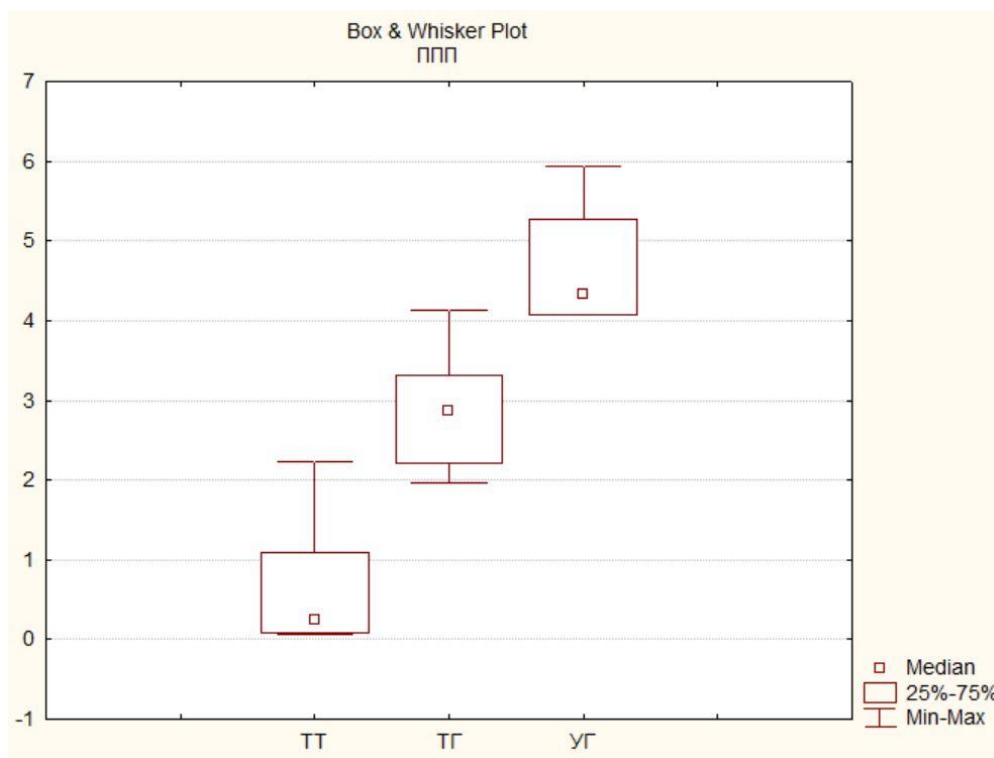


Рисунок 29. Диаграмма box-plot по ППП (%) в разных горизонтах: ТТ – тefра (Толбачинский дол), ТГ – погребенный гумусовый горизонт (Толбачинский дол), УГ – гумусовый горизонт (Ушковский дол)

Содержание органического вещества (определенное по потерям при прокаливании, рис. 29) значительно повышается от 1 группы горизонтов (тефра с территории Толбачинского дола, медиана 0,4%) к 2 (погребенный гумусовый горизонт с территории Толбачинского дола, медиана 2,9%) и от 2 группы к 3 (гумусовый горизонт с территории Ушковского дола, медиана 4,3%). Такое распределение может быть объяснено различием времени, за которое органическое вещество могло накопиться в горизонтах.

Стоит отметить, что содержание органического вещества отрицательно коррелирует почти со всеми исследуемыми элементами (сильная отрицательная связь ППП и Ca, Co, Cr ($r=-0,73, -0,72, -0,73$, соответственно); средняя отрицательная связь ППП и Mn, Ni, V, S ($r=-0,55, -0,69, -0,59, -0,58$ соответственно), кроме Zn и Li (положительная корреляция, $r=0,58, 0,83$, соответственно).

Также наблюдается сильная положительная связь между ППП и ГВ ($r=0,98$), и средняя отрицательная связь между ППП и pH ($r=-0,68$).

Кроме того, содержание органического вещества в пробах гумусовых горизонтов положительно коррелирует с общим проективным покрытием растительности ($r=0,78$), при этом содержание органики в тefре не связано ни со стадией сукцессии, ни с общим проективным покрытием растительности, из чего можно сделать предположение, что на

Толбачинском доле растительность зависит больше именно от погребенного гумусового горизонта.

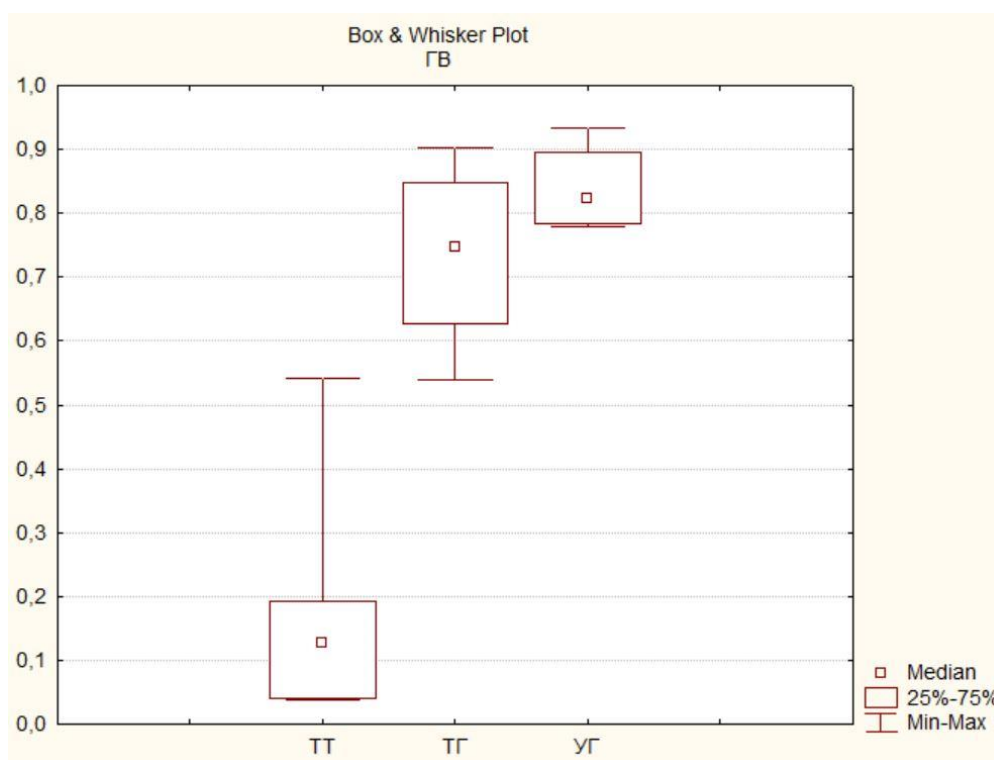


Рисунок 30. Диаграмма *box-plot* по ГВ (%) в разных горизонтах: ТТ – тефра (Толбачинский дол), ТГ – погребенный гумусовый горизонт (Толбачинский дол), УГ – гумусовый горизонт (Ушковский дол)

Содержание гигроскопической влажности (рис. 30) в пробах тефры Толбачинского дола значительно меньше, чем в погребенным гумусовом горизонте, однако гумусовые горизонты Толбачинского и Ушковского дола (2 и 3 группы) не отличаются значимо. Медиана содержания ГВ для проб тефры Толбачинского дола равна 0,16%, для проб из погребенного гумусового горизонта – 0,75%, для проб гумусового горизонта Ушковского дола – 0,82%. По-видимому, даже слабо сформированные гумусовые горизонты исследуемых территорий обладают более высокой гигроскопичностью в сравнении со свежей тефрой.

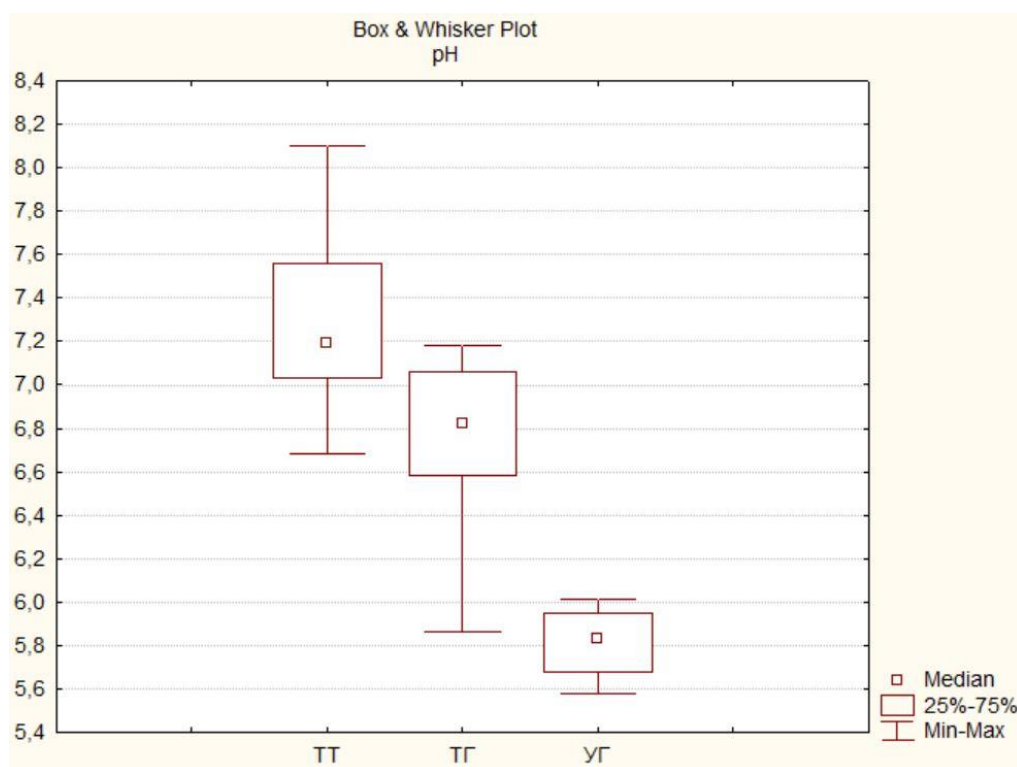


Рисунок 31. Диаграмма box-plot по значениям pH для разных горизонтов: ТТ – тефры (Толбачинский дол), ТГ – погребенный гумусовый горизонт (Толбачинский дол), УГ – гумусовый горизонт (Ушковский дол)

Актуальная кислотность pH (рис. 31) статистически значимо отличается между всеми группами. При этом наибольшие значения pH характерны для проб тефры Толбачинского дола (медиана 7,13), несколько меньшие значения актуальная кислотность принимает в пробах погребенного гумусового горизонта (медиана 6,82), значительно меньшие – в пробах гумусового горизонта Ушковского дола (медиана 5,83). При этом чем глубже залегает погребенный гумусовый горизонт на Толбачинском доле, тем меньше значение pH ($r=-0,71$), что согласуется с литературными данными (Васильев Н. Б., 2019). Это связано с тем, что на стадии молодого базальтоидного вулканизма выветривание часто поступающей молодой базальтовой или андезитовой тефры высвобождает щелочноземельные металлы (Ca, Mg), которые поддерживают близкую к нейтральной кислотность почв (Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С., 2016). Вероятно, с развитием полноценного гумусового горизонта, в отсутствие частых перекрытий тефрой на данной территории актуальная кислотность данного горизонта со временем снижается. Данное предположение подтверждается корреляционной связью между pH гумусовых горизонтов и стадией сукцессии сообществ, а также общего проективного покрытия растительности ($r=-0,55$, $-0,90$ соответственно).

5.2 Характеристика различий элементного состава горизонтов исследуемых территорий

Для сравнения элементного состава 3 типов горизонтов (тефра Толбачинского дола, погребенный гумусовый горизонт Толбачинского дола, гумусовый горизонт Ушковского дола) мы воспользовались методом анализа главных компонент (РСА).

По данным РСА (рис.32, 33) пробы из разных горизонтов группируются в соответствии с типом горизонта и различаются между собой. По 1 главной компоненте (на рисунке РС1), которая вносит наибольшее влияние в различие между группами (определяет 60,6% дисперсии данных по концентрациям элементов), в большей степени отличаются гумусовые горизонты от верхнего слоя тефры БТТИ. Данная главная компонента обусловлена содержанием таких элементов, как Са, Си, Сг, Ni, Со (имеют отрицательный вектор), а также Li (имеет положительный вектор).

Вторая главная компонента (РС2) характеризует различия между разными районами исследования – Ушковским и Толбачинским долом. При этом элементные составы верхнего слоя тефры Толбачинского дола и погребенного горизонта по данной компоненте не отличаются. Главная компонента РС2 по-видимому обусловлена содержанием таких элементов, как Zn, Mn (имеют отрицательный вектор).

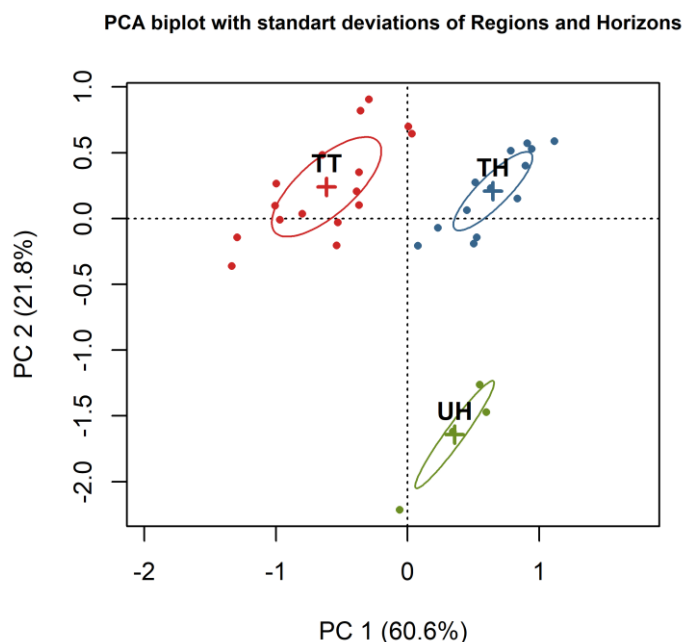


Рисунок 32. Диаграмма “biplot” РСА, выполненная по содержанию исследуемых элементов в разных горизонтах (ТТ – тефра Толбачинского дола, ТГ – погребенный гумусовый горизонт Толбачинского дола, УГ – гумусовый горизонт Ушковского дола) – проекция точек наблюдения

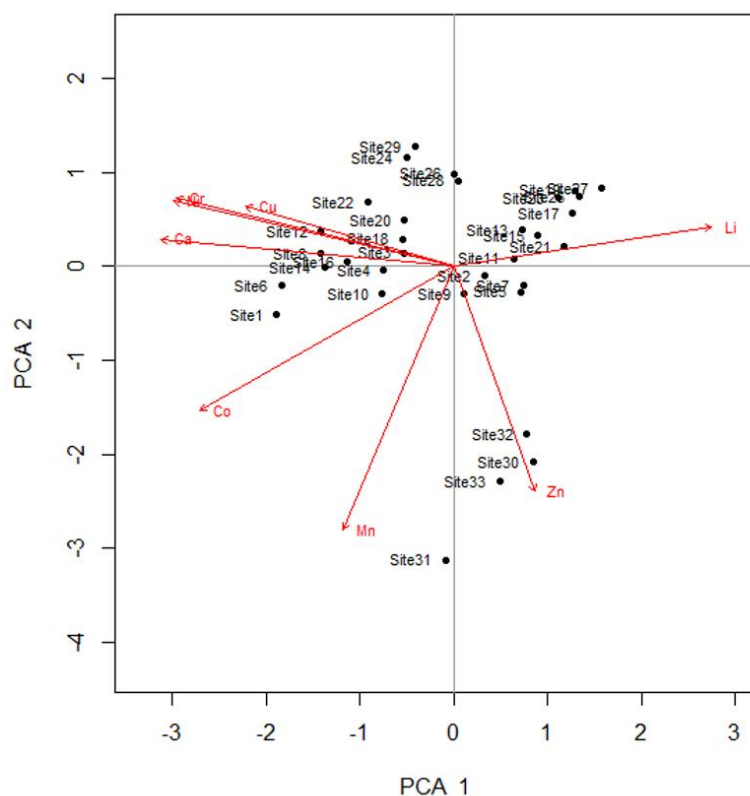


Рисунок 33. Диаграмма “biplot” PCA, выполненная по содержанию исследуемых элементов в разных горизонтах (ТТ – тейфра Толбачинского дола, ТГ – погребенный гумусовый горизонт Толбачинского дола, УГ – гумусовый горизонт Ушковского дола) – проекция переменных

Главная компонента PC1 вероятно связана с органическим веществом, что подтверждается корреляционным анализом данной компоненты и ППП ($r=0,68$). Кроме того, данная компонента тесно связана с гигроскопической влажностью ($r=0,78$). Также присутствует отрицательная корреляция PC1 с pH ($r=-0,62$).

Вторая главная компонента PC2 по-видимому обусловлена значительными различиями экосистем исследуемых районов, характеризующихся разным химизмом пирокластических продуктов. Данная компонента в частности отрицательно коррелирует с общим проективным покрытием растительности ($r=-0,82$), что связано с тем, что сообщества на Ушковском доле являются значительно менее нарушенными.

Заключение

На основании полученных результатов мы сделали следующие **выводы**:

1. Поверхностный гумусовый горизонт в разрезах Толбачинского дола только формируется. Горизонты разрезов Толбачинского дола темнее по окраске, но это связано с естественной окраской тефры. В разрезах с Ушковского дола больше корней, материал гораздо более тонкодисперсный, крупная тефра отсутствует, встречается только мелко-песчаный пепел вулканов Шивелуч (Ш1) и Безымянный (1956 г).

2. С течением времени, в отсутствии частых перекрытий тефрой на территории Толбачинского дола вероятно снижение концентраций Ni, Cu, Cr, Ca, Zn и Li напротив со временем накапливаются в гумусовых горизонтах. Актуальная кислотность гумусовых горизонтов при таких условиях снижается (рН отрицательно коррелирует со стадией сукцессии, $r=-0,55$), а содержание гигроскопической влаги увеличивается (погребенный гумусовый горизонт исследуемой территории содержит больше гигроскопической влаги в сравнении с тефрой).

3. Элементный состав тефры Толбачинского дола отличается от погребенного гумусового горизонта и гумусового горизонта Ушковского дола в основном более высоким содержанием Ca, Cu, Cr, Ni, Co, но меньшими концентрациями Li. Кроме того, для данного горизонта характерное наименьшее содержание органического вещества и низкое содержание гигроскопической влаги.

Элементный состав гумусового горизонта Ушковского дола отличается от горизонтов Толбачинского дола в первую очередь бóльшими концентрациями Zn и Mn. Растительные сообщества Ушковского дола естественным образом отличаются от сообществ Толбачинского дола стадией сукцессии и бóльшим общим проективным покрытием растительности. Содержание органического вещества в пробах гумусовых горизонтов увеличивается с увеличением общего проективного покрытия растительности.

4. Среди главных факторов, определяющих процесс почвообразования в районах активного вулканизма Северной почвенной провинции Камчатки можно выделить периодичность выпадения пирокластического материала, его химический состав и рельеф подстилающей территории, а также растительный покров.

Благодарности

Выражаю благодарность Чукову Серафиму Николаевичу за руководство и помощь в написании работы, Кораблеву Антону Павловичу за руководство, помощь в обработке материала, а также за помощь в полевых работах. Членам Камчатских геоботанических экспедиций БИН РАН: Железиной Анастасии, Щербакову Давиду, Васильеву Николаю за помощь в сборе материала. Сотрудникам Ресурсного центра СПбГУ «Методы анализа состава вещества»: Мещерякову Анатолию, Савельеву Вячеславу, Григорьяну Владимиру за помощь в проведении пробоподготовки и анализа состава проб. Аспиранту Георгию Русакову за помощь в проведении анализа состава проб.

Список литературы

1. Белоусова Н.И., Тонконогов В.Д. Некоторые экспериментальные данные о выветривании вулканических пеплов Камчатки // Почвоведение. 1968. № 5. С. 43–55.
2. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В. и др. – Тефрохронологические и геохронологические исследования Толбачинской региональной зоны шлаковых конусов // Вулканология и сейсмология. 1981. № 3. с. 14-28.
3. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Флеров Г.Б., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д., Литасова С.Н. – Голоценовый вулканизм Толбачинской региональной зоны шлаковых конусов // Большое трещинное Толбачинское извержение. Камчатка, 1975–1976. М.: Наука, 1984. С. 177–222.
4. Васильев Н.Б. – Влияние продуктов вулканической деятельности на формирование почвенного профиля в юго-западном секторе Ключевской группы вулканов. ВКР. СПб. РГПУ им. Герцена, 2019. 98 с.
5. Виноградов А.П. – Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–572.
6. Власов Г.М. Новые данные по геологии Камчатки и перспективы её рудоносности, «Сов. Геология», 1958, №5.
7. Водяницкий Ю.Н. – Загрязнение почв тяжелыми металлами. М.: МГУ, 2017 – 192 с.
8. Геннадиев А.Н., Гептнер А.Р., Жидкин А.П., Чернянский С.С., Пиковский Ю.И. Экзотемпературные и эндотемпературные почвы Исландии // Почвоведение. 2007. № 6. С. 661–675.

9. Геннадиев А.Н., Гептнер А.Р., Жидкин А.П., Чернянский С.С., Пиковский Ю.И. – Экзотемпературные и эндотемпературные почвы Исландии // Почвоведение. 2007. № 6. С. 661–675.
10. Гирина О.А., Баженов Е.В. – Магнитные свойства базальтов Толбачинского дола // Евразийское научное объединение. 2015. Т. 2. № 5 (5). С. 175-177.
11. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.
12. ГОСТ 23740-2016 Грунты. Методы определения содержания органических веществ. МКС 93.020. 2017-07-01.
13. ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений.
14. Гришин С.Ю., Шляхов С.А. – Растительность и почвы Толбачинского дола (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009 № 2. выпуск № 14. с. 132-142.
15. Добровольская М.Г. – Геохимия земной коры: Учеб. пособие. - М: РУДН, 2007. – 131 с.
16. Доклад о состоянии окружающей среды в Камчатском крае в 2017 году. – Министерство природных ресурсов и экологии Камчатского края. – Петропавловск-Камчатский, 2018. – 377 с.
17. Доклад о состоянии окружающей среды в Камчатском крае в 2018 году. – Министерство природных ресурсов и экологии Камчатского края. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – 395 с.
18. Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. – Химический состав почв в ареалах выпадения пеплов активных вулканов Камчатки // Почвоведение. 2016. № 3. С. 333-343.
19. Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Вулканизм и геохимия почвенно-растительного покрова Камчатки. Сообщение 1. Геохимические особенности вулканических приповерхностных пеплов // Вулканология и сейсмология. 2019а. № 2. С. 34–44.
20. Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Вулканизм и геохимия почвенно-растительного покрова Камчатки. Сообщение 2. Специфика формирования элементного состава вулканических почв в холодных гумидных условиях. // Вулканология и сейсмология. 2019б., № 3, с. 25–33.
21. Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Вулканизм и геохимия почвенно-растительного покрова Камчатки. Сообщение 3. Элементный состав растительности вулканических экосистем // Вулканология и сейсмология. 2019в, № 4, с. 40–51.

22. Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Генетические и геохимические особенности почв Камчатки / Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН. - М.: Наука, 2011. - 245 с
23. Зонн С.В., Карпачевский Л.О., Стефин В.В. – Лесные почвы Камчатки. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 255 с.
24. Карпачевский Л.О., Алябина И.О., Захарихина Л.В., Макеев А.О., Маречек М.С., Радюкин А.Ю., Шоба С.А., Таргульян В.О. – Почвы Камчатки. М.: Изд-во ГЕОС Москва, 2009. 224 с.
25. Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
26. Кораблёв А.П. – Формирование лесной растительности на вулканогенных отложениях Камчатки (на примере Толбачинского дола), СПб. 2011.
27. Кораблёв А.П., Некрасов Т.Л., Васильев Н.Б., Сазонов Д.А. – Характеристика нарушенных и ненарушенных местообитаний *Larix sajanderi* Maug на вулканических плато Толбачинский дол и Ушковский дол // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы XIX международной научной конференции, посвященной 70-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН И. А. Черешнева. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2018а. С. 84-88.
28. Кораблёв А.П., Нешатаева В.Ю. – Первичные вулканогенные сукцессии растительности лесного пояса на плато Толбачинский дол (Камчатка) // Известия РАН. Серия Биологическая. 2016. № 4. С. 366–377.
29. Кораблев А.П., Смирнов В.Э., Нешатаева В.Ю., Ханина Л.Г. – Жизненные формы растений и экотопический отбор в ходе первичной сукцессии на вулканических субстратах (Камчатка, Россия) // Известия РАН. Серия биологическая. 2018б. №3. С. 290–300.
30. Лебедев С.В., Нестеров, Е. М. – Пространственное ГИС-моделирование геоэкологических объектов в ArcGIS: учебник. СПб: Издательство РГПУ им. А.И. Герцена. 2018. – 259 с.
31. Ливеровский Ю.А. – О вулканических пепловых почвах Камчатки // Почвоведение. 1971. № 6. С. 3–11.
32. Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В. – Районирование и геохимическая характеристика вулканических почв Камчатки // Геохимия. 2009. №5. с. 490-503.
33. Любимова Е.Л. – «Камчатка». Физико-географический очерк. Институт географии академии наук СССР. М, государственное издательство географической литературы, 1961 - 189 с.
34. Мелекесцев И.В. – Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука, 1980. 212 с.

35. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии М-МВИ-80-2008 / Санкт-Петербург, 2008.
36. Методические указания 2.1.7. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест, 1999.
37. Некрасов Т.Л., Кораблёв А.П. – Влияние вулканических пеплопадов на видовое разнообразие сосудистых растений в лиственных лесах Ключевской группы вулканов (Камчатка) // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. № 4(56). 2019. С. 63-72.
38. Нешатаева В.Ю. – Растительный покров вулканических плато Центральной Камчатки (Ключевская группа). – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 461 с.
39. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. – Геохимия окружающей среды / Москва: Недра, 1990.
40. Слюнин Н.В. – Охотско-Камчатский край. СПб.: Изд-во Мин.фин., 1990. Т. I—II. - 345 с.
41. Федотов С.А. – Введение // Большое трещинное Толбачинское извержение. Камчатка, 1975–1976. М.: Наука, 1984. С. 5-11.
42. Федотов С.А., Чирков А.М., Разина А. А. – Северный прорыв // Большое трещинное Толбачинское извержение. Камчатка, 1975-1976. М.: Наука, 1984 г. с. 11-56.
43. Флеров Г.Б., Андреев В.Н., Будников В.А., Цюрупа А.И. – Петрология продуктов извержения // Большое трещинное Толбачинское извержение. Камчатка, 1975–1976. М.: Наука, 1984. С. 223-276.
44. Чурикова Т.Г., Гордейчик Б.Н., Флеров Г.Б., Ивамори Х., Накамура Х., Нишизава Т. – Петрологическая, геохимическая и изотопная эволюция Толбачинского вулканического массива // Толбачинское трещинное извержение 2012-2013 гг. (ТТИ) / под ред. Гордеев, Е. И., Добрецов Н. Л.; – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017б. с. 131-170
45. Чурикова Т.Г., Гордейчик Б.Н., Эдвардс Б.Р., Пономарева В.В., Зеленин Е.А. – Ключевская группа вулканов и Толбачинский вулканический массив: итоги исследований четвертичного вулканизма предшествующих извержению 2012–2013 гг. // Толбачинское трещинное извержение 2012-2013 гг. (ТТИ) / под ред. Гордеев, Е. И., Добрецов Н. Л.; – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017а. с. 31-71.
46. Heiken G. – An atlas of volcanic ash. – Smithsonian Contrb Earth Sci., 1974, № 12, iv. p. 101.

47. Krashennikov S.P., Bazanova L.I., Ponomareva V.V., Portnyagin M.V. Detailed tephrochronology and composition of major Holocene eruptions from Avachinsky, Kozelsky, and Koryaksky volcanoes in Kamchatka // *J. Volcanology Geothermal Res.* 2020. V. 408.
48. Martínez-Cortizas A., Nóvoa J.C., Pontevedra X., García-Rodeja E. Elemental composition of Reference European // *Volcanic Soil Resources in Europe*. Reykjavic, Iceland: Agricultural Research Institute, 2004. P. 38–40.
49. Shoji S., Nanzyo M., Dahlgren R.A. *Volcanic Ash soils. Genesis, Properties and Utilization*. Amsterdam: Elsevier, 1993. 287 p.
50. Ugolini C.F., Dahlgren A. Soil Development in Volcanic Ash // *Global Environ. Res.* 2002. V. 6. P. 69–81.
51. Walker L.R., del Moral R. – *Primary succession and ecosystem rehabilitation*. N.Y.: Cambr. Univ. Press, 2003. 456 p.
52. Walker L.R., Wardle D.A., Bardgett R.D., Clarkson B.D. – The use of chronosequences in studies of ecological succession and soil development // *J. Ecol.* 2010. V. 98. P. 725–736.
53. <http://www.kamchatsky-krai.ru/geography/oopt/parks/kluchevskoy.htm>
54. http://www.vulcanikamchatki.ru/novosti/vulkany_kamchatki_odin_iz_samyh_posew_aemyh_obektov_v_spiske_vsemirnogo_naslediya_yunesko/