

На правах рукописи



РОМАНЮК Федор Александрович

**ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ
ФАКТОРОВ НА СТРУКТУРУ РАСТИТЕЛЬНОГО
ПОКРОВА ОТЛОЖЕНИЙ ЛАХАРОВ
И СОЛЬФАТАРНЫХ ПОЛЕЙ
НА КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВАХ**

1.5.15 – экология (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Владивосток, 2023

Работа выполнена в лаборатории вулканологии и вулканопасности
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения
Российской академии наук.

Научный руководитель:

Христофорова Надежда Константиновна, доктор биологических наук,
профессор

Официальные оппоненты:

Паничев Александр Михайлович, доктор биологических наук,
ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, ведущий научный
сотрудник лаборатории экологии и охраны животных

Иваненко Наталья Владимировна, кандидат биологических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», доцент
кафедры экологии, биологии и географии

Ведущая организация:

ФГБУН Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
г. Биробиджан

Защита состоится 10 октября 2023 г. в 10.00 часов на заседании диссер-
тационного совета 24.1.253.01 на базе Федерального государственного бюд-
жетного учреждения науки «Федеральный научный центр биоразнообразия
наземной биоты Восточной Азии» ДВО РАН по адресу: 690022 г. Владивосток,
пр. 100-летия Владивостока, 159.

Факс: (423) 2310-193. E-mail: info@biosoil.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями
просим направлять по адресу: 690022 г. Владивосток, пр. 100-летия Владиво-
стока, 159, ученому секретарю диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в Центрально научной библиотеке
ДВО РАН и на сайте «Федерального научного центра биоразнообразия назем-
ной биоты Восточной Азии» ДВО РАН: <http://www.biosoil.ru>.

Автореферат разослан 18 июля 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук *Сасениш* - Елена Михайловна Саенко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Одна из главных комплексных задач наук на стыке геологии, ландшафтоведения и геоботаники – изучение трансформации ландшафтов и слагающих их компонентов под воздействием сил как природного, так и антропогенного характера. Выполнение этой задачи не сводится к определению в объемах работ и времени комплексу мероприятий, а представляет собой продолжительное систематическое накопление данных, их интерпретацию и сравнительный анализ. Обусловлено это многообразием средообразующих факторов, их неперIODичностью, совершенствованием методов проведения исследований на разных этапах выполнения работ, которые позволяют более полно раскрыть механизмы эволюции ландшафтов. В рамках этой задачи изучаются более конкретные проблемы и вопросы, одна из которых – изучение растительных сукцессий. Решение этой проблемы актуально при ведении сельскохозяйственных и лесных работ, при планировании и проектировке инфраструктуры, организации рекреационных мероприятий и в ряде других отраслей науки и экономики [Ecology and Man, 2003]. Безусловно, все эти мероприятия основываются на научно обоснованных заключениях и выводах, полученных посредством описания растительных сообществ, сравнения их параметров, выявления особенностей их состава, структуры и процессов динамики в формируемых ими экосистемах. Поэтому исследования, направленные на выявление этих механизмов, важны своей теоретической составляющей для геоботаники, главной задачей которой является объяснение механизмов формирования растительного покрова в разных пространственных и временных масштабах.

Вулканизм – одна из ведущих средообразующих сил эндогенного характера. Вынос ювенильного материала из недр Земли сопровождается формированием новых участков суши, тотальным уничтожением и (или) трансформацией прежних ландшафтов, угнетением их почвенно-растительных компонентов. Курильские острова – архипелаг, в пределах которого наблюдаются современные эруптивные и протекают поствулканические процессы. Изучение растительных сукцессий на территориях, подверженных влиянию современной вулканической активности, сопровождающейся воздействием продуктов газогидротерм, пеплопадов, а также угнетением либо уничтожением компонентов ландшафта в пределах островной суши, является очень важной задачей. Обусловлено это тем, что, ввиду отграниченности островной суши, экосистемы под воздействием эруптивных продуктов зачастую полностью меняют свой облик. В обоих случаях происходят изменения, зачастую необратимые, в ландшафтной структуре [Побережная, 2010], в том числе в структуре растительного покрова. Избежать или предотвратить эти изменения невозможно, однако понимание характера и темпов сукцессионных процессов, регулирующих их механизмов позволяет смоделировать результат и оценить его значение и роль в строении ценозов.

Вопросам влияния вулканизма на растительный покров посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных авторов [Griggs, 1918; Tatewaki, 1957; Tagawa, 1964; Atkinson, 1970; Smathers, Mueller-Dombois, 1974; Yoshioka, 1974, 1975; Given, 1980; Манько, 1980, 1989; Frenzen, Franklin, 1985; del Moral, Wood, 1988; Wood, del Moral, 1988; Clarkson, 1990; Velazquez, 1994; Burns, Leathwick,

1995; Burns, 1997; del Moral, Grishin, 1999; Poli Marchese, 2000; Stout, Al-Niemi, 2002; Titus, Tsuyuzaki, 2003; del Moral, Rozzell, 2005; del Moral et al., 2005; Ecological Responses..., 2005, 2018; Gomez-Romero, 2006; del Moral, 2007; Cutler et al., 2008; Vegetation..., 2008; Гришин, 2008, 2009а, 2009б, 2012; Teramoto, Shimokawa, 2010; Мощное извержение..., 2010; Побережная, 2011; Bartoli et al., 2013; Динамика растительного..., 2013; Stress-induced changes..., 2015; Influence..., 2017; и др.]. Растительность, формирующаяся под влиянием вулканизма, хорошо изучена на примере Японии [Numata, 1972; Yoshioka, 1974, 1975], Гавайских [Atkinson, 1970; Smathers, 1974] и Малых Антильских островов [Howard, 1962], Северной Америки [Wood, 1988; Ecological Responses to, 2005; Ecological Responses at, 2018], а также ряда других районов. Необходимость проведения работ по изучению формирования растительности под влиянием эруптивной деятельности и поствулканической активности продиктована важностью понимания темпов и механизмов формирования фитоценозов вулканогенных территорий, позволяющих реконструировать эволюцию вулканогенных ландшафтов, а также расширить знания о динамике растительного покрова под влиянием экстремальных эндогенных сил. Ввиду разной периодичности и степени воздействия эруптивных и поствулканических продуктов на пространственно-видовую структуру формируемых сообществ исследования растительности каждой территории имеют свою специфику, что обуславливает необходимость регулярного проведения работ на разных этапах сукцессионных процессов. Однако исследований, посвященных оценке и анализу количественных показателей сообществ на разных этапах сукцессионных смен в условиях активного вулканизма, значительно меньше. Интерпретация таких показателей с учетом комплекса параметров среды позволяет наиболее полно и четко отразить картину восстановления растительного покрова после эруптивных событий и специфику его организации в импактных зонах. Одной из показательных работ по применению современных геоботанических приемов при изучении пространственной структуры растительного покрова районов вулканической активности является статья, посвященная многофакторному анализу растительности вулканов Тлалок и Пеладо в Мексике [Velazquez, 1994]. Для территории Сахалинской области и Камчатки данному вопросу посвящены недавние исследования первичных вулканогенных сукцессий растительного покрова Толбачинского дола [Кораблев, 2016], показателей эпифитного лишайникового покрова юга Сахалинской области в условиях современного вулканизма [Ежкин, 2015; Кордюков, 2015], влиянию гризевого вулканизма на компоненты экосистем [Корзников, 2014; 2015] и некоторые другие. Подобных работ по количественной оценке показателей сообществ и их соотношению на разных стадиях сукцессионных процессов, выполненных в районах активного вулканизма на Курильских островах, не опубликовано.

Наличие такого мощного средообразующего фактора как антропогенный, вносит дополнительно свои коррективы в ход восстановления растительного покрова, в определенной степени искажая общий вектор протекания сукцессионных процессов. Продолжительное по времени действие антропогенного фактора в конечном итоге может привести к формированию на отдельных участках иных, отличных от характерных, почвенно-растительных компонентов ландшафта.

Из-за ограниченности островной суши, наличия путей распространения заносных и сорных видов, агрессивной стратегии освоения незанятых территорий некоторыми видами, эрозии совокупное действие эндогенных и антропогенных факторов делает возможным формирование нового комплекса структурных единиц ландшафта, меняющих как ландшафтный облик острова, так и существующие в его пределах экологические связи между компонентами островной экосистемы. Такие процессы наблюдаются на многих объектах Курильских островов – одними из показательных являются Старозаводское сольфатарное поле (влк. Баранского, о. Итуруп) и долина лахара 2009 года на о. Магуа. Учитывая роль антропогенного фактора в трансформации нативных экосистем, необходимо изучить степень его влияния на уязвимые уникальные природные комплексы, а также на характер и темпы сукцессионных процессов в районах современной эруптивной деятельности.

Цель работы: изучить специфику организации и общие закономерности пространственной структуры растительного покрова в условиях влияния природных и антропогенных факторов на примере отложений лахара на вулкане Пик Сарычева (о. Магуа, Средние Курилы) и Старозаводского сольфатарного поля (о. Итуруп, Южные Курилы).

Для достижения цели предстояло решить следующие **задачи**:

- 1) описать и сравнить растительность высотного профиля юго-восточно-го склона и примыкающей долины лахара на вулкане Пик Сарычева, характеризовать сообщества отложений лахара в серии сукцессионных смен;
- 2) изучить пространственную структуру растительного покрова Старозаводского сольфатарного поля на юго-западном склоне влк. Баранского и проанализировать связи между его основными фитоценологическими характеристиками;
- 3) выявить общие черты и специфические особенности пространственно-видовой структуры растительного покрова импактных зон и высотных профилей, подвергшихся воздействию вулканизма;
- 4) оценить влияние антропогенной нагрузки на восстановление и формирование пространственно-видовой структуры растительного покрова исследуемых территорий.

Научная новизна. В работе впервые представлен наиболее полный список видов флоры Старозаводского сольфатарного поля и перечень сообществ, слагающих его фаций. С использованием ГИС-технологий и методов статистической обработки данных объяснены пространственная структура и мозаичность растительного покрова территории. Показана роль эндогенного и антропогенного факторов в формировании покрова поля. С использованием методов ординации и факторного анализа для описания сообществ долины лахара на вулкане Пик Сарычева объяснены наблюдающиеся тенденции в восстановлении растительного покрова долины. Оценена роль антропогенного фактора в восстановлении растительного покрова в ходе постэруптивных сукцессионных процессов, а также в сложении видов и увеличении биоразнообразия термальных зон. Выявлено сходство роли главенствующих факторов (таких как высота над ур. м. и температура почвогрунтов) в формировании пространственной структуры растительного покрова высот-

ных профилей и импактных зон. Обосновано отнесение растительных сообществ термальных зон к динамически равновесным.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные данные о закономерностях формирования пространственной структуры и динамики растительного покрова в зависимости от комплекса природных и антропогенных факторов расширяют представления о принципах формирования растительных сообществ. Накопленные материалы, заложенные постоянные площади могут использоваться для мониторинга динамики растительного покрова и пополнения знаний о видовой и пространственной организации растительных сообществ в условиях эруптивной деятельности и антропогенной нагрузки. Результаты работы могут быть применены при организации исследований, направленных на изучение динамики растительного покрова на территориях современного активного вулканизма, в том числе при организации учебно-полевых практик студентов биологического и географического профилей при изучении сукцессионных процессов. Картирование и описание компонентов ландшафта уникальных природно-антропогенных и природных объектов, таких как Старозаводское сольфатарное поле, с выявлением их уязвимых и ценных в экологическом аспекте участков позволяет сформулировать научно обоснованные рекомендации по урегулированию рекреационной деятельности на территории поля с целью сохранения их целостности.

Положения, выносимые на защиту.

1. Растительные сообщества стабильно функционирующих гидротермальных систем, подобно сформированным сообществам вертикальной поясности, являются динамически равновесными. В то же время, специфика пространственно-видовой структуры растительного покрова гидротермальных зон обусловлена схожестью ее организации с сообществами, формирующимися в первые годы на рыхлых отложениях лахаров, характеризующимися в ряду сукцессионных смен как сложные группировки.

2. Влияние антропогенного фактора на пространственно-видовую структуру растительного покрова неоднозначно: постоянное сильное воздействие приводит к угнетению и деградации почвенно-растительных компонентов ландшафта, в то время как небольшое локализованное влияние вызывает рост биоразнообразия и формирование нового уникального природно-антропогенного комплекса.

Методы исследования. Полевые работы выполнены на основе классических геоботанических методик. Камеральные работы выполнены как по канонам, принятым в геоботанике, так и по модифицированным современным подходам с применением методов моделирования и визуализации пространственных данных.

Достоверность результатов. Достоверность подтверждается использованием комплекса классических полевых и камеральных методов обработки – в том числе широко применимых в естественных науках методов статистического анализа, соответствием полученных результатов и сформулированных выводов известным в науке сведениям. Обоснованность научных положений диссертационной работы подтверждается привлечением массива научных публикаций по теме исследования, в том числе с большой долей работ зарубежных авторов.

Апробация работы. Результаты исследований и основные положения диссертационной работы были представлены и опубликованы в материалах российских и международных конференций: Всероссийская конференция с международным участием «Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска», 26–30 мая, 2015, г. Южно-Сахалинск; Всероссийская научная конференция с международным участием «Прибрежно-морская зона Дальнего Востока России: от освоения к устойчивому развитию», 8–10 ноября, 2018, г. Владивосток; III Всероссийская научная конференция с международным участием «Геодинамические процессы и природные катастрофы» 27–31 мая, 2019, г. Южно-Сахалинск. По теме диссертации имеется 8 публикаций, из которых 4 – статьи в журналах, входящих в перечень ВАК (1 также входит в базы Scopus и WOS), 4 – тезисы и материалы конференций (1 входят в базу Scopus).

Работа выполнена в рамках работ по государственному заданию по темам НИР «Вулканизм Сахалина и Курильских островов: мониторинг, хронология активности, вещественный состав продуктов, гидротермальные системы» (регистр. номер НИОКР ГР 121030100168-3; дата регистрации в ЕГИСУ НИОКТР 24.02.2021; рук. работы А.В. Рыбин) и «Экологическое состояние геосистем Сахалина и Курильских островов в условиях природных и антропогенных стрессовых факторов» (регистр. номер НИОКР ГР 121022500177-6, дата регистрации в ЕГИСУ НИОКТР 24.02.2021; рук. работы А.В. Копанина).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из 4 глав, изложена на 190 страницах, содержит 26 таблиц и 52 рисунка. Список цитируемой литературы содержит 236 источников, в том числе 109 на иностранных языках.

Личный вклад. Диссертант принимал непосредственное участие в полевых работах, сборе материала, камеральной обработке данных, обобщении и анализе результатов исследования, формировании задач и формулировке выводов диссертации, а также в подготовке материалов к публикации.

Благодарности. В первую очередь, автор глубоко признателен научному руководителю, д.б.н., профессору Института Мирового океана ДВФУ Христорофовой Надежде Константиновне и соавтору выполненных по теме диссертационного исследования работ, к.б.н., ученому секретарю ИМГиГ ДВО РАН, научному сотруднику лаборатории береговых геосистем Кордюкову А.В. За организацию и всестороннюю помощь в проведении экспедиционных работ автор благодарит к.г.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории вулканологии и вулканопасности ИМГиГ ДВО РАН Рыбина А.В. За ценные советы по камеральной обработке данных автор выражает благодарность к.б.н., ведущему научному сотруднику лаборатории геоботаники Ботанического сада-института ДВО РАН Корзникову К.А. Слова благодарности за помощь в визуализации пространственных данных также адресованы научному сотруднику лаборатории береговых геосистем ИМГиГ ДВО РАН Убе А.В. За критические замечания и корректировку научной составляющей работы, ценные консультации автор благодарит сотрудников лаборатории вулканологии и вулканопасности ИМГиГ ДВО РАН – к.г.-м.н., ведущего научного сотрудника Веселова О.В., к.г.-м.н., старшего научного сотрудника Дегтерева А.В., к.г.н., ведущего науч-

ного сотрудника Жаркова Р.В., а также к.б.н., старшего научного сотрудника лаборатории экологии растений и геоэкологии ИМГиГ ДВО РАН Власову И.И., руководителя отдела информационно-аналитического сопровождения научной деятельности ИМГиГ ДВО РАН Кремневу И.П., заведующую аспирантурой, к.ф.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории сейсмологии Андрееву М.Ю.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены основные положения диссертации, выносимые на защиту. Приведены сведения об апробации работы и основных результатах исследований, опубликованных в рецензируемых научных изданиях.

1 Растительный покров в условиях современного вулканизма (обзор научной литературы)

В первой главе выполнен обзор работ отечественных и зарубежных авторов, в ходе которого проведен анализ изученности динамики растительного покрова в условиях современного вулканизма. Глава состоит из трех разделов. *Первый* посвящен обзору современного вулканизма и представлен в виде *четырёх* тематических подразделов, в рамках которых рассмотрены распространение вулканизма на Земле, вулканическая и поствулканическая активность и виды их проявлений, а также вулканизм Курильских островов [Чарыгин, 1968; Влодавец, 1973; Мелекесцев, 1980; Мархинин, 1985; Короновский, 1991; Холодов, 2002; Schmincke, 2004; Атлас Курильских островов, 2009 и др.]. *Второй* раздел посвящен динамике растительного покрова и растительным сукцессиям [Sukachov, 1928; Ярошенко, 1961; Александрова, 1964; Connel, 1977; Василевич, 1983; Миркин, Розенберг, 1983; Миркин, 2012; Онопченко, 2013 и др.]. *В третьем* разделе рассмотрены особенности формирования и развития растительного покрова в условиях вулканизма: в двух подразделах приведены сведения по растительному покрову в условиях эруптивной деятельности, а также поствулканической активности [Манько, 1989; Environmental Effects, 2000; Vegetation at the limits, 2008; Нешатаева, 2009, 2013; Онопченко, 2013; Morpho-physiological plasticity, 2013; Schmidt, 2013; Самкова, 2016 и др.].

2 Природные условия

Вторая глава содержит *два* раздела, каждый из которых состоит из *четырёх* подразделов: приведена краткая характеристика рельефа и орографии, климата, ландшафтной структуры и почв, а также флоры и растительности районов двух обследованных объектов.

Матуа (48°05' с. ш. 153°13' в. д.) – остров средней группы Большой гряды Курильских островов. Имеет вид неправильного овала размером 12×6 км, вытянутого в северо-западном направлении, площадь – 50 км². Юго-восточная часть острова представляет довольно плоскую поверхность высотой 50–100 м над ур. м., а в северо-западной части возвышается действующий конус – Пик Сарычева (48°05'26" с. ш. 153°12'05" в. д.) [Горшков, 1967]. После извержения 2009 года вершинную часть вулкана Пик Сарычева занимают ландшафты стратовулканического конуса с мощным чехлом пирокластических отложений, треть площади острова и домини-

рующее положение на склонах – ландшафты крутых и средней крутизны склонов, покрытых слаболитифицированными пирокластическими отложениями [Комплексная экспедиция..., 2009]. Отграниченность и удаленность Средних Курил от крупных участков суши, суровые климатические условия являются причиной их сравнительно невысокого таксономического разнообразия по сравнению с Северными и Южными Курильскими островами – 231 вид (в т. ч. 21 заносной) [Гришин, 2012].

Остров *Итуруп* (45°00' с. ш. 147°53' в. д.) – второй с юга остров на Большой гряде и крупнейший из островов всей Курильской гряды. Его протяженность составляет 200 км, ширина от 7 до 27 км, площадь – 3174,71 км² [Горшков, 1967]. В основном остров состоит из вулканических массивов и горных кряжей, одиночных вулканических конусов, равнинных перешейков и разноуровневых террас [Курильские острова, 2004]. На острове насчитывается до 40–48 вулканов, из них 9 – действующие [Горшков, 1967; Южные Курильские острова, 1992]. Климат острова Итуруп относится к умеренному морскому, с признаками муссонного [Власова, 2004]. Ландшафтная структура острова отличается большим разнообразием: здесь насчитывается 6 основных типов ландшафтов. Доминируют на острове ландшафты крутых и средней крутизны склонов древних вулканов с лавовыми потоками, сложенные андезитами, базальтами и туфами (40,73%) [Ганзей, 2010].

Итуруп относится к Дальневосточной хвойно-широколиственной лесной подобласти и особому Курило-Сахалинскому округу Японо-Корейской океанической провинции [Воробьев, 1963]. Это район темнохвойных и смешанных лесов с большим количеством южных элементов. Основу растительного покрова здесь образуют представители охотоморской флоры при значительном участии элементов маньчжурского и особенно северояпонского флористических комплексов [Баркалов, 2003; Еременко, 2009].

3 Объекты и методы исследований

Исследования растительного покрова были выполнены в июле 2013 и 2014 годах на Старозаводском сольфатарном поле на юго-западном склоне вулкана Баранского (45°06'12" с. ш. 148°00'56" в. д., о. Итуруп, Южные Курилы) и в июне 2017 года на юго-восточном склоне вулкана Пик Сарычева (48°05'26" с. ш. 153°12'05" в. д., о. Матуа, Центральные Курилы).

Полевые работы на Старозаводском сольфатарном поле. Описание растительного покрова на Старозаводском сольфатарном поле производилось после предварительного его деления на компоненты, отличающиеся, преимущественно, аспектом и общим сложением видов, а в отдельных случаях и эдафическими условиями. Границы фаций картировали при помощи спутникового навигатора Garmin GPSMAP 64s. При таком подходе учетные площадки сильно отличались друг от друга по площади, что нетипично для стандартизированных методик выполнения геоботанических описаний [Корчагин, 1964; 1972; Ипатов, 2008]. Однако ввиду специфики комплекса условий изучаемого объекта, определяемых неравномерностью распределения в его пределах участков повышенной вулканической активности, закладка учетных площадок случайным или же линейным образом (методом трансект) нецелесообразна.

В итоговый анализ вошли описания 39 выделенных фаций. На каждой учетной площади был выявлен видовой состав сосудистых растений, проективное покрытие каждого вида (абсолютное), жизненность особей.

Геоботаническое описание растительного покрова каждой условно выделенной фации сопровождалось измерениями температур почвы на глубине 50 см, поскольку с ней связана характеристика границы рассредоточенного парения [Гидротермы Кошелевского, 1976], которые выполняли при помощи электронного термометра Digitron-T200КС с термопреобразователем КТХА 01.02Р (диапазон рабочих температур термодпары от -200 до $+1350$ °С, точность измерения $0,1$ °С). На той же глубине грязевых выходов в пределах поля и выходов сольфатар также выполнялись промеры температур. Данные промеров привязывали к географическим координатам. Всего для составления карты температур почвы в пределах сольфатарного поля было использованы результаты измерений температур с 244 точек – 119 выходов терм и 125 контрольных фоновых.

Полевые работы на влк. Пик Сарычева. В целях выявления пространственного (высотного) распределения видов и смены сообществ в ходе полевых работ проведено описание растительного покрова на учетных площадках 1×1 м (в углах и в центре участков площадью 100 м^2 с последующим получением средне-взвешенного значения для каждого участка; далее в работе используется обозначение $a \times 5$, где a – число участков площадью 100 м^2) по всей протяженности лахара с высоты 530 до границ прежних сообществ ольховника на высоте около 100 м над ур. м. Для описания яруса ольховника закладывались площадки 10×10 м. Длина трансекты составила 2900 м. Выбор мест расположения учетных площадок сделан исходя из аспекта, а также общего видового состава сменяющихся сообществ по всей протяженности долины лахара. Конечная нижняя точка описаний соответствует зоне окончания движения лахара, дальше которой следует небольшой луг, заканчивающийся нетронутым ольховником. Описывались видовой состав, покрытие (в процентах) и высота каждого вида, а также суммарное покрытие площадки всеми видами. Кроме того, отмечались орографические условия и степень антропогенного вмешательства со стороны техники, которой доставляются группы людей в том числе по лахару. Площадки привязывали к географическим координатам при помощи GPS-навигатора, указывалась их высота над уровнем моря. Подобный же комплекс мероприятий был проделан и вдоль лахара 2009 года на юго-восточном склоне вулкана с целью последующего сравнения двух трансект – фоновой и новообразованной – на предмет общности их видового состава и пространственной структуры, а также с целью выявления особенностей стратегии расселения видов [Корчагин, 1964; 1972; Ипатов, 2008]. Длина этой трансекты составила 3300 м, в промежутке между высотами 770 и 130 м над ур. м.

Камеральные работы. Результаты описаний площадок заносились в матрицу вида «виды/площадки» с указанием покрытия, выраженного процентах. Ввиду невозможности обработки геоботанических данных с нечисловыми выражениями было принято решение в матрицах показатель покрытия «менее 1%» усреднить и заменить на 0,5. Кроме того, была выполнена конвертация процентов в баллы согласно неравнодистанционной шкале Б.М. Миркина ($+ < 1\%$, $1 - 1-5\%$,

2 – 5–15%, 3 – 15–25%, 4 – 25–50%, 5 – 50–100%) [Миркин, 1983]. Уточнение и определение видов сосудистых растений проводилось с использованием определителей сосудистых растений [Ворошилов, 1982; Определитель высших сосудистых..., 1974]. Названия видов и жизненные формы даны по [Баркалов, 2009].

Для оценки биоразнообразия растительного покрова были применены следующие показатели: флористическое богатство (общее число видов сосудистых растений сообщества), флористическая насыщенность (число видов сосудистых растений на учетной площади), проанализированы спектры жизненных форм, а также вычислены значения индексов Шеннона [Шеннон, 1963] (1), доминирования Симпсона [Simpson, 1949; Миркин, 1983; 1989] (2) и выравненности Пилоу [Pielou, 1966; 1975] (3). Вычисление производилось по следующим формулам:

$$H = - \sum_{i=1}^n \ln p_i \times p_i \quad (1), \quad S = \sum_{i=1}^n p_i^2 \quad (2), \quad E = H / \ln N \quad (3),$$

где p_i – доля проективного покрытия вида от общего покрытия всех видов на учетной площади, N – число видов на учетной площади.

Меру сходства парциальных флор устанавливали посредством вычисления коэффициента Серенсена–Чекановского по формуле:

$$S = 2c / (a + b) \quad (4),$$

где c – число видов, общих для двух флор, a и b – число видов каждой из двух флор [Макаревич, 1967; 1971; Миркин, 1983].

Картирование. Создание карт растительного покрова Старозаводского сольфатарного поля было выполнено в ПО QGIS. Термокарта выполнена в ПО Surfer (Gridding method – Kriging, Filter – Gaussian 3x3), и затем перепривязана и выведена в ПО QGIS. Необходимость перепривязки объяснялась переводом координат из угловой системы в метрическую и обратно по причине работы двух ПО в разных системах координат.

Кластерный анализ данных. При анализе распределения растительного покрова было проведено разделение получившихся площадок на кластеры методом Уорда в ПО Statistica (Joining (tree clustering), Ward's method, Euclidean distances) [Ward, 1963]. В отличие от других методов кластерного анализа, для оценки расстояний между кластерами здесь используются методы дисперсионного анализа. Выделение групп кластеров было произведено на основе видовых особенностей и показателей покрытия видов. Получившиеся в результате кластеризации группы были интерпретированы как отдельные сообщества, названия которых приведены в соответствии с аспектом и доминированием одного (двух) видов с суффиксом, характеризующим их полог.

Статистическая обработка. Результаты описаний площадок в виде таблицы «виды/площадки» с указанием проективного покрытия были использованы для построения не прямой ординации. Непрямая ординация визуально показывает вариабельность данных, существующие в них структуры и тренды [Новаковский, 2008]. Сходства и различия видового состава учетных площадок при не прямой ординации используются алгоритмом для отражения влияния комплекса внешних

факторов вдоль осей варьирования [Миркин и др., 2001]. Для построения ординации растительного покрова Старозаводского сольфатарного поля был использован метод неметрического многомерного шкалирования (Non-metric Multidimensional Scaling – NMS) в ПО PC-ORD, а результаты кластеризации служили для графического отображения распределения групп площадок по осям варьирования [McCune, 2002]. Этот метод, по сравнению с прочими, дает наиболее адекватные результаты в блоках с сильными шумами (случайными отклонениями) [Prentice, 1977; Kenkel, 1986; Minchin, 1987; Clarke, 1993; Шитиков, 2003], чего следовало ожидать при анализе мозаичной структуры растительного покрова поля. Для расчетов была задана функция «Jaccard» (расчет коэффициента Жаккара), которая определяла расстояние между учетными площадками на графике (величина расстояния между площадками обратно пропорциональна сходству между геоботаническими описаниями).

При выводе ординации покрова лахара и высотного профиля на влк. Пик Сарычева был использован бестрендовый анализ соответствия (DCA, Detrended Correspondence Analysis). Несмотря на то, что данный метод иногда непреднамеренно уничтожает информацию, имеющую экологическую ценность [Pielou, 1984], для построения градиентов на линейных участках его использование оправдано. Для получения более точного распределения площадок по осям варьирования при выводе ординации этим методом не использовалась функция уменьшения значимости редких видов («Downweight rare species»).

Результаты интерпретации ординаций были подтверждены градиентными одно- и многофакторными анализами и анализом корреляционных связей, выполненными в программной среде R!. Также была выполнена оценка степени корреляции между различными показателями биоразнообразия и факторами среды с использованием коэффициента корреляции Пирсона (при $p < 0,001$).

Для вывода графических изображений по результатам обработки геоботанических данных использовались средства визуализации в программах MS Excel, PC-ORD, R!, Statistica.

4 Результаты исследований

4.1 Растительный покров юго-восточного склона вулкана Пик Сарычева

Всего вдоль фоновой трансекты на юго-восточном склоне вулкана на 625 (125×5) заложенных учетных площадях отмечено 45 видов, сформировавших выраженные пояса растительности (участки растительности, занимающие склоны вулкана в определенном высотном диапазоне) и принадлежащих 44 родам и 27 семействам. Вдоль трансекты на отложениях лахара на 450 (90×5) отмечено 30 видов, участвующих в сложных поясах растительности, принадлежащих 30 родам и 18 семействам. По результатам кластерного анализа на обеих трансектах выделено 8 растительных поясов (табл. 1). Сходство парциальных флор умеренное – коэффициент Серенсена–Чекановского равен 0,52.

Фоновая трансекта берет начало с больших высот, в пределах которых растительный покров на отложениях лахара на момент проведения полевых изысканий не был сформирован даже фрагментарно. Во многом это объясняет различия в спектрах флор двух трансект. Доминирующими семействами по числу видов на фоновой трансекте стали семейства Asteraceae и Ericaceae, насчитыва-

ющие по 6 видов, на втором месте Rosaceae – 4 вида. Остальные семейства представлены 1–2 видами. На отложениях лахара лидеры иные: доминируют семейства Apiaceae и Rosaceae, каждое из которых насчитывает по 4 вида, на втором месте – семейства Asteraceae, Ericaceae, Poaceae, представленные каждое тремя видами. На отложениях лахара, по сравнению с фоновыми сообществами, отмечено статистически незначимое участие видов тундрово-высокогорной и сравнительно малое участие видов монтанной и собственно высокогорной эколого-ценотических групп. В пределах одних высот отмечено было сравнительно меньшее участие темнохвойно-лесной, лугово-лиственной и других групп, большее – луговой и синантропной, представлены виды лугово-приморской группы. Анализ представленных жизненных форм существенных различий не обнаружил. Также на отложениях лахара отмечено сравнительное преобладание видов-космополитов и крупного евразийского ареала, в то время как для фоновых сообществ – северотихоокеанского и циркумполярного, а также южных островных и прибрежных ареалов в регионе. Такое распределение хорошо иллюстрирует разные этапы становления растительного покрова: флора фоновых сообществ характеризует таковую для склонов вулканов, в то время как флора сообществ на отложениях лахара обнаруживает признаки сукцессионных смен.

Таблица 1 – Высотное распределение растительных сообществ фоновой трансекты и отложений лахара юго-восточного склона влк. Пик Сарычева

№ п/п	Сообщества фоновой трансекты			Сообщества трансекты на лахаре		
	Наименование кластера (по аспекту)	Усл. сокр.	Высота н.у.м. (м)	Наименование кластера (по аспекту)	Усл. сокр.	Высота н.у.м. (м)
1.	Горные тундры	MTD	760-680	Ольхово-разнотравно-осоковый разреженный	SPA	530-410
2.	Кустарниковый	SHR	680-650	Ольхово-разнотравный разреженный	AHS	410-350
3.	Кустарниковый разнотравный	SHH	460-440	Ольхово-разнотравно-злаковый разреженный	AHC	350-280
4.	Ольхово-вейниково-разнотравный	ARH	650-570	Ольховник злаково-разнотравный	ACH	280-220, 170-160
5.	Ольхово-ивовый вейниково-разнотравный	AWR	570-460	Ольхово-разнотравно-злаковый	ACE	120-100
6.	Ольховник рябиновый вейниково-разнотравный	RAR	410-370	Ольховник разнотравный	ALD	220-170
7.	Ольховник рябиновый шеломайниково-вейниковый	RAM	370-310	Ольховник разнотравно-вейниковый	AHR	160-140
8.	Ольховник шеломайниковый	AME	310-130	Ольховник разнотравно-злаковый	AHE	140-120

Для визуализации распределения растительного покрова двух трансект была выполнена ДСА-ординация (рис. 1, 2).

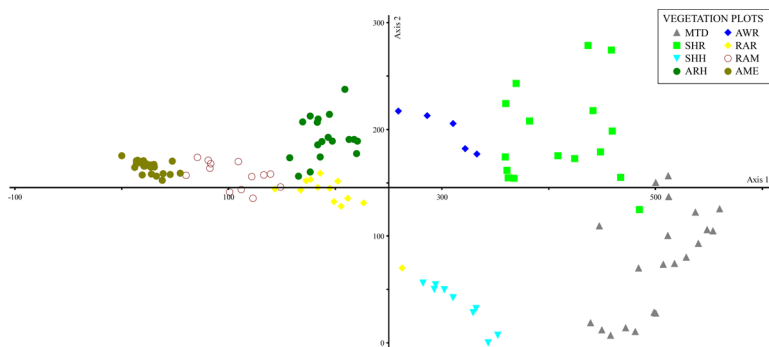


Рисунок 1 – DCA-ординация описаний растительности юго-восточного склона вулкана Пик Сарычева вдоль долины лахара

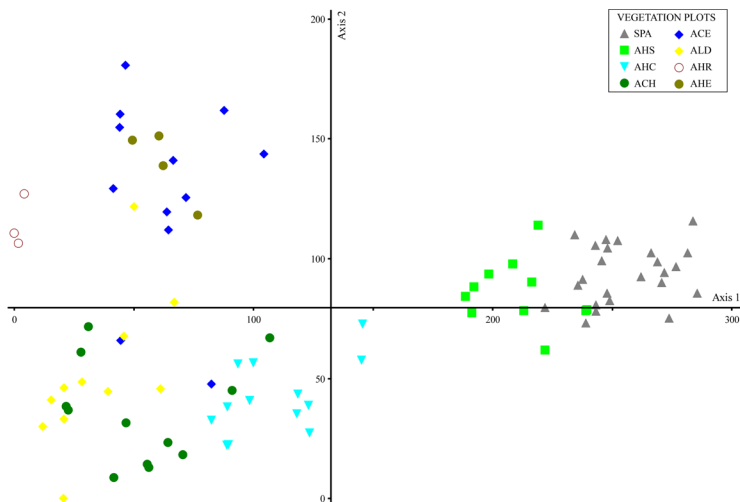


Рисунок 2 – DCA-ординация описаний растительности долины лахара на юго-восточном склоне вулкана Пик Сарычева

Коэффициент корреляции Пирсона между координатами первой оси ординации и высотой над уровнем моря составил $\approx 0,91$, что отражает четкую закономерность распределения растительных сообществ с высотой. Однако по причине неравномерного чередования разноувлажненных участков, а также ввиду отсутствия каких-либо других средообразующих или же ограничивающих развитие растительного покрова факторов, не коррелирующего тесно с высотой над уровнем моря (таких как мощность почвенно-плодородного слоя или показатели микроклимата высотных поясов), выявить статистически значимые корреляции координат второй оси с другими факторами среды (таких как уклон поверхности, степень увлажнения почв описываемого участка) не удалось.

Анализ показал, что, по сравнению с фоновыми сообществами, для долины лахара наименьший разброс координат отмечен на верхних участках склонов (и, как следствие, на маломощных почвах), увеличивающийся к подножию – коэффициент корреляции Пирсона между координатами распределения площадок по первой оси варьирования и высотой над уровнем моря составил $\approx 0,9$. Это хорошо отражает реальную картину: верхние участки на отложениях лахара заселены сравнительно меньшим числом видов по сравнению с нижними, тогда как для фоновых сообществ флористическое разнообразие отмечено, напротив, для верхних участков.

Поскольку лахар начал свое движение с высоты меньшей, чем та, что отмечена для верхней границы высотного профиля фоновых сообществ, почти все сообщества в кластерах характеризуются как ольховниковые с той или иной степенью его доминирования, что характерно для тех высот, в пределах которых он локализован. В целом, вплоть до высот 140–170 м над ур. м. смена растительных сообществ с высотой соответствует как характерной для высотной пояности, так и описанной в литературе [Гришин, 2012] и данной работе для юго-восточного склона вулкана; сходство парциальных флор умеренно-сильное – коэффициент Серенсена-Чекановского [Миркин, 1983] равен 0,52. Ниже, в условиях повышенной нагрузки на ландшафт со стороны техники, участие ольховника в сложении сообществ падает и аспект формируют уже ольхово-разнотравно-злаковые группировки. Со временем, при условии отсутствия прямого воздействия эруптивных продуктов в ходе извержений, разреженные сообщества верхних участков долины сменяют более сомкнутые (на 2017 год возраст ольховника долины лахара составлял 7–8 лет, в то время как на фоновых участках колеблется от 40 до 80), схожие с характерными для соответствующих поясов фоновой растительности.

Противоположная закономерность наблюдается при распределении координат площадок вдоль градиентов факторов. С целью объяснения противоположной дисперсии результатов описаний растительности двух трансект был выполнен сравнительный анализ различных показателей покрова (табл. 2).

Таблица 2 – Значения коэффициента корреляции Пирсона для различных фитоценотических параметров сообществ фоновых и долины лахара влк. Пик Сарычева

	h	f	ФН	Н	S	E	h	f	ФН	Н	S	E
h	1						1					
f	-0.96	1					-0.71	1				
ФН	-0.45	0.47	1				-0.01	0.42	1			
Н	-0.17	0.19	0.78	1			0.15	0.18	0.66	1		
S	0.04	-0.06	-0.58	-0.94	1		0.39	-0.23	0.40	0.85	1	
E	0.27	-0.26	0.13	0.63	-0.81	1	0.18	-0.10	0.32	0.85	0.92	1

Сокращения: h – высота над уровнем моря, f – общее проективное покрытие, ФН – флористическая насыщенность; индексы: Н – Шеннона, S – доминирования Симпсона, E – выравниности Пилоу

Сравнительный анализ результатов корреляции показателей сообществ и биоинформационных индексов с высотой выявил ряд как общих черт, так и отличий.

Для обоих высотных профилей характерно увеличение суммарного проективного покрытия всех видов с высотой над уровнем моря – между этими параметрами отмечена сильная отрицательная корреляция. Набор видов, харак-

терный для каждого профиля, тесно скоррелирован с индексом Шеннона, что свидетельствует о довольно хорошо дифференцированных уже на начальном этапе становления растительного покрова отдельных сообществах. Это подтверждается и индексом выравненности сообществ, сопоставимо тесно скоррелированным с индексом Шеннона для обоих профилей.

Несмотря на довольно полное освоение различными видами территории лахара – первые существенные признаки пространственной дифференциации растительного покрова, на данном этапе выявлены и значительные отличия. Для сообществ фонового профиля характерна отрицательная умеренная связь высоты над уровнем моря с показателем флористической насыщенности, в то время как для лахара этот показатель с высотой оказался не скоррелирован. Кроме того, положительная тесная связь отмечена между индексами Шеннона и Симпсона для сообществ на отложениях лахара. Это обусловлено рядом причин, главные из которых – равномерное распределение числа видов вдоль профиля вследствие отсутствия сомкнутых сообществ, а также отсутствие ярко выраженных одно-двух-доминантных сообществ.

4.2 Растительный покров Старозаводского сольфатарного поля

Очевидно, что случайный характер распределения выходов терм исключал возможность проведения стандартных методик геоботанических описаний. Придерживаясь теории поликлимакса Тенсли [Миркин, 2001] и концепции климакс-мозаики Уиттекера [Онипченко, 2013], суть которых заключается в одновременном существовании в пределах одной зоны различных климаксовых ценозов в зависимости от условий биотопа, в целях достоверного выявления влияния факторов на пространственную структуру растительного покрова было выполнено описание разноразмерных площадей исходя из однородности комплекса условий участка и структуры сообщества.

Сосудистые растения исследуемой части поля представлены 54 видами, принадлежащими 26 семействам; наибольшее количество видов относится к семействам Ericaceae (6), Asteraceae (6), Poaceae (5), Salicaceae (4) и Apiaceae (4), однако подавляющее число особей и ведущая роль в формировании аспекта принадлежит семейству Poaceae. Кроме того, в формировании аспекта отдельных микроучастков отмечен также печеночник *Solenostoma vulcanicola* (Schiffn.) Nyushko, образующий в нескольких местах выходов терм подушки, иногда сплошной покров. Наиболее многочисленными во флоре поля являются многолетние травы, составляющие порядка 56% от общего числа видов. Также, довольно велико число кустарников – около 20%. Практически отсутствуют одно-двулетники – обе жизненные формы представлены всего по одному виду. По числу видов доминируют виды циркумполярного географического элемента (ГЭ) – около 19% всех видов. Также, значительна доля видов южно-курильско-южно-сахалинско-японского и собственно восточноазиатского ГЭ – 13 и 11% соответственно. Элементы флоры поля являются преимущественно представителями широколиственно-лесной и темнохвойно-лесной групп в равном соотношении, составляя по 22% каждая всей флоры. Однако нельзя не отметить довольно хорошо представленные монтанные и гипарктомонтанные виды: в сумме они составляют около 19%, что немногим менее числа видов

преобладающих групп. Значительная доля приходится также на виды лугово-лиственно-лесной группы – 13%. Число видов остальных групп сравнительно невелико. Таким образом, приведенный набор видов на такой компактной площади (около 1,5 га) является весьма разнообразным и представлен большей частью жизненных форм и эколого-ценотических групп сосудистых растений Курильских островов. Кроме того, элементы флоры Старозаводского сольфатарного поля характерны более чем для половины географических элементов Курил. Сложная флористическая композиция поля отражает многообразие, в первую очередь, его эдафических условий, наличие множества микросайтов, резко отличных друг от друга мощностью почв и степенью их эрозии, а также по причине хаотичного распределения терм. Наличие мелких водотоков на территории поля дополнительно усложняет флористический ансамбль, обуславливая присутствие видов водно-болотного комплекса.

Вся территория поля, в несколько упрощенном виде, представляет собой ориентированную с юго-запада на северо-восток овальную площадь. По периметру поле обрамлено зарослями *Sasa* spp., на увлажненных участках перемежающегося колосняком, а на более прогретых и менее дренированных – ассоциациями багульника. На склонах отмечены преимущественно злаково-разнотравные сообщества, а на прирусловых участках заболоченные вейниковые и ситниковые пятна. Оголенные участки заняты в основном лишайниками с единичными экземплярами разнотравно-злаковой растительности.

Результаты кластерного анализа описаний растительности позволили выделить 10 растительных сообществ. По результатам кластерного анализа был выполнен ординационный анализ (рис. 3).

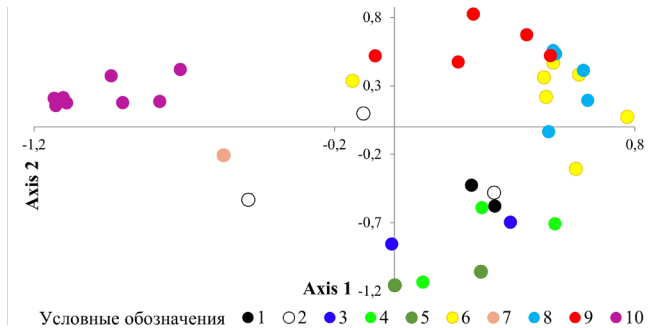


Рисунок 3 – Результаты NMS (Jaccard) ординации описаний фаций на исследуемой части Старозаводского сольфатарного поля. Цифрами обозначены сообщества: 1 – злаково-разнотравные, 2 – злаковые, 3 – тростниковые, 4 – вейниковые, 5 – ситниковые, 6 – с сильно-разреженным растительным покровом, 7 – сообщество с *Solenostoma vulcanicola*, 8 – миксантусовые, 9 – багульниковые, 10 – заросли *Sasa* spp.

На графике видно, что достаточно сильно обособлены сообщества *Sasa* spp., причем все также с минимальными различиями между собой. Все остальные кластеры распределились довольно равномерно, обнаруживая тренды как по оси абсцисс, так и ординат, демонстрируя сопоставимую значимость двух основных

факторов, определяющих расселение растительности в пределах исследуемой части поля. Часть кластеров при этом практически не пересекаются с другими, однако немало смежных и взаимно перекрывающихся координатных облаков. Это свидетельствует как о равной приуроченности отдельных растительных группировок к разной интенсивности того или иного фактора, так и о возможном совокупном действии этих факторов, приводящих к одному и тому же эффекту.

По результатам многофакторного анализа (среди факторов были также удаленность от грязевых котлов, постоянных и временных водотоков, уклон земной поверхности) было установлено, что факторами, регулирующими расселение видов в пределах поля, являются температура грунтов (коэффициент корреляции Пирсона между координатами второй оси варьирования и температурными данными составил $\approx 0,60$) и степень современной антропогенной нагрузки (коэффициента корреляции Пирсона между координатами первой оси варьирования и показателем нарушенности составил $\approx 0,70$). Результаты анализа влияния этих факторов на некоторые фитоценоотические показатели представлены в таблице 3. Также, совокупное действие этих факторов на показатели α -разнообразия растительного покрова поля показано на рисунке 4.

Вдоль комплексного градиента факторов отмечено увеличение биологического разнообразия, что объясняется снижением показателей участия аспектирующих видов (таких как *Sasa* spp., *Phragmites australis*) и увеличением доли других и видового разнообразия на участках. Это подтверждается снижением индекса доминирования и средневзвешенного покрытия. При показателе выше 4 картина фактически меняется: условия, обеспечившие сравнительно большее биоразнообразие, становятся лимитирующими, и все тренды меняют вектор на противоположный.

Таблица 3 – Коэффициент корреляции Пирсона для различных фитоценоотических показателей растительных кластеров с показателями температур грунта и антропогенной нарушенности

	Csum	Cwavg	N
t	-0,49	0,02	-0,63
D	0,27	-0,74	0,49

Сокращения: Csum – суммарное покрытие видов, Cwavg – средневзвешенное покрытие видов; N – число видов, t – температура грунта, D – показатель нарушенности

Примечательна закономерная, в целом, зависимость различных фитоценоотических характеристик и их производных при рассмотрении влияния отдельных факторов среды на пространственную организацию растительных сообществ поля и их комплексного показателя. Такая взаимосвязь, с учетом слабых колебаний значений того или иного фактора с течением времени, позволяет говорить о динамическом равновесии растительного покрова поля, в данный момент времени наиболее оптимально занимающих отдельные его участки.

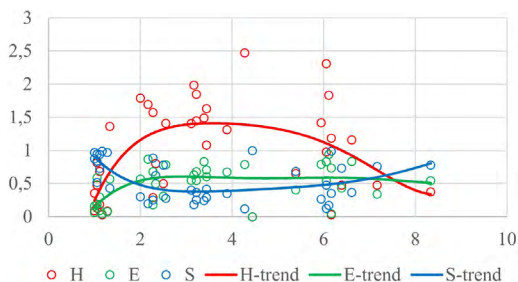


Рисунок 4 – Изменение показателей биологического разнообразия (индекс Шеннона-Уивера H), доминирования (индекс Симпсона S) и выравнивости (индекс Пилоу E, ось ординат) вдоль градиента комплексного действия факторов (ось абсцисс).

4.3 Общие закономерности и отличительные особенности формирования растительного покрова термальных зон и склонов вулканических построек

При изучении степени освоения растительностью термальных зон и склонов вулканов целесообразно провести некую параллель между градиентами продолжительных по времени эндогенных факторов и высотного положения сообществ. Для сформировавшихся растительных комплексов термальных зон и высотных растительных поясов характерна идентичная тесная связь между показателями биологического разнообразия и степенью доминирования тех или иных видов. Фитоценотические показатели сообществ вдоль градиента такого постоянного фактора, как высота над уровнем моря, также обнаруживают взаимозависимую динамику, которая хорошо коррелирует с информационными индексами биоразнообразия и характеризует комплекс видовых группировок как сформировавшиеся, или динамически равновесные (рис. 5).

Принципиальным отличием в формировании пространственной структуры растительного покрова вдоль градиентов факторов термальных зон и высотных профилей является их сравнительная неоднородность: с высотой наблюдается значительная большая общность отдельных участков растительного покрова, чем с ростом температур. Для термальных зон более однородны лишь участки со значениями, близкими к фоновым. Безусловно, во многом эта разница обусловлена спецификой пространственного распределения факторной нагрузки, а также толерантностью растений по отношению к каждому фактору. Кроме того, термические условия не связаны с такими факторами как уклон рельефа, степень увлажнения и некоторыми другими, потенциально определяющими набор видов биотопа, вследствие чего в пределах одного диапазона температур могут быть отмечены сильно различные комбинации видов. Вероятнее всего, при рассмотрении концентрической микропоясности растительности, формирующейся по мере удаления от постоянного точечного крупного выхода газогидротерм, будут наблюдаться более однородные сообщества, обнаруживающие малую дисперсию в пределах равной степени воздействия эндогенного фактора, поскольку распределение будет носить линейный характер.

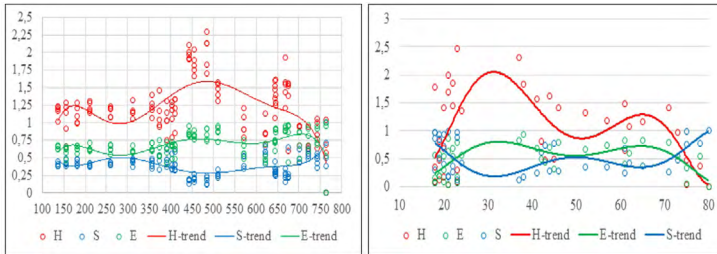


Рисунок 5 – Изменение значений показателей α -разнообразия (ось ординат) вдоль градиента высот (ось абсцисс) на юго-восточном склоне влк. Пик Сарычева (о. Матуа) (слева) и температур на Старозаводском сольфатарном поле влк. Баранского (о. Итуруп) (справа)

При сравнительном анализе растительного покрова лахара и фоновых сообществ нами установлено, что тренды их показателей разнообразия обнаруживают тесную взаимосвязь между собой, что подтверждает предположение о заселении растениями отложений лахара не только видами, типичными для того или иного пояса, но и в соответствующих соотношениях их участия. Однако открытость сообществ лахара, находящихся на стадии сложной группировки, является причиной значительно большей дисперсии показателей сообществ вдоль высотного градиента, схожей в этом отношении с дисперсией результатов описаний сообществ сольфатарного поля. Кроме того, на незамкнутость сообществ указывает и положительная корреляция показателей биологического разнообразия и доминирования, демонстрирующая в условиях сформированного комплекса сообществ как термальных зон, так и высотных профилей отрицательную связь, а также сравнительно выровненный тренд показателей флористической насыщенности по сравнению с четко выраженными синусоидальными, характерными для сольфатарного поля и высотного профиля.

4.4 Роль антропогенного фактора в формировании экосистем вулканов

В пределах ограниченной суши остро стоит вопрос сохранения целостности островных экосистем. Ввиду сложного рельефа и значительного удаления островных территорий друг от друга локальные экосистемы сильно разобщены, и серьезное нарушение баланса сформированных в них эколого-ценотических и других связей может привести к необратимым процессам смены одних элементов ландшафта другими. Такая проблема актуальна в связи с нерегулируемым использованием островных территорий в различных целях, начиная от трансформации вулканогенных ландшафтов таких уникальных природных объектов, как фумарольные и, в частности, сольфатарные поля, вследствие активного нерегулируемого посещения туристами и заканчивая механическим уничтожением тяжелой техникой почвенно-растительных компонентов малых островов – таких, как Матуа. И если извержения вулканов носят периодический характер и способствуют обогащению почв элементами минерального питания, а существование термальных зон зачастую и вовсе необходимо для поддержания биологического разнообразия региона, то нерациональное антропогенное вмешательство может существенным образом нарушить экологический баланс таких территорий.

Было проведено сравнение показателей сообществ на отложениях лахара – всех и антропогенно ненарушенных. Многие выявленные ранее связи между

фитоценоотическими характеристиками и показателями биоразнообразия в результате пересчета существенно возросли (табл. 4). В отличие от анализа показателей покрова всей трансекты, результаты корреляционного анализа ненарушенных сообществ не обнаружили сильной зависимости суммарного покрытия всеми видами территории от высоты. Это связано с высотным положением описанных площадок: в пределах верхних поясов растительности показатели покрова только начинают возрастать по мере продвижения вниз по долине. Этим же объясняется появление корреляционных связей между высотой и показателями биоразнообразия, отражающих относительную линейность их динамики. Перерасчет показателей позволил подтвердить выводы о причинах положительной корреляции индекса доминирования с другими биоинформационными показателями: как и другие индексы, он обнаруживает умеренную положительную корреляцию с высотой. В совокупности полученные данные предоставляют более полную картину восстановления растительного покрова лахара, анализ которых позволяет говорить о развитии сообществ на стадии сложной группировки.

Таблица 4 – Значения коэффициента корреляции Пирсона для различных показателей всех (левые столбцы) и ненарушенных (правые столбцы) сообществ лахара и высоты над уровнем моря

	h	f	ФН	Н	S	E	h	f	ФН	Н	S	E
h	1						1					
f	-0.96	1					-0,41*	1				
ФН	-0.45	0.47	1				0,22	0,03	1			
Н	-0.17	0.19	0.78	1			0,50*	-0,09	0,70**	1		
S	0.04	-0.06	-0.58	-0.94	1		0,61**	-0,18	0,44*	0,90**	1	
E	0.27	-0.26	0.13	0.63	-0.81	1	0,48*	-0,10	0,30	0,88**	0,94**	1

Сокращения: Csum – суммарное покрытие всеми видами, Cwavg – средневзвешенное покрытие, ФН – флористическая; индексы: Н – Шеннона, S – доминирования Симпсона, E – выравнинности Пилоу. *, ** – умеренная и сильная корреляции

В пределах основной части Старозаводского сольфатарного поля, где наблюдается наибольшая концентрация выходов термальных вод и грязей на месте бурения скважин в ходе геологоразведочных работ, результаты антропогенного вмешательства можно расценивать с двух позиций. С одной стороны, в ходе отсыпания дорог отвальными грунтами была захоронена северная часть поля, на месте которой сейчас образовались крутосклонные нестабильные осыпи, занятые в основном отдельными особями или пятнами растительности. Вытаптывание центральной части поля привело к образованию утрамбованных пустырей с единичными растениями. С другой стороны, на месте скважин сформировались уникальные растительные сообщества, отличающиеся спецификой флористического ансамбля в зависимости от интенсивности эндогенных процессов. Экологические цели при бурении скважин не преследовались, однако во многом существующей на сегодняшний день микропоясностью и многообразием представленных видов и их сочетаний Старозаводское сольфатарное поле «обязано» антропогенному вмешательству. По большому счету, этот случай является по-своему уникальным, поскольку в пределах этого географического объ-

екта человек невольно инициировал процессы усложнения фациальной структуры поля эндогенными силами – пример, отлично иллюстрирующий гипотезу умеренных нарушений [Миркин, 2012]. Однако для сохранения уникальности объекта необходимо дальнейшее ограничение вмешательства человека. В этом контексте видится особо необходимым присвоение таким уникальным природным объектам, как фумарольные поля, имеющим ограниченное распространение не только в конкретном регионе, но и в мире, особого природоохранного статуса. При проведении любых работ на островных территориях необходимо минимизировать угнетающее воздействие на экосистемы и сохранить ценные для их функционирования компоненты.

Выводы

1. Специфика пространственно-видовой организации растительного покрова, сформировавшегося за 8 лет в ходе вторичной сукцессии на отложениях лахара на юго-восточном склоне влк. Пик Сарычева (о. Матуа), позволяет характеризовать формирующиеся в первые годы на отложениях маломощных лахаров сообщества в ряду сукцессионных смен как комплекс сложных группировок.

2. Динамически равновесные сообщества для высотного профиля юго-восточного склона вулкана Пик Сарычева отмечены для зарослей ольховника возрастом около 40–50 лет. При отсутствии экстремального влияния природных и антропогенных факторов восстановление растительности до соответствующих фоновых сообществ произойдет не ранее чем через 30–40 лет.

3. Возросшая антропогенная нагрузка в пределах нижней части долины лахара на влк. Пик Сарычева препятствует восстановлению исходных сообществ, в результате чего наблюдается смена одного типа растительности на другой: относительно сомкнутые кустарниковые разнотравные сообщества сменяются сильноразреженными травянистыми.

4. Впервые был подробно описан растительный покров Старозаводского сольфатарного поля на юго-западном склоне влк. Баранского (о. Итуруп). На сегодняшний день список флоры поля насчитывает 54 вида сосудистых растений, принадлежащих 26 семействам и представляющих большую часть жизненных форм и эколого-ценотических групп сосудистых растений, а также более половины географических элементов Курил. Такое повышение биоразнообразия по сравнению с окружающими поле территориями связано с формированием сильноразрешенной микропоисности поля, обусловленной совокупным действием природных и антропогенных факторов.

5. Растительный покров Старозаводского сольфатарного поля сформирован сообществами, которые, согласно выявленным закономерностям распределения в пределах поля, ряду фитоценотических характеристик и их соотношений, позволяют характеризовать их как динамически равновесные. Это утверждение также справедливо и для других стационарно функционирующих фумарольных полей при постоянстве средообразующих факторов.

6. Антропогенное нарушение целостности ландшафтной структуры Старозаводского сольфатарного поля, с одной стороны, привело к повышению биологического разнообразия территории после буровых работ, а с другой – привело к угнетению почвенно-растительных компонентов ландшафта вследствие увеличения рекреационной нагрузки.

7. Постоянство факторов, регулирующих взаимное существование различных видов в растительных сообществах стационарных термальных полей и склонов вулканов, обуславливает развитие устойчивых, динамически равновесных сообществ. По ряду фитоценологических и биоинформационных показателей растительности сообщества термальных зон характеризуются как находящиеся на стадии сложных группировок в ряду сукцессионных смен – такие, как сообщества отложений лахаров. Для оценки актуального состояния растительности, находящейся на той или иной стадии сукцессии, оптимален совокупный анализ динамики фитоценологических показателей и индексов α -разнообразия вдоль градиентов регулирующих пространственно-видовую структуру факторов.

Статьи, опубликованные в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК

1. Романюк Ф.А., Кордюков А.В., Жарков Р.В. Эколого-географическая оценка современного состояния Старозаводского сольфатарного поля (вулкан Баранского, остров Итуруп) // Вестник ДВО РАН. – 2017. – № 1 (191). – С. 128–135.
2. Рыбин А.В., Дегтерев А.В., Дудченко И.П., Гурьянов В.Б., Романюк Ф.А., Климанцов И.М. Комплексные исследования на острове Матуа в 2017 году // Геосистемы переходных зон. – 2017. – Т. 1, № 4. – С. 21–29.
3. Романюк Ф.А., Кордюков А.В. Влияние поствулканической активности и техногенной нагрузки на формирование растительности Старозаводского сольфатарного поля (влк. Баранского, о. Итуруп) // Проблемы региональной экологии. – 2019. – № 6. – С. 11–20.
4. Romanyuk F.A., Kordyukov A.V. Vegetation cover of the lahar valley on the Sarychev Peak volcano (Matua Isl., Middle Kuril Islands) after the Eruption in 2009: current state and features of succession processes // Journal of Mountain Science. – 2021. – Vol. 18, N 7. – 1762-1777.

Работы, опубликованные в материалах международных и всероссийских конференций

5. Романюк Ф.А. Ландшафтная структура активных вулканов хребта Грозный (о. Итуруп, Курильские острова) // Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Невфегорска: сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием: в 2-х т. (Южно-Сахалинск, 26–30 мая 2015 года) / под ред.: Б.В. Левина, О.Н. Лихачевой. – Южно-Сахалинск: Ин-т морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2015. – С. 266–270.
6. Романюк Ф.А. Состояние растительного покрова долины лахара влк. Пик Сарычева после сильного эксплозивного извержения в 2009 г. на момент 2017 г.: Прибрежно-морская зона Дальнего Востока России: от освоения к устойчивому развитию: сборник материалов Международной научной конференции (Владивосток, 8–10 ноября 2018 года). – Владивосток, 2018. – С. 102–104.
7. Романюк Ф.А., Кордюков А.В. Современное состояние растительного покрова Старозаводского сольфатарного поля (влк. Баранского, о. Итуруп) // Геодинамические процессы и природные катастрофы: тезисы докладов III Всероссийской научной конференции с международным участием (Южно-Сахалинск, 27–31 мая 2019 года) / отв. ред. Л.М. Богомолов. – Южно-Сахалинск: Ин-т морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2019. – С. 175.
8. Romanyuk F.A., Kordyukov A.V. Specific structure of the vegetation cover of the Starozavodskoe solfataric field (Baransky volcano, Iturup island) in terms of the development of hydrothermal resources // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference «EarthScience». – 2020. – 022032.

РОМАНЮК Федор Александрович

**ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ
ФАКТОРОВ НА СТРУКТУРУ РАСТИТЕЛЬНОГО
ПОКРОВА ОТЛОЖЕНИЙ ЛАХАРОВ
И СОЛЬФАТАРНЫХ ПОЛЕЙ
НА КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВАХ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Подписано в печать 18.07.2023

Уч.-изд. л. 1,6. Усл. печ. л. 1,39. Зак. 8016 Тираж 100 экз.

Отпечатано в
Участок офсетной и оперативной полиграфии
ИМГиГ ДВО РАН
693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки 1Б