7

На правах рукописи

003465597

САМКОВА ТАТЬЯНА ЮРЬЕВНА

ВЛИЯНИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ПРОЦЕССА НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

(на примере Паужетской гидротермальной системы Камчатки)

Специальность 03.00.05 – ботаника

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

2 0 MAR 2009

Петропавловск-Камчатский — 2009

Работа выполнена в Институте вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения РАН

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор член-корреспондент РАН **Павлов Вадим Николаевич**

Официальные оппоненты: доктор биологических наук **Трулевич Наталья Владимировна** доктор географических наук, профессор **Огуреева Галина Николаевна**

Ведущая организация: **Ботанический институт имени В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург**

Защита состоится 10 апреля 2009 г. в аудитории М-1 в 15 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 501.001.46 в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119992, г. Москва, ГСП–2, Воробьевы горы, МГУ, Биологический факультет.
Факс (495) 939-43-09

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Автореферат разослан «10» марта 2009 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета **М.А. Гусаковская**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Исследования гидротермального (ГТ) процесса в областях современного и древнего вулканизма достаточно многочисленны (Аверьев, 1966; Набоко, 1963, 1980; Белоусов, Сугробов, 1976; Пампура, 1985; Ерощев-Шак, 1992; Карпов, 1988; Карпов, Ильин, 2006; и др.). Изучены различные аспекты взаимодействия термальных растворов с породами в недрах ГТ-систем и на их поверхности - в зонах разгрузки гидротерм. Исследована специфика почв на территории развития ГТ-процесса (Гольдфарб, 2005). Накоплен материал по флоре и растительности различных термопроявлений. В то же время механизм влияния ГТ-процесса на растительность на сегодняшний день остается недостаточно изученным.

Влияние ГТ-процесса на растительность ярче всего выражается в явлении микропоясности растительного покрова термальных полей. Многими исследователями отмечена связь между микропоясностью и такими факторами, как температурный режим почв, степень увлажнения субстратов, химизм термальных вод (Трасс, 1963; Плотникова, Трулевич, 1975; Рассохина, Чернягина, 1982; Нешатаева, 1994; и др.). Однако причины микропоясности в настоящее время однозначно не установлены. Требует дальнейшего изучения вопрос о роли температурного режима в распределении растительных группировок. Хотя многие исследователи отмечали зависимость распределения растительности от температуры почвы, неоднократно возникал вопрос: «могут ли столь несущественные разницы в температурах... в различных зонах быть причинными условиями [микропоясности]» (Трасс, 1963, С. 132). Для установления закономерностей связи между растительностью и температурными характеристиками почв необходимы детальные исследования. В то же время данные по температуре корнеобитаемого слоя почв и температурам на глубине 1 м имеют свои ограничения. Близповерхностные температуры зависят от погодных условий, а данные термометрической съемки на глубине 1 м получены с использованием недостаточно частой сетки измерений (20х20 м или 20х40 м), не позволяющей точно уловить изменения в растительном покрове в пределах термального поля. В связи с этим существует необходимость поиска таких показателей температурного режима, которые, с одной стороны, были бы независящими от колебаний температур, а с другой стороны - точно соответствовали бы изменениям в растительном покрове. Использование подобных показателей открыло бы новые возможности для анализа структуры растительного покрова в связи с характеристиками ГТ-процесса.

Целенаправленные исследования связи между растительностью и факторами среды на территории ГТ-систем проводились в США (Sheppard, 1971) и Новой Зеландии (Given, 1980; Burns, Leathwick, 1995). D.R. Given (1980) выделил пять зон, соотносящихся с температурой почв вдоль трансектов; выделение зон основывалось на флористическом составе и структуре растительного покрова. Обсуждались возможное влияние химического состава почв и скорость заселения растениями прогретых местообитаний.

Работы, в которых проводится комплексный анализ влияния ГТ-процесса на растительность, на сегодняшний день единичны, а для выделения ведущих факторов организации растительного покрова термальных полей требуются дальнейшие, более детальные исследования.

Цель работы - изучение влияния ГТ-процесса на растительность термальных полей – определила постановку и решение следующих **задач**:

1) изучить флористический состав и строение растительных сообществ термальных полей;

2) выявить разнообразие растительного покрова термальных полей на ценотическом уровне и определить особенности его пространственной структуры;

3) составить обобщенный экологический ряд сообществ, расположенных вдоль оси интенсивности ГТ-воздействия;

4) выделить регулирующие факторы и оценить их влияние на структуру растительного покрова;

5) на основе изучения сезонной динамики почвенных температур выявить устойчивые показатели температурного режима, характеризующие местообитания основных типов сообществ в пределах термального поля;

6) построить экологическую модель смены фитоценозов в зоне действия термопроявления;

7) установить закономерности связи между признаками растительных сообществ и характеристиками местообитаний, обусловленными ГТ-процессом.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались в 2008 году на расширенном заседании лаборатории геологии геотермальных полей ИВиС ДВО РАН, на заседании кафедры геоботаники Биологического факультета МГУ, на традиционной научной конференции, посвященной Дню Вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы» (Петропавловск-Камчатский, 2008). Отдельные результаты исследований докладывались на VIII международной научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей (Петропавловск-Камчатский, 2007), всероссийской научной конференции "100-летие Первой Камчатской экспедиции Русского географического общества" (Петропавловск-Камчатский, 2008), публиковались в виде тезисов докладов на конференции молодых исследователей и специалистов «Современный вулканизм: прогноз, динамика и связанные с ним процессы в недрах Земли и окружающей среде» (Петропавловск-Камчатский, 2000), на международной конференции «Социоэкономические и экологические проблемы устойчивого развития территорий с уникальными и экстремальными природными условиями» (Петропавловск-Камчатский, 2001), на конференции «Опасные природные процессы и экология Камчатки» (Петропавловск-Камчатский, 2002).

Публикации. По теме диссертации имеется 7 публикаций.

Личный вклад автора. Диссертационная работа является итогом 15-летних полевых исследований. Личный вклад автора состоит в постановке задач, разработке программы и методики исследований, выполнении полевых наблюдений и аналитических работ, систематизации и интерпретации геоботанических,

морфометрических, микроклиматических, почвенных, химико-аналитических данных; теоретическом обобщении экспериментальных и литературных материалов.

Научная новизна работы. Впервые предложена экологическая модель, объясняющая явление микропоясности на термальных полях. Выявлены факторы организации растительного покрова в пределах термального поля, прослежено изменение их значимости при различной интенсивности ГТ-воздействия. Впервые показано влияние рассредоточенного парения на структуру растительного покрова. Выделены экологические ряды сообществ вдоль градиента тепловой интенсивности ГТ-процесса. Выявлены закономерности связи зон различной интенсивности ГТ-процесса с видовым и ценотическим разнообразием. Впервые на материале многолетних исследований получены данные по сезонной динамике температурного поля для широкого спектра местообитаний термального поля. Предложена методика расчета показателя отепляющего воздействия ГТ-процесса, показана перспективность использования этого показателя для характеристики термальных местообитаний. Приведена комплексная характеристика экотопов термального поля, в том числе местообитаний редких видов: *Fimbristylis ochotensis, Agrostis pauzhetica,* мхов рода *Campylopus.* Сделаны новые флористические находки мхов, впервые обнаруженных в России и на Камчатке.

Практическая значимость. Предложенная модель экотопов, дифференцированных по интенсивности ГТ-процесса, может служить экологической основой для будущей классификации растительности термальных полей Камчатки. Предложенные методы могут быть применены при характеристике других термальных местообитаний. Результаты исследований могут быть использованы для разработки практических рекомендаций по охране природы и подготовки обоснований о необходимости особого статуса исследованных территорий. Результаты исследования планируется использовать в учебном процессе в курсе экологии растений на кафедре геоботаники Биологического факультета МГУ.

На защиту выносятся следующие **положения**:

1. ГТ-процесс выступает в роли мощного азонального фактора формирования структуры растительного покрова в пределах термальных полей Камчатки. Выделены экологические ряды растительных сообществ вдоль комплексного градиента тепловой интенсивности ГТ-процесса.
2. Растительные сообщества в пределах термальных полей индицируют в первую очередь не конкретные почвенные разности, а тепловую интенсивность современного ГТ-процесса.
3. Причиной микропоясного распределения растительных сообществ на термальном поле является существование зон различной тепловой интенсивности ГТ-процесса. Зоны дифференцируются на основе количественного показателя отепляющего воздействия, значения которого убывают в геометрической прогрессии от центра к периферии термоаномалии.

4. Главным агентом ГТ-воздействия, определяющим смену растительности в пределах термальных полей, является гидротермальный пар. Рассредоточенное парение служит важнейшим фактором организации растительных сообществ и является причиной резкого отличия растительности на участках рассредоточенного парения от растительности за пределами зоны парения.
5. Дифференциация растительного покрова термального поля в пределах зон различной интенсивности ГТ-процесса происходит по факторам щелочно-кислотных условий почв и увлажнения. Взаимодействие факторов, набор и сочетание которых закономерно варьируются в пределах термального поля, определяет значительное ценотическое разнообразие на небольшой территории.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, приложений. Общий объем работы 209 страниц. Работа содержит 69 рисунков и 33 таблицы. Список литературы включает 194 источника, из них 56 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю, д.б.н., профессору, член-корр. РАН В.Н. Павлову за ценные замечания и консультации, всестороннюю помощь и поддержку.

Автор признательна к.г.н. И.Л. Гольдфарбу за критические замечания и поддержку; д.б.н. П.Ю. Жмылеву, к.г.-м.н. И.Ф. Делеменю за критические замечания; к.г.-м.н. В.Л. Леонову, д.г.-м.н. С.Н. Рычагову за поддержку на разных этапах подготовки диссертации; С.Л. Алтухову – за многостороннюю техническую помощь при проведении полевых наблюдений и поддержку; начальнику ГП-1 Паужетка Л.И. Сажиной - за предоставление метеорологических данных. Большую помощь при определении мхов оказала Е.А. Игнатова, которой автор искренне благодарна.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1 СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Изучение флоры и растительности термальных местообитаний Камчатки вели В.Л. Комаров, Э. Хультен, П.Т. Новограбленов, С.Ю. Липшиц, Х.Х. Трасс, Л.С. Плотникова, Н.В. Трулевич, В.П. Смазнова, Л.И. Рассохина, О.А. Чернягина, В.В. Якубов, В.Ю. Нешатаева, В.Ю. Нешатаев, И.В. Чернядьева, В.Е. Кириченко, Л.В. Овчаренко, Е.С. Кузнецова, Д.Е. Гимельбрант и др. исследователи.

Опубликованы данные о флоре отдельных термопроявлений п-ва Камчатка, рассматривались пути формирования флоры термальных местообитаний. Изучалось явление микропоясности на термальных полях.

Недостаточно освещенной проблемой является анализ структуры растительного покрова территории термопроявлений. Проблема классификации растительности термальных полей в настоящее время находится на первых стадиях разработки. Не изучены сукцессионные изменения сообществ под влиянием динамики ГТ-процесса.

Материал по микропоясности отдельных термопроявлений остается в значительной мере разрозненным. Это связано со слабой сопоставимостью

данных разных исследований, в которых используются разные температурные характеристики (температуры корнеобитаемых слоев почвы или результаты термометрической съемки на глубине 1 м), а также с малой общностью видового состава растительности разных термопроявлений, отмечаемой в работах.

Противоречие, которое существует между фактом имеющихся различий во флоре и растительности разных термопроявлений и фактом одновременного наличия общих черт, требует разрешения. Одним из способов представляется разностороннее исследование растительности одного термального поля, детальное изучение многочисленных взаимосвязей между растительностью и факторами среды, с тем, чтобы в познании частных закономерностей возникло понимание общих закономерностей взаимосвязи растительности и факторов среды, обусловленных ГТ-процессом.

Глава 2 ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ПРЕДЕЛАХ ПАУЖЕТСКОЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Современные ГТ-системы Камчатки представляют собой циркуляционные системы термальных вод, возникшие в вулканотектонических депрессиях, грабенах или кальдерах (Пампура, 1985). Мощные эндогенные тепловые потоки и водно-газовые флюиды нагревают вышележащие породы. Холодные инфильтрационные воды, проникающие до глубин в несколько километров, поглощают тепло, обогащаются магматическими компонентами (CO_2, CH_4, NH_3, H_2S, Cl, B, Hg и др.) и по естественным трещинам вновь поднимаются вверх. Термопроявления (источники, гейзеры, паровые струи, грязевые котлы, участки парящей земли) распространены лишь в пределах термальных полей, соответствующих зонам тектонических разломов и трещин в породах фундамента (Белоусов, 1965; Леонов, 1989). На исследованных термальных полях (Верхнем, Восточно-Паужетском, Южный источник) разгрузка гидротерм происходит только путем пароотделения, наблюдаются паровые струи, грязевые котлы, участки парящей земли.

Химический состав гидротерм определяется составом внедренного флюида и реакциями взаимодействия раствор — порода. Разгрузка гидротерм сопровождается процессами газоотделения, конденсации парогазовой смеси, разбавления грунтовыми водами и окисления, что определяет приповерхностную дифференциацию химического состава растворов: от минерализованных (2,7-3,4 г/л) азотно-углекислых слабощелочных хлоридных натриевых вод до сульфатных и гидрокарбонатных вод (Пампура, 1980). На пути миграции термальных растворов происходит интенсивный метаморфизм пород, минерало- и рудообразование (Набоко, 1963, 1980; Карпов, 1988; Ерощев-Шак и др., 1977; и др.). В приповерхностных условиях формируется зона сернокислотного выщелачивания. В результате глубокой переработки пород кислыми сульфатными поровыми растворами образуются гидротермальные глины, в основном состоящие из каолинита, монтмориллонита, к которым примешиваются опал, алунит, гематит, пирит и др. минералы. Эти глины служат субстратом для почвообразования.

В районе исследований за пределами ГТ-систем распространены слоисто-пепловые вулканические почвы (Соколов, 1973). В пределах Паужетской ГТ-

системы встречаются специфические гидротермальные почвы (гидротермосоли), различающиеся по степени ГТ-проработки субстратов, физико-химическим и химическим свойствам и минералогическому составу (Гольдфарб, 2005).

Термальным полям свойствен выраженный микрорельеф. Воздействие гидротерм, вызывающее растворение первичных минералов почвообразующих пород и вынос вещества, приводит к увеличению количества пор и пустот в породах (Wilson et al., 1997) и, в итоге, к проседанию поверхности почв.

Особенности климата южной Камчатки обусловлены близостью холодных акваторий, интенсивной циклонической деятельностью и горным рельефом местности (Кондратюк, 1974). Среднегодовая температура воздуха в окрестностях п. Паужетка +1,9°С. Зима длится с середины ноября по первую декаду апреля. Средняя температура февраля -8,4°С. Лето наступает во второй половине июня и длится 3 месяца. Средняя температура июля +12,8°С. Среднегодовое количество осадков составляет 2056,1 мм. Минимум осадков приходится на июнь. Максимальное количество осадков выпадает в период с октября по декабрь. Основная масса осадков выпадает в виде снега.

В районе исследований растительность изучалась Н.В. Трулевич и Л.С. Плотниковой (1974), В.Ю. Нешатаевой (2002). На территории выражены три основных высотных пояса: лесной, стланиковый и горнотундровый. Лесная растительность представлена пойменными лесами из ивы удской (в пойме р. Паужетка) и каменноберезовыми лесами на склонах Камбального хребта (105–315 м над ур. моря). Стланиковый пояс (100 м — 800-900 м над ур. моря) представ-лен сообществами ольхового и кедрового стлаников. Горно-тундровый пояс (900-1000 м над ур. моря) образован сообществами горных кустарничковых тундр. Луговая растительность представлена крупнотравными гигромезофитными (шеломайниковыми) лугами, вейниковыми лугами, разнотравными мезофитными и гигромезофитными лугами, субальпийскими лугами (в поясе стлаников).

Глава 3 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу работы положены результаты комплексных исследований, проведенных автором на трех термальных полях Паужетской ГТ-системы (Верхнее, Восточно-Паужетское, Южный источник) в полевые сезоны 1990-1991 гг., в период стационарных наблюдений с 1993 г. по 2004 г. и в полевые сезоны 2006-2007 гг. За этот период было выполнено 400 геоботанических описаний, сделано 43 описания почв. Для определения щелочно-кислотных условий в почвах проанализирован 21 образец из верхних горизонтов почв на территории Верхнего термального поля. Заложено 20 экологических профилей. Закартирована растительность двух термальных полей – Верхнего и Восточно-Паужетского в масштабе 1:400. В работе приведен геоботанический план Верхнего термального поля, которое выбрано в качестве ключевого участка как самое большое по площади и как наиболее близко расположенное к метеопункту Паужетка. За период исследований многократно проведена термометрическая съемка, а также получены данные режимных микроклиматических наблюдений (на Верхнем термальном поле за 27 месяцев). Проведена снегомерная съемка.

Обработаны данные метеорологических наблюдений в п. Паужетка за семилетний период и построена климадиаграмма п. Паужетка.

В полевых исследованиях применялись традиционные методы. Велась работа на экологических профилях (Юнатов, 1964). Для решения задач инвентаризации использованы методы классификации сообществ. Картирование растительности осуществлялось методом площадной глазомерной съемки (Грибова, Исаченко, 1972). Микроклиматические исследования проводились методом маршрутных микроклиматических съемок.

Для выявления связи сообществ и видов с показателями интенсивности ГТ-процесса применялся метод прямой ординации по температуре корнеобитаемого слоя почв, по вертикальному температурному градиенту в почвенном профиле и по величине pH поверхностных горизонтов почв.

Методы обработки данных включали в себя как стандартные процедуры, так и новые, предложенные впервые. Для выявления устойчивых характеристик температурного режима предложена методика расчета показателя отепляющего воздействия по данным режимных микроклиматических наблюдений. На основе этого показателя выделены зоны различной тепловой интенсивности ГТ-процесса и построена гипотетическая экологическая модель микропоясного комплекса. На основе данных площадной термометрической съемки сообщества термального поля распределены по зонам различной интенсивности ГТ-процесса, выделены почвенные изотермы, соответствующие границам зон. Проанализированы особенности растительного покрова в разных зонах.

Работа на экологических профилях. Линия профиля пересекала участок термоаномалии. Работа на профиле включала в себя учет всех видов растений в полосе трансекта шириной 40 см; выделение растительных сообществ, измерение их протяженности и геоботаническое описание; измерение температуры корнеобитаемого слоя почвы (на глубине 5 см) через равные промежутки (0,5 м или 1,0 м) вдоль линии профиля. На отдельных профилях закладывались почвенные разрезы, выполнялись морфологические описания почв и проводились измерения температуры почв по почвенному профилю через каждые 10 см. Сообщества описывались в естественных границах ввиду их небольшой площади. Границы определялись на основе учета физиономического облика сообществ. В ходе геоботанического описания выявлялся флористический состав травяного яруса, оценивались проективное покрытие (в %%) травяного и мохового ярусов, средняя и максимальная высота травяного яруса, в некоторых случаях - высота отдельных растений. В описаниях использовалась шкала обилия Браун-Бланке. При описании отдельных сообществ учитывалось проективное покрытие видов (в %%) на площадках 50 х 20 см, одно сообщество характеризовало несколько учетных площадок.

Виды сосудистых растений определены автором (Определитель..., 1981, Сосудистые растения..., 1985—1998). Латинские названия сосудистых растений даны по "Каталогу флоры Камчатки (сосудистые растения)" (Якубов, Чернягина, 2004). Образцы мхов определены Е.А. Игнатовой (МГУ). Названия мохообразных даны по М.С. Игнатову и О.М. Афониной (1992), М.С. Игнатову и

Е.А. Игнатовой (2003, 2004).

Методы классификации растительности. В основу классификации сообществ Верхнего термального поля положены геоботанические описания и краткие характеристики выделов легенды к геоботаническому плану. Классификация построена для растительности небольшой территории (около 2 га) и решает прикладные задачи данного исследования. Масштаб выделения синтаксонов продиктован необходимостью детальной инвентаризация сообществ для выявления связи между сообществами и факторами среды. Классификация сообществ опирается на принципы классификации, разработанные в трудах В. Н Сукачева (1928), А. П. Шенникова (1964), Е. М. Лавренко (1959) и др. исследователей. При классификации сообществ термального поля частично применяется классификационная схема высших синтаксонов растительности п-ва Камчатка, разработанная В.Ю. Нешатаевой (2006).

Исследования изменчивости морфологических показателей, проективного покрытия, плотности побегов и жизненности особей полыни пышной (Artemisia opulenta). Показатели исследовались на 5 площадках (0,25 х 0,50 м) вдоль линейного трансекта длиной 15 м, пересекающего участок термоаномалии, при этом в пределах площадок измерялась температура почвы на глубине 5 см. На основе полученных данных проведена оценка виталитета ценопопуляций по методу Ю.А. Злобина (1996).

Режимные наблюдения за температурой почв. Методы полевых наблюдений. Режимные наблюдения за температурой корнеобитаемого слоя почв проводились на Верхнем термальном поле в периоды с марта 1997 г. по август 1998 г. и с октября 2000 г. по сентябрь 2001 г. на 10 стационарных точках, расположенных в типичных растительных сообществах в пределах термального поля и за его границами. Проводились замеры температуры почвы срочным термометром на глубине 5 см с периодичностью 1 раз в месяц. Количество измерений для одной точки составило от 27 до 22, минимальное количество - 13 измерений (в связи с мощным снежным покровом). Методы обработки данных. Полученные полевые данные сравнивались с результатами одновременных наблюдений на метеопункте Паужетка, расположенном в 700 м к северу от Верхнего термального поля. Для сравнения использовалась среднесуточная температура воздуха (рассчитанная по данным метеопункта Паужетка) в дни маршрутных микроклиматических съемок. Выбор среднесуточной температуры воздуха для сравнения с результатами измерений температуры корнеобитаемого слоя почвы продиктован следующими причинами. Известно (Лархер, 1978), что сомкнутая растительность, защищая почву от сильного притока и оттока радиации, выравнивает температурные условия в почве. Полевые измерения проводились на участках с различной степенью задернованности почвы и сомкнутости растительного покрова. Сгладить эти различия и соблюсти требование одновременности сравниваемых данных можно было путем использования для сравнения среднесуточной температуры воздуха. Высокое значение положительной корреляции (0,973) между среднесуточными температурами воздуха и температурами почвы за пределами термального поля подтвердило правомочность такого подхода.

Среднесуточная температура воздуха рассчитывалась как средняя арифметическая максимальной и минимальной температур, зафиксированных в течение суток метеопунктом Паужетка. Для каждой точки была подсчитана разность между температурой корнеобитаемого слоя почвы ($x_п$) и среднесуточной температурой воздуха ($x_в$) в каждый день наблюдений ($x = x_п - x_в$). Различия между точками по этому показателю (x) связаны с отепляющим воздействием ГТ-процесса. Поэтому данный показатель получил название **«показатель отепляющего воздействия»**. Далее для каждой точки было подсчитано среднее значение показателя отепляющего воздействия (средняя арифметическая из значений показателя для каждого дня измерений). В качестве обобщающего показателя вариации величины отепляющего воздействия определялось среднее квадратическое отклонение. В итоге каждую точку характеризовало определенное значение показателя отепляющего воздействия. Это означало, что данное местообитание теплее воздуха в среднем на эту рассчитанную величину независимо от сезона. Предложенный показатель позволил снивелировать периодические колебания температур почвы и воздуха и выделить постоянную величину тепловой аномалии, характеризующую тепловую интенсивность ГТ-процесса в данном местообитании. Дальнейшее использование показателя в проводимом исследовании доказало его практическую ценность и позволило выявить важные закономерности.

В результате был получен ряд показателей, характеризующий каждую точку наблюдений (максимальные и минимальные температуры почвы, амплитуда колебаний температуры почвы, значение корреляции между температурами почв и воздуха, среднее значение показателя отепляющего воздействия, среднее квадратическое отклонение). Ранжирование точек по этим показателям привело к объединению точек с близкими значениями показателей в группы, которые рассматривались как зоны различной тепловой интенсивности ГТ-процесса.

Площадная термометрическая съемка. Измерялась температура субстратов на глубине 5 см, с привязкой к выделенным на термальном поле геоботаническим контурам. Поскольку измерялась температура поверхностных горизонтов почв, подверженных погодным ритмам, для унификации в работе используется срез распределения температур по площади поля за один осенний день (29 октября 2002 г.), выбранный произвольно. Была определена средняя температура почв для ассоциации. Сообщества Верхнего термального поля были проранжированы по средней температуре почв. Весь полученный ряд сообществ были распределен по зонам различной интенсивности ГТ-процесса. Критериями распределения сообществ по зонам служила температура почв под сообществами, а также набор доминантных видов основных зон. Кроме основных зон выделены переходные зоны.

Глава 4 ФЛОРА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ТЕРМАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ ПАУЖЕТСКОЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

4.1 Флора термальных полей. Сосудистые растения, распространенные на территории и в ближайших окрестностях термопроявлений Паужетской

ГТ-системы в диапазоне высот 130–300 м над уровнем моря, насчитывают 112 видов и подвидов, относящихся к 91 роду и 38 семействам.

В пределах исследованных термальных полей обнаружены 24 вида и подвида листостебельных мхов, относящихся к 15 родам и 11 семействам. Степень специфичности выявленной бриофлоры термопроявлений высока. *Campylopus umbellatus* (Arn.) Paris и *Campylopus atrovirens* De Not (Leucobryaceae) впервые обнаружены в России, распространены только в пределах исследованных термальных полей. *Trematodon longicollis* Michx. впервые обнаружен на Камчатке и всего лишь второй раз в России, *Campylopus pyriformis* (Schultz) Brid. – второй раз на Дальнем Востоке (Игнатова, Самкова, 2006).

4.2 Растительность термальных полей. Закономерности растительного покрова Верхнего термального поля показаны на геоботаническом плане. Легенда к карте растительности содержит 75 выделов. Выделен один тип растительности – луга; 3 класса формаций; 15 формаций и 59 ассоциаций.

Схема классификации растительных сообществ Верхнего термального поля.

Класс формаций – крупнотравные гигромезофитные луга. Формация лабазника камчатского.

Класс формаций – настоящие луга. Группа формаций – крупнозлаковые луга ГТ-прогретых местообитаний. Формации: вейника Лангсдорфа; пырея ползучего. Группа формаций - мезофитные луга ГТ-прогретых местообитаний. Формации: герани волосистоцветковой; василистника малого; анафалиса жемчужного; полыни пышной; лапчатки побегоносной. Группа формаций – гигромезофитные луга ГТ-прогретых местообитаний. Формации: кровохлебки тонколистной; полевицы шероховатой; росички обыкновенной; зюзника одноцветкового. Группа формаций – ксеромезофитные луга ГТ-прогретых местообитаний. Формации: овсяницы красной; щавелька обыкновенного.

Класс формаций – термофитные луга. Формация фимбристилиса охотского.

Охарактеризована растительность выделенных синтаксонов.

Для горизонтальной структуры растительности всех трех исследованных полей (Верхнего, Восточно-Паужетского и Южный источник) характерны сочетания фитоценозов, образующие комплексы поясного строения. В геоботанической литературе нет единой терминологии территориальных единиц растительного покрова. Микропоясные комбинации сообществ называли комплексами (Алехин, 1925; Глумов, 1948; Воронов, 1973), экологическими рядами (Карамышева, Рачковская, 1962, 1967; Гуричева, 1965), микропоясными рядами (Грибова, Исаченко, 1972).

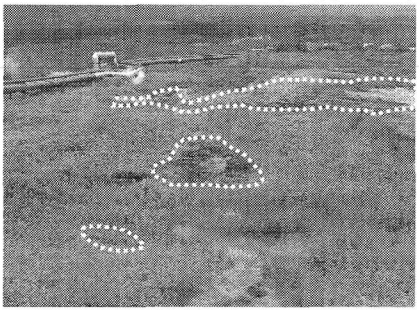

Рис. 1. Полицентрическая комплексность на Верхнем термальном поле. Пунктирной линией обозначены центральные зоны микропоясных комплексов.

Линейные размеры микропоясных комплексов на исследованных термальных полях варьируются от нескольких метров до нескольких десятков метров. Чаще встречаются микропоясные комплексы, диаметр центральной зоны которых составляет 4–5 метров. Встречаются концентрические, эксцентрические, мозаичные микропоясные комплексы, которые, располагаясь на близких расстояниях, создают картину полицентрической комплексности (рис. 1).

Последовательно сменяющие друг друга сообщества микропоясных комплексов по сути являются экологическими рядами. Смена сообществ происходит вдоль градиента температуры почв, а с учетом сопутствующего комплекса факторов - вдоль комплексного градиента тепловой интенсивности ГТ-процесса. Тепловая интенсивность связана с другими аспектами ГТ-процесса. Температура контролирует фазовые превращения гидротерм, является одним из важнейших факторов, определяющих положение уровня приповерхностного вскипания, уровня конденсации пара и генетически связанных с ними подзон зоны аргиллизации (Ерощев-Шак и др., 1977).

Сопоставление множества экологических рядов, составляющих микропоясные комплексы на исследованных термальных полях, позволило выявить обобщенный экологический ряд сообществ, сменяющих друг друга по мере удаления от термопроявлений. В мезоморфных условиях это ряд сообществ: *полевицево-фимбристилисово-зеленомошные — росичковые — лапчатковые — полынно-лапчатковые — лапчатково-полынные — полынные — сообщества разнотравных лугов — сообщества крупнотравных лугов.* В гигромезоморфных условиях реализуется другой эколого-фитоценотический ряд: *полевицево-фимбристилисово-зеленомошные — росичковые — полевицевые — полынные — ирисово-кровохлебковые — вейниковые сообщества.*

Глава 5 ВЕДУЩИЕ ФАКТОРЫ

ГТ-процесс существенно меняет как прямые, так и косвенные факторы среды фитоценозов. К прямым факторам, испытывающим воздействие ГТ-процесса, относятся физиологически действующие режимы среды: в приземном слое воздуха – тепловой, газовый режим и режим влажности воздуха, в почве – тепловой, водный, почвенно-воздушный режим и режим почвенного раствора. Косвенное воздействие оказывают изменяющиеся под влиянием ГТ-процесса энтопические условия: микрорельеф и гранулометрический состав почв. Все эти факторы составляют комплексный градиент. Из общего комплекса факторов, порождаемых ГТ-процессом, выделены ведущие факторы, отвечающие за смену сообществ.

5.1 Закономерности связи между морфологическим строением почв, интенсивностью современного гидротермального процесса и растительными сообществами. Наиболее явные изменения под воздействием ГТ-процесса претерпевает морфологическое строение почв. В пределах ГТ-систем выделены (Гольдфарб, 2005) три группы почв, связанные с участками различной интенсивности ГТ-воздействия: почвы на пирокластических субстратах (без морфологически видимых признаков ГТ-изменения) распространены за пределами термаль-

ных полей; почвы, частично преобразованные ГТ-процессом, формируются в зоне слабого или умеренного ГТ-воздействия; почвы на ГТ-субстратах формируются в зоне наиболее интенсивного ГТ-воздействия.

Динамика ГТ-процесса (активизация его на одних участках и угасание на других), а также консервативность морфологических характеристик приводят к тому, что картина связи между морфологическим строением почв и интенсивностью ***современного*** ГТ-процесса значительно усложняется. В результате пространственная структура морфологических изменений почв не вполне отражает пространственную структуру современного ГТ-процесса: есть как случаи соответствия между степенью трансформации морфологических особенностей почв и интенсивностью современного ГТ-процесса, так и случаи противоречия этих явлений друг другу. Последние позволили вычленить ведущие факторы.

Установлено два варианта сопряженности: 1) при сходном между собой морфологическом строении почвенных профилей наблюдаются разные значения вертикального температурного градиента в почвах и разные фитоценозы; 2) при разном морфологическом строении почвенных профилей отмечаются близкие значения среднего вертикального температурного градиента в почвах и температур на глубине 50 см, и, как следствие - близкие по флористическому составу фитоценозы.

Обнаружено достаточно четкое соответствие между растительными сообществами и значениями среднего вертикального температурного градиента в почвах: полевицево-фимбристилисово-зеленомошное – 0,86°С/см; полынно-зеленомошное – 0,56°С/см; лапчатковое – 0,48°С/см; полынно-лапчатковое - 0,32-0,33°С/см; полынно-гераниевое – 0,19°С/см; кровохлебковое – 0,09°С/см.

Факт существования сходства в морфологическом строении трех близко расположенных друг к другу (на Восточно-Паужетском термальном поле) почвенных профилей при разных значениях вертикального температурного градиента в почвах и разных фитоценозах показал следующее. Факторы, связанные с глубокой трансформацией морфологических особенностей почв под действием ГТ-процесса (тяжелый гранулометрический состав, ухудшение водно-физических свойств, недостаток аэрации) продолжают оказывать влияние на растительность и после остывания субстратов. Тем не менее, они все же не препятствуют сукцессии. Сообщества расположены в той последовательности, как они сменяются во времени по мере угасания ГТ-процесса: полынно-лапчатковое — полынно-гераниевое — кровохлебковое.

Итак, растительные сообщества индицируют в первую очередь не конкретные почвенные разности, а интенсивность современного ГТ-процесса. Из этого следует, что: а) изменение экологических условий по мере активизации или угасания ГТ-процесса влечет за собой сукцессионные изменения сообществ; б) ведущими абиотическими факторами, детерминирующими смену сообществ, являются не консервативные характеристики, обусловленные ГТ-процессом, такие как общая мощность почв, мощности отдельных генетических горизонтов, гранулометрический состав, а динамичные факторы, существующие, пока существует интенсивный ГТ-процесс, и исчезающие вместе с затуханием процесса.

Такими ведущими факторами являются прогревание и поступление в корнеобитаемый слой почв гидротермального пара, несущего соли и газы.

5.2 Фактор температуры почвы. Экологическая модель микропоясного комплекса. Получены данные режимных микроклиматических наблюдений (рис. 2). На их основе выделены шесть зон различной тепловой

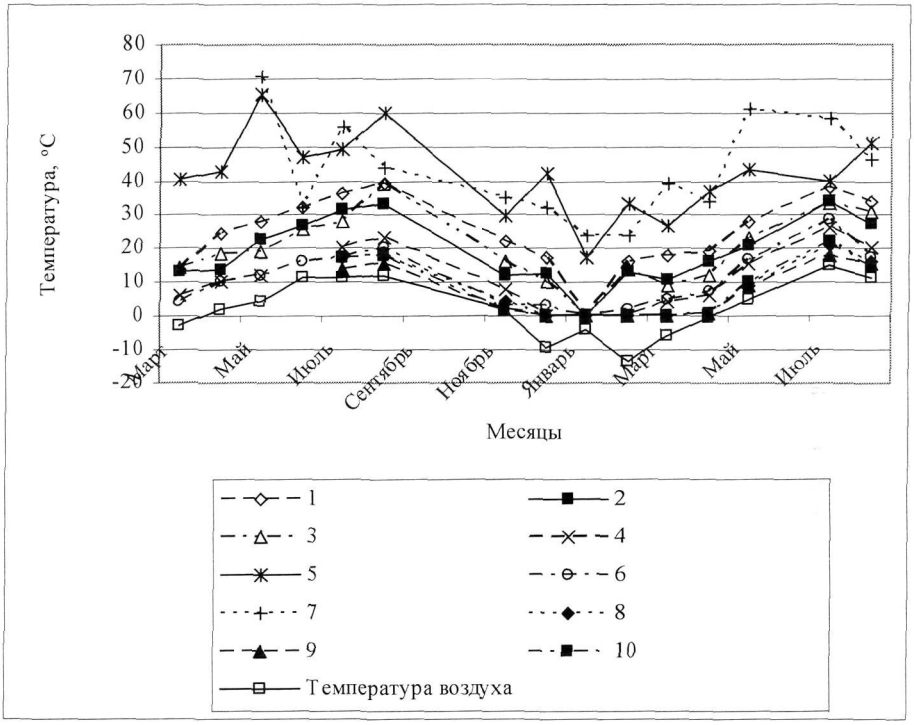

Рис. 2. Графики температуры воздуха и почвы на глубине 5 см в точках микроклиматических наблюдений (точки 1 – 10) в период с марта 1997 г. по август 1998 г.

интенсивности ГТ-процесса. Местообитанию каждого сообщества отвечает свое значение показателя отепляющего воздействия; для сообществ одной зоны характерны близкие значения показателя (табл. 1). В то же время между зонами наблюдается разрыв по этому показателю. Дискретность классов параметров среды тем выше, чем более прогретым является местообитание. Распределение средних значений показателя отепляющего воздействия по зонам с растительным покровом (II, III, IV, V, VI) соответствует логарифмической кривой; по направлению от центра к периферии термоаномалии данный показатель убывает в геометрической прогрессии: 36,2 — 18,8 — 9,2 — 4,9 —2,9 (табл. 1, графа *8*). Если значение показателя отепляющего воздействия в центральной зоне термоаномалии принять за *x*, то следующая зона характеризуется величиной *x/2*, далее *x/4*, затем *x/8*, и, наконец, *x/16*.

Таблица 1. Температурные характеристики зон различной интенсивности гидротермального процесса (Самкова, 2007).

Сообщества	Номера точек	Температура почвы, °С		Годовая амплитуда температур почвы, °С	Коэффициент корреляции между температурами почвы и воздуха	Среднее значение показателя отепляющего воздействия, °С		Среднее квадратическое отклонение, °С
		максимальная	минимальная			для точек	для зоны	
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
Зона I – экстремально прогретые местообитания, лишенные растительного покрова								
Глинистая площадка, лишенная растительности	**7**	70,5	19,5	51,0	0,596	37,2	37,2	9,7
Зона II – экстремально прогретые местообитания								
Полевицево-фимбристилисово-зеленомошное (*Fimbristylis ochotensis, Campylopus umbellatus*)	**5**	65,0	17,0	48,0	0,580	36,2	36,2	9,1
Зона III – прогретые местообитания								
Полынно-лапчатковое (*Potentilla stolonifera, Artemisia opulenta, Rhytidiastrum squarrosum*)	**1**	39,0	11,0	28,0	0,878	21,1	18,8	4,2
Лапчатково-полынно-зеленомошное (*Artemisia opulenta, Potentilla stolonifera, Rhytidiastrum squarrosum*)	**3**	39,0	8,0	31,0	0,887	18,1		4,1
Лапчатковое (*Potentilla stolonifera, Rhytidiastrum squarrosum*)	**2**	34,0	8,0	26,0	0,870	17,1		4,3
Зона IV – умеренно прогретые местообитания								
Полынное (*Artemisia opulenta*)	**4**	26,0	4,0	22,0	0,906	9,7	9,2	3,3
Ирисово-кровохлебковое (*Sanguisorba tenuifolia*)	**6**	28,5	1,0	27,5	0,903	8,6		3,7
Зона V – слабо прогретые местообитания								
Василистниковое (*Thalictrum minus*)	**8**	21,5	2,0	19,5	0,873	5,6	4,9	3,4
Разнотравно-лапчатковое (*Potentilla stolonifera, Sanguisorba tenuifolia, Geranium erianthum, Anaphalis margaritacea, Artemisia opulenta*)	**10**	22,0	0,5	21,5	0,939	4,2		2,4
Зона VI – практически непрогретые местообитания								
Шеломайниковое (*Filipendula camtschatica*)	**9**	18,0	1,0	17,0	0,973	2,9	2,9	1,3

Выявленная последовательность зон различной интенсивности ГТ-процесса может быть представлена в виде концентрической структуры (рис. 3). В результате складывается картина пространственной структуры температурного поля очага термоаномалии, отраженной в пространственной структуре растительного покрова. Получившаяся гипотетическая концентрическая модель хорошо соотносится со структурой растительности микропоясного комплекса (рис.4) и является экологической моделью последнего. Смена зон различной интенсивности ГТ-процесса служит причиной образования микропоясных комплексов.

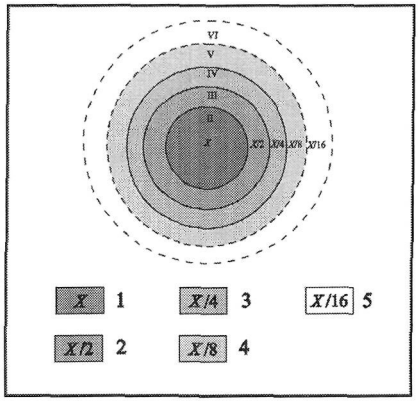

Рис. 3. Схематическая модель зонального расположения экотопов, дифференцированных по степени отепляющего воздействия (x), в радиусе действия термопроявления. Условные обозначения: 1 – зона II с максимальным значением показателя отепляющего воздействия; 2 – зона III с показателем отепляющего воздействия вдвое меньше максимального; 3 – зона IV с отепляющим воздействием вчетверо меньше максимального; 4 - зона V с отепляющим воздействием в восемь раз меньше максимального; 5 - зона VI с отепляющим воздействием в шестнадцать раз меньше максимального.

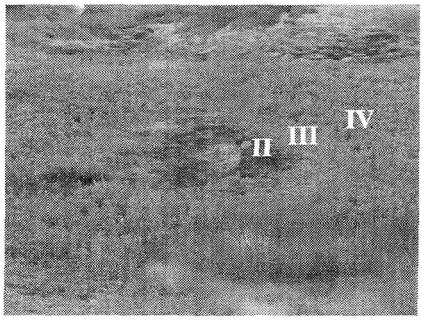

Рис. 4. Микропоясной комплекс на Верхнем термальном поле. Римскими цифрами обозначены зоны различной интенсивности гидротермального процесса: зона II – полевицево-фимбристилисово-зеленомошное сообщество; зона III – лапчатковое сообщество; зона IV – полынное сообщество.

Экологическая интерпретация параметров. Среднее квадратическое отклонение в статистике является мерилом надежности средней. В данном случае показатель имеет экологическую интерпретацию, являясь мерилом нестабильности условий местообитаний. Среднее квадратическое отклонение уменьшается от прогретых центральных частей термоаномалии к периферии (табл. 1, графа *9*). Это свидетельствует о крайне нестабильных условиях среды в центральных частях термоаномалии. К периферии стабильность условий среды возрастает.

5.3 Влияние других обусловленных современным гидротермальным процессом факторов. *Рассредоточенное парение.* К переменным факторам, изменяющимся в пространстве вместе с вариациями интенсивности ГТ-процесса, относится поступление в корнеобитаемые горизонты почв гидротермального па-

ра. На самых прогретых участках вся поверхность интенсивно парит, это явление получило название рассредоточенного парения. Известно (Вакин и др., 1976), что явление рассредоточенного парения приурочено к участкам с температурой на глубине 0,5 м выше 50°С. Согласно нашим исследованиям, к границе рассредоточенного парения, т. е. к участкам с изотермой около 50°С на глубине 0,5 м приурочены полынно-лапчатковые сообщества. Они соответствуют границе зоны III или, если соотнести их с картой распределения осенних температур на глубине 5 см — изотерме 20°С. Рассредоточенное парение служит важнейшим фактором организации растительных сообществ, являясь причиной резкого отличия растительности участков рассредоточенного парения от растительности участков вне его. Область рассредоточенного парения индицируется хорошо выраженным моховым покровом, небольшим общим числом видов сосудистых растений и малым числом видов в сообществах, низкорослостью растений (см. главу 6). Растительность за границей рассредоточенного парения характеризуется изреживанием мохового покрова, ростом общего числа видов сосудистых растений, увеличением жизненности растений.

Экологическое значение границы рассредоточенного парения, приуроченной к границе зоны III, определяется резкой сменой условий: за пределами этой границы пар не достигает корнеобитаемого слоя почв, что резко повышает степень комфортности местообитаний.

Таким образом, гидротермальный пар является главным агентом ГТ-воздействия, определяющим смену растительности в пределах термальных полей и разделение растительного покрова термального поля на две резко отличающиеся части.

Засоление. Влияние парения на структуру растительного покрова усиливается благодаря засолению почв. Засоление происходит, когда парогазовая смесь охлаждается до температуры конденсации в пределах почвенного профиля; при более высоких и более низких температурах соленакопление снижается (Гольдфарб, 2005). Исходя из этого, можно заключить, что граница рассредоточенного парения связана с участками максимального содержания солей в почвах. Это подкрепляется экологическими свойствами вида, наиболее обильного вблизи границы рассредоточенного парения — лапчатки побегоносной (*Potentilla stolonifera*). Ее отличает способность произрастать на засоленных почвах: типичные местообитания *Potentilla stolonifera* на Камчатке находятся у моря (Якубов, Чернягина, 2004).

На основе сопоставления данных литературных источников и данных наших исследований можно предположить разную степень засоления почв в разных зонах. Граница зоны III связана с участками повышенного содержания солей в почвах. Почвы зон II и IV менее засолены.

Почвенно-воздушный режим. Разгрузка гидротерм на глубине сопровождается процессом газоотделения, следствием чего является изменение состава почвенного воздуха и приземного слоя воздуха над зонами повышенной проницаемости. В газовом составе паровых струй преобладают углекислый газ (83,17%), азот, установлены метан, сероводород, кислород

(Сугробов, Краевой, 1963; Белоусов и др., 1976). Как известно (Лархер, 1978), в воздухе содержится только около 0,03 об.% CO_2. В результате ГТ-процесса концентрация углекислого газа в почвах проницаемых зон повышается в десятки раз (Вакин и др., 1986). Можно предположить, что в зоне II происходит естественный отбор растений, устойчивых к этому повреждающему фактору.

Щелочно-кислотные условия. Реакция водных суспензий в разных почвах в пределах Верхнего термального поля меняется в диапазоне от сильнокислой до слабокислой: от 3,95 до 6,36. Вследствие многофакторного влияния значения pH слабо коррелируют с температурой почв (коэффициент корреляции: -0,35). Однако зависимость между интенсивностью ГТ-процесса и значением pH прослеживается: с ростом температуры почв значения pH снижаются.

Зоны, выделенные по температурным характеристикам, подразделяются на подзоны, выделенные по критерию кислотности почв. Установлено, что в зоне II с экстремально прогретыми местообитаниями почвы преимущественно сильнокислые (pH 3,85–4,33); на периферии, на некотором удалении от паровых струй, встречаются слабокислые почвы (pH 6,12–6,36). В зоне III с прогретыми местообитаниями по реакции почв можно выделить три подзоны: слабокислых почв (pH 5,55–6,26), кислых (pH 5,35–5,45) и сильнокислых почв (pH 4,15). С подзоной слабокислых почв связана группа видов: *Potentilla stolonifera, Artemisia opulenta, Rhytidiastrum squarrosum.* На кислых почвах растут *Festuca rubra, Acetosella vulgaris, Artemisia opulenta, Rhytidiastrum squarrosum.* На сильнокислых почвах растут *Agrostis scabra, Digitaria ischaemum, Acetosella vulgaris.* В зоне IV с умеренно прогретыми местообитаниями выделяются две подзоны: слабокислых почв (pH 6,05–6,20) и кислых почв (pH 4,78–4,83). С подзоной слабокислых почв связана группа видов: *Artemisia opulenta, Prunella asiatica, Potentilla stolonifera.* Подзоне кислых почв отвечают виды *Iris setosa* и *Sanguisorba tenuifolia,* а также *Lycopus uniflorus, Acetosella vulgaris.* V зона характеризуется слабокислыми почвами (pH 5,63–6,26), на которых встречаются *Geranium erianthum, Potentilla stolonifera, Artemisia opulenta, Iris setosa.*

В соответствии с щелочно-кислотными условиями почв, в пределах термального поля выделяются два типа экологических рядов. Первый тип экологических рядов развивается на повышенных формах рельефа, в мезоморфных условиях; на протяжении ряда происходит смена сильнокислых почв кислыми, а затем слабокислыми почвами (рис. 5). Этот тип экологических рядов включает следующую последовательность сообществ: *полевицево-фимбристилисово-зеленомошное — росичковое — лапчатковое — полынно-лапчатковое — лапчатково-полынное — полынное — сообщества разнотравных лугов.*

Второй тип экологических рядов приурочен к пониженным формам рельефа с полугидроморфными условиями. На значительной части территории развиты сильнокислые почвы, которые с понижением температуры сменяются кислыми почвами (рис. 5). Экологический ряд включает в себя сообщества: *полевицево-фимбристилисово-зеленомошное — росичковое — полевицевое — полынное — ирисово-кровохлебковое — вейниковое.*

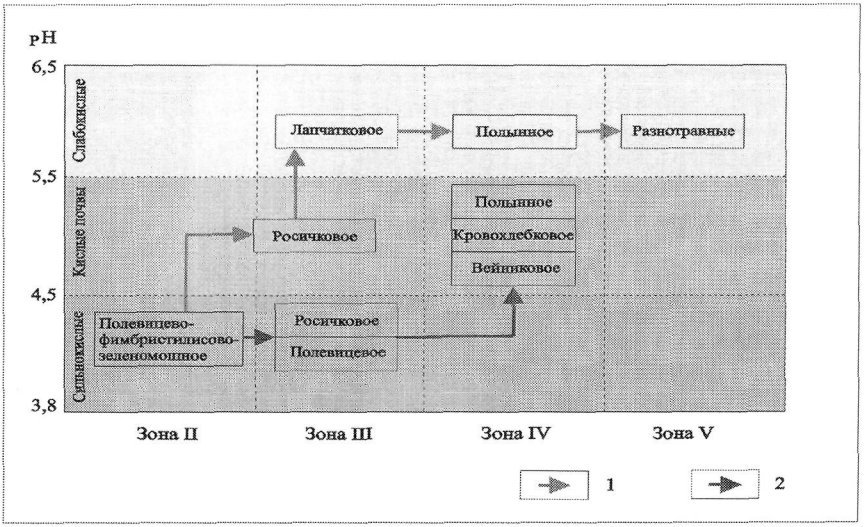

Рис. 5. Два типа экологических рядов сообществ: 1 – первый тип; 2 – второй тип.

Глава 6 ЗАКОНОМЕРНОСТИ СВЯЗИ РАСТЕНИЙ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ С ЗОНАМИ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ПРОЦЕССА

6.1 Анализ распределения мхов. Характерной особенностью растительного покрова ГТ-прогретых местообитаний исследованных термальных полей является наличие развитого мохового покрова. Развитие мохового покрова на ГТ-прогретых почвах объясняется, вероятнее всего, 1) рассредоточенным парением, создающим слой пара у поверхности земли; 2) слабой конкуренцией со стороны сосудистых растений на этих территориях.

В распределении видов мхов прослеживается четкая зональность.

В экстремально прогретых местообитаниях зоны II преобладают виды рода *Campylopus* (*Campylopus umbellatus, Campylopus atrovirens, Campylopus pyriformis, Campylopus subulatus*) и *Aulacomnium palustre*. Границы распространения видов рода *Campylopus* образуют отчетливые контуры, часто совпадающие с границами зоны II. За пределами зоны II они не встречаются и приурочены к экстремально прогретым местообитаниям на всех трех исследованных термальных полях.

Представители рода *Campylopus* характерны также для термальных полей на Гавайских островах (Kappen, Smith, 1980; Smith, 1981), в Японии (Glime, Iwatsuki, 1994), в Новой Зеландии (Given, 1980), на Южных Сандвичевых островах (Convey, Lewis Smith, 2006), в Антарктиде (Broady et al., 1987; Skotnicki et al., 2002; Bargagli et al., 2004).

Граница зоны II совпадает с кардинальной сменой доминантов, в моховом ярусе сообществ зоны III доминирует *Rhytidiastrum squarrosum,* образующий обширные покровы. За пределами зоны III моховой покров изреживается.

Границы хорошо развитого мохового покрова в общем согласуются с границами области рассредоточенного парения. Совпадение границ свидетельствует о роли гидротермального пара в развитии мохового покрова и позволяет рассматривать мощный моховой покров на термальном поле в качестве индикатора участков рассредоточенного парения.

Видовой состав мхов варьируется на разных термальных полях в связи с разными климатическими условиями, обусловленными разной абсолютной высотой полей. Наиболее сходен состав мхов экстремально прогретой зоны всех трех исследованных полей, включающий виды рода *Campylopus.*

6.2 Влияние гидротермального процесса на жизненность растений. Исследование изменчивости морфологических показателей, проективного покрытия и плотности побегов *Artemisia opulenta* в пределах термального поля показало, что интенсивный ГТ-процесс оказывает угнетающее действие на растения. Это проявляется в уменьшении средней высоты (от 115,1 см до 14,9 см) и среднего диаметра побегов (от 6,4 мм до 2,4 мм) *Artemisia opulenta,* снижении проективного покрытия вида по направлению к центру термоаномалии.

В пределах зоны III ценопопуляции *Artemisia opulenta* являются депрессивными, в зоне IV — прогрессивными. Столь значительные различия в жизненности растений сопряжены с тем, что между зонами III и IV проходит граница рассредоточенного парения. Депрессивность ценопопуляций *Artemisia opulenta* свидетельствует о сильном абиотическом стрессе, испытываемом растениями на участках рассредоточенного парения. В зоне IV вместе с увеличением жизненности растений и проективного покрытия вида отмечается снижение плотности побегов, что может свидетельствовать об усилении биотических факторов. Таким образом, относительная значимость абиотических и биотических факторов меняется по мере удаления от центра термоаномалии. В пределах участков рассредоточенного парения более значимы абиотические факторы, за их границами определяющая роль в организации сообществ переходит к биотическим факторам.

6.3 Проявления связи растений и растительности с зонами различной интенсивности гидротермального процесса. Выделено два возможных способа реализации экологических рядов, определяемых в зависимости от того, насколько быстро в пространстве меняются условия среды. Первый способ реализации осуществляется в быстро меняющихся условиях среды вокруг очага термоаномалии. Иллюстрацией может служить концентрический микропоясной комплекс, где экологический ряд сообществ выступает в наиболее отчетливом виде, наблюдается набор типичных сообществ. Второй способ реализации экологических рядов наблюдается в условиях мозаичного расположения участков с различной степенью прогретости и проявляется в виде мозаичного комплексного сочетания фитоценозов. С

мозаичными микропоясными комплексами связано большое разнообразие растительных сообществ, встречающихся в пределах термального поля.

Сообщества Верхнего термального поля соотнесены с зонами различной интенсивности ГТ-процесса гипотетической модели микропоясного комплекса. Установлен набор сообществ и определены интервалы температур почв на глубине 5 см для каждой из основных и переходных зон. Зонам соответствуют следующие интервалы температур почв (по данным за октябрь): зона II — 38–40°С; переходная зона между зонами II и III — 25–30°С; зона III — 20–24°С; переходная зона между зонами III и IV — 15–20°С; зона IV—10–13°С; зона V— 4–9°С; зона VI — 3–3,5°С. Границы между зонами связаны с почвенными изотермами: 30°С—25°С—20°С—15°С (13°С)—10°С(9°С)—4°С.

Исследование растительности Верхнего термального поля и анализ данных термометрической съемки показали, что границы зон модели соответствуют определенным почвенным изотермам (на глубине 5 см) и индицируются границами сообществ:

1) граница зоны II — граница экстремальных температур почв (30–25°С), индицируется границами полевицево-фимбристилисово-зеленомошных сообществ, границами распространения редких видов: *Fimbristylis ochotensis, Agrostis pauzhetica, Campulopus umbellatus, C. atrovirens, C. pyriformis*; 2) переходная зона между зонами III и IV — граница рассредоточенного парения (20–15°С), индицируется границей между полынно-лапчатковыми и полынными сообществами; 3) граница зоны IV — изотерма 10°С, индицируется границей между полынными сообществами и сообществами разнотравных лугов.

Анализ числа сообществ по зонам показал следующее. Минимальное количество сообществ встречается в зоне II. По направлению от зоны II к зоне IV происходит рост ценотического разнообразия, которое достигает максимума в зоне IV, затем происходит снижение числа сообществ.

ГТ-процесс является мощным фактором, нивелирующим влияние других факторов среды. Этим объясняется однотипность сообществ в центральных зонах термоаномалии. По мере ослабления интенсивности ГТ-процесса идет процесс дифференциации местообитаний, что находит отражение в увеличении числа сообществ. Сохраняющееся влияние ГТ-процесса, влияние других факторов среды, увеличивающееся число видов, способных произрастать в этих условиях – все это приводит к значительной дифференциации растительного покрова в умеренно прогретых местообитаниях зоны IV. Дальнейшее снижение влияния ГТ-процесса в зоне V приводит к уменьшению разнообразия экотопов.

Составлены списки доминантных видов сосудистых растений и видов-спутников для каждой зоны. К категории доминантов были отнесены виды с проективным покрытием более 10%. Видовой состав зоны VI подробно не анализировался из-за малой представленности зоны в пределах термального поля.

Общее число видов сосудистых растений последовательно возрастает по направлению от центральных зон к периферии термоаномалии, достигая максимума в зоне V; число доминантных видов достигает максимума в зоне IV,

что согласуется с максимумом числа сообществ в этой зоне; количество видов-спутников возрастает скачкообразно, достигая максимума в зоне V (табл. 2).

Таблица 2. Количество видов в зонах различной интенсивности ГТ-процесса

Зоны	Почвенные температуры на глубине 5 см, 29 октября	Количество видов в зоне		
		общее	доминантных	спутников
Зона II	38 - 40°С	3	2	1
Переходная зона между зонами II и III	25 - 30°С	8	8	-
Зона III	20 - 24°С	17	9	8
Переходная зона между зонами III и IV	15 - 20°С	29	7	22
Зона IV	10 - 13°С	33	12	21
Зона V	4 - 9°С	45	10	35

Выделены три скачкообразных изменения количества видов-спутников: 1) за изотермой 25°С (на глубине 5 см, в октябре), в зоне III; свидетельствует о преодолении рубежа экстремальных температур почв; 2) за изотермой 20°С, за границей зоны III; стремительное возрастание количества видов свидетельствует о резком изменении условий среды, обусловленном выходом за пределы области рассредоточенного парения; 3) за изотермой 10°С, в зоне V; связано с появлением многовидовых сообществ разнотравных лугов. Скачкообразные изменения количества видов характеризуют три наиболее значимые границы между зонами различной интенсивности ГТ-процесса.

Количество видов сосудистых растений в растительных сообществах Верхнего термального поля варьируется от 2 до 25. Наблюдается общая тенденция к увеличению числа видов с уменьшением интенсивности ГТ-процесса.

В зонах II, II-III и III (в интервале температур почв 20–40°С на глубине 5 см, в октябре) малое число видов в сообществах определяется абиотическими факторами. Среди них наиболее важными являются экстремальность и нестабильность условий среды. Высокое видовое разнообразие в условиях V зоны (4–9°С) определяется биотическими факторами. В переходной зоне III-IV (15–20°С), а также зоне IV (10–13°С) низкое и среднее видовое разнообразие определяется как биотическими факторами (в том числе конкурентным преимуществом доминирующих видов: *Artemisia opulenta* и *Calamagrostis purpurea* ssp. *langsdorffii*), так и сохраняющими свою контролирующую роль в умеренно прогретых местообитаниях абиотическими факторами.

6.4 Интегральные характеристики зон различной интенсивности гидротермального процесса. На основе изученных взаимосвязей между растительным покровом и факторами среды приводится набор характеристик, свойственных для каждой из зон различной интенсивности ГТ-процесса

(особенности температурного режима; степень стабильности условий среды; мощность и длительность залегания снежного покрова; щелочно-кислотные условия почв; доминантные виды; набор характерных сообществ). Мозаика сообществ термального поля отражает мозаику условий среды, определяемую взаимодействием исследованных факторов.

Выводы:

1. Флора термальных полей Паужетской ГТ-системы включает 112 видов сосудистых растений и 24 вида мхов. Мхи *Campylopus umbellatus* (Arn.) Paris и *Campylopus atrovirens* De Not впервые обнаружены в России, *Campylopus pyriformis* (Schultz) Brid. и *Trematodon longicollis* Michx. впервые найдены на Камчатке.
2. Характерна исключительно высокая степень ценотического разнообразия: в пределах только одного термального поля небольшой площади (2 га) выделяется 15 формаций и 59 ассоциаций луговой растительности.
3. В структуре растительного покрова термальных полей выражены концентрические и мозаичные микропоясные комплексы. Для них характерна одна и та же следующая последовательность сообществ: полевицево-фимбристилисово-зеленомошные — росичковые — лапчатковые — полынно-лапчатковые — лапчатково-полынные — полынные — сообщества разнотравных лугов — сообщества крупнотравных лугов, определяемая комплексным градиентом тепловой интенсивности ГТ-процесса.
4. Установлено, что растительные сообщества индицируют в первую очередь не конкретные почвенные разности, а тепловую интенсивность современного ГТ-процесса. Смена растительных сообществ в микропоясном комплексе четко сопряжена с изменениями температурных характеристик: температуры корнеобитаемого слоя почв, среднего вертикального температурного градиента в почвах, показателей сезонной динамики температуры почв (максимальной и минимальной температур, годовой амплитуды температур, среднего превышения температуры почвы над температурой воздуха).
5. Ведущими абиотическими факторами, детерминирующими смену сообществ в пространстве, являются динамичные факторы: прогревание и поступление в корнеобитаемый слой почв гидротермального пара. Изменение экологических условий по мере активизации или угасания ГТ-процесса влечет за собой сукцессионные смены сообществ.
6. Причиной микропоясного распределения растительных сообществ на термальном поле является существование зон различной интенсивности ГТ-процесса. Выделяется шесть зон различной тепловой интенсивности ГТ-процесса. Зоны дифференцируются на основе количественного показателя отепляющего воздействия, значения которого убывают в геометрической прогрессии от центра к периферии термоаномалии.
7. Главным агентом ГТ-воздействия, определяющим смену растительности в пределах термальных полей, является гидротермальный пар. Рассредоточенное парение служит важнейшим фактором организации растительных сооб-

ществ, являясь причиной резкого отличия растительности на участках рассредоточенного парения от растительности за пределами зоны парения. Участки рассредоточенного парения индицируются хорошо выраженным моховым покровом, небольшим общим числом видов сосудистых растений и малым числом видов в сообществах, низкорослостью растений. Растительность за границей рассредоточенного парения характеризуется изреживанием мохового покрова, ростом общего числа видов сосудистых растений и увеличением жизненности растений.

8. От центра к периферии термоаномалии растет общее число видов, число видов в сообществах и число сообществ. Максимальное число сообществ и местообитаний на территории термального поля приурочено к умеренно прогретой зоне за границей рассредоточенного парения. Максимальное число видов характерно для сообществ разнотравных лугов в слабо прогретых местообитаниях на периферии термоаномалии.
9. Зоны различной интенсивности ГТ-процесса кроме температурных характеристик различаются также по степени стабильности экологического режима, интенсивности парения, степени засоления, содержанию в составе почвенного воздуха магматогенных газов. Максимальное напряжение абиотических факторов наблюдается в пределах области рассредоточенного парения. За границей рассредоточенного парения значимость абиотических факторов в организации растительных сообществ снижается, а значимость биотических факторов возрастает.
10. Границы между зонами в предложенной гипотетической модели соответствуют почвенным изотермам и смене растительных сообществ в пределах термальных полей: 1) граница экстремальных температур почв (30°С–25°С на глубине 5 см в октябре) – граница зоны II - индицируется границами полевицево-фимбристилисово-зеленомошных сообществ, границами распространения редких видов: *Fimbristylis ochotensis, Agrostis pauzhetica, Campulopus umbellatus, C. atrovirens, C. pyriformis*; 2) граница рассредоточенного парения (20°С–15°С на глубине 5 см) - переходная зона между зоной III и IV - индицируется границей между полынно-лапчатковыми и полынными сообществами; 3) граница между умеренно прогретыми и слабо прогретыми местообитаниями (10°С на глубине 5 см), индицируется границей между полынными сообществами (зона IV) и сообществами разнотравных лугов (зона V). За пределами выделенных границ происходят скачкообразные изменения количества видов.
11. Факторами, определяющими дифференциацию растительного покрова внутри зон различной тепловой интенсивности ГТ-процесса, являются щелочно-кислотные условия почв и увлажнение. В соответствии с этим, на территории термального поля выделяются два типа экологических рядов. Первый тип включает следующую последовательность сообществ: *полевицево-фимбристилисово-зеленомошное — росичковое — лапчатковое — полынно-лапчатковое — лапчатково-полынное — полынное — сообщества разнотравных лугов* и развивается в мезоморфных условиях; в

начале ряда наблюдается смена сильнокислых почв кислыми, большая часть ряда связана со слабокислыми почвами. Второй тип экологических рядов связан с сильнокислыми и кислыми почвами: *полевицево-фимбристилисово-зеленомошное — росичковое — полевицевое — полынное — ирисово-кровохлебковое — вейниковое* сообщества.

12. Особенности растительного покрова в пределах термальных полей определяются взаимодействием факторов, набор и сочетание которых резко отличаются от характерных для зональных условий. По мере приближения к термопроявлениям меняется набор действующих факторов и нарастает их напряжение. В соответствии с этим растительные сообщества термальных полей по совокупности признаков (флористическому составу, проективному покрытию мохового и травяного ярусов, видовому разнообразию, жизненности растений) все более отличаются от зональных. Микропоясное строение растительного покрова термальных полей соответствует скачкообразному характеру изменений комплекса абиотических факторов.

Основные публикации по теме диссертации

1. **Самкова Т.Ю.** Структура растительности термального поля как отражение пространственной структуры гидротермальных процессов (на примере термальных полей Паужетской гидротермальной системы) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. — 2007. — № 2 (10). — С. 87–101.
2. **Самкова Т.Ю.** Структура растительности термального поля: индикационный аспект // Современный вулканизм: прогноз, динамика и связанные с ним процессы в недрах Земли и окружающей среде. Материалы конференции молодых исследователей и специалистов. Петропавловск-Камчатский, 22-23 ноября 2000 г. — Петропавловск-Камчатский, 2001. — С.87–89.
3. **Самкова Т.Ю.** Экологический анализ пространственного размещения растительных сообществ на территории геотермального поля // Социоэкономические и экологические проблемы устойчивого развития территорий с уникальными и экстремальными природными условиями: Материалы международной конференции. — Петропавловск-Камчатский, 2001. — С. 174–176.
4. Игнатова Е.А., **Самкова Т.Ю.** Campylopus umbellatus (Arn.) Par. (Leucobryaceae, Musci) – новый вид для России // Arctoa. — 2006. — № 15. — С. 215–218.
5. **Самкова Т.Ю.**, Игнатова Е.А. Мхи термальных полей в окрестностях пос. Паужетка (Южная Камчатка) и озера Карымское // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Материалы VIII международной научной конференции, посвященной 275-летию с начала Второй Камчатской экспедиции (1732-1733 гг.) — Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатпресс, 2007. — С. 97–98.
6. **Самкова Т.Ю**. Микропоясные комплексы на термальных полях Паужетской гидротермальной системы (Южная Камчатка) // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы конференции, посвященной Дню Вулканолога. — Петропавловск-Камчатский, 2008. — С. 244–253.

Размножено с готового оригинал-макета.
Формат 297/210. Заказ К-2210. Тираж 100 экз. 03.03.2009 г.
ООО РПП «Фон», тел. (415-22) 267-021
683006, г. Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, 9