

УДК 581.524:551.234

СВЯЗЬ МЕЖДУ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРОЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ПРОЦЕССА И РАСПРОСТРАНЕНИЕМ СООБЩЕСТВ ЛАПЧАТКИ ПОБЕГОНОСНОЙ НА ТЕРМАЛЬНЫХ ПОЛЯХ ПАУЖЕТСКОЙ И БОЛЬШЕ-БАННОЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА)

© 2014 Т.Ю. Самкова

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: samkova@kscnet.ru*

На термальных полях двух гидротермальных систем Южной Камчатки – Паужетской и Больше-Банной, изучено распространение сообществ формации *Potentilla stolonifera*. Установлено, что сходные растительные сообщества формации *Potentilla stolonifera* отражают сходную степень тепловой интенсивности гидротермального процесса на территории обеих гидротермальных систем. Сделан вывод, что сообщества формации приурочены преимущественно к прогретым местообитаниям со средней величиной тепловой аномалии в корнеобитаемом слое почв 23.1–11.6°C. Прослежена связь между распространением сообществ лапчатки побегоносной и участками расседоточенного парения на термальных полях.

Ключевые слова: гидротермальная система, термальное поле, лапчатка побегоносная, Камчатка.

Необходимым этапом при изучении высокотемпературных гидротермальных систем является оценка выноса тепла естественными термопроявлениями, которая обязательно предполагает термометрическую съемку с определением температуры на глубине 0.5-1.0 м (Вакин, Сугробов, 1986). Свой вклад в решение этой задачи вносит анализ структуры растительного покрова территорий гидротермальных систем.

Влияние гидротермального процесса на растительность очень ярко выражается в явлении микропоясности растительного покрова на термальных полях. Связь между растительностью и факторами среды на территории гидротермальных систем целенаправленно исследовалась в Новой Зеландии в XX в. (Burns, Leathwick, 1995; Given, 1980). Были выделены (Given, 1980) пять зон, соотносящихся с температурой почв вдоль трансектов; выделение зон основывалось на флористическом составе и структуре растительного покрова. Исследования Х.Х. Трасса (1963) положили начало изучению микропоясности растительности термопроявлений на Камчатке (Нешатаева, 1994; Нешатаева и др., 2013; Плотникова, Трулевич, 1975; Рассохина, Черныгина, 1982; Самкова, 2007 и др.). В то

же время, остается актуальным поиск общих закономерностей связи растительности и факторов среды, обусловленных гидротермальным процессом. В поиске этих закономерностей в данном исследовании взяты для сравнения две гидротермальные системы Южной Камчатки – Паужетская и Больше-Банная, сходные растительные сообщества, и применен единый подход к анализу связи между условиями среды и распространением растительных сообществ.

К числу общих черт, присущих растительности многих термальных полей на Камчатке, можно отнести широкое распространение сообществ формации *Potentilla stolonifera* – лапчатки побегоносной, которые встречаются на территориях Паужетской и Больше-Банной гидротермальных систем; Источников Академии Наук (в окрестностях о. Карымское); Русаковских и Хухлотвоямских горячих ключей; Апапельских горячих источников; Долины Гейзеров (Бакалин и др., 2008; Фукуда и др., 2007; Яблоков, Завадская, 2011).

Сообщества лапчатки побегоносной на территории Паужетской и Больше-Банной гидротермальных систем встречаются только в пределах термальных полей, а среди фоновой растительности их нет. Наблюдаемая связь между

сообществами *Potentilla stolonifera* и термальными полями является феноменом, изучение которого, по нашему мнению, может расширить представления о связи между гидротермальным процессом и растительностью.

В основу статьи положены материалы исследований, проведенных на территории Паужетской и Больше-Банной гидротермальных систем (рис. 1), которые относятся к числу самых крупных высокотемпературных систем на Камчатке. Исследования на термальных полях Паужетской гидротермальной системы (ПГС): Верхнем, Восточно-Паужетском и термопроявлении Южный источник (рис. 2) велись в период с 1990 г. по 2004 г. и в 2006–2007 гг. Исследования на территории Больше-Банной гидротермальной системы (ББГС) проводились в полевые сезоны 2010–2013 гг.

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ ПАУЖЕТСКОЙ И БОЛЬШЕ-БАНОЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Гидротермальная деятельность на территории Паужетской гидротермальной системы сосредоточена в пределах Камбального хребта, в приосевой части и на северо-западном склоне, а также у западного склона Камбального хребта в долине р. Паужетка (рис. 2). К долине р. Паужетка приурочены два исследованных термальных поля: Верхнее и Южный источник. Верхнее термальное поле (абс. высота – 170 м над у. м.) расположено на поверхности высокой правобережной террасы и занимает площадь 20100 м² (по изотерме 20°C на глубине 1 м); Южный источник, представляющий собой группу паровых струй, расположен в основании склона высокой правобережной террасы р. Паужетка (130 м над у. м.). Восточно-Паужетское термальное поле (абс.

высота – 296 м над у. м.) расположено на северо-западном склоне Камбального хребта в долине крупного левого притока руч. Быстрый, занимает площадь 11570 м² (по изотерме 20°C на глубине 1 м) (Белюсов и др., 1976).

Поверхностные термопроявления Больше-Банной гидротермальной системы – Большие Банные и Малые Банные источники (рис. 1). Больше-Банные источники расположены у северного подножия вулканического массива сопки Горячей, преимущественно на левом берегу р. Банная. Показано (Леонов и др., 2008), что большую роль в строении термального поля Больше-Банного геотермального месторождения играют разрывные нарушения северо-западного направления, пересекающие долину р. Банная и существенно перераспределяющие поток термальных вод и пара, поступающий с глубины. В результате на поверхности формируется термальная площадка, вытянутая вдоль линии разлома северо-западного простирания. Основное термальное поле расположено в интервале высот ~ от 400 до 440 м над у. м.

На исследованных термальных полях Паужетской гидротермальной системы разгрузка проявляется в виде паровых струй, грязевых котлов, участков парящей земли. На Больше-Банном термальном поле, на площади ~0.5 км², наблюдаются горячие и пульсирующие источники, паровые струи, грязевые и паровые котлы, обширные прогретые площадки. Температура воды в источниках колеблется от 20–30°C до 90–99°C (Краевой и др., 1976).

Паужетские глубинные гидротермы в зоне разгрузки представляют собой азотно-углекислые щелочные воды преимущественно хлоридно-натриевого состава. Воды характеризуются общей минерализацией 2.7–3.4 г/л



Рис. 1. Районы исследований: 1 – Паужетская гидротермальная система; 2 – Больше-Банная гидротермальная система.

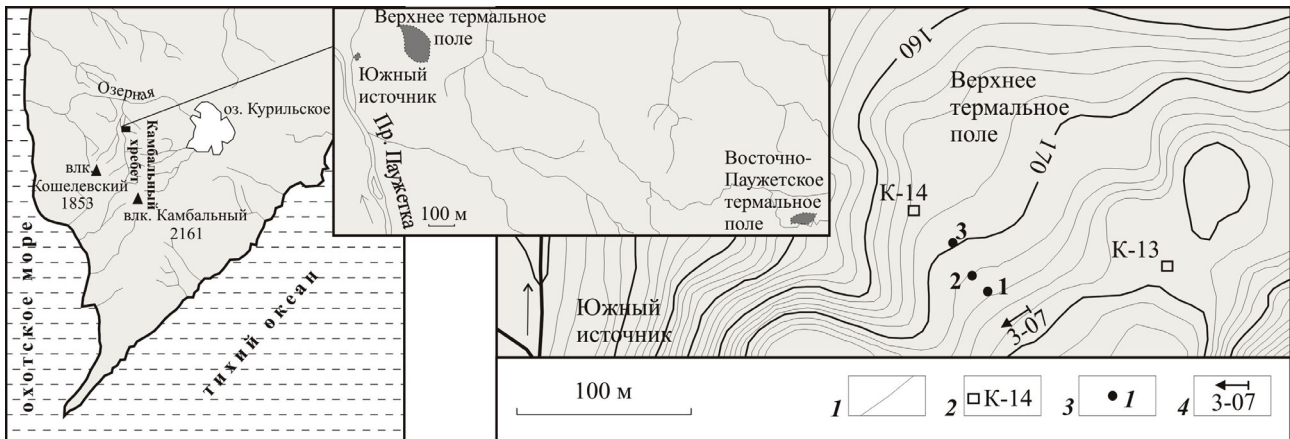


Рис. 2. Карта-схема района работ в пределах Паужетской гидротермальной системы: 1 – горизонталы; 2 – скважины; 3 – точки режимных наблюдений; 4 – экологический профиль.

(Пампура, 1980). По химическому составу воды Больше-Баннх источников сульфатно-хлоридно-натриевые с минерализацией от 0.5 до 1.2-1.4 г/л, по газовому составу они относятся к азотно-углекислым (Краевой и др., 1976).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе наших исследований на термальных полях закладывались экологические профили по принятой методике (Юнатов, 1964). Линия профиля пересекала участок термоаномалии. Работа на профиле включала в себя учет всех видов растений в полосе трансекта шириной 40 см; выделение растительных сообществ, пересекаемых профильным ходом, установление их границ, 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 Верхнем термальном поле ПГС получены данные режимных микроклиматических наблюдений по температуре почвы на глубине 5 см, на 10 стационарных точках за 27 месяцев. На Больше-Банном термальном поле проведена серия режимных измерений на 21 стационарной точке в течение 8 дней (август–сентябрь 2013 года). В настоящей работе рассмотрены данные, характеризующие местообитания лапчатковых сообществ: данные по трем точкам на Верхнем термальном поле ПГС: т.т. 1, 2, 3 (рис. 2) и по пяти точкам: т.т. Т16, Т7, Т17, Т5, Т20 (рис. 3) на Больше-Банном термальном поле.

За период исследований проводилась термометрическая съемка (измерение близповерхностных температур) на глубине 0.05 м на термальных полях обеих гидротермальных систем. На Больше-Банном термальном поле была также проведена термометрическая съемка на глубине 0.5 м, сопряженная с геоботанической съемкой. В результате для растительных сообществ опре-

делены интервалы температур почв на глубине 0.5 м.

Определение пространственной структуры гидротермального процесса на территории термальных полей проводилось путем выделения зон различной тепловой интенсивности гидротермального процесса на основе показателя отепляющего воздействия. Этот показатель характеризует среднюю величину тепловой аномалии в местообитании, обусловленной воздействием гидротермального процесса; показатель был выведен в ходе исследований на территории Паужетской гидротермальной системы (Самкова, 2007). Значение показателя рассчитывается как разность между температурой корнеобитаемого слоя почвы (на глубине 0.05 м) и среднесуточной температурой воздуха в каждый день наблюдений. Средняя арифметическая из значений показателя для каждого дня измерений дает среднюю величину показателя отепляющего воздействия. На основании данных многолетних режимных наблюдений на Верхнем термальном поле ПГС были определены средние значения величин показателя отепляющего воздействия для основных зон: $\geq 37.2^{\circ}\text{C}$ (I зона – экстремально прогретые местообитания, лишенные растительного покрова) – 36.2°C (II зона – экстремально прогретые местообитания) – 18.8°C (III зона – умеренно прогретые местообитания) – 9.2°C (IV зона – слабо прогретые местообитания) – 4.9°C (V зона – практически непрогретые местообитания). Далее были выделены также промежуточные зоны (II-III, III-IV, IV-V), расположенные между основными зонами, для которых значение показателя отепляющего воздействия подсчитано как средняя арифметическая между значениями двух соседних основных зон. В итоге были определены диапазоны значений показателя отепляющего воздействия, на основе которых каждое термальное местообитание может быть

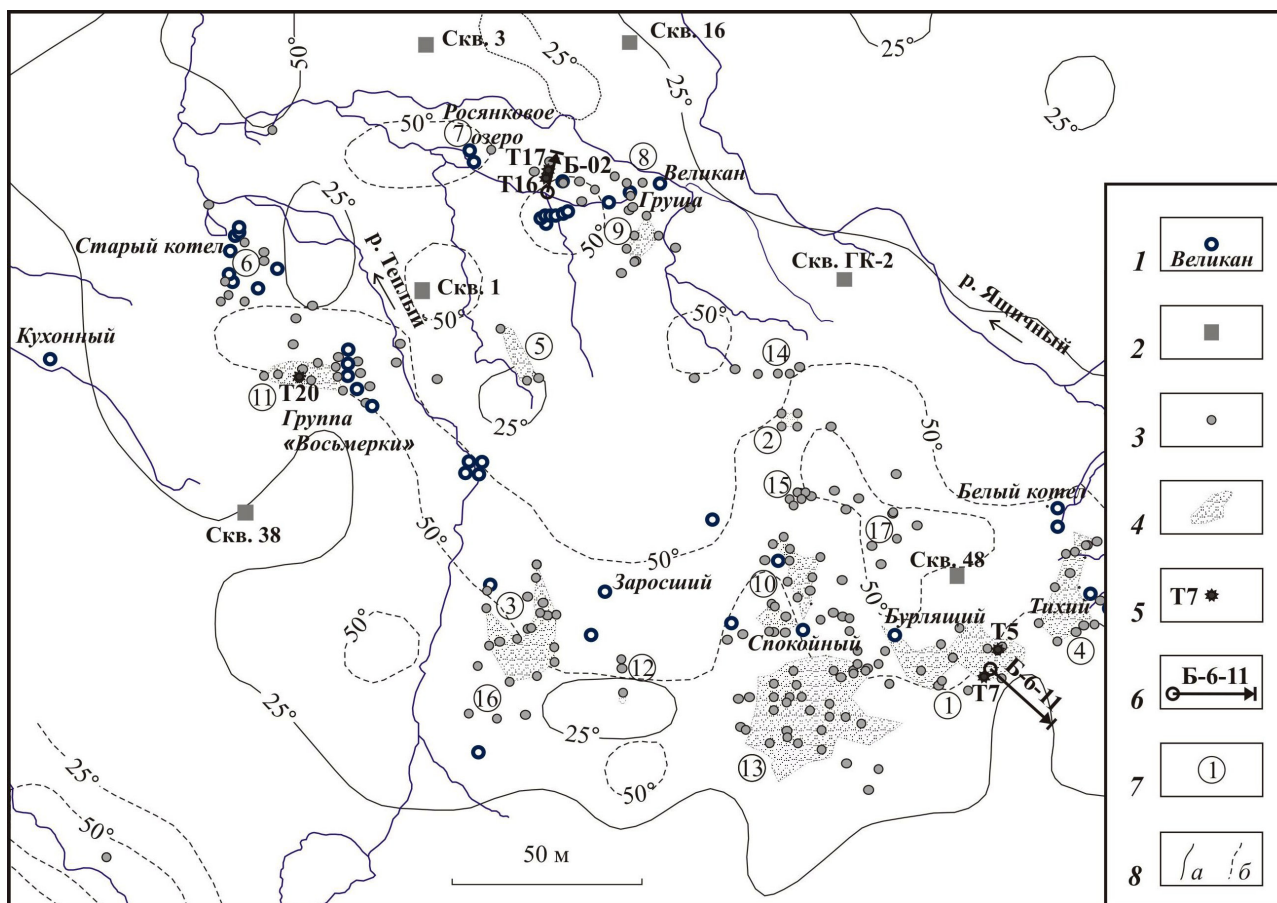


Рис. 3. Схема распределения лишайниковых сообществ на участке Больше-Банного термального поля, на левом борту долины р. Банная. Топографическая основа выполнена В.Н. Двигало. 1 – источники и котлы; 2 – скважины; 3 – точки геоботанических описаний сообществ лишайники побегоносной; 4 – контуры лишайниковых сообществ; 5 – точки режимных наблюдений; 6 – экологические профили; 7 – номера контуров (или групп малых контуров) лишайниковых сообществ; 8 – изотермы (Леонов и др., 2008): установленные (а), предполагаемые (б).

отнесено к той или иной зоне интенсивности гидротермального процесса. Зоны с растительным покровом – зона II: 59.0-31.8°C (среднее – 36.2°C); зона II-III: 31.7-23.2°C (среднее – 27.5°C); зона III: 23.1-16.4°C (среднее – 18.8°C); зона III-IV: 16.3-11.6°C (среднее – 14.0°C); зона IV: 11.5-8.2°C (среднее – 9.2°C); зона IV-V: 8.1-6.0°C (среднее – 7.1°C); зона V: 5.9-3.9°C (среднее – 4.9°C); зона VI: 3.8-0.1°C (среднее – 2.9°C).

В ходе работ на термальном поле Больше-Банной гидротермальной системы был применен тот же подход – на основе данных по температуре почвы произведен расчет показателя отепляющего воздействия. Поскольку долина р. Банная по климатическим особенностям относится к юго-восточному побережью Камчатки (Кондратюк, 1974), при расчете использовались среднесуточные температуры, зафиксированные в г. Петропавловск-Камчатский в дни наших полевых наблюдений. Для каждой из 21 точки наблюдений были подсчитаны значения показателя отепляющего воздействия (8 значений для каждой точки), и выведено среднее значение показателя.

Рассчитанные для местообитаний Больше-Банной гидротермальной системы величины показателя отепляющего воздействия проверялись следующим образом: сравнивались сходные растительные сообщества двух гидротермальных систем (Паужетской и Больше-Банной) и их место в ряду зон различной тепловой интенсивности гидротермального процесса. Выяснилось, что типичные растительные сообщества приурочены к одним и тем же зонам.

На основе полученных для Больше-Банного термального поля величин показателя отепляющего воздействия произведено распределение сообществ по зонам различной тепловой интенсивности гидротермального процесса в соответствии с диапазонами значений показателя.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Пространственная структура гидротермального процесса и ее отражение в структуре растительного покрова. Под гидротермальным процессом понимается вся совокупность явле-

ний в недрах гидротермальных систем и на их поверхности (в областях разгрузки), связанных с деятельностью гидротерм и термальных вод, включая дифференциацию растворов и взаимодействие их с породами (Набоко, 1980).

Пространственная структура гидротермального процесса отражается в структуре приповерхностного теплового поля. Установлено, что повышенные температуры дают прямую информацию о скрытых современных очагах разгрузки парогазовых дериватов гидротерм (Вакин, Сугробов, 1986). Тепловая интенсивность гидротермального процесса тесно связана с другими его аспектами. 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 (Ерошев-Шак и др., 1977). Под влиянием гидротермального процесса изменения происходят во всем комплексе абиотических факторов, включая микроклиматические (термический режим, влажность и состав приземного слоя воздуха, снежный покров), эдафические (механический и химический состав почв, их физические свойства) и орографические факторы. Вследствие этого вариации тепловой

интенсивности гидротермального процесса на площади термального поля создают мозаику условий среды для растительных сообществ.

Для горизонтальной структуры растительности термальных полей характерны сочетания фитоценозов, образующие комплексы поясного строения (рис. 4). Центр микропоясного комплекса соответствует локальному центру, или очагу термоаномалии. Последовательно сменяющие друг друга (от центра к периферии микропоясного комплекса) сообщества, по сути, представляют собой экологический ряд (рис. 4).

Смена сообществ происходит вдоль линии градиента температуры почв (рис. 5), а принимая во внимание сопутствующий комплекс факторов – вдоль комплексного градиента тепловой интенсивности гидротермального процесса, то есть смена растительности определяется не отдельным фактором, а сочетанием факторов, которые синхронно изменяются в пространстве. При этом температура почвы является самым точным показателем наличия и интенсивности современного гидротермального процесса.

Обобщенный экологический ряд, построенный на основе сопоставления многочисленных отдельных экологических рядов, выделенных на термальных полях Паужетской гидротермаль-



Рис. 4. Вид на север на часть Верхнего термального поля ПГС. Римскими цифрами обозначены зоны различной тепловой интенсивности гидротермального процесса: зона II – полевицево-фимбристиловое зеленомошное сообщество; зона III – лапчатковое сообщество; зона IV – полынное сообщество. На врезке – лапчатка побегоносная (*Potentilla stolonifera* Lehm. ex Ledeb.).

СВЯЗЬ МЕЖДУ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

ной системы в мезоморфных условиях, состоит из следующих элементов: полевицево-фимбристиловые зеленомошные → росичковые → полынно-лапчатковые зеленомошные → лапчатковые → полынно-лапчатковые → лапчатково-полынные → полынные сообщества → сообщества разнотравных лугов (гераниевые → василистниковые → анафалисовые) → сообщества крупнотравных лугов (шеломайниковые).

Экологические профили, проложенные на Больше-Банном термальном поле – Б-02 и Б-6-11 (рис. 6, 7), демонстрируют в общих чертах ту же последовательность сообществ, что и на термальных полях Паужетской гидротермальной системы.

В последовательности сообществ вдоль комплексного градиента тепловой интенсивности гидротермального процесса сообществам

с преобладанием лапчатки принадлежит одно и то же определенное место, как на территории Паужетской, так и Больше-Банной гидротермальных систем. Они занимают среднюю позицию в экологическом ряду, начиная, как правило, с третьего элемента ряда. Зная положение растительного сообщества в обобщенном экологическом ряду сообществ на термальном поле, можно оценить относительную величину тепловой интенсивности гидротермального процесса в конкретном месте.

Ведущие факторы. Установлены два варианта сопряженности фитоценозов, морфологических особенностей почв и интенсивности современного гидротермального процесса (Самкова, 2009б): 1) при сходном между собой морфологическом строении почвенных профилей

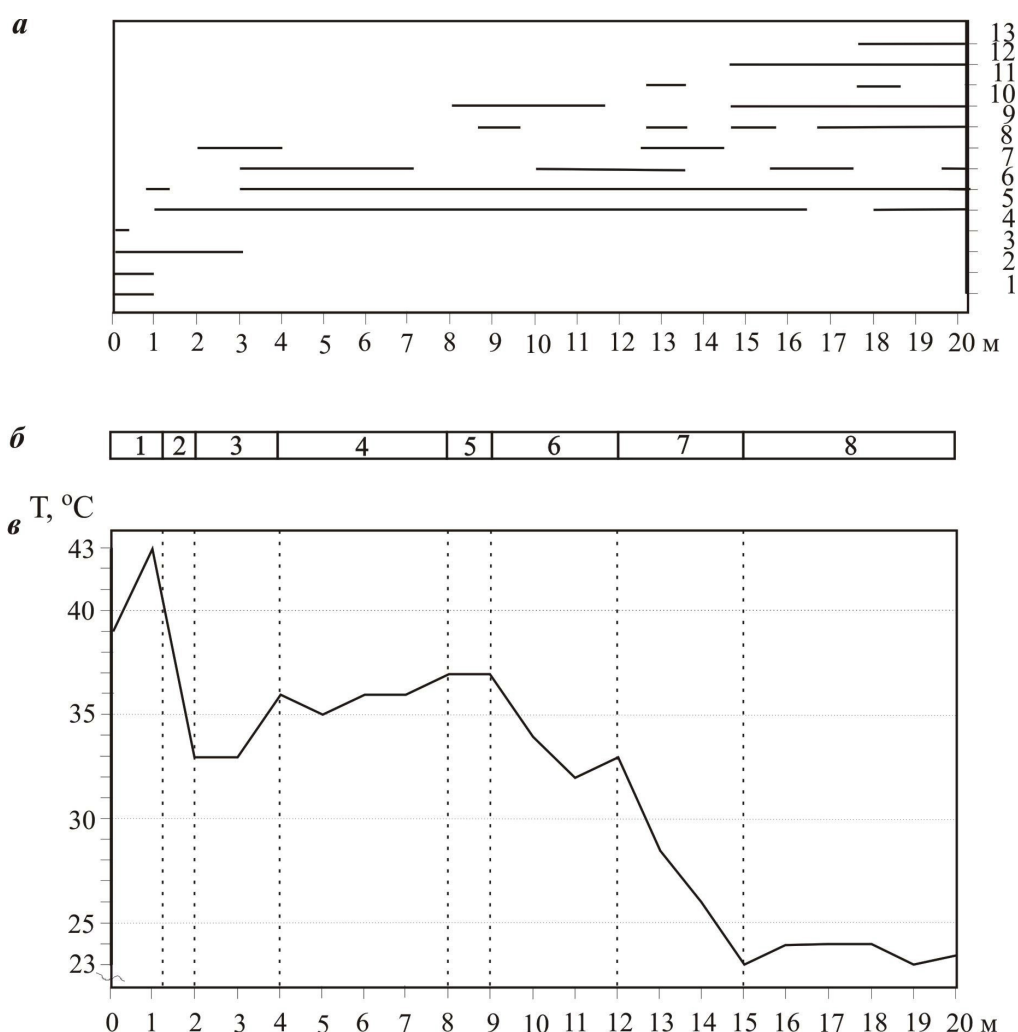


Рис. 5. Экологический профиль 3-07 на Верхнем термальном поле ПГС: а – распределение видов сосудистых растений: 1 – *Fimbristylis ochotensis*; 2 – *Agrostis pauzhetica*; 3 – *Digitaria ischaemum*; 4 – *Lycopus uniflorus*; 5 – *Potentilla stolonifera*; 6 – *Artemisia opulenta*; 7 – *Festuca rubra*; 8 – *Acetosella vulgaris*; 9 – *Picris kamschatica*; 10 – *Carex oxyandra* var. *pauzhetica*; 11 – *Prunella asiatica*; 12 – *Geranium erianthum*; 13 – *Sanguisorba x tenuifolia*; б – экологический ряд сообществ (фрагментов сообществ): 1 – полевицево-росичковое зеленомошное; 2 – полевицево-росичковое зеленомошное; 3 – лапчатковое; 4 – полынно-лапчатковое; 5 – осоковая микрогруппировка; 6 – лапчатково-полынное; 7 – полынное; 8 – лапчатково-полынно-гераниевое; в – график температуры почвы на глубине 5 см (28.08.2007 г.). Вертикальными линиями обозначены границы сообществ. Местоположение профиля приведено на рис. 2.

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 (рис. 8). Оба установленных варианта сопряженности доказывают, что растительные сообщества индицируют в первую очередь не конкретные почвенные различия, а тепловую интенсивность современного гидротермального процесса. Существование зон различной интенсивности гидротермального процесса является причиной микропоясного распределения растительных сообществ на термальном поле (Самкова, 2007).

Зоны различной интенсивности гидротермального 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 расщепленного парения, то есть на той территории, где вся поверхность интенсивно парит.

Факторами, определяющими дифференциацию растительного покрова внутри зон различной тепловой интенсивности гидротермального процесса, являются реакция рН почв и увлажнение (Самкова, 2009а).

Зоны различной тепловой интенсивности гидротермального процесса, к которым приурочены лапчатковые сообщества. В ходе исследо-

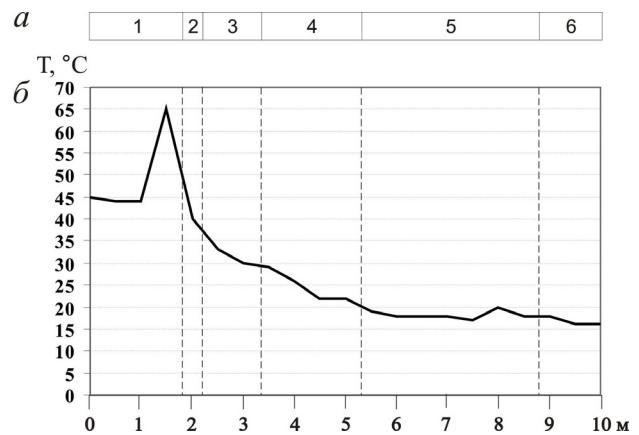


Рис. 6. Экологический профиль Б-02 на Больше-Банном термальном поле: *a* – экологический ряд сообществ (фрагментов сообществ): 1 – полевицево-фимбристилисовое; 2 – фимбристилисово-полевицево; 3 – полынно-лапчатковое зеленомошное; 4 – полынно-лапчатковое; 5 – василистниково-лапчатково-гераниевое; 6 – полынно-гераниевое-василистниково; *b* – график температуры почвы на глубине 5 см (05.07.2010 г.). Вертикальными линиями обозначены границы сообществ. Местоположение профиля приведено на рис. 3.

ваний на Верхнем термальном поле Паужетской гидротермальной системы было установлено, что для местообитаний сообществ с преобладанием лапчатки побегоносной (рис. 2, тт. 1, 2, 3) характерны следующие условия: максимальная температура почвы достигает 34.0–39.0°C, минимальная температура почвы соответствует 8.0–11.0°C (рис. 9). Температура почв в этих местообитаниях в среднем превышает температуру воздуха на 18.8°C. Подобные условия

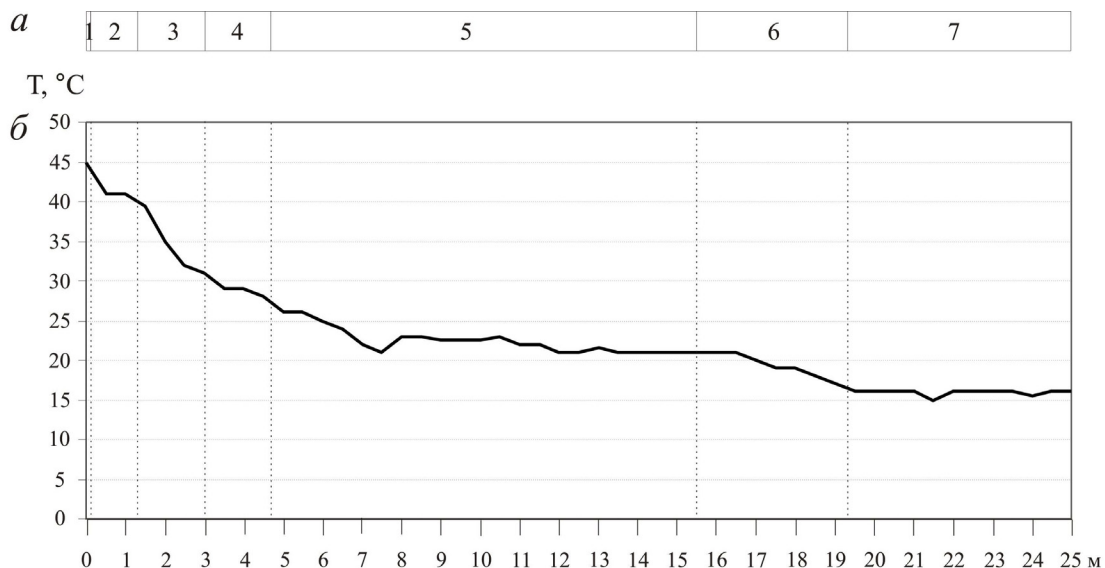


Рис. 7. Экологический профиль Б-6-11 на Больше-Банном термальном поле: *a* – экологический ряд сообществ (фрагментов сообществ): 1 – фимбристилисовое; 2 – зеленомошное; 3 – лапчатковое; 4 – лапчатково-разнотравное; 5 – василистниково-гераниевое; 6 – разнотравно-гераниевое; 7 – шеломайниковое; *b* – график температуры почвы на глубине 5 см (28.06.2011 г.). Вертикальными линиями обозначены границы сообществ. Местоположение профиля приведено на рис. 3.

Фитоценозы

Полынно-лапчатковое сообщество
(*Potentilla stolonifera*, *Artemisia opulenta*)



Почвенные профили

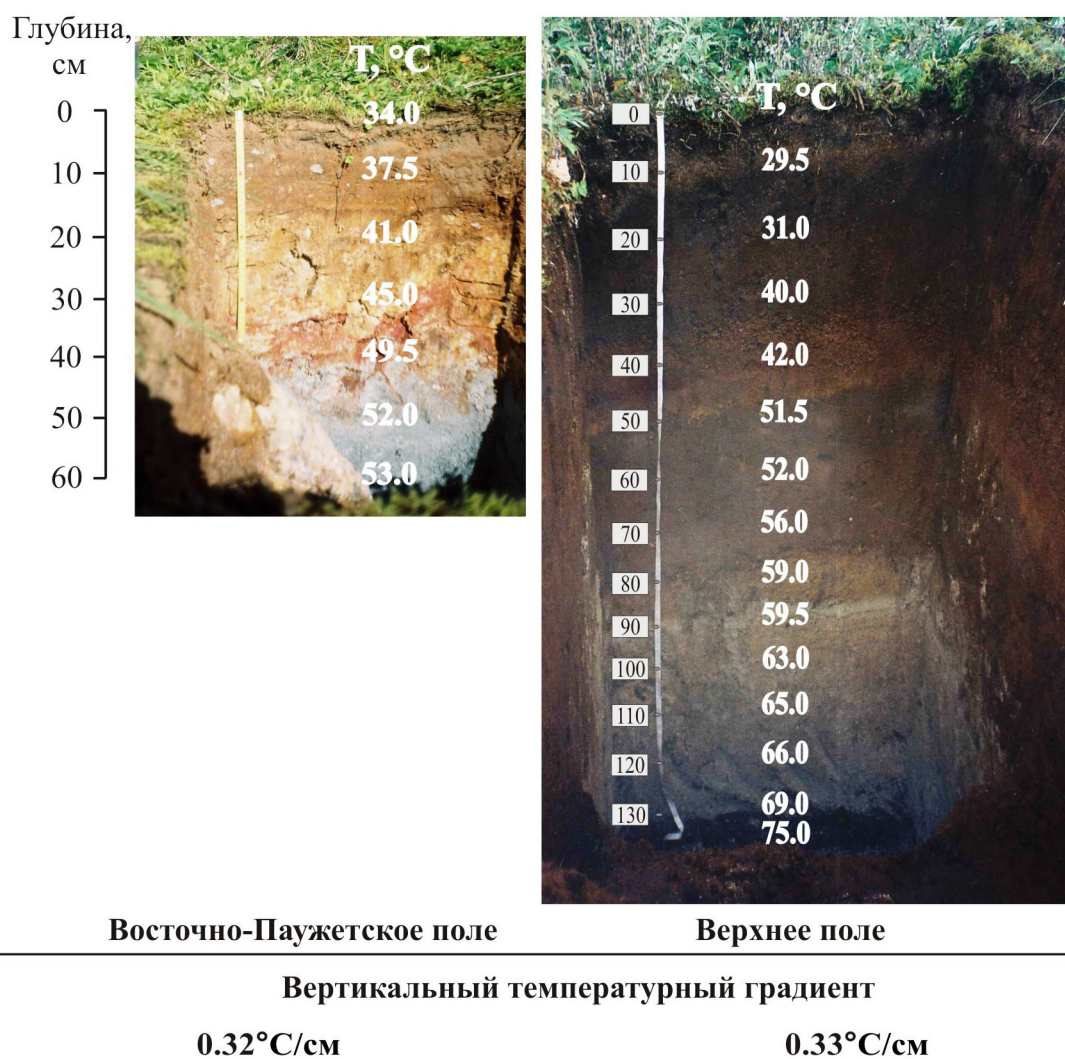


Рис. 8. Почвенные профили под полынно-лапчатковыми сообществами на Верхнем и Восточно-Паужетском термальных полях ПГС.

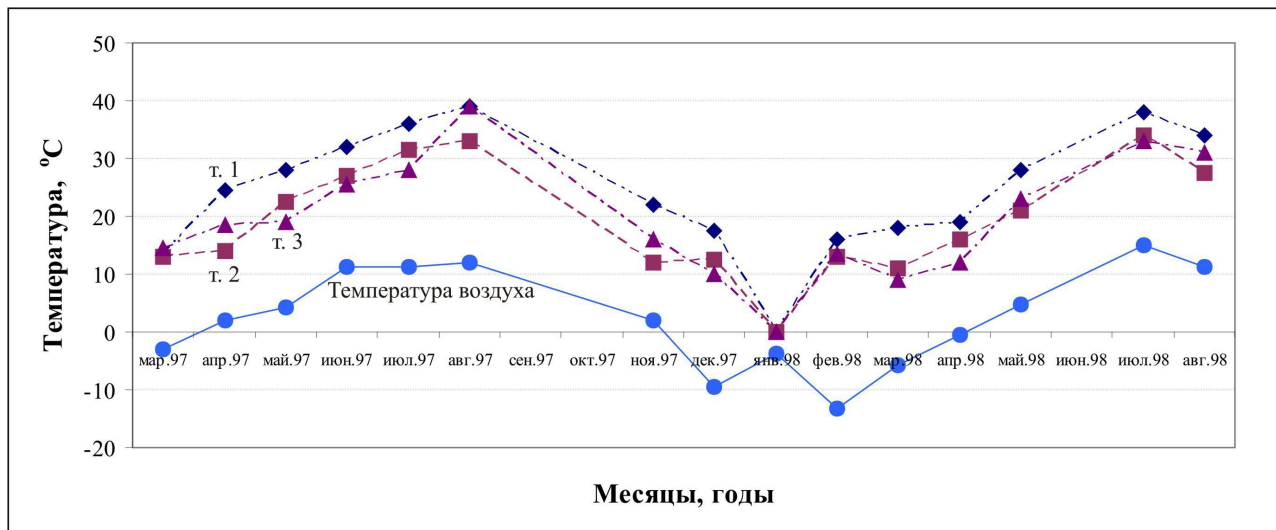


Рис. 9. Графики температуры воздуха и почвы на глубине 5 см в точках микроклиматических наблюдений (т.т. 1, 2, 3) на Верхнем термальном поле ПГС в период с марта 1997 г. по август 1998 г. Местоположение точек приведено на рис. 2.

соответствуют зоне III. Также установлено, что сообщества с преобладанием лапчатки связаны с подзоной слабокислых почв.

На Больше-Банном термальном поле после проведения короткой серии режимных наблюдений (с 18.08.2013 г. по 01.09.2013 г.) были получены данные, характеризующие местообитания с преобладанием лапчатки (рис. 3, тт. T16, T7, T17, T5, T20). Было обнаружено, что местообитание *полянно-лапчаткового зеленомошного* сообщества (т. T16) в среднем теплее воздуха на 25.7°C, это зона II-III (переходная от экстремально прогретой к прогретой). Местообитания *лапчаткового* (т. T7) и *полянно-лапчаткового* (т. T17) сообществ в среднем теплее воздуха на 19.2°C, они занимают зону III (прогретые местообитания). Местообитания *разнотравно-лапчатковых* сообществ (тт. T5 и T20) в среднем теплее воздуха на 16.1°C и 14.6°C соответственно, это зона III-IV (переходная от прогретой к умеренно прогретой).

Анализ полученных результатов показывает, что местообитания *лапчаткового* и *полянно-лапчаткового* сообществ на Верхнем термальном поле Паужетской гидротермальной системы и на Больше-Банном термальном поле имеют близкие величины показателя отепляющего воздействия (18.8°C и 19.2°C соответственно) и относятся к одной и той же зоне различной тепловой интенсивности гидротермального процесса (III).

Распределение лапчатковых сообществ как отражение пространственной структуры гидротермального процесса. Распределение сообществ лапчатки на участке Больше-Банного термального поля неравномерно (рис. 3). Неравномерность распределения обусловлена как вариациями условий увлажнения – лапчатковые сообщества распространены в мезоморфных местообита-

ниях, так и вариациями тепловой интенсивности гидротермального процесса.

Лапчатковые сообщества на термальных полях встречаются в составе микропоясных комплексов: концентрических (рис. 4) и мозаичных. В последнем случае контуры лапчатковых сообществ могут достигать больших размеров.

На площади Больше-Банного термального поля встречаются как относительно крупные контуры растительности, образованные лапчатковыми сообществами, так и небольшие контуры. Близкорасположенные малые контуры (рис. 3) мы рассматриваем в данном случае как одну группу и объединяем в один условный контур.

Измерение близповерхностных температур (на глубине 5 см) в пределах выделенных контуров лапчатковых сообществ и последующее ранжирование контуров по средней температуре привели к следующим результатам (таблица). Крупные контуры и группы малых контуров были распределены по четырем категориям.

Первую группу образуют контуры, в пределах которых преобладают местообитания прогретые (зона III) и переходные от прогретых к умеренно-прогретым (зона III-IV). В группу вошли контуры 1-5 и группы контуров 6-8 (таблица, рис. 3).

Вторая группа – это контуры 9-12 (таблица, рис. 3), связанные, в основном, с местообитаниями, переходными от прогретых к умеренно-прогретым (зона III-IV).

К третьей категории относится один контур – 13 (таблица, рис. 3), в нем преобладают местообитания умеренно прогретые (зона IV). Этот контур значительно отличается от других: при крупном размере контура температуры почв более низкие, чем в пределах всех остальных

СВЯЗЬ МЕЖДУ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Распределение контуров лапчатковых сообществ по зонам различной тепловой интенсивности гидротермального процесса на Больше-Банном термальном поле

Категории контуров	Номера контуров или групп малых контуров	Температура на глубине 5 см, °С			Зоны различной тепловой интенсивности гидротермального процесса	
		максимальная	минимальная	средняя	отмеченные в пределах контуров лапчатковых сообществ	преобладающие в пределах контуров лапчатковых сообществ
1	1	36.7	28.8	32.8	III, III-IV	III, III-IV
	2	35.8	28.6	31.7	III, III-IV	III-IV
	3	37.6	26.3	30.3	II-III, III, III-IV	III, III-IV
	4	37.8	22.8	30.4	II-III, III, III-IV, IV	III-IV
	5	32.6	24.7	29.2	III, III-IV	III, III-IV
	6	40.9	33.2	36.2	II-III, III	III
	7	31.9	29.1	30.9	III, III-IV	III
	8	32.9	21.8	29.1	III, III-IV, IV	III, III-IV
2	9	30.1	27.8	29.1	III-IV	III-IV
	10	31.5	24.9	28.7	III, III-IV	III-IV
	11	38.3	21.3	28.4	II-III, III, III-IV, IV, IV-V	III-IV
	12	27.5	25.0	26.3	III-IV, IV	III-IV, IV
3	13	31.8	21.3	25.7	III-IV, IV, IV-V	IV
4	14	25.6	24.0	25.5	IV, IV-V	IV
	15	28.0	22.8	25.1	III-IV, IV, IV-V	IV-V
	16	27.1	23.5	24.9	III-IV, IV	III-IV, IV
	17	24.3	22.9	23.6	IV-V	IV-V

контуров. Распространенные на данном участке лапчатковые сообщества свидетельствуют о том, что рассматриваемые местообитания ранее были более прогретыми, и в настоящее время гидротермальный процесс на этом участке находится в стадии затухания.

Четвертую категорию составляют группы малых контуров 14-17 (таблица, рис. 3), связанные, преимущественно, с местообитаниями умеренно прогретыми (зона IV) и переходными от умеренно прогретых к слабо прогретым (зона IV-V).

Таким образом, сообщества лапчатки побегоносной на Больше-Банном термальном поле связаны, преимущественно, с зонами III и III-IV, то есть с местообитаниями со средней величиной тепловой аномалии в диапазоне 23.1-11.6°С. Также они встречаются в зонах: II-III (средняя величина тепловой аномалии 27.5°С), IV (средняя величина тепловой аномалии 9.2°С), редко – в зоне IV-V (средняя величина тепловой аномалии 7.1°С)

Каждой из зон различной тепловой интенсивности гидротермального процесса соответствует свой спектр сообществ лапчатки побегоносной.

Для зоны II-III в пределах обеих изученных гидротермальных систем характерны *фимбристелисово-лапчатковые зеленомошные* сообщества. На территории Паужетской гидротермаль-

ной системы в этих местообитаниях распространены также *полевицево-росичково-лапчатковые* сообщества. На территории Больше-Банной гидротермальной системы изредка встречаются *лапчатковые* сообщества, а также *полянно-лапчатковые* зеленомошные.

Зона III (прогретые местообитания) в пределах обеих гидротермальных систем отличается широким распространением лапчатковых сообществ. Отличительной особенностью растительности этой зоны на территории Больше-Банной гидротермальной системы является большая распространенность *черноголовково-лапчатковых* сообществ. Встречаются также *полянно-лапчатковые* и *осоково-лапчатковые* сообщества.

В зоне III-IV на территории обеих гидротермальных систем распространены *полянно-лапчатковые* сообщества. На территории Паужетской гидротермальной системы отмечены *кровохлебково-полянно-лапчатковые* сообщества. В пределах Больше-Банной гидротермальной системы в данных температурных условиях также широко распространены *разнотравно-лапчатковые* сообщества, встречаются *крестовниково-лапчатковые* и *телинтерисово-лапчатковые* сообщества.

В умеренно-прогретых местообитаниях (зоне IV) на территории Паужетской гидротермальной системы отмечены *черноголовково-полянно-лапчатковые* сообщества, а на

территории Больше-Банной гидротермальной системы – *разнотравно-лапчатковые* и *щавельково-лапчатковые* сообщества.

В зоне IV-V в пределах обеих гидротермальных систем встречаются *разнотравно-лапчатковые* и *лапчатково-разнотравные* сообщества.

Область рассредоточенного парения на термальных полях и связь с ней сообществ лапчатки. Известно (Вакин и др., 1976), что явление рассредоточенного парения связано с участками с температурой на глубине 0.5 м выше 50°C. Если соотнести область рассредоточенного парения и зоны различной тепловой интенсивности гидротермального процесса, область рассредоточенного парения охватывает местообитания зон II, II-III, III, граница проходит в зоне III-IV.

Термометрическая съемка на Больше-Банном термальном поле показала, что сообщества с преобладанием лапчатки соотносятся с диапазоном температур на глубине 0.5 м 79-39°C. Налицо безусловная приуроченность этих сообществ к зонам высоких температур. Диапазон температур достаточно широк (разница между крайними значениями 40°C). Большая часть этого диапазона находится выше отметки в 50°C, то есть внутри области рассредоточенного парения.

Внутри области рассредоточенного парения сообщества *Potentilla stolonifera* на Больше-Банном термальном поле образуют последовательность вдоль линии градиента температуры почв на глубине 0.5 м (в скобках приведены средние значения температур): *лапчатково-фимбристелисовое* (73.0°C) → *лапчатковое зеленомошное* (66.0°C) → *попынно-лапчатковое зеленомошное* (58.0°C) → *лапчатковое* (диапазон 73.0-42.0°C, средняя 56.1°C) → *черноголовково-лапчатковое* (диапазон 70.0-43.0°C, средняя 53.1°C) → *осоково-лапчатковое* (диапазон 61.0-46.0°C, средняя 50.8°C) → *попынно-лапчатковое* (диапазон 52.0-49.0°C, средняя 50.5°C) → *телиптерисово-лапчатковое* (диапазон 53.0-48.0°C, средняя 50.5°C) → *разнотравно-лапчатковое* (диапазон 57.0-39.0°C, средняя 47.1°C).

Согласно нашим исследованиям на термальных полях Паужетской гидротермальной системы, к границе рассредоточенного парения, то есть к участкам с изотермой около 50°C на глубине 0.5 м, приурочены *попынно-лапчатковые* сообщества (рис. 8). С границей рассредоточенного парения на Больше-Банном термальном поле связаны *попынно-лапчатковое* (50.5°C), *телиптерисово-лапчатковое* (50.5°C), *разнотравно-лапчатковое* (47.1°C) сообщества.

Таким образом, исследования на Больше-Банном термальном поле не только подтвердили ранее установленную связь (Самкова, 2009а) между *попынно-лапчатковым* сообществом и

границей рассредоточенного парения, но и расширили спектр сообществ, отмечающих на поверхности эту границу.

Два разных метода – зонирование территории по степени тепловой интенсивности гидротермального процесса на основе температур корнеобитаемого слоя почвы, а также термометрическая съемка на глубине 0.5 м, показали, что лапчатковые сообщества приурочены преимущественно к участкам внутри области рассредоточенного парения (79-50°C на глубине 0.5 м) и близ ее границы. На поверхности это соответствует зонам II-III, III и III-IV.

Возможные причины приуроченности лапчатковых сообществ к области рассредоточенного парения. Область рассредоточенного парения связана с участками повышенной проницаемости и характеризуется поступлением гидротермального пара в корнеобитаемый слой почв и приземный слой атмосферы. Близ границ области рассредоточенного парения парогазовая смесь охлаждается до температуры конденсации в пределах почвенного профиля. В этих условиях происходит засоление почв, при более высоких и более низких температурах соленакопление снижается (Гольдфарб, 2005). Приуроченность к этим участкам лапчатки побегоносной, которая относится к галофильным видам, достаточно закономерна.

Рассредоточенное парение является сильнейшим фактором среды. Сочетание высоких температур и минерализованных поровых растворов, пропитывающих почвогрунты от уровня парообразования и появления конденсатов до поверхности почвы, создают сильный абиотический стресс для растений. Растительный покров в зоне влияния рассредоточенного парения характеризуется небольшим общим числом видов сосудистых растений, низким видовым богатством сообществ и низкорослостью растений. В этих условиях лапчатка побегоносная, выдерживающая такой абиотический стресс, избавлена от сильной межвидовой конкуренции и часто образует монодоминантные сообщества. За границей рассредоточенного парения число видов, способных существовать в данных условиях, увеличивается, и это, вероятно, ставит предел доминированию лапчатки в сообществах.

Сопоставление схемы распределения лапчатковых сообществ с термометрической картой. Мы соотнесли схему распределения лапчатковых сообществ с существующей термометрической картой этого же участка Больше-Банного термального поля (Леонов и др., 2008), изучением которого 10 лет занимается лаборатория геологии геотермальных полей Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Сопоставление нашей схемы и термометрической карты (рис. 3) показывает, что контуры первой группы (таблица), в основном, совпадают с областью внутри изотермы 50°C. Кроме этого, контур лапчатковых сообществ в юго-западном углу рассматриваемого участка (рис. 3) также связан с областью внутри изотермы 50°C. Контуры второй группы (таблица), связанные с зоной III-IV, по-другому, с границей рассредоточенного парения (50°C на глубине 0.5 м), находятся вблизи изотермы 50°C. Единственный контур третьей группы (таблица) расположен в диапазоне 25-50°C (рис. 3), что соответствует и нашим выводам. Контуры четвертой группы (таблица) находятся, в основном, в диапазоне 25-50°C.

Итак, сопоставление наших данных и данных из работы (Леонов и др., 2008) подтверждает сделанные выводы о том, что лапчатковые сообщества приурочены преимущественно к участкам внутри области рассредоточенного парения и близ ее границы (50°C).

ВЫВОДЫ

1. Прослежена связь между распространением сообществ лапчатки побегоносной на термальных полях и пространственной структурой гидротермального процесса, то есть характером его развития и размещения в пространстве. Распределение лапчатковых сообществ в радиусе действия локального очага термоаномалии является закономерным и повторяющимся в пределах двух гидротермальных систем: Паужетской и Больше-Банной. В последовательности фитоценозов вдоль комплексного градиента тепловой интенсивности гидротермального процесса сообществам с преобладанием лапчатки принадлежит одно и то же определенное место. Сообщества с преобладанием лапчатки занимают среднюю позицию (начиная с третьего элемента ряда) – прогретые местообитания, располагаясь между сообществами экстремально прогретых местообитаний, с одной стороны, и сообществами умеренно прогретых местообитаний, с другой стороны.

2. Сходные лапчатковые сообщества характерны для местообитаний с одной и той же степенью тепловой интенсивности гидротермального процесса на территориях двух изученных гидротермальных систем. На Больше-Банном термальном поле получила подтверждение связь лапчатковых сообществ с основной зоной III (прогретые местообитания, средняя величина тепловой аномалии 18.8°C), установленная нами на территории Паужетской гидротермальной системы.

3. Определен диапазон зон различной тепловой интенсивности гидротермального процесса,

с которыми связаны сообщества лапчатки побегоносной на Больше-Банном термальном поле: это, преимущественно, зоны III и III-IV, со средней величиной тепловой аномалии в корнеобитаемом слое почв 23.1-11.6°C, а также зоны II-III, IV и IV-V. Показано, что каждой из зон различной интенсивности гидротермального процесса свойствен свой спектр сообществ *Potentilla stolonifera*.

4. На Больше-Банном термальном поле установлена приуроченность сообществ лапчатки к области высоких температур на глубине 0.5 м: от 79°C до 39°C. Большая часть диапазона температур находится выше отметки в 50°C, то есть местообитания сообществ лапчатки, главным образом, находятся внутри области рассредоточенного парения. Приведена последовательность различных сообществ *Potentilla stolonifera* вдоль градиента температуры почв на глубине 0.5 м внутри области рассредоточенного парения на Больше-Банном термальном поле.

5. Определен набор сообществ, связанных с границей рассредоточенного парения. На Больше-Банном термальном поле с границей рассредоточенного парения связаны полынно-лапчатковое, телиптерисово-лапчатковое и разнотравно-лапчатковое сообщества.

6. Преимущественная приуроченность лапчатковых сообществ на Больше-Банном термальном поле к участкам рассредоточенного парения и близ ее границы подтверждена с помощью зонирования территории термального поля по степени тепловой интенсивности гидротермального процесса (на основе температур корнеобитаемых слоев почвы), термометрической съемки на глубине 0.5 м, а также сопоставления схемы распределения лапчатковых сообществ с существующей термометрической картой этого же участка Больше-Банного термального поля (Леонов и др., 2008).

Полученные результаты могут быть использованы, по нашему мнению, при проведении термометрической съемки. Они позволяют быстро наметить сеть точек измерения и значительно повысить точность отражения структуры теплового поля. Наряду с использованием регулярной сети точек измерения температур, можно ввести дополнительные точки, ориентируясь на установленные связи между растительными сообществами и тепловой интенсивностью гидротермального процесса.

Другой аспект использования данных закономерностей лежит в области поисков термопроявлений на территории гидротермальных систем за пределами известных термальных полей. Лапчатковые сообщества, образующие контур среди фоновой растительности, надежно свидетельствуют о наличии термоподводящих путей.

Общность закономерностей влияния гидротермального процесса на растительность в условиях Паужетской и Больше-Банной гидротермальных систем может служить, по нашему мнению, основой для их дальнейшего использования при анализе растительности других гидротермальных систем Камчатки.

Автор выражает благодарность к.г.-м.н. В.Л. Леонову и Е.С. Кляпицкому за помощь в проведении термометрической съемки на Больше-Банном термальном поле, С.А. Рыловой за помощь в проведении микроклиматических наблюдений, а также директору лыжной базы «Лесная» Ю.А. Куракину за поддержку в организации полевых исследований на Больше-Банном термальном поле.

Список литературы

- Бакалин В.А., Чернягина О.А., Кириченко В.Е.* Антоцеротовые (Anthocerotophyta) – новый отдел высших растений для флоры Камчатки // «Камчатка: события, люди»: материалы XXV Крашенинниковских чтений. Петропавловск-Камчатский, 2008. С. 12-17.
- Белюсов В.И., Сугробов В.М., Сугрובה Н.Г.* Геологическое строение и гидрогеологические особенности Паужетской гидротермальной системы // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток, ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 23-57.
- Вакин Е.А., Декусар З.Б., Серезников А.И., Спиченкова М.В.* Гидротермы Кошелевского вулканического массива // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток, ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 58-84.
- Вакин Е.А., Сугробов В.М.* Основные результаты комплексных исследований и их применение при изучении геотермальных месторождений // Геотермические и геохимические исследования высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1986. С. 189-201.
- Гольдфарб И.Л.* Влияние гидротермального процесса на почвообразование (на примере Камчатки). Автореф. дисс. канд. геогр. наук. М., 2005. 24 с.
- Ероцев-Шак В.А., Набоко С.И., Карнов Г.А. и др.* Формирование глинистых минералов при низкотемпературном гидротермальном процессе (на примере кальдеры Узон) // Гидротермальный процесс в областях тектоно-магматической активности / Отв. ред. С.И. Набоко, В.М. Сугробов. М.: Наука, 1977. С. 172-183.
- Кондратюк В.И.* Климат Камчатки. М.: Гидрометеиздат, 1974. 204 с.
- Краевой Ю.А., Оханкин В.Г., Серезников А.И.* Результаты гидрогеологических и геотермических исследований Большебанной и Карымчинской гидротермальных систем // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток, ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 179-211.
- Леонов В.Л., Rogozin A.H., Соболевская О.В.* Результаты термометрической съемки Больше-Банной термальной системы (Южная Камчатка) // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканологии. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2008. С. 197-206.
- Набоко С.И.* Металлоносность современных гидротерм в областях тектоно-магматической активности. М.: Наука, 1980. 200 с.
- Нешатаева В.Ю.* Растительные группировки окрестностей горячих ключей // Растительность Кроноцкого государственного заповедника (Восточная Камчатка). Труды Ботанического института РАН. 1994. Вып. 16. С. 195-201.
- Нешатаева В.Ю., Пестеров А.О., Кораблев А.П.* Растительность термальных полей кальдеры вулкана Узон (Восточная Камчатка) // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2013. № 2. С. 22-38.
- Пампура В.Д.* Гидротермальная активность Паужетской вулканотектонической депрессии // Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки / Отв. ред. Ю.П. Масуренков. М.: Наука, 1980. С. 139-156.
- Плотникова Л.С., Трулевич Н.В.* Зависимость флористического состава бассейна р. Паужетки от геотермальных источников // Бюллетень Главн. бот. сада АН СССР. 1975. Вып. 98. С. 49-52.
- Рассохина Л.И., Чернягина О.А.* Фитоценозы термалей «Долины Гейзеров» // Структура и динамика растительности и почв в заповедниках РСФСР. М.: ЦНИЛ Главохоты РСФСР, 1982. С. 51-62.
- 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. Вып. 10. С. 87-101.
- Самкова Т.Ю.* Влияние гидротермального процесса на растительность (на примере Паужетской гидротермальной системы Камчатки). Автореф. дисс. канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский, 2009а. 24 с.
- Самкова Т.Ю.* Закономерности связи между интенсивностью современного гидротермального процесса, морфологическим строением почв и структурой растительного покрова на примере термальных полей

- Паужетской гидротермальной системы // Сборник докладов Всероссийской научной конференции «100-летие Первой Камчатской экспедиции Русского географического общества», 21-28 сентября 2008 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009б. С. 216-222.
- Трасс Х.Х.* О растительности окрестностей горячих ключей и гейзеров долины реки Гейзерной полуострова Камчатки // Исследование природы Дальнего Востока. Таллин: Изд-во АН ЭстССР, 1963. С. 112-146.
- Фукуда Т., Чернягина О.А., Карпов Г.А.* Материалы к экологии растений термальных местообитаний Камчатки // 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. 117-120.
- Юнатов А.А.* Типы и содержание геоботанических исследований. Выбор пробных площадей и заложение экологических профилей // Полевая геоботаника. М. – Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 9-36.
- Яблоков В.М., Завадская А.В.* Геоинформационное моделирование термальных полей долины р. Гейзерной (Кроноцкий заповедник, Камчатка) // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Материалы международной конференции. Белокуриха, Денпасар, 14-19 декабря 2011 г. Барнаул: ИВЭП, 2011. С. 333-341.
- Burns B., Leathwick J.* Geothermal vegetation dynamics in Te Kopia Scenic Reserve. Wellington, N. Z.: Dept. of Conservation, 1995. 26 p.
- Given D.R.* Vegetation on heated soils at Karapiti, central North Island, New Zealand, and its relation to ground temperature // New Zealand journal of botany. 1980. V. 18. P. 1-13.

THE RELATION BETWEEN THE SPATIAL STRUCTURE OF THE HYDROTHERMAL PROCESS AND DISTRIBUTION OF POTENTILLA STOLONIFERA CENOSIS ON THERMAL FIELDS OF THE PAUZHETKA AND BOLSHE-BANNY HYDROTHERMAL SYSTEMS (SOUTHERN KAMCHATKA)

T.Yu. Samkova

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006

The author studied the distribution of *Potentilla stolonifera* cenosis on thermal fields within two (Pauzhetka and Bolshe-Banny) hydrothermal systems of South Kamchatka. The study revealed that similar phytocoenosis of *Potentilla stolonifera* cenosis show similar heat gradation of hydrothermal process in the zone of both hydrothermal systems. The author concludes that the cenosis are mainly confined to warm habitats with average heat anomaly value of 23.1–11.6°C. The relation between distribution of *Potentilla stolonifera* cenosis and the spatial structure of hydrothermal process was traced.

Keywords: hydrothermal system, thermal field, Potentilla stolonifera, Kamchatka.