

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ им. О.Ю. ШМИДТА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

ХУБАЕВА ОЛЬГА РУСЛАНОВНА

**ТЕПЛОВОЕ ПИТАНИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-
МАГМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ХРЕБТА ВЕРНАДСКОГО
(о. Парамушир, Курильские острова)**

Специальность 25.00.01 «Общая и региональная геология»

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
академик Гордеев Евгений Ильич

Москва 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	4
	СЛОВАРЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В РАБОТЕ ТЕРМИНОВ	14
Глава 1	СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ	16
	1.1. Структурные позиции вулканических систем Курильских островов	16
	1.2. Питание вулканических систем Курильских островов	19
Глава 2	ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСТРОВА ПАРАМУШИР И ВОПРОСЫ ЭВОЛЮЦИИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ	23
	2.1. Геологическая характеристика северной части острова Парамушир	25
	2.2. Вулканические системы хребта Вернадского	28
	2.3. Интрузивные образования северной части острова Парамушир	33
	2.4. Термальные проявления хребта Вернадского	34
	2.5. Соотношение гидротермальных систем и вулканических построек хребта Вернадского	36
Глава 3.	МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	39
	3.1. Полевые исследования	39
	3.2. Структурно-геоморфологические методы исследования	40
	3.2.1. Метод линеаментного анализа	40
	3.2.2. Метод структурно-геоморфологического картирования	43
	3.2.3. Метод дешифрирования спутниковых снимков и аэрофотоснимков	44
	3.3. Анализ механизмов очагов землетрясений	45
	3.4. Гидрогеотермический метод	45
	3.5. Лабораторные методы исследования	47
	3.6. Метод трехмерного моделирования тектонической	48

	раздробленности верхнего блока земной коры	
Глава 4.	ИНТРУЗИВНЫЕ ТЕЛА И ГИДРОТЕРМАЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА ПАРАМУШИР	53
	4.1. Деформации и гидротермальные поля северной части острова Парамушир	54
	4.2. Корреляция интрузивных тел с геотермальными проявлениями хребта Вернадского	58
	4.3. Секущие интрузивные тела северного сектора о. Парамушир	66
	4.3.1. Интрузивные тела палеовулкана Ветровой	66
	4.3.2. Интрузивные тела палеовулкана Влодавца (р. Юрьева)	71
	4.3.3. Интрузивные тела вулканического центра Богдановича	73
	4.3.4. Интрузивный комплекс горы Маяк и мыса Крепкого	77
Глава 5.	ТЕПЛОВОЕ ПИТАНИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНО – МАГМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ХРЕБТА ВЕРНАДСКОГО	82
	5.1. Глубинное строение активных гидротермально- магматических систем северного сектора острова Парамушир	91
	5.1.1. Гидротермально-магматическая система Крашенинникова	91
	5.1.2. Гидротермально-магматическая система вулкана Эбеко.	99
	5.2. Тепловое питание гидротермально-магматических систем северного сектора острова Парамушир	106
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	110
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	11
	СПИСОК ИЛЛЮСТРИРОВАННОГО МАТЕРИАЛА	129

*На проведение исследований
гидротермально-магматических систем
меня вдохновил
к.г.-м.н. Владимир Иванович Белоусов*

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность

Поиск альтернативных экологически чистых источников энергии является одной из актуальных задач современности. К наиболее перспективным возобновляемым источникам энергии в областях активного вулканизма относится геотермальное тепло. Не случайно, больше всего геотермальных электростанций построено на территориях, где имеются современные гидротермальные системы - в Италии, Исландии, США, Новой Зеландии. В России к таким территориям относятся Курильские острова и Камчатка.

Для таких удаленных территорий, как о. Парамушир (Северная группа Курильских островов) проблема выявления экономически выгодных возобновляемых источников энергии стоит особенно остро. На острове расположено несколько действующих вулканов и связанных с ними гидротермальных проявлений. В 60-80-е годы прошлого столетия геологическими партиями и научными институтами здесь проводились исследования с целью обнаружения геотермальных систем для получения тепловой и электрической энергии для нужд г. Северо-Курильска. В северной части о. Парамушир (хр. Вернадского) была выделена и охарактеризована Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая система, которую связывают с действующим вулканом. Однако, несмотря на большой объем проведенных работ, решить вопросы с экологически чистым энергоснабжением города до настоящего времени не удалось.

Комплексный подход с применением геолого-геоморфологических методов исследования с привлечением гидрогеотермических и других данных в решении вопросов теплового питания гидротермально-магматических систем о. Парамушир позволяет более полно оценить тепловую мощность системы, получить представление об источниках её теплового питания, и выработать правильную стратегию оценки геотермальных ресурсов острова.

Россия производит всего около 10% от всей геотермальной энергии мира и потенциал для развития геотермальной энергетики в Курило-Камчатском регионе очень велик.

Цель и задачи исследования

Цель исследования – выявление источников теплового питания гидротермально-магматических систем влк. Эбеко и влк. Крашенинникова, расположенных на хр. Вернадского (о. Парамушир, Курильские острова)

Основные задачи: 1) Выявление системы проницаемых зон, контролирующих размещение проявлений всех типов природных вод, циркулирующих в пределах гидротермально-магматических систем хребта Вернадского, при помощи структурно-геоморфологических методов и полевых наблюдений; 2) Проведение полевого картирования интрузивных тел и геотермальных проявлений хр. Вернадского, а также замеры температур и расход воды в ручьях для составления карты теплового поля очагов скрытой разгрузки термальных вод для центральной части хр. Вернадского; 3) Оценка взаимосвязи выделенных зон повышенной проницаемости с системами интрузивных тел и геотермальными проявлениями; 4) Комплексный анализ структурно-геоморфологических и геолого-геохимических данных для определения источника теплового питания гидротермально-магматических систем северной части о. Парамушир.

Фактическая основа работы

Сбор полевого материала, а также часть камеральных работ проводились в Институте вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук в рамках научно-исследовательских работ по темам: «Эволюция современных гидротермально-магматических рудообразующих систем Курило-Камчатской островной дуги» (№ государственной регистрации 01.2.00 106353), диссертационная работа написана в 2018-2019 гг. в рамках мегагранта № 14.W03.31.0033 Минобрнауки России «Геофизические исследования, мониторинг и прогноз развития катастрофических геодинамических процессов на Дальнем Востоке РФ» в Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

В основу диссертации положен фактический материал, полученный в результате проведения полевых работ в северной части о. Парамушир (2003-2010 гг.) и комплекса камеральных работ с применением геолого-геоморфологических методов исследования. В состав выбранного комплекса методов вошли: 1. Структурно-геоморфологическое дешифрирование топографической карты масштаба 1:50 000; 2. Полевое дешифрирование в сочетании с дешифрированием спутниковых снимков и аэрофотоснимков; 3. Метод линеamentного анализа. 4. Метод трёхмерного моделирования тектонической раздробленности. 5. Гидрогеотермический метод - изучение параметров выноса тепла; 5. Лабораторные методы (анализ водных проб).

Методы исследования

Для решения поставленных задач использовался комплекс геолого-геоморфологических методов. На полевом этапе применялись методы геологического картирования - нанесение разрывных нарушений и интрузивных тел, разгрузки подземных вод, воронок взрыва, фумарол, оконтуривание гидротермально-изменённых пород. На камеральном этапе применялся метод структурно-геоморфологического картирования для

выделения региональных разрывных нарушений, метод линеаментного анализа - для выделения зон повышенной проницаемости для паро-гидротерм. Метод определения механизмов очагов землетрясения - для подтверждения сдвиговых перемещений по выделенным разрывным нарушениям. Гидрогеотермический метод - для построения карты теплового поля очагов скрытой разгрузки термальных вод о. Парамушир (от р. Наседкина до р. Левашова). Для подтверждения данных, полученных в результате применения гидрогеотермического метода, привлекались данные по содержанию хлорид-ионов в поверхностных водах.

Личный вклад автора

В период с 2003 по 2010 гг. в полевых условиях было проведено ревизионное картирование с нанесением разрывных нарушений и интрузивных тел (дайки, силлы, некки), разгрузок подземных вод, воронок взрыва, фумарол, оконтуривание аргиллизированных пород. Особое внимание было уделено картированию зон тектонического дробления и трещинам с видимыми смещениями. В составе полевого отряда проводились замеры температуры и расход воды в ручьях и реках, а также отбор проб воды на общий химический анализ. В камеральных условиях проводилась обработка полевого материала – дешифрирование карт, космо- и аэроснимков, построение карт-схем линеаментной сети, выявление кинематики разрывных нарушений, построение трехмерной (воксельной) модели тектонической раздробленности, анализ построенных карт-схем - выявление очагов скрытой разгрузки термальных вод с помощью определения параметров выноса тепла.

Основные результаты работы

Проведены комплексные исследования теплового питания гидротермально-магматических систем, приуроченных к вулканам Эбеко и Крашенинникова (хр.

Вернадского) в северной части о. Парамушир. Выделены крупные разрывные нарушения и зоны повышенной проницаемости для паро-гидротерм. Закартированы интрузивные тела и геотермальные проявления. Обнаружены скрытые разрывные нарушения. Построена трехмерная модель тектонической раздробленности блока пород для северной части о. Парамушир. Построены концептуальные модели гидротермально-магматических систем хр. Вернадского, наглядно демонстрирующих их структуру: температурный режим, циркуляцию вод, восходящий тепловой поток, геологическое строение и пр. Показана взаимосвязь силло-дайкавого комплекса с гидротермальными системами. Сделан вывод, что тепловое питание гидротермально-магматических систем хребта Вернадского обеспечивается системой остывающих интрузивных тел (силло-дайковым комплексом).

Научная новизна работы

До последнего времени оставался нерешённым вопрос теплового питания гидротермальных систем хр. Вернадского (о. Парамушир). Для решения этой задачи впервые показана структурная взаимосвязь между интрузивными телами и гидротермальными системами в исследуемом районе. Было установлено, что для северной части о. Парамушир основной геологической структурой, обеспечивающей тепловое питание гидротермальных систем, является силло-дайковый комплекс, локализованный в трещиновато-пористой среде из вулканокластических отложений хр. Вернадского. Перенос тепла и вещества к поверхности обеспечивают гидротермы, циркулирующие в системе разломов СВ и СЗ простирания. Установлено, что важное значение для существования гидротермально-магматической системы, приуроченной к влк. Крашенинникова, имеет скрытое разрывное нарушение ССВ простирания, выделенное на восточном склоне хр. Вернадского.

Защищаемые положения:

1. *Современная гидротермальная деятельность хр. Вернадского связана с крупным разрывным нарушением осевой части хр. Вернадского ССВ простирания, а также с второстепенными разрывными нарушениями СЗ простирания (р-н вулканического центра Эбеко) и СВ простирания (р-н вулканического центра Богдановича).*
2. *Скрытое разрывное нарушение, обнаруженное на восточном склоне хр. Вернадского, пространственно совпадает с крупным интрузивным телом (основного или среднекислого состава), расположенным на глубине 2,5 км, а также ярко проявляется в трехмерной модели тектонической раздробленности блока пород для северной части о. Парамушир.*
3. *Интрузивные тела (силлы, дайки) являются основным источником теплового питания термальных вод северной части острова Парамушир. Разрывные нарушения, генетически связанные с внедрением магматических тел силло-дайкового комплекса, определяют пространственную локализацию зон разгрузки термальных вод.*

Достоверность результатов

Достоверность результатов работы определяется использованием стандартных геолого-геоморфологических методов исследования; внутренней согласованностью полученных результатов и соответствием с результатами других исследователей; обсуждением результатов исследования на многочисленных российских и зарубежных конференциях и их опубликованием в ведущих российских журналах.

Теоретическая и практическая значимость исследования

Полученные автором результаты могут помочь в решении вопросов поиска источников геотермальной энергии и строительства промышленных объектов, генерирующих электрическую энергию на территории о. Парамушир. Опубликованные автором материалы [Хубаева и др., 2005; Хубаева и др., 2007; Хубаева, Рычагов 2009; Хубаева и др., 2011] были использованы составителями итогового отчёта «Изучение парогидротерм на высокоутёсном и приустьевом участках Северо-Парамуширской гидротермальной системы», для интерпретации геофизических данных и оценки перспектив территории на ресурсы подземного тепла [Подошвин, 2012]. Кроме того, существует государственная программа Сахалинской области "Социально-экономическое развитие Курильских островов (Сахалинская область) на 2016 - 2025 годы", которая предусматривает приоритетное использование геотермальной энергии для обеспечения энергетическими ресурсами промышленной и коммунальной деятельности.

Основным прикладным результатом нашего исследования является то, что пространственная ассоциация силло-дайкового комплекса и зон трещиноватости с морфоструктурами центрального типа и гидрохимическими аномалиями может быть использована в качестве индикаторов для поиска термальных ресурсов.

Апробация результатов исследования

Основные результаты, представленные в диссертации, опубликованы в статьях и сборниках докладов конференций. Из них **1** публикация в журнале и **1** публикация в сборнике статей, индексируемых SCOPUS, **2** публикации в рецензируемых журналах, включённых в список ВАК. Доклады были представлены на **13** международных, Всероссийских и Региональных научно-практических конференциях.

Опубликованные автором материалы [Хубаева и др., 2005; Хубаева и др., 2007; Хубаева, Рычагов 2009; Хубаева и др., 2011] были использованы составителями итогового

отчёта для интерпритации геофизических данных и оценки перспектив территории на ресурсы подземного тепла [Подошвин, 2012].

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 7 международных, 4 всероссийских, 3 региональных конференциях.

Международные конференции: 1.Международный полевой Курило - Камчатский семинар, 16 июля – 6 августа 2005 г.; 2.Geothermal resources council. San-Diego, USA. 10.09.2006 – 13.09.2006; 3. 6th International Colloquium: magmatism, metamorphism and associated mineralizations, Beni Mellal, Morocco, April 23-24, 2009.; 4. 3-rd International Maar Conference, Malargue, Argentina, April 14-17, 2009.; 5. XIV International Clay Conference. Castellaneta Marina (TA) – Italy, June 14-20, 2009.; 6. Thirty-Sixth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 30 - February 1, 2012; 7. 9th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes (JKASP 2016), Fairbanks, Alaska.

Всероссийские конференции: 1.Фундаментальные проблемы геотектоники. Москва, 30.01.2007- 03.2007.; 2. Годичное собрание РМО «Онтогения минералов и ее значение для решения геологических прикладных и научных задач (к 100-летию со дня рождения профессора Д.П. Григорьева), Санкт-Петербург, 06-08.10.2009 г.; 3. Всероссийская конференция «Поисковые геолого-геохимические модели рудных месторождений», Воронеж, 15-20 февраля 2009 г.; 4. III конференция "В кильватере большого корабля: современные проблемы магматизма, метаморфизма и геодинамики", г. Черноголовка 23-24 ноября 2018.

Региональные конференции: 1. Конференция молодых исследователей и специалистов «Современный вулканизм: прогноз, динамика и связанные с ним процессы в недрах Земли и окружающей среде», проведена Институтом вулканологии ДВО РАН 22-23 ноября 2000 года; 2.Вулканизм и геодинамика: Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии, Петропавловск-Камчатский, 22-27

сентября 2009 г.; 3. Конференция, посвящённая Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы», Петропавловск-Камчатский, ИВиС ДВО РАН, 2011.

Особое значение в написании диссертационной работы сыграли научные стажировки.

Российские: 1. Научная стажировка в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова по теме: «Геоморфологические методы исследования вулканических (горных) районов» в мае и сентябре-октябре 2005 г.

Зарубежные:

1. Научная стажировка в Университете Организации Объединённых Наций в г. Рейкьявик (Исландия) по геотермальной программе обучения (геологические исследования) с 18 апреля 2007 г. по 15 октября 2007 г.

2. Учебный курс аспирантуры по вулканологии (275 часов), в Университете Жироны (Испания) 9 -22 октября 2017 г.

Структура диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, словаря используемых в работе терминов, 5 глав, заключения, списка литературы из 136 наименований, включает 2 таблицы, 42 рисунка и занимает 131 машинописные страницы.

Благодарности

Выражаю искреннюю признательность моему научному руководителю академику Е.И. Гордееву за всестороннюю поддержку, помощь и содействие в выполнении исследований.

Особую благодарность моему первому научному руководителю к.г.-м.н. И.Ф. Делемену, а также идейному вдохновителю и коллеге к.г.-м.н. В.И. Белоусову, за постоянные консультации, полезные советы и неоценимую поддержку на протяжении всего периода написания работы.

Отдельные слова благодарности д.г.-м.н. С.Н. Рычагову за всестороннюю помощь и возможность участия в экспедициях на о-ве. Парамушир, а также сотрудникам лаборатории геотермии ИВиС ДВО РАН: к.г.-м.н. Е.И. Сандимировой за плодотворные научные дискуссии, И.А.Бойковой, О.В. Ковиной, Л.В. Котенко и Т.А. Котенко, О.В. Шульге, А.А. Нуждаеву, И.А. Нуждаеву; С.О. Фиофилакову, В.Г. Пушкареву, за помощь в сборе материалов в период проведения полевых работ.

Автор выражает благодарность к.г.-м.н. Г.В. Брянцевой, д.г.-м.н. Л.А. Сим за доброе отношение и поддержку при написании статьи, которая легла в основу диссертационной работы, к.г.-м.н. М.Д. Сидорову за помощь в освоении методов ГИС моделирования.

Также автор благодарит: к.г.-м.н. Г.П. Королёву, д.г.-м.н. С.Б. Бортникову за полезные советы и содействие в подготовке диссертационной работы; д.ф.-м.н. П.П. Фирстова за ценные советы и редакционные замечания; к.г.-м.н. Е.Г. Калачёву за полезные советы и конструктивную критику в написании работы; д.г.-м.н. А.Ю. Озерова за полезные советы при оформлении графики и автореферата; А.Г. Николаеву за постоянную и всестороннюю поддержку.

Особые слова благодарности д.г.-м.н. А.И. Кожурину за ценные советы и редакционные замечания.

Работа выполнена в рамках проекта № 14.W03.31.0033 Минобрнауки России «Геофизические исследования, мониторинг и прогноз развития катастрофических геодинамических процессов на Дальнем Востоке РФ».

Словарь используемых в работе терминов

В работе автор использует введенное С.Н. Рычаговым определение **«гидротермально-магматическая система»** - этот термин определяет характер и механизмы взаимосвязи собственно гидротермальной системы и источников ее теплового питания. Данное понятие предусматривает наличие в недрах системы горячего субвулканического тела или его связи с современным периферическим магматическим очагом [Рычагов, 2003].

По мнению автора, такое определение, в полной мере отражает связь гидротермального процесса и магматизма, что имеет важное значение в исследуемой проблеме. Кроме того, на сегодняшний день этот термин является устоявшимся для данного района. Поэтому, в этой работе автор придерживается термина **«гидротермально-магматическая система»**.

В работе рассматриваются **дайки** как источники теплового питания гидротермально-магматических систем. Под определением **«дайка»** понимается пластинообразное, вертикально стоящее (или близкое к вертикали) геологическое тело, ограниченное параллельными стенками и секущее вмещающие породы. В данной работе учитывается только эндогенный тип даек, образованных проникшей из глубины магмой при заполнении ею вертикальных или наклонных трещин в земной коре. В работе рассматриваются дайки на всех этапах развития, независимо от способа внедрения, начиная от этапа заполнения субвертикальной трещины жидкой магмой, до периода полной раскристаллизации внедренной интрузии. Остывшее магматическое тело, в качестве источника тепловой энергии не рассматривается.

Под определением **линеament** понимаются только линейно ориентированные формы рельефа и ландшафта, соответствующие зонам повышенной трещиноватости горных пород. То есть **линеament** – это четкая линия рельефа, раскрывающая структуру земной коры, скрытую под осадочным слоем [Таскин, 2017].

Выделенные автором линеаменты соответствуют слабовыраженным локальным зонам трещиноватости, находящим отражение в тальвегах первых порядков гидросети.

Под определением **воронка взрыва** понимаются воронки небольшого размера (от 4х до 10 м в диаметре), образовавшиеся в результате эксплозий, происходящих, преимущественно, в верхнем конце питающей дайки.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ

Горшков Г.С. [Горшков, 1967] в своей фундаментальной работе «Вулканизм Курильской островной дуги» отмечал, что происхождение и развитие островных дуг постоянно привлекает к себе внимание геологов. Именно к таким областям, как Камчатско-Курильская вулканическая островная дуга приурочены современные геологические процессы, такие как сейсмотектонические, гидротермально-магматические, вулканогенно-осадочные. Поняв до конца эти процессы сегодня, можно судить об аналогичных процессах прошлого.

1.1. Структурные позиции вулканических систем Курильских островов

Курильские острова представляют собой область интенсивного проявления плейстоценового и современного вулканизма. В геологической литературе имеется несколько обобщающих работ [Горшков, 1967; Федорченко и др., 1989; Родионова и др., 1966], позволяющих составить достаточно отчетливое представление о масштабах и характере четвертичной вулканической деятельности в этом регионе. Разными исследователями здесь выделяется от 70 до 160 наземных вулканов. Следует отметить, что одни и те же вулканические объекты одними исследователями рассматриваются как вулканы, другими — как побочные образования более крупных сооружений.

Эволюция Курильской вулканической системы начиналась на океанском дне. В настоящее время наблюдается начало островного этапа, когда эруптивные долгоживущие центры, до этого времени работавшие в подводно-океанических условиях, перешли в активную фазу действия на земной поверхности.

Долгоживущие вулканические центры представляют собой, открытые в атмосферу и гидросферу эндогенные системы, состоящие из первичных магматических резервуаров, плоских транспортирующих магму каналов, магматических очагов в земной коре, жерл

(трещин, конусов, куполов, кратеров, кальдер, мааров и пр.), а также поверхностных термальных проявлений (фумарол, горячих и теплых источников).

Ряд исследователей [Федорченко и др., 1989] считают, что расположение вулканов Курильских островов контролируется не разрывными нарушениями их неогенового основания, но имеют сдвиговый характер глубинных зон повышенной проницаемости.

По геолого-петрографическим признакам [Федорченко и др., 1989] все полигенные стратовулканы Курильских островов группируются в пять морфогенетических типов. Полигенные вулканы формируются извержениями одного типа и, в связи с этим, подобны одноразовым образованиям - шлаковым конусам ареального вулканизма. Многоканальные лавово-пирокластические массивы, образуют вулканические хребты [Леонов, 2005]. Некоторые авторы называют такие структуры кустовыми и линейно-кустовыми вулканами [Горшков, 1967]. Продукты их извержений представлены всеми разновидностями пород — от базальтов до дацитов и риолитов, однако, среди них резко преобладают двупироксеновые андезибазальты и андезиты, составляющие до 70—80% общего объема пород [Горшков, 1967]. Некоторые вулканические системы, коровых очагов не имеют, а самые ранние дайки внедряются из глубинных резервуаров, тогда как более поздние интрузии в некоторых вулканических системах внедряются от образованного корового магматического очага [Walker, 1987]. Ранние стадии всех вулканических систем, характеризуются развитием роев региональных даек [Walker, 1987; Hill, 1987]. На средних стадиях эволюции кустовых вулканов нередки небольшие газовые взрывы и крупные фреатические извержения. Между эруптивными фазами этой стадии проявляется интенсивная гидросольфатарная деятельность, сопровождающаяся отложением серы. На поздних стадиях дифференциации в вершинные кратеры внедряются андезидацитовые экструзии, а извержения становятся близкими к Пелейскому, Катмайскому типам и типа Мерапи [Белоусов, 1978]. Гидротермальная деятельность локальна. Геологическое строение и морфология эруптивных аппаратов

"кустовых" вулканов, петрографический и химический состав лав и обломочных продуктов извержений [Горшков, 1967; Федорченко и др., 1989; Родионова и др., 1966] свидетельствуют, что магматическая проводящая система эволюционировала на всем протяжении формирования этих вулканических структур.

На примере Исландии можно проследить процессы, связанные со становлением и развитием современных долгоживущих вулканических центров и сопряжённых с ними гидротермальных систем, во взаимодействии которых, одними из наиболее важных элементов представляются рои трещин, даек, силлы и вулканы центрального типа, [Gudmundsson, 1995].

Современные гидротермальные системы вулканических областей, несмотря на разный генезис их происхождения, нередко сопряжены с сетью даек. Примером этому служат многие гидротермальные системы Исландии, Гавайских и Курильских островов, а также Камчатки и Северной Америки, где дайки зачастую являются главными источниками тепла для гидротермальных систем [Белоусов, 1978; Gudmundsson, 1995; Kiryukhin, 2018; Nielson et al., 2019; Ефимов, Ершова, 1998].

В работе А.Б. Ефимова и Т.Я. Ершовой [Ефимов, Ершова, 1998], исследуется распределение напряжений в земной коре с учетом изменений с глубиной упругих свойств и плотности среды и магмы, на примере вулкана Ключевская сопка (Камчатка). Исследования показали, что на одной и той же глубине одновременно может образоваться несколько даек (приблизительно 3-5). После чего вертикальные трещины больше образовываться не могут, но создаются благоприятные условия для образования горизонтально расположенных трещин и их проработкой магматическим материалом. По данным А.Б. Ефимова и Т.Я. Ершовой [Ефимов, Ершова, 1998] примерно через месяц, вертикальные дайки отвердевают, появляется возможность постепенного увеличения кольцевых растягивающих напряжений до уровня, приводящего к образованию вертикально расположенных трещин. В результате нескольких таких последовательных

циклов происходит проработка и прогрев окружающих магматический канал пород дайками до тех пор, пока расстояние между ними не достигнет нескольких метров, а среда вокруг канала, не образует мягкую оболочку, прорыв которой дайками становится затруднительным. Такой циклический процесс в течение длительного времени способствует плотному насыщению дайками и силлами среды окружающей магматический канал. Впоследствии вмещающие породы, окружающие мягкую оболочку, образовавшуюся вокруг канала, растрескиваются, увеличивая пористость пород, что способствует на водоносных горизонтах притоку подземных вод к оболочке вокруг канала. В результате чего образуется и поддерживается гидротермальная система, в которой расход воды может составлять до сотен кубических метров в сутки [Ефимов, Ершова, 1998].

1.2. Питание вулканических систем Курильских островов

В районах Камчатки и Курильских островов сеть базальтовых даек зачастую располагается вблизи долгоживущих вулканических центров, к которым приурочены современные гидротермальные системы. Базальтовые дайки являются главным источником теплового питания для многих гидротермальных систем, [Nakamura, 1977; Белоусов, 1978; Kiryukhin et al., 2018].

Дайка представляется идеальным источником тепла для гидротермальных систем, так как при малом объеме расплава и большой поверхности теплоотдачи создаются условия резкого перепада температур на её концах [Walker, 1987; Белоусов, 2016]. Перенос больших количеств тепла в головную часть дайки создает высокотемпературные условия (фокусирование теплового потока) в ее фронтальных частях, что вызывает плавление пород на этом узком участке, формируя канал разогретыми летучими компонентами для следующего за ними магматического расплава [Walker, 1987; Белоусов, 2016].

Такие процессы наблюдались при прорыве даек на вулкане Килауэа [Hill, 1987; Walker, 1987] и на Большом трещинном Толбачинском извержении [Большое трещинное..., 1984]. Не исключено, что на острове Парамушир, на начальном этапе развития долгоживущих вулканических центров, трещины в земной коре заполнялись именно базальтовыми расплавами, образуя дайки и силлы, которые являлись источниками теплового питания гидротермальных систем.

Существует другое объяснение причины образования даек. Так исследователи [Полянский, 2012; Maimon, 2012; Mathieu, 2008; Baruah, 2013; Бабичев и др. 2016] считают, что причиной образования даек является давление, которое в поле тяготения создается разницей плотностей между расплавом и окружающими породами, а также определенную роль в этих процессах играют горизонтальные тектонические движения. Интрузии магмы контролируются механизмом магморазрыва, который представляется как процесс разрушения горной породы трещиной, заполненной расплавом, находящимся под давлением.

Модель процесса внедрения интрузии магмы в кору при наличии избыточного давления в магматической камере [Бабичев и др., 2016] показала, что вне зависимости от выбора вариантов расчета в пределах принятого диапазона разности плотностей расплава и твердой породы ($100\text{--}500 \text{ кг/м}^3$) величины избыточного давления достаточно, чтобы преодолеть сопротивление среды к разрушению и развиться трещине, заполненной магмой, т.е. магматической интрузией. Одной из задач моделирования процесса внедрения интрузии было определение скорости её роста под действием давления магмы с вязкими, температурно-зависимыми свойствами. В работе было рассмотрено несколько моделей с разным масштабом времени.

В варианте модели с масштабом времени 1 месяц за 17 часов температура в канале превышает 1200°C и магма не успевает затвердеть. Таким образом, процесс подъема по трещине шириной ~ 500 м в основании и менее 1 метра в вершине длится порядка суток.

При этом профиль трещинного канала во всех модельных экспериментах, представленных Бабичевым А.В. [Бабичев и др., 2016], оставался коническим, утоньчающимся к вершине до минимально допустимых размеров конечного элемента (0,5 м).

По оценкам, приведенным в работе С.П. Келли [Kelley, Wartho, 2000] магма поднималась к земной поверхности в течение от 13 часов до 11.6 дней при температуре в диапазоне 1200-1000 °С.

А. Гудмундссон [Gudmundsson, 1995] предполагает, что малоглубинные коровые магматические очаги на раннем этапе развития вулканических систем отсутствуют, все интрузии (дайки) и экструзии внедряются непосредственно из мантийного резервуара. Последующие стадии эволюции магматических конвективных систем кустовых вулканов характеризовались плавлением вмещающих пород в результате поступления тепловой энергии, приносимой потоками летучих компонентов. Эти более кислые расплавы периферических магматических очагов небольшого объёма смешивались с глубинными базальтовыми расплавами, которые периодически инъецировали по уже существующим прогретым каналам, о чём свидетельствуют извержения продуктов андезибазальтового и андезитового состава. Как правило, дациты и риолиты также носят следы смешения [Anderson, 1976]. Их более кислый состав, возможно, обусловлен смешением магм, предварительно прошедших процесс кристаллизационной дифференциации в более крупных периферических очагах поздних этапов эволюции. Течение процессов исходного расплава, обусловленное гидростатическим напором, периодически прерывалась эруптивными актами, вызванными дегазацией и эксплозивными взрывами. Эти явления обеспечивали многообразие составов продуктов извержений и форму их проявления [Anderson, 1976].

Характерная особенность «кустовых» вулканов — большая продолжительность жизни: многие из них, зародившись в неоплейстоцене, сохраняют активность до сегодняшнего дня. Столь длительная и сложная история отражена в их сложном

морфологическом облике, в формировании которого, наряду с эндогенными, большую роль сыграли различные экзогенные процессы. В этом отношении показательным является детально изученный вулканологами Института морской геологии и геофизики ДВО РАН (ранее Сахалинский Комплексный институт АН СССР) хребет Вернадского на о-ве Парамушир [Родионова, 1966].

ГЛАВА 2. ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСТРОВА ПАРАМУШИР И ВОПРОСЫ ЭВОЛЮЦИИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

Остров Парамушир расположен на северо-восточном окончании Большой Курильской островной дуги (рис. 2.1). Протяжённость острова более 100 км, средняя ширина 20-25 км. Площадь острова равна 2042 км².

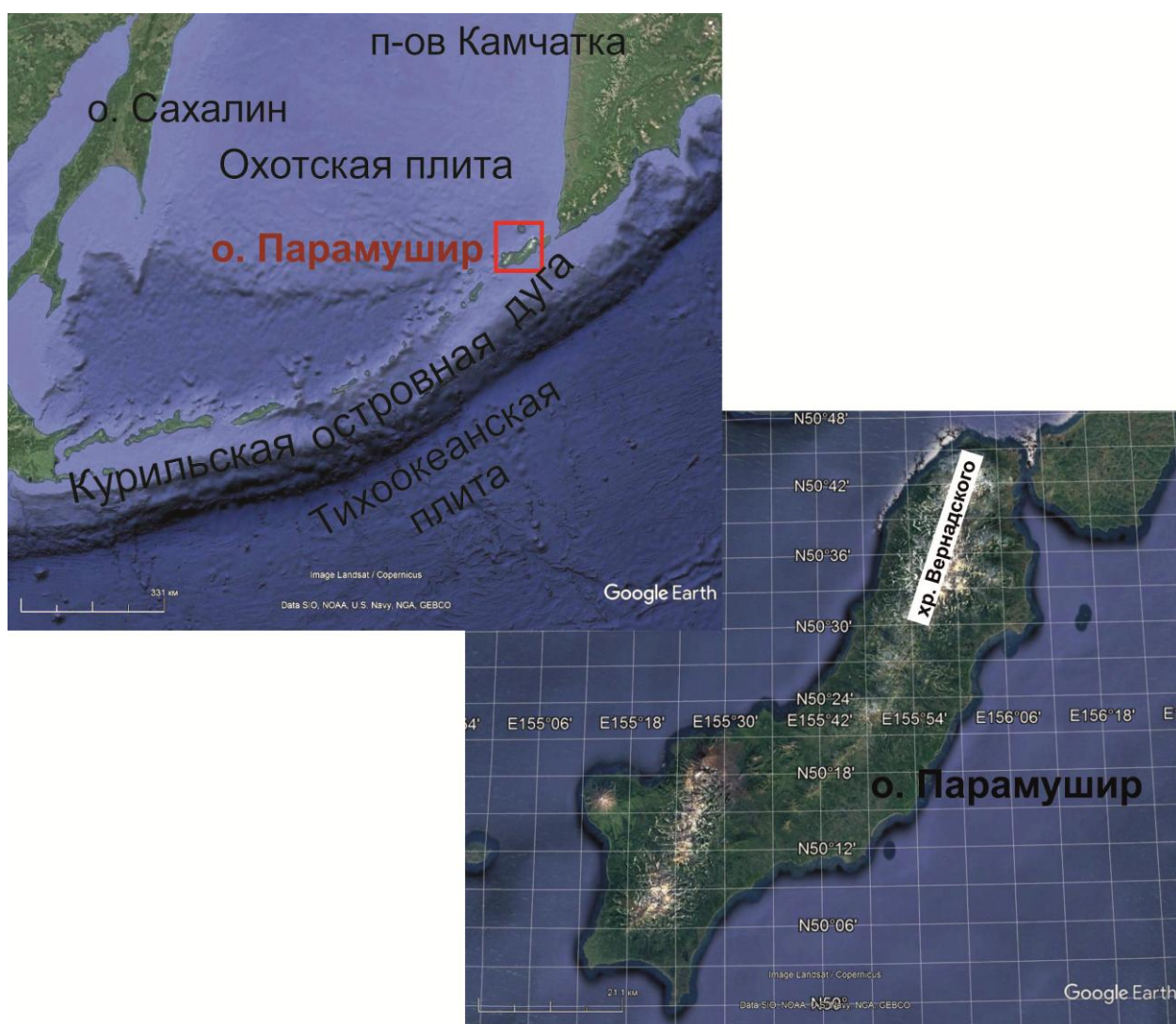


Рис. 2.1. Курильская островная дуга и остров Парамушир.

Для острова характерен горный рельеф денудационно-тектонического и вулканического происхождения [Камчатка, Курильские и Командорские о-ва, 1974]. Основными рельефообразующими факторами являются тектоно- магматические процессы

и ледниковая деятельность. Определенное влияние на формирование рельефа играет морская абразия, деятельность постоянных и временных водотоков, сеймотектонические обвалы и оползни, а также эоловые и склоновые процессы [Мелекесцев и др., 1974].

Остров находится в сфере деятельности морского климата. Влияние вод Охотского моря и Курильского течения в Тихом океане определяют прохладное влажное лето и большую продолжительность зимнего периода. В холодный период года остров находится под воздействием Алеутского минимума, что приводит к преобладанию северо-западных ветров, вызывающих снежную зиму. В теплый период остров Парамушир находится в области повышенного давления. Летом преобладают ветры с юго-востока, влекущие за собой прохладное лето с частыми дождями и туманами [Барабанов, 1976]. Питание рек осуществляется за счет атмосферных осадков (снег и дождь). Расчленённый горный рельеф хр. Вернадского формировался в результате взаимодействия активных тектоно-магматических, вулканических, эрозионных и гидротермальных процессов. В настоящее время в северной и центральной частях хребта продолжается вулканическая (эксплозивная, фреатическая), а также газо-гидротермальная деятельность, оказывающая непосредственное влияние на современные рельефообразующие процессы.

Остров Парамушир считается относительно поднятым блоком земной коры и является продолжением прибрежного горста Южной Камчатки. Сформирован неогеновыми, преимущественно вулканогенно-осадочными породами, сложенными в пологие складки, вытянутые по простиранию островной дуги. К.Ф. Сергеев рассматривает складчатость острова как исключение и отмечает, что для других островов Большой Курильской гряды она не характерна [Сергеев, 1976].

В рельефе о. Парамушир выделяются три вулканических хребта: Вернадского, Левинсон-Лессинга и Карпинского. Северный и Южный хребты образованы слившимися постройками четвертичных вулканов, среди которых есть действующие.

Остров Парамушир сложен неогеновыми породами, преимущественно осадочно-

вулканогенными. Здесь встречена фауна от среднемиоценового до плиоценового возраста. Нижележащие немые толщи Г.С. Горшков [Горшков, 1967] относит к нижнему миоцену и верхам палеогена.

На Парамушире доминирующую роль играли извержения, близкие к трещинному типу. Древние (Q_1 — Q_2) лавы изливались на поверхность верхнетретичных отложений из тесно расположенных центров, которые были приурочены к привершинной части хребтов. В результате этой деятельности образовались обширные более или менее полого наклоненные в обе стороны от хребта лавовые плато [Горшков, 1967]. Первое оледенение, бывшее на Парамушире очень мощным, сильно разрушило вулканические плато и вулканические центры. В большинстве случаев процессы ледниковой эрозии в период первого оледенения были настолько интенсивными, что почти невозможно выделить отдельные центры нижнечетвертичной вулканической деятельности. Центры и потоки межледникового времени также частично разрушены (вторым оледенением), но во многих случаях поверхность потоков сохранила свои общие морфологические черты, а местоположение центров излияний может быть установлено почти повсеместно [Горшков, 1967].

2.1. Геологическая характеристика северной части о. Парамушир

Северную часть острова формирует вулканический хребет Вернадского, который протягивается в субмеридиональном направлении от горы Ветровой на севере до горы Вернадского на юге и имеет общую протяжённость 25 км. Водораздел хребта проходит почти строго по осевой части острова. К нему приурочены все наиболее высокие вершины. Максимальным превышением над уровнем океана обладает вершина г. Вернадского (1180 м).

Тихоокеанский склон хр. Вернадского достаточно пологий, в отличие от крутого охотоморского склона. Речная сеть района густая. Реки тихоокеанского склона

протяжённые, имеют большие водосборные бассейны и относительно спокойное течение. Реки охотского побережья порожисты, часто имеют каньонообразные долины.

Северная часть о. Парамушир сложена (рис. 2.2.) верхнемиоцен-плиоценовыми, четвертичными и современными породами. Фундамент составляют вулканогенно-осадочные породы парамуширского комплекса свит: вулканомиктовые песчаники, туфы, туфогравелиты охотской свиты (N_1), а также плохо сортированные конгломераты, брекчии, грубозернистые песчаники океанской свиты. Отложения охотской и океанской свит прорываются плиоценовыми дайками и силлами (мощностью до первых десятков метров) и на этих отложениях залегают лавы: четвертичные базальты, андезиты и андезибазальты. Особенностью рельефа острова является наличие следов четвертичного и современного оледенения [Федорченко и др., 1989].

Северный сектор острова разделён на горизонтально вытянутые, попеременно сменяющие друг друга и различающиеся по степени эродированности, блоки. Смещения по разломам широтного простирания привели к образованию серии горстов и грабенов, однако их размеры и область распространения значительно меньше структур СЗ простирания. В.Л. Леонов отмечает, что разломы широтного простирания характерны лишь для района хр. Вернадского. Остальные разломы проявлены на хр. Вернадского значительно слабее [Леонов, 1990].

Остров Парамушир считается относительно поднятым блоком земной коры и является продолжением прибрежного горста Южной Камчатки. Разломы СЗ простирания разбивают остров на ряд поднятых и опущенных блоков (горстов и грабенов) [Леонов, 1992].

Хребет Вернадского сформирован тесно слившимися между собой сложными постройками двух вулканов центрального типа (Ветрового, Влодавца) и трёх линейно-кустовых долгоживущих вулканических центров (Эбеко, Богдановича и Вернадского),

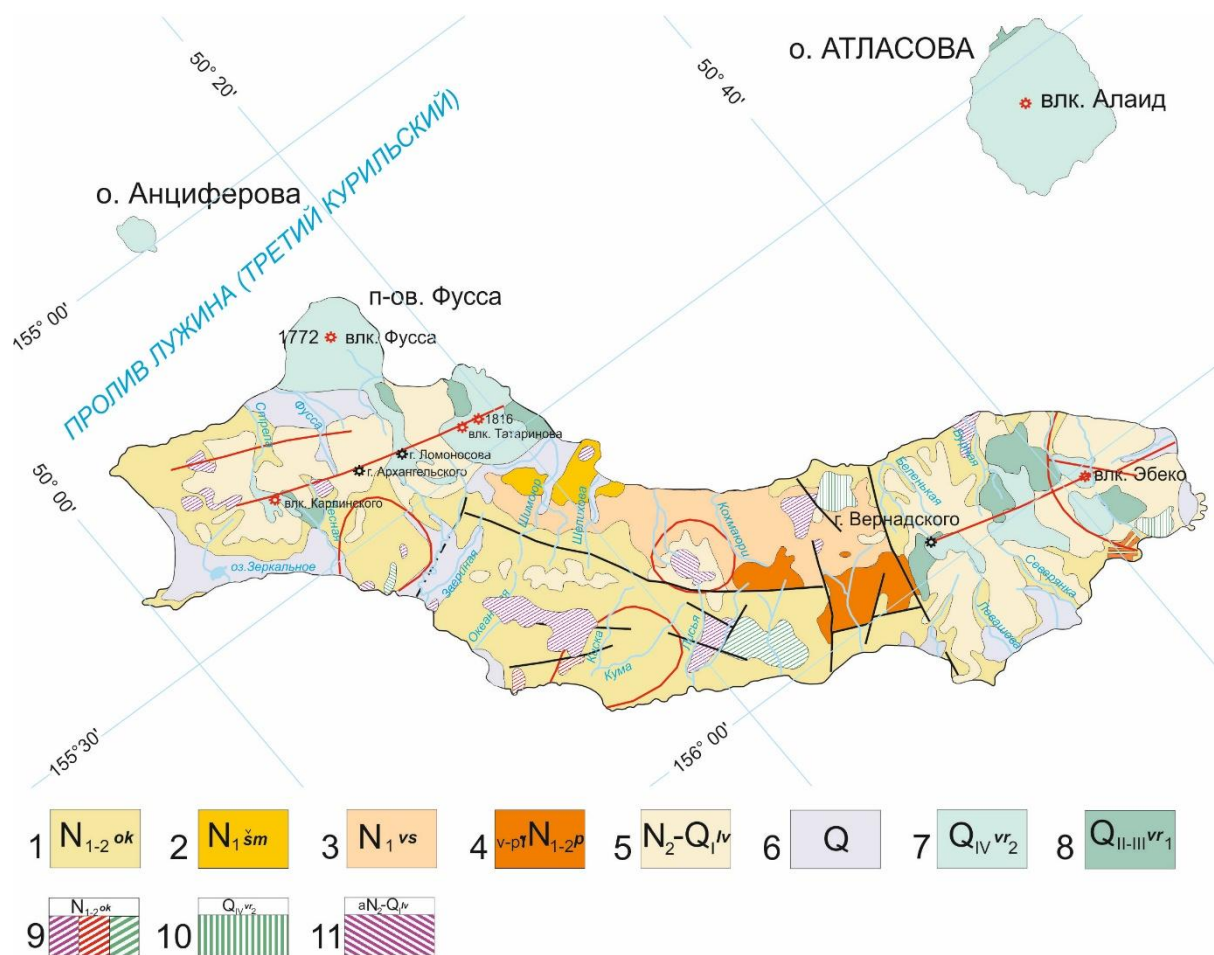


Рис. 2.2. Геологическая карта о. Парамушир [Атлас Курильских островов, 2009].

1. Округловская свита. Туффиты, туфы основного среднего и кислого состава, гиалокластиты базальтов и андезитов, разнообразные вулканогенно-осадочные породы. **2.** Шумновская свита. Флишоидно переслаивающиеся туфопесчанники, туфоалевролиты, псаммоалевролитовые туффиты, туфы дацитов, туфогравелиты (1200м). **3.** Васильевская свита. Туфы, гиалокластиты, туффиты андезитов, андезибазальтов, базальтов с подчиненными прослоями туфопесчаников и туфогравелитов (430м). **4.** Парамуширский комплекс габбро-плагиогранитовый. Интрузии сложного состава: кварцевые диориты, кварцевые диорит- и диоритпорфиры, гранодиориты, grano-диорит-порфиры, плагио-гранит-порфиры, габброидды. **5.** Левашовская толща. Андезиты, андезибазальты, базальты, редко туфы и туффиты основного и среднего состава (350 м). **6.** Нерасчлененные образования. Морские, аллювиальные, деллювиально-пролювиальные, болотные, озерные, эоловые, ледниковые пески, галечники, щебни, валунники, гравийники глины, супеси, суглинки, торфа (100 м). **7.** Вернадковский комплекс андезитовый. Вторая фаза. Андезиты, андезибазальты, базальты, дациты, туфы и тефра разного состава, игнимбриты дацитов. **8.** Первая фаза. Андезиты, андезибазальты, базальты, туфы основного и среднего состава, редко туфы дацитов. **9.** Субвулканические образования. Штокообразные тела андезитов, кварцевых диорит-порфиритов; базальтов долеритов и габбродолеритов; дацитов и риодацитов. **10.** Вернадковский комплекс андезитов. Вторая фаза. Экструзии андезитов; дацитов. **11.** Субвулканические образования. Штокообразные тела андезитов, тела сложного состава от андезитов до диорит-порфиритов.

Фундаментом служат неогеновые вулканогенно-осадочные и интрузивные образования. Все вулканы хребта возникли до эпохи первого (рисского) оледенения, однако только три из них (Эбеко, Богдановича и Вернадского) были активными в послеледниковое время [Горшков, 1967; Федорченко и др., 1989].

Помимо крупных вулканических построек, в осевой части хр. Вернадского дешифрируются воронки взрыва, для некоторых из них характерны лавовые потоки [Родионова и др., 1966], свидетельствующие о частых фреатических и фреато-магматических взрывах.

Четвертичные вулканы Крашенинникова, Билибина, Богдановича, Неожиданный, Эбеко и др. образуют крупную «линейную» вулканотектоническую структуру (рис. 2.3.), в недрах которой в течение длительного времени происходила миграция магматического расплава андезибазальтового состава. Из наиболее древних эффузивов в северной части о. Парамушир вскрыты лавы базальтового состава, предположительно ниже-среднеплейстоценового возраста [Чудаев, 2003].

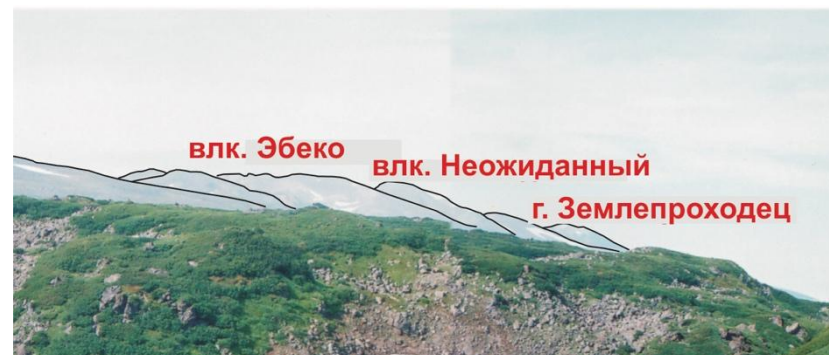
2.2. Вулканические системы хребта Вернадского

В пределах вулканических построек, образующих хр. Вернадского, сложно переплетаются постройки различного порядка и возраста, что обусловлено частой миграцией активных выводных каналов. Г.С. Горшков [Горшков, 1958] хорошо отразил общий характер вулканизма хр. Вернадского термином «линейно-кустовой вулканизм». Линейное расположение четвертичных вулканов свидетельствует о линейности той ослабленной зоны, по которой магма проникает из недр к поверхности земли [Родионова и др., 1966].

Вулканы северной части хр. Вернадского (Ветровой и Влодавца) сильно отличаются от остальных. В основном для хр. Вернадского характерен вулканизм андезитовый по



Рис. 2.3. Вулканические центры хр. Вернадского



Группа влк. Эбеко (фото Т.А. Котенко)



Группа влк. Богдановича (фото Л.В. Котенко)



Группа Вернадского (фото Т.А. Котенко)

составу, а по строению — близкий к слоистым вулканам [Влодавец, 1954]. В строении же вулканов Ветрового и Влодавца большое участие принимают пирокластические породы (шлаки, туфы и др.), причем существенная часть продуктов их деятельности представлена базальтами. Характерной особенностью этих вулканов являются шлаковые конусы [Родионова и др. 1966].

Вулкан Ветровой - самый северный одиночный вулкан в цепи вулканов хребта Вернадского (рис. 2.3). Это сильно разрушенная эрозионно-ледниковыми процессами крупная вулканическая постройка, расположенная в верховьях реки Зеленой. Южная часть древней постройки вулкана Ветровой погребена под более молодыми отложениями вулкана Эбеко. Возраст основной постройки вулкана Ветрового уверенно определяется как доледниковый (Q1?—Q21) [Родионова и др., 1966].

В жерловой части вулкана наблюдаются многочисленные неки и дайки, поля гидротермально-измененных пород и фрагменты кратерно-озерных отложений [Родионова и др., 1966], что свидетельствует о глубинном происхождении магматических расплавов вулкана.

Южнее по линии хребта Вернадского расположены вулканические центры имеющих линейно-гнездовое расположение. В связи с этим вулканы хр. Вернадского объединяются в группы, одной из которых является группа вулкана Эбеко. Это самая молодая группа, объединяющая три вулкана: Эбеко, Неожиданный, Незаметный, расстояние между которыми составляет 1-2 км [Горшков, 1967].

Вулканическая группа Эбеко

Вулкан Влодавца. С юго-запада к вулкану Ветровой примыкают разрушенные древние вулканические образования в верховьях рек Юрьева и Горшкова, представляющие собой крупную доледниковую самостоятельную вулканическую постройку (Q₁–Q₂?). В период оледенений вулкан был разрушен ледниками и в настоящее время представляет собой обширную (до 2 км в диаметре) неправильную котловину, открытую на запад, и служащую верховьями р. Юрьева. В верховьях р. Юрьева отмечается большое количество неков,

гидротермально измененных пород, а также интенсивная современная гидротермальная деятельность [Родионова и др., 1966].

Вулкан Эбеко - действующий вулкан сложного строения типа "Сомма-Везувий", который приурочен к крупной зоне разломов северо-западного простирания и является единственным действующим вулканом в хребте Вернадского. Центральный конус имеет три соприкасающихся боковых эксплозивных кратера. Наивысшая точка вулкана-1137 м.

Известны извержения вулкана Эбеко 1793, 1895, 1934-1938, 1967-1971, 1987-1991, 2009, 2018, 2019 гг. [Горшков, 1954; Меняйлов и др., 1992; Мелекесцев и др., 1993; Котенко и др., 2007]. Последние извержения вулкана имели в основном вид фреатических взрывов, причиной чему могли послужить инъекции магматических эманаций в высокотемпературную гидротермальную систему, размещенную в недрах хребта Вернадского. Лавы вулкана имеют преимущественно андезибазальтовый и реже - андезитовый состав [Горшков, 1967]. В настоящее время вулкан сохраняет высокую активность, заключающуюся в периодических выбросах резургентного пепла на фоне интенсивной фумарольной деятельности. Высота парогазовых выбросов достигает 200-300 м и более [Котенко, 2007]. Основная поверхностная разгрузка тепла здесь осуществляется через три крупных вершинных кратера и по долинам рек Юрьева, Горшкова и Кузьминки.

Конус Неожиданный расположен в 1,5 км к юго-западу от вулкана Эбеко. В целом вулкан Неожиданный представляет собой двухактное сооружение. Деятельность обоих конусов характеризовалась преобладанием лавовых излияний, взрывная деятельность имела подчиненное значение [Горшков, 1967].

Конус Незаметный расположен к югу от конуса Неожиданного. Возможно, что этот центр начал действовать в конце второго оледенения. Конус сложен двупироксеновыми андезитами, которые аналогичны лавам вулкана Неожиданного [Родионова., 1966; Горшков, 1967].

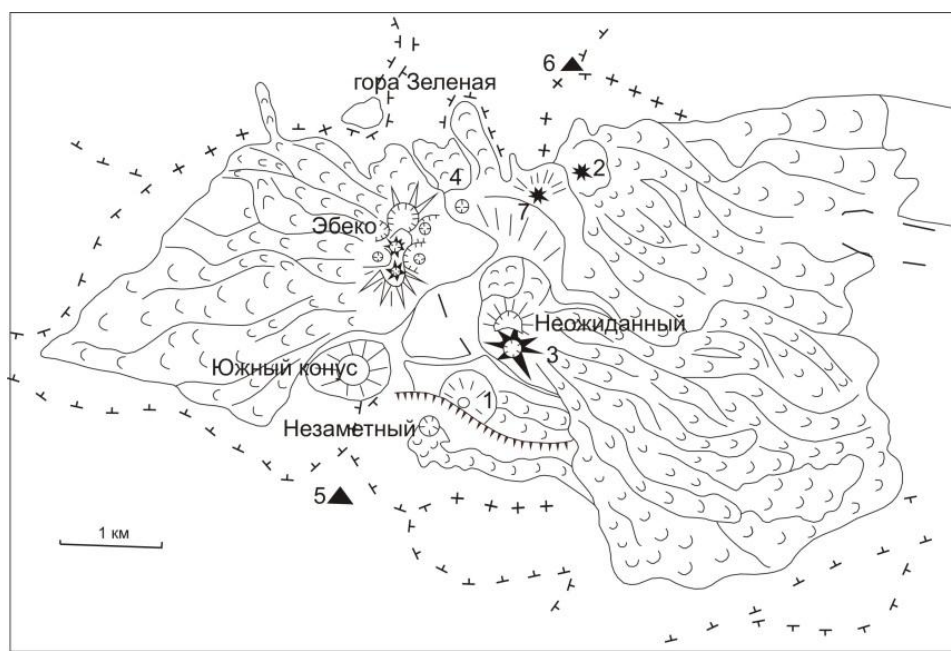


Рис. 2.4. Схема строения вулканов группы Эбеко по [Горшков, 1954].

1 - Эксплозивная воронка; 2-4 - межледниковые эруптивные центры; 5,6 – доледниковые центры.

Вулканическая группа Богдановича.

Образует центральную часть хребта Вернадского (рис. 2.3). Она состоит из пяти эруптивных центров, образованных в послеледниковое время (рис. 2.5) [Горшков, 1967].

Гора Краснуха – представляет собой разрушенный вулкан, утративший кратер. Юго-восточная часть постройки вскрывается цирком, стенки которого изменены гидросольфатарными процессами [Горшков, 1967].

Кратер Богдановича– доледниковая (Q_1^1 – Q_2^1) щитовая постройка древнего вулкана Богдановича разрушена. Жерловая часть доледникового вулкана Богдановича фиксируется некками, взрывными воронками, кратерно-озерными отложениями и гидротермально-измененными породами. Диаметр кратера составляет около 500 м и глубиной до 40 м. Дно кратера заполнено пресным озером Маловодное [Горшков, 1954; Родионова и др., 1966].

Послеледниковые кратеры и воронки взрыва вулкана Богдановича, окружают низкие насыпные постройки, имеющие свои лавовые потоки, порой достигающие значительных размеров.

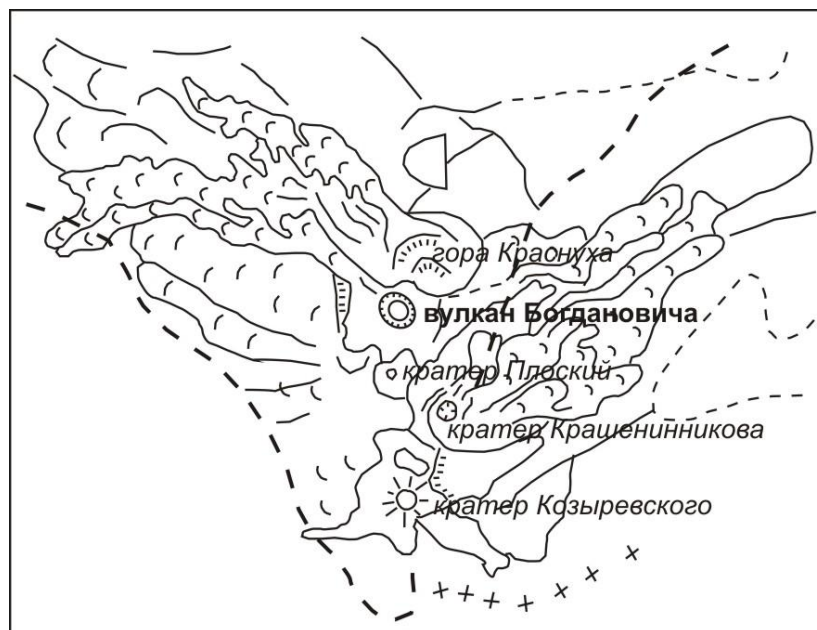


Рис.2.5. Схема строения вулканов группы Богдановича по [Горшков, 1954]

Кратер Крашенинникова– находится в 1 км к югу от кратера Богдановича, представляет собой два вложенных один в другой конуса, разделенных небольшим понижением. Потоки кратера Крашенинникова формируют в верховьях р. Наседкина обширное лавовое поле. Мощность лавового чехла не превышает 50-70 м. Все потоки сложены обычными серыми различных оттенков двупироксеновыми андезитами [Родионова и др.,1966].

Конус Козыревского-к югу от влк. Крашенинникова, представляет собой большой туфовый конус с относительной высотой в 100–150 м (1160 м абс. высоты). У подножия конуса с северной стороны расположены две слившиеся боковые воронки взрыва. Конус сложен исключительно пирокластическим материалом, в составе которого преобладают остроугольные эксплозивные обломки. Состав всех лав - пироксеновый андезит с редкими включениями кристаллов оливина [Горшков, 1967; Федорченко и др., 1989].

2.3. Интрузивные образования северной части острова Парамушир

Интрузии в северной части о. Парамушир, по времени внедрения подразделяются на миоцен-плиоценовые, раннечетвертичные и современные образования [Гаврилов, 1966; Родионова 1966; Подошвин, 2012].

Миоцен-плиоценовые интрузии включают плутоны сложного состава и пластовые тела, а также субвулканические тела и дайки [Гаврилов, 1966; Подошвин, 2012]. По данным магнитометрии, интрузии в центральной части острова образуют на глубине единое тело площадью около 120 км². По косвенным данным глубина формирования плутонов оценивается ≈1000 м. [Подошвин, 2012].

Интрузии миоцен-плиоценового возраста делятся на три группы: 1) основного состава (базальты, долериты); 2) среднего состава (андезибазальты, андезиты); 3. кислого состава (дациты, риодациты). Столь широкий диапазон в петрографическом составе интрузивных тел исследователи объясняют наличием разломов различного по глубине заложения, по которым расплавы поступали из очагов, расположенных на разных глубинах [Гаврилов, 1966; Родионова и др., 1966; Подошвин, 2012]. Наиболее распространёнными являются интрузии среднего состава, образуя тела (площадью до 1 км²) и дайки (мощностью 0.5-30 м, редко до 70). Базальты и долериты чаще всего слагают округлые тела диаметром до 600-800 м, приурочены к выходам округловской свиты [Подошвин, 2012].

Четвертичные и современные интрузивные образования как правило представлены раннечетвертичными андезитами и небольшими современными андезитовыми экструзивными куполами (диаметром от 100 до 1000 м и высотой от 30 до 400 м), расположенными на траверсе и южнее м. Левашова [Подошвин, 2012].

2.4. Термальные проявления хребта Вернадского

Термопроявления на острове приурочены к хребтам Карпинского и Вернадского и наиболее ярко проявлены вблизи действующих вулканов. В районе хр. Карпинского термопроявления, представленные выходами паровых струй и термальных источников,

локализуются у подножия вулканов Чикурачики и Татаринова. На хребте Вернадского – это фумаролы вулканов Эбеко, Крашенинникова и термальные источники р. Юрьева. А.Н. Барабанов в 1976 году [Барабанов, 1976] выделил Южно-Парамуширскую и Северо-Парамуширскую гидротермальные системы. Тепловую мощность Северо-Парамуширской гидротермальной системы он оценил в 350 ккал/сек.

Действующими в северной части о. Парамушир являются вулканы Эбеко и Крашенинникова. Гидротермальная система Эбеко обладает некоторыми особенностями. В периоды эксплозивных извержений на вулкане наблюдается наиболее активная деятельность, которая заметно ослабевает в промежуточные этапы [Барабанов, 1976; Леонов, 1990; Котенко, 2006]. Л.Н. Барабанов считал, что гидротермальная система вулкана Эбеко близповерхностная, относительно кратковременная - 10-20 тыс лет [Барабанов, 1976]. Такое время работы гидротермальной системы соответствует времени остывания внедрённых интрузивных тел (силл – 20 000 лет, дайка до 10 000 лет) [Nielsonetal., 2019].

Выходы горячих источников наблюдаются также в верховьях и среднем течении р. Юрьева. Кроме того, на влк. Эбеко встречены хлороводородные термы с очень высокой и изменчивой по времени минерализацией, которые не известны больше нигде на Курильских островах [Барабанов, 1976].

Вулкан Крашенинникова также проявляет слабую активность [Котенко, Котенко, 2006], в виде гидротермальной деятельности в кратере вулкана (фумаролы, термальные площадки).

Также на хр. Вернадского встречаются минеральные тёплые источники. Например, источник в верховьях р. Северянки (30°C), лимонитовый грифон в верховьях р. Левашова (12°C), источник на реке Ложкина (21°C). Теплые воды в прибойной полосе у пос. Утёсный (4 км. южнее г. Северо-Курильска) [Мархинин, Стратула, 1977; Леонов, 1990; Калачёва 2004]. В бассейне р. Птичьа, р. Птичьа Красная и р. Птичьа Белая наблюдаются выходы подземных вод. Среди них есть как холодные источники (3°C), так и теплые (до 15°C). Источники р. Птичьа Белая расположены почти у самых ее истоков и имеют температуру от 8 до 11°C. В русле р.

Птичья Красная наблюдаются теплые источники, один из них имеет температуру 18 °С., а его постройка сложена гидроокислами железа. Похожие источники отмечаются у подножия хр. Каменистого с температурой 18-19°С [Калачёва, 2004]. Однако Г.М. Власов и В.В. Бочкарёв [Власов, Бочкарёв, 1955] отмечали, что температура этих источников в 1953 году составляла 30°С.

Таким образом, все высокотемпературные термы приурочены к вулканической постройке Эбеко и р. Юрьева, а слаботермальные источники тяготеют чаще к центральной части хр. Вернадского, в большей степени - к его восточным склонам.

2.5. Соотношение гидротермальных систем и вулканических построек хребта Вернадского

Как правило, гидротермальные системы имеют поверхностные термальные проявления, в виде грязевых котлов, восходящих и нисходящих источников, парогазовых струй, термальных площадок, а также нагретых почв или поверхностей толщ и горизонтов пород, вмещающих гидротермы [Белоусов, 1978].

В результате изучения золотомедных систем юго-западного сектора Тихоокеанского огненного кольца, а также активных гидротермальных систем, Г. Дж. Корбетт и Т.М. Лич [Corbett, Leach, 1998] показали, что для изучения этих геологических объектов в первую очередь необходимо определить их гидродинамическую структуру. Под термином «гидродинамическая структура» авторы понимают размещение в верхней части земной коры островных вулканических дуг восходящих, нисходящих и латеральных гидротермальных потоков, состоящих из вод метеорного происхождения. В.И. Белоусов [Белоусов, Белоусова, 2002] считает, что конвективные гидротермально-магматические системы являются геологической структурой, объединяющей гидротермальную и магматическую деятельность в областях современного вулканизма. Р.У. Хенли и А. Дж. Эллис [Henley, Ellis, 1983]

классифицируют гидротермальные системы, связанные с современными вулканами, по типу вулканизма: гидротермальные системы, расположенные в районах с обширными проявлениями кислого вулканизма и гидротермальные системы, связанные с андезитовыми вулканами.

На территории нашей страны первые геотермальные исследования проводились на активных гидротермальных системах Камчатки, которые относятся к первому типу систем, связанному с широким развитием проявлений кислого вулканизма (Паужетка, Долина Гейзеров, кальдера Узон, Дачные источники, Мутновский вулкан) [Белоусов, 1978]. Гидротермальные системы, расположенные на Курильской вулканической (андезитовой) дуге изучались на островах Кунашир (вулкан Менделеева), Итуруп (вулкан Баранского) и Парамушир (вулканы хребта Вернадского).

Особенность вулканизма острова Парамушир связана с линейно-гнездовым расположением вулканических центров [Горшков, 1967; Федорченко и др., 1989]. В районе хребта Вернадского (о. Парамушир) была выделена единая Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая система [Белоусов и др., 2002; Рычагов и др., 2002], сходная по своим характеристикам с гидротермальными системами андезитовых островных дуг [Henley, Ellis, 1983]. Наиболее крупные вулканы хребта Вернадского сложены андезитовым и дацитовым материалом и опираются на более древнее основание, которое сложено породами того же состава, но в основном это подводные или субаэральные образования, характеризующиеся иными структурными и текстурными характеристиками.

Исследования геологического строения пород показали, что образование вулканических построек и извержение магматических расплавов сосредотачивалось вдоль оси хр. Вернадского [Родионова и др., 1966; Горшков, 1967]. В этой же зоне происходила поверхностная гидротермальная деятельность, в виде сольфатар, фумарол, формирования подземных кислых гидротермальных потоков. Также в осевой части хр. Вернадского происходили частые фреатические и фреато-магматические взрывы. Наиболее полно гидротермальные проявления хр. Вернадского были проанализированы в диссертационной работе Калачёвой Е.Г. [Калачева,

2004]. Однако анализ материалов, касающихся генетического соотношения гидротермально-магматической деятельности хр. Вернадского, очевидно, сложнее, чем представлено в этой работе.

Глава 3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для получения объективной картины развития гидротермально-магматических систем не достаточно исследований, относящихся к какой-то одной области знаний, изучение таких сложных процессов требует комплексного подхода. Для получения как можно более полной картины развития гидротермально-магматических систем хребта Вернадского, совместному анализу были подвергнуты результаты работ автора и его предшественников, исследовавших проблемы геотермии и смежных областей знаний.

3.1. Полевые исследования

Полевые работы на территории Северной части о. Парамушир проводились в период с 2003 – 2010 гг. и включали в себя ревизионное картирование с нанесением разрывных нарушений и интрузивных тел (дайки, силлы, некки), разгрузок подземных вод, воронок взрыва, фумарол, оконтуривание гидротермально-изменённых пород (аргиллитов). Особое внимание уделялось картированию зон тектонического дробления, трещинам с видимыми смещениями. Основной целью этих работ являлось подтверждение существования зон региональной трещиноватости, выделенных автором ранее при помощи метода линеаментного анализа и крупных разрывных нарушений, выделенных методом геоморфологического картирования Н.П. Костенко, модернизированного И.В. Флоринским.

В период проведения полевых работ, а также с помощью дешифрирования космических снимков и аэрофотоснимков (масштаб 1:50000) выделены видимые и скрытые системы интрузивных тел о. Парамушир, с целью определения источников теплового питания гидротермальных систем.

Выполнены работы по измерению температуры и расходов воды ручьёв и рек, необходимые для составления карты теплового поля, очагов скрытой разгрузки термальных вод центральной части хр. Вернадского (вулканический центр Богдановича).

Также автор участвовал в отборе проб воды в ручьях и горячих источниках на общий химический анализ.

3.2. Структурно-геоморфологические методы исследования

Для районирования и картирования вулcano-тектонических структур в вулканических районах большое значение приобретает правильный выбор определённого комплекса методов. Основой для этих задач является морфоструктурный анализ, который складывается из комплекса приёмов, направленных на выявление прямой или косвенной связи между современными формами рельефа и глубинными структурами.

Морфоструктурный анализ предполагает обнаружение и изучение структур, выраженных положительными или отрицательными формами в рельефе земной поверхности. Этот метод основан на положении геоморфологии об образовании рельефа земной поверхности путём непрерывного взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов. Таким образом, морфоструктурный анализ обеспечивает расшифровку важных элементов геологического строения и геологической истории любой территории по геоморфологическим признакам. Главное место среди таких элементов занимают молодые геологические структуры, выраженные в рельефе (морфоструктуры), а в геологической истории – тектонические деформации земной коры, обуславливающие образование современного рельефа.

3.2.1. Метод линеаментного анализа

Линеаментный анализ весьма востребован в науках о Земле, особенно при сравнительном изучении строения приповерхностных и более глубинных горизонтов земной коры. Именно поэтому при выборе необходимых методов исследования автор использовал линеаментный анализ.

Объектами метода являются преимущественно линейные элементы рельефа (классический линеаментный анализ) [Флоринский, 1992].

Под определением линеамент чаще всего понимаются некоторые линейные или линейно организованные элементы структуры земной поверхности, которые прямо или косвенно отражают особенности геологического строения, в том числе глубинные разрывы и трещиноватость погребенного фундамента [Макаров, 1981]. Другими словами линеамент - четкая линия рельефа, раскрывающая структуру земной коры, скрытую под осадочным слоем [Таскин, 2017].

Линейные гетерогенные глубинные неоднородности могут быть представлены в структуре земной коры валами и валообразными поднятиями; грабенами и грабенообразными понижениями; зонами повышенной трещиноватости; флексурами и флексурно-разрывными зонами; разрывами и разломами разных глубин заложения; поясами линейно ориентированных складок; зонами повышенной магматической проницаемости; цепочками интрузивных тел, потухших и действующих вулканов и т.д. [Кац и др., 1986]. По протяженности наблюдаются линеаменты – локальные, региональные, трансрегиональные или суперлинеаменты и глобальные (планетарные) [Кац и др. 1986].

Большой интерес вызывают исследования, посвященные анализу связи линеаментов с планетарной трещиноватостью [Березкина и др., 1984]. Это одна из причин, почему при линеаментном анализе на основе обработки топографических карт и дистанционных материалов выделяются линеаменты двух преобладающих систем: ортогональной (субширотные и субмеридиональные) и диагональной (северо-западные и северо-восточного простирания).

Линеаменты обнаруживаются, прежде всего, в упорядоченности эрозионной сети (эрозионного расчленения земной поверхности), что позволяет интерпретировать их как ослабленные, или проницаемые, зоны [Абраменок и др., 1988]. Пространственное распределение, плотность и количество пересечений линеаментов на единицу площади, являются ключевыми факторами для выделения высокопроницаемых зон, служащих путями миграции вещества [Таскин, 2017].

В областях связанной с вулканизмом гидротермальной деятельности, ослабленные проницаемые зоны могут быть зонами циркуляции высокотемпературных флюидов, смешения гидротермальных растворов с холодными метеорными водами, каналами подъема парогидротерм, выходов термальных вод на дневную поверхность [Бондур, Зверев, 2005]. Такой подход даёт возможность прогнозировать геотермальные ресурсы гидротермально-магматической системы.

С использованием метода линеаментного анализа автором были трассированы проницаемые зоны, проявленные выходами на поверхность термальных источников в северном секторе о. Парамушир, составлена схема их распределения по площади (рис.3.1.). Схема составлялась на основании дешифрирования топографической карты масштаба 1:50000. Линеаменты выделялись преимущественно в районах водоразделов, где тальвеги первых порядков практически смыкаются, образуя прямую линию.

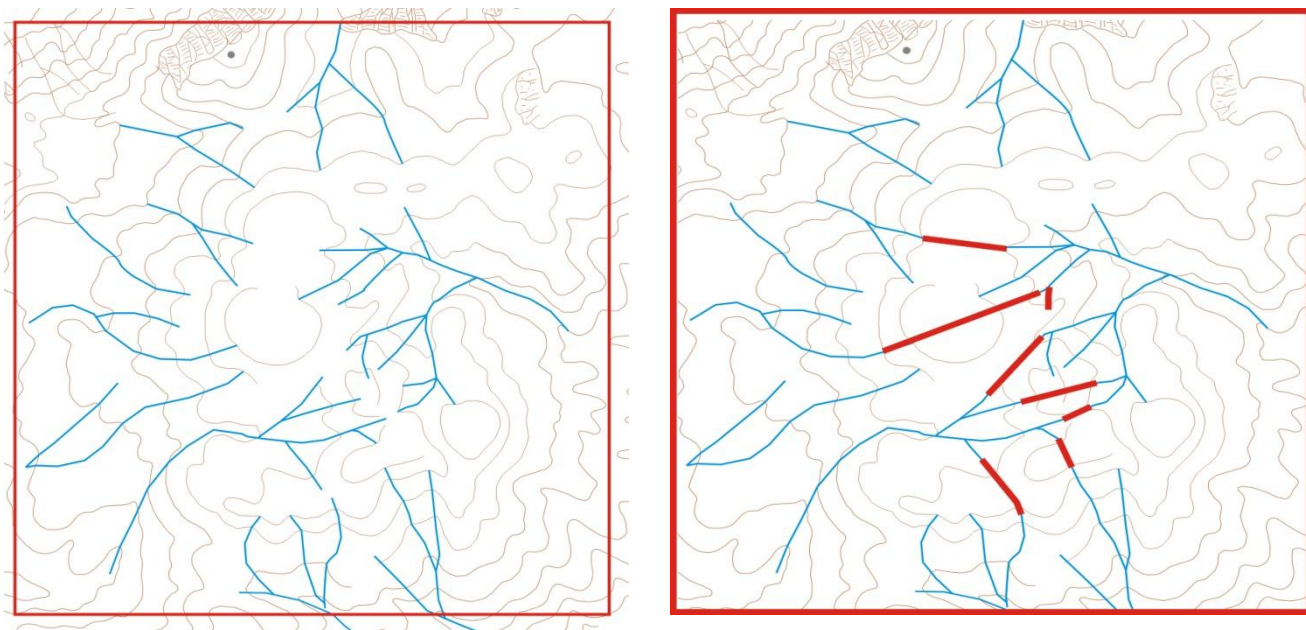


Рис. 3.1. Пример составления схемы линеаментной сети.

Учитывалось также то, что существует высокая вероятность выделения в качестве линеаментов прямолинейных форм рельефа и гидросети (особенно в пределах речных долин), непосредственно не связанных с тектоникой (например, прямолинейные участки меандр и т.д.). Для избежания таких ошибок линеаменты выделялись преимущественно в районах

водоразделов, где тальвеги первых порядков практически смыкаются, образуя прямую линию, либо на сильно спрямленных, протяженных участках речной сети. Для выявленных линий проводилась верификация (подтверждение) путем полевых наблюдений посредством маршрутного искажения вдоль линеамента и вкост его, а также сопоставлением с геолого-геофизическими картами и схемами, при постоянном контроле наблюдений просмотром аэрофотоснимков под стереоскопом. Для особо ответственных случаев просматривались стереоизображения на экране компьютера, с созданием (с помощью Photoshop) стереопары АФС, преобразованных в анаглифические изображения.

В дальнейшем, путем замера ориентировки линеаментов, были получены количественные данные, на основе которых построены диаграммы направлений зон тектонической трещиноватости земной поверхности. Такие диаграммы линеаментов позволяют установить как общие закономерности, так и частные отклонения в простирациях линеаментов, а также могут быть использованы для выявления крупных тектонических зон и локальных структурных форм [Методическое ..., 1977].

3.2.2. Метод структурно-геоморфологического картирования

Современные разрывные тектонические нарушения выделены с использованием методики Н.П. Костенко [Костенко, Брянцева, 2004]. Методика основана на структурно-геоморфологическом дешифрировании топографической карты. Эрозия активно проявляется в зонах повышенной трещиноватости и дробления пород, а также над этими зонами в рыхлых отложениях. Проработка зон флювиальными процессами, а в случае деятельности гидротермально-магматических систем, и восходящими потоками парогидротерм или инфильтрацией смешанных термальных и метеорных вод, может проявиться под покровами лав и других четвертичных отложений [Костенко, Брянцева, 2004]. Такое дешифрирование топографической карты масштаба 1:50 000 позволило выявить систему линейных структур.

Проверка положения разрывных нарушений, выявленных при дешифрировании топографической карты, проводилось по данным анализа комплексных геолого-геоморфологических профилей. В результате структурно-геоморфологического дешифрирования автором построена карта разрывных нарушений северной части о. Парамушир (рис. 3.2.).

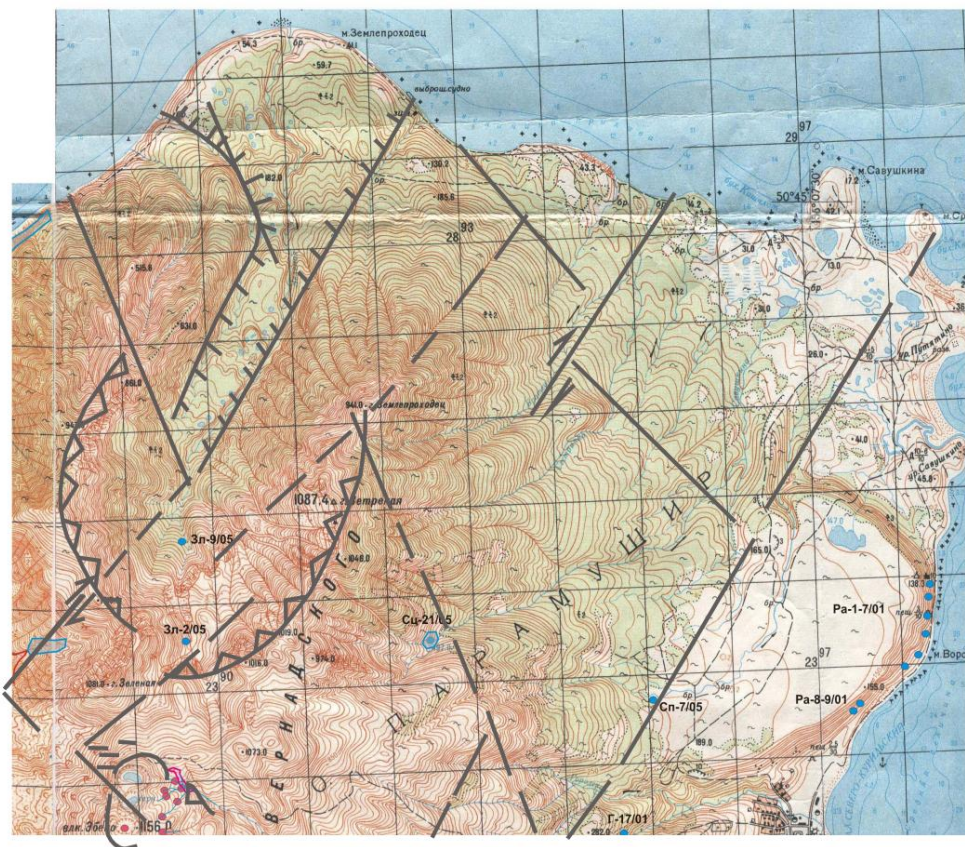


Рис. 3.2.
Пример выявления разрывных нарушений о. Парамушир с помощью структурно-геоморфологического дешифрирования топографической карты

3.2.3. Метод дешифрирования спутниковых снимков и аэрофотоснимков

В комплексе с полевыми геологическими наблюдениями, с 2003 по 2010 гг., проводилось дешифрирование спутниковых и аэрофотоснимков. Места локализации отдельных интрузивных тел, воронок взрыва, зон распространения гидротермально-измененных пород, холодных и теплых источников или их серий, фумарол и тектонических структур определялись при помощи GPS. Полученные данные загружались в компьютер и затем редактировались с

помощью программ Map Source и Corel Draw. В дальнейшем переносились в систему ArcGis и комбинировались с космическими и аэрофотоснимками, а также с топографической картой (масштаб 1:50 000).

3.3. Метод определения механизмов очагов землетрясения

Для подтверждения сдвиговых перемещений по разрывным нарушениям, выделенным в результате дешифрирования топографической карты, был проведен анализ механизмов очагов землетрясений (данные за 28.01.2002. по 18.12.2004. 13 значений) [Гущенко, 1979; Ребецкий и др., 2017].

Однако использование данных региональной сети сейсмических станций (станции КФ ФИЦ ЕГС РАН) при невысоком классе точности определения гипоцентров землетрясений заставляет относиться к таким результатам (при анализе территории площадью $\sim 400-500 \text{ км}^2$) как к вспомогательной информации (рис.3.3).

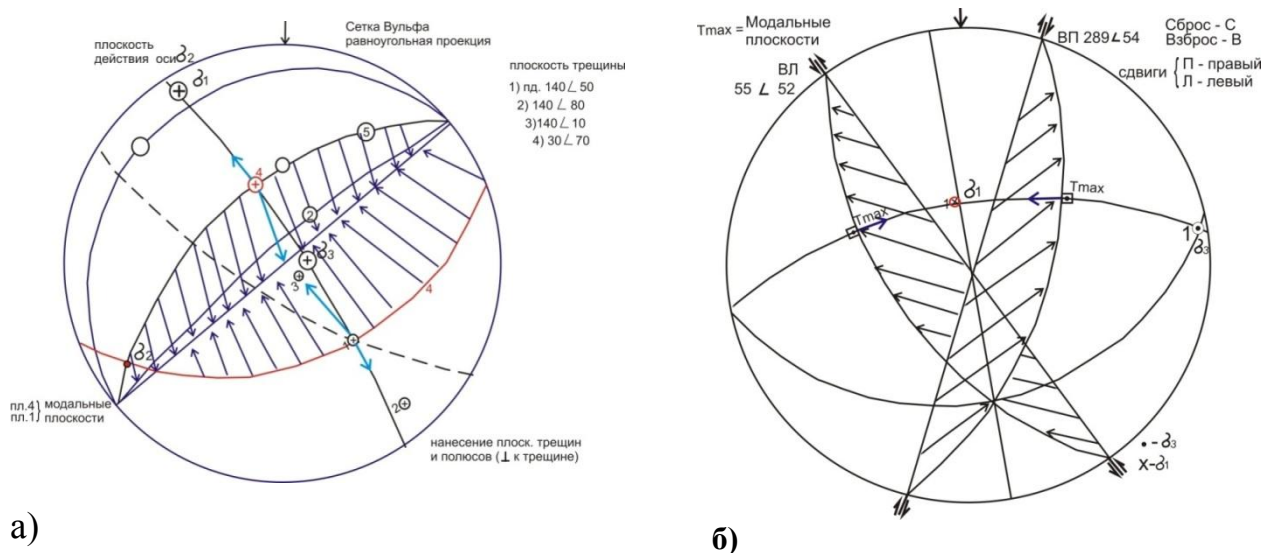


Рис. 3.3. Значения осей напряжений в очагах землетрясений.

3.4. Гидрогеотермический метод

Вопрос о соотношении между гидротермальной и магматической деятельностью представляется одним из самых актуальных и дискуссионных. В областях современного

вулканизма типичным считается взаимосвязь гидротермального процесса и «кислого вулканизма», за исключением Исландии, где явно преобладает базальтовый материал.

Аверьев В.В. [Аверьев, 1966] рассматривал соотношение между гидротермальной и магматической деятельностью, сравнивая масштабы и интенсивность обоих процессов в пределах конкретных, четко очерченных районов и в рамках ограниченного времени.

При исследовании Долины Гейзеров Аверьев В.В. применял метод определения интенсивности питания гидротермальных систем теплом [Аверьев, 1966; Белоусов, 1967]. Одним из самых важных показателей гидротермального процесса он считал плотность теплового потока на участках формирования гидротерм, другими словами, интенсивность питания гидротермальных систем теплом. Гидротермальный процесс Аверьев В.В. характеризует следующими показателями: температура гидротермальных систем, их тепловая мощность, интенсивность питания систем теплом, продолжительность их существования и возможные темпы совершающихся в них изменений. [Аверьев, 1966; Белоусов, 1967].

Для изучения современных гидротермальных процессов, происходящих в недрах гидротермально-магматической системы, приуроченной к влк. Крашенинникова, автор использовал стандартный метод определения **модуля стока в водотоке** [Геологический словарь, 1978] — объем воды, стекающей с определенной площади бассейна (площади водосбора) в единицу времени. Измеряется в $\text{м}^3/(\text{с} \times \text{км}^2)$, а для малых величин в $\text{л}/(\text{с} \times \text{км}^2)$.

Вычисляется делением расхода воды на площадь водосбора.

Вычисляется по следующей формуле: $M = \frac{Q}{F}$,

где **Q** — расход воды, л/с; а **F** — площадь водосбора, км^2 [Геологический словарь, 1978].

Полученное значение умножается на температуру воды в ручье, в результате получается значение модуля теплового питания в водотоках (интенсивности теплового питания в $\text{ккал}/\text{км}^2\text{с}$).

Использовалась формула: $Q : F \cdot t^{\circ}\text{C} = J \text{ ккал}/\text{км}^2\text{с}$,

Где Q – расход воды в ручьях, л/с;

$t^{\circ}C$ – температура ручья;

F — площадь водосбора, км²;

J - интенсивности теплового питания в ккал/км²с.

Полученное значение умножается на температуру воды в ручье, в результате получается значение модуля теплового питания в водотоках (интенсивности теплового питания) [Белоусов, 1967].

Автор не ставил задачей определение точных теплообменных процессов в речном потоке. В работе фиксируется факт неоднородности теплосодержания водных стоков, входящих в рассматриваемые водосборы. В связи с тем, что теплопередача от атмосферных факторов к объемам воды - не значительна, по сравнению с зафиксированными показателями изменений температур воды в системе водосбора, автор не учитывал атмосферное влияние на изменение температуры воды в ручьях и реках. Отбор проб воды, а также все необходимые измерения проводились в конце августа – сентябре 2004 года, когда средняя температура воздуха составляет 8-10°C.

Таким образом, были выполнены работы по измерению температуры воды в ручьях и реках, что (с учетом расхода ручьев) позволяет оценить скрытую и сосредоточенную разгрузку в них термальных вод и суммарный вынос тепла в пределах каждого из изученных водосборов.

Для построения карты теплового поля очагов скрытой разгрузки термальных вод о. Парамушир (от р. Наседкина до р. Левашова) проведены замеры более чем в 80 точках, в числе которых были как небольшие притоки, так и основные русла крупных рек.

Изучение проводилось определением параметров тепловой разгрузки в южной части района (от р. Наседкина до р. Левашова (рис. 3.4 а))

3.5. Лабораторные методы исследования

Для подтверждения данных, полученных в результате применения гидрогеотермического метода, привлекались данные по содержанию хлорид-ионов в поверхностных водах, точки с высокими показателями содержания хлорид-ионов в поверхностных водах полностью совпадают с полученными значениями модулей теплового питания в водотоках.

В период проведения полевых работ в 2004 году автор принимал участие в отборе проб воды на макроэлементный состав, отбор проб воды производился в тех же точках, что и замеры температур и расхода воды в ручьях и реках. Пробы обрабатывались титриметрическим методом (метод классической химии) в центральной химической лаборатории Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Для более удобного восприятия полученных данных была построена гидрохимическая карта поверхностных вод (по содержанию хлорид-ионов) (рис. 3.4. б). На топографическую карту масштаба 1:50 000 наносились точки отбора проб и контуры водосборных бассейнов ручьев и участков рек от верховьев до точки отбора пробы. Выделенные водосборные бассейны заливались определенным цветом, в зависимости от концентрации хлорид-ионов в пробах воды.

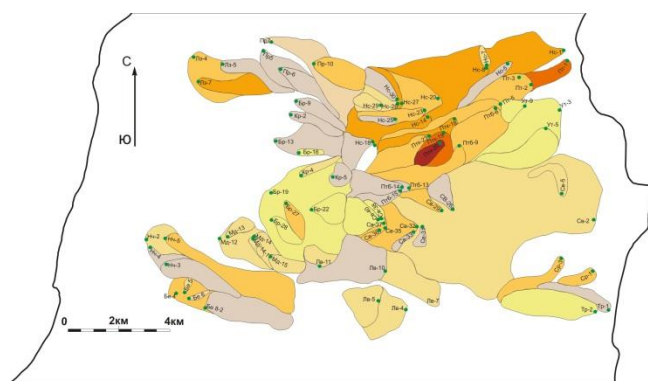


Рис. 3.4. (а) Карта теплового поля очагов скрытой разгрузки термальных вод о. Парамушир (от р. Наседкина до р. Левашова).

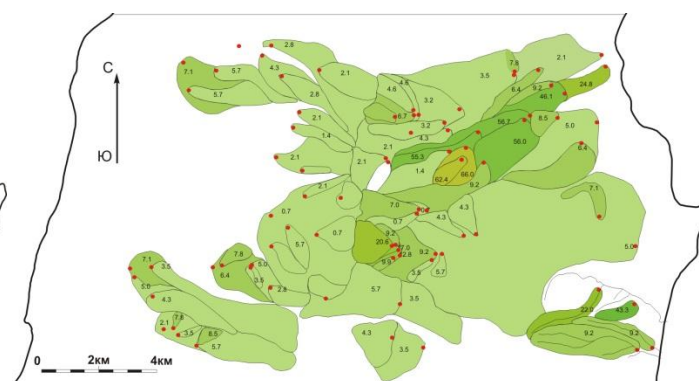


Рис. 3.4. (б) Гидрохимическая карта поверхностных вод (по содержанию хлорид-ионов) о. Парамушир (от р. Наседкина до р. Левашова).

3.6. Метод трехмерного моделирования тектонической раздробленности

Сегодня существует множество методов, направленных на изучение и поиски зон повышенной тектонической трещиноватости. С развитием информационных технологий

развиваются новые методы, позволяющие оценить степень раздробленности земной коры и дать характеристику тенденции изменения её плотности. Одним из таких методологических подходов является построение трехмерных моделей тектонической раздробленности. Такие модели могут использоваться при интерпретации геофизических и геохимических данных для тектонических реконструкций, наглядно демонстрируют положение зон деструкции в верхней части земной коры, а также позволяют уточнять и прогнозировать геологические структуры и связанные с ними месторождения полезных ископаемых.

Способ оценки степени тектонической раздробленности земной коры строится на принципе подобия. Так выделяемые при дешифрировании линеаменты отождествляются с трещинами разломов и воспринимаются как отражение тектонической ситуации всей кристаллической части земной коры [Таскин, Сидоров, 2015]. Коэффициент тектонической раздробленности для блока пород является отношением суммы объемов трещин и пустот к общему. Такой подход является основой способа оценки степени тектонической раздробленности земной коры на глубину [Таскин, Сидоров 2015].

Коэффициент тектонической раздробленности объекта определяется отношением суммарного объема трещин объекта (сумма произведений таких параметров как длина (l), ширина раскрытия (b) и глубина проникновения (h) трещин) к его объему. Так, если рассмотреть блок коры кубической формы, где ребро равно a , а одной из его граней является дневная поверхность, то коэффициент тектонической раздробленности этого блока определится как $\Sigma l \cdot b \cdot h / a^3$. Однако, на практике, определить величины b и h по космическому снимку невозможно. При этом, ширина трещин (b) может быть принята как средняя для данной конкретной территории ($b = \text{const}$), а глубина их проникновения (h), с учетом установленного правила и принципа подобия принимается равной значению a . Таким образом, коэффициент тектонической раздробленности объема литосферы кубической формы с ребром a , при принятых допущениях, прямо пропорционален отношению общей длины линеаментов, в пределах верхней грани куба, соответствующей земной поверхности, к ее площади, т.е. УДЛ

(удельная длина линий). Исходя из предположения о равномерном распределении трещин в верхних горизонтах коры, что справедливо для среды с относительно однородными реологическими свойствами, значение вычисленного параметра рекомендуется относить к центру куба [Нечаев, 2010; Таскин, Сидоров, 2014].

Для построения трехмерной модели тектонической раздробленности северной части о. Парамушир использовались карты трещинной тектоники, полученные в результате дешифрирования аэро- и космических снимков различной детальности, а также топографических карт. Далее при помощи программ ArcMap и ArcView выполнялась пространственная привязка и оцифровка результатов дешифрирования. Полученная база данных сливалась в общую цифровую карту линеаментной сети северной части о. Парамушир. На полученную карту накладывалась квадратная сетка, с размером ячейки 1 км^2 , подсчитывалась суммарная длина линеаментов в пределах каждой клетки, а полученные значения относились к центрам кубов. Ребро каждого куба составляло 1 км, одной из граней каждого куба выступала земная поверхность. Таким образом, была составлена матрица распределения удельной длины линий (УДЛ) для глубины 0,5 км. За нулевую отметку принимался уровень моря. Далее вводилась поправка за рельеф.

С целью получения набора карт распределений удельной длины линий на глубину от 0,5, до 2,5 км, исходная линеаментная сеть множество раз обрабатывалась, описанным способом, с каждым разом размер блоков увеличивался на 200 м. Все полученные файлы сливались в один и использовались при построении трехмерного изображения при помощи геофизического программного модуля VOXI Earth Modelling, доступ к которому осуществляется при помощи Oasis montaj. Наиболее подробное изложение метода построения таких моделей представлено в работах М.Д. Сидорова и В.В. Таскина [Сидоров, 1994; Таскин, Сидоров, 2014, 2015].

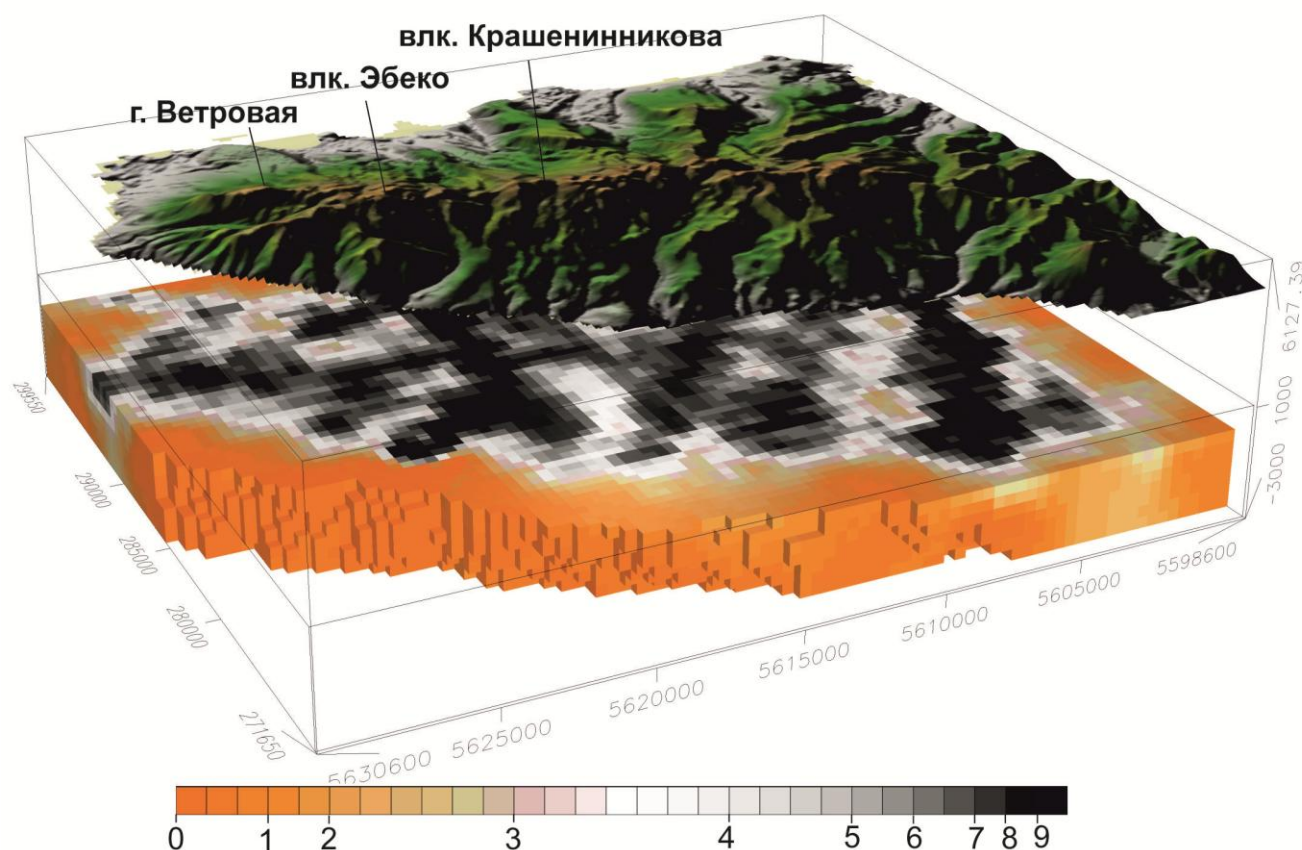


Рис. 3.5. Трехмерная модель тектонической раздробленности блока пород для северной части о. Парамушир. Распределение УДЛ (выражено в км^{-1} , показано цветом).

Результатом работы стала модель тектонической раздробленности блока коры для северной части о. Парамушир (рис. 3.5), совмещенная с рельефом местности, которая представлена в значениях УДЛ (удельная длина линий) и выражена в км^{-1} .

Верхняя и нижняя границы, расположены на уровне моря и глубине 3 км ниже уровня. Боковые грани совпадают с границами карты линеаментной сети.

Для лучшего восприятия рельеф поднят на 5 км.

Адекватность построенной модели подтверждается отражением в ней различных вулканотектонических структур, сосредоточенных в осевой части хр. Вернадского, отдешифрованных разрывных нарушений, установленных разломных зон [Атлас Курильских островов, 2009], а также совпадением холодных и термальных источников северной части острова с зонами повышенной деструкции.

В целом модель наглядно демонстрирует положение зон деструкции в верхней части коры, дает возможность уточнять и прогнозировать геологические структуры, помогает интерпретировать данные геофизических и геохимических исследований.

Организация полевых и камеральных работ, а также представленные в работе методы исследования позволили собрать достаточный объем фактического материала для написания диссертационной работы.

Полученные данные, являются результатом анализа фактического материала и литературных данных и могут использоваться как основа при дальнейших исследованиях гидротермальных систем северной части о. Парамушир.

ГЛАВА 4. ИНТРУЗИВНЫЕ ТЕЛА И ГИДРОТЕРМАЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА ПАРАМУШИР

Остров Парамушир представляет собой геоантиклинальное поднятие, состоящее из четырех кулисообразно сочленяющихся антиклинальных складок СВ простираения. Вся неоген-четвертичная история острова характеризуется магматическими проявлениями. В неогеновое время магматические процессы локализовались вдоль линейных зон проницаемости, вытянутых в СВ направлении, в четвертичном времени эти процессы стали характерны для зон субмеридионального направления [Гаврилов, Соловьев, 1973].

О складчатой структуре острова упоминали многие исследователи: Сергеев К.Ф. [Сергеев, 1976], Апрельков И.О. [Апрельков и др., 1979] и др., которые рассматривали складчатость острова как исключение, не характерное для Курильской островной гряды и свидетельствующее о том, что этот остров является продолжением Прибрежного горста Южной Камчатки.

На о. Парамушир выделяется несколько крупных разрывных нарушений СВ и СЗ простираения [Атлас Курильских островов, 2009], например, цепочка активных вулканов СЗ простираения (Григорьева, Алаид, Эбеко) [Сергеев, 1976]. Зоны же локальных тектонических нарушений на о. Парамушир состоят из множества разрывных нарушений, сходящихся и пересекающихся друг с другом. Пчёлкин В.И. [Пчёлкин, 1996] обращал внимание на то, что отдельные крупные разрывные нарушения в северной части о. Парамушир не протягиваются на всю длину разрывной зоны, а образуют кулисные ряды.

На о. Парамушир выделяется серия крупных поднятых и опущенных блоков, сформированных серией крупных разрывных нарушений СЗ простираения. Разрывные нарушения широтного простираения проявлены лишь в пределах хр. Вернадского. Леонов В.Л. [Леонов, 1990] связывает это с эпохой четвертичного вулканизма, когда происходило формирование хр. Вернадского. Вулканы хр. Вернадского формировались на разломах

субмеридионального простирания и одновременно активизировались субширотные разрывные нарушения. В геодинамическом плане разломы субмеридионального простирания использовались при подъеме магмы к поверхности, а разрывные нарушения субширотного простирания при её отступлении, когда на поверхности формировались структурные проседания [Леонов, 1990].

Разрывные нарушения СВ простирания, выражены на хр. Вернадского слабее, однако имеют не менее важное значение. Очень отчётливо выражен Центрально-Парамуширский разлом СВ простирания на котором расположены все крупные вулканические постройки хр. Вернадского (рис. 4.1) [Сергеев К.Ф., 1962].

4.1. Тектонические структуры и гидротермальные поля северной части острова

Парамушир

Дешифрирование топографической карты масштаба 1:50000 позволило обнаружить линейные региональные разрывные нарушения, выраженные в рельефе (рис. 4.1). При анализе топографической карты выявляется общее складчато-блоковое строение северной части острова [Хубаева и др., 2007]. Линейные разрывные нарушения представляют собой сочетание разрывов различных простираний. Главной является субмеридиональная зона, состоящая из системы разрывных нарушений ССВ простирания. Система разломов ССВ простирания смещается системой левых сдвигов СЗ простирания. При этом по ним фиксируется правосдвиговая компонента перемещения. Кроме сдвиговой компоненты по отдельным разрывным нарушениям устанавливается сбросовая составляющая. Субширотные зоны нарушений слабо выражены в рельефе, поэтому их дешифрирование по топографической карте затруднено. Однако ряд факторов указывает, что они, скорее всего, являются раздвигами. Так, вдоль восточного побережья острова дешифрируется система субширотных впадин, к которым

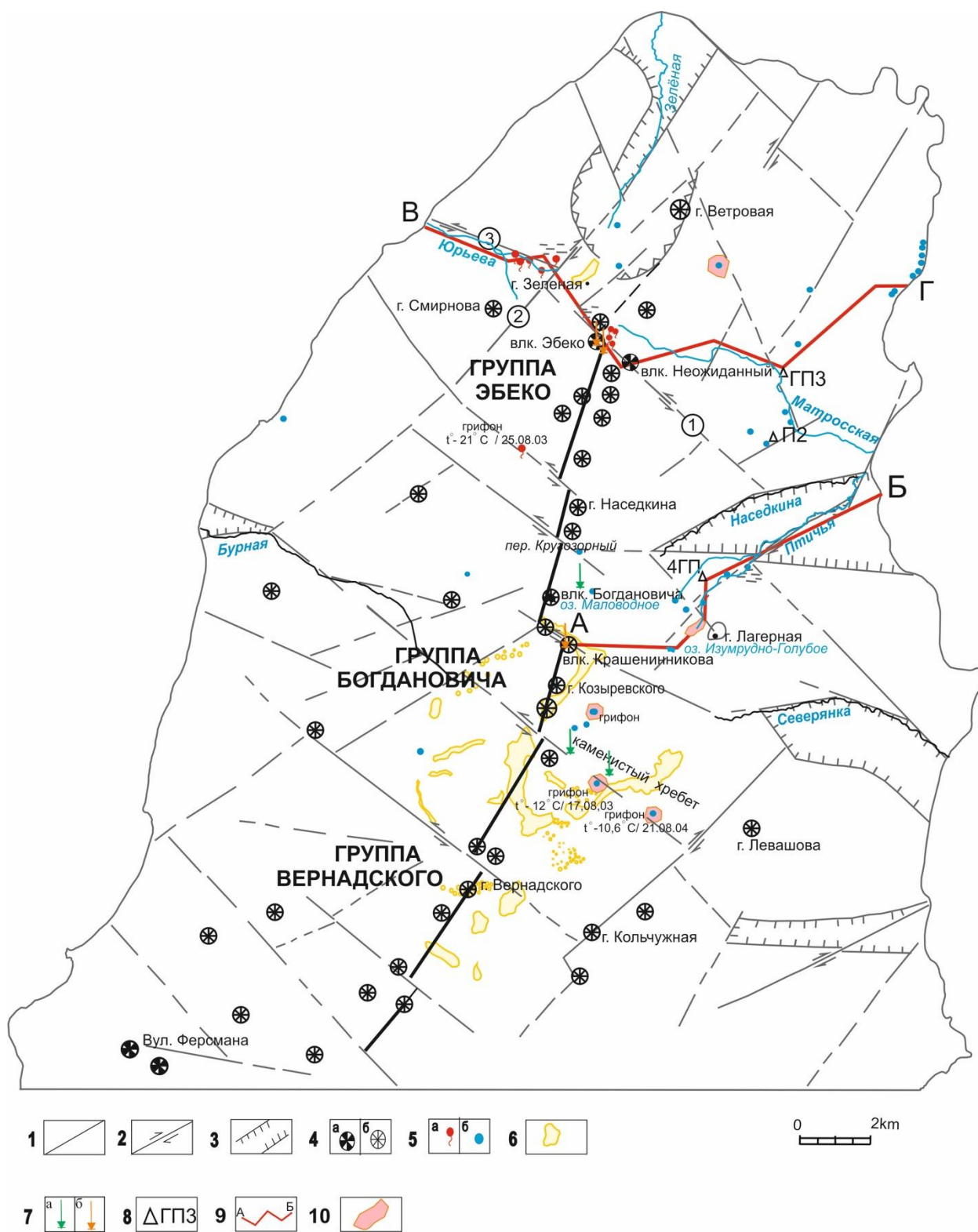


Рис. 4.1. Карта разрывных нарушений северной части о. Парамушир, выявленных по геоморфологическим данным: 1-3 — разрывные нарушения: 1 — с неустановленной кинематикой, 2 — сдвиги, 3 — сбросы; 4 — вулканические постройки (а — действующие, б — потухшие); 5 — источники (а — горячие; б- холодные); 6 - границы распространения опалитов; 7 - фумаролы (а — потухшие, б - действующие); 8 — обозначения скважин; 9 — линии профилей; 10 — лимонитовые отложения. Цифры в кружочках — номера разрывных нарушений.

приурочены долины рек Птичь, Наседкина и др. При этом на западном побережье есть лишь одна небольшая субширотная впадина такого же типа, что может объясняться большей крутизной западного склона. Данные о выделенных автором разрывных нарушениях подтверждаются проведенными ранее геофизическими работами [Бернштейн и др. 1966; Мишин, 1993]. Формирование сопряженной системы разрывов может быть следствием субширотных сжимающих усилий с пологой или субгоризонтальной ориентировкой векторов сжатия и растяжения, что согласуется с существующими тектоническими представлениями. Так, в монографии В.Г. Трифонова указывается, что на Камчатке существует система правых СВ и система левых СЗ простирания разломов, а наибольшее сжатие с этим районе определяется ориентировкой вкрест или наискось простирания островной дуги [Трифонов, 1999].

Для подтверждения сдвиговых перемещений по разломам был проведен анализ механизмов очагов землетрясений (данные за 2002.01.28 по 2004.12.18, 13 значений) методом О.И. Гущенко [Гущенко, 1979]. Поле напряжений можно описать горизонтальной ЗСЗ-ВЮВ (116°) осью сжатия и погружающееся на ЮЗ ($205^\circ/30^\circ$) осью растяжения. Такому распределению осей сжатия и растяжения в пространстве не противоречит диагональная система сдвигов. Однако невысокая точность определения положения гипоцентров землетрясений региональной сетью сейсмических станций заставляет относиться к полученным результатам (при анализе территории площадью $\sim 400 - 500 \text{ км}^2$) как к вспомогательной информации.

К разрывным нарушениям различных простираний приурочены интрузии и вулканические конусы. В северной части острова, в районе г. Ветровая, во время полевых работ были закартированы системы даек и зоны сгущения некков, пространственно совпадающих с разрывными нарушениями различных простираний. Вдоль субмеридиональной зоны разломов, чаще всего в участках ее пересечения с разрывными нарушениями СЗ простираний располагается цепочка сложно построенных вулканических центров с кальдерами

(влк.Козыревского, Вернадского, Эбеко) и стратовулканов, как потухших, так и действующих. Заложение этих вулканов произошло на осевой части крупной линейно вытянутой в субмеридиональном направлении зоны земной коры [Мелекесцев и др., 1993]. Длительное поступление к поверхности магматических расплавов андезибазальтового состава поддерживало высокий уровень активности вулканов, которая завершилась заложением наиболее молодых вулканов Эбеко и Неожиданный. Объединенные постройки этих вулканов сложены лавами двупироксеновых андезитов и андезибазальтов, а их вулканическая деятельность сохраняется и в настоящее время [Белоусов и др., 2002; Мелекесцев и др., 1993], хотя основная часть вулканов относится к потухшим. Анализ построенной карты разрывных нарушений северной части о. Парамушир показывает взаимосвязь действующих вулканов с выделенными автором разрывными нарушениями.

Хребет Вернадского перекрыт на значительной площади массивными лавовыми покровами, и используемая методика дешифрирования не позволяет выделить всю систему разрывных нарушений, определяющих строение этих крупных вулкано-тектонических структур. Однако на основании геологических данных [Федорченко и др., 1989; Рычагов и др., 2004] можно предполагать, что выделенные скопления кратеров и конусов фиксируют приповерхностные области современных и новейших деформаций в крупных длительноживущих (в течение всего четвертичного периода и более) вулкано-тектонических структурах. Одним из наиболее тектонически напряжённых участков является северная оконечность хребта Вернадского. К этому блоку приурочены вулканические постройки Эбеко, Неожиданный, Незаметный.

Вулканическая постройка Эбеко находится на пересечении диагональных разрывных нарушений с северным окончанием главной субмеридиональной зоны, а вулкан Неожиданный тяготеет к разрывному нарушению СЗ простирания. Возможно, происходит миграция активного вулканизма по главной субмеридиональной зоне с юга на север, что объясняет современную деятельность вулкана Эбеко. Большая часть извержений вулкана Эбеко относится

к фреатическим либо к эксплозивным [Мелекесцев и др., 1993; Kalacheva et al., 2016; Girina et al., 2017, 2018, 2019]. Субширотному разлому реки Юрьева и кратерной области вулкана Эбеко пространственно соответствуют разгрузки металлоносных кислых высокотемпературных терм, к разрывным нарушениям различного простирания и узлам их пересечения тяготеют выходы слаботермальных и грунтовых вод (рис. 4.1).

На основе анализа отдешифрованных разрывных нарушений можно предположить, что разлом СЗ простирания (рис.4.1, разлом 1) с левосдвиговой компонентой продолжается со смещением на запад и разрабатывается р. Юрьева (рис.4.1, разлом 3). Смещение его может быть вызвано разломом СВ простирания (рис.4.1, разлом 2). В этом случае группа высокотемпературных источников, соответствующих верховьям р. Юрьева и вулкан Эбеко связаны с единым разломом СЗ-ЗСЗ простирания, что подтверждается геофизическими данными [Бернштейн и др., 1966]. Холодные источники рассеяны в северо-восточной части района и тяготеют к отдешифрованным разрывным нарушениям разных направлений (рис.4.1).

4.2. Корреляция интрузивных тел с геотермальными проявлениями хребта

Вернадского

Выявление зон локальной тектонической трещиноватости в геотермальных районах имеет большое практическое значение для определения зон циркуляции глубинного высокотемпературного флюида, смешанных гидротермальных растворов и холодных метеорных вод, а также зон выходов последних на дневную поверхность.

Начатые в 1950-х годах исследования для выявления геотермальных ресурсов с целью водо- и теплоснабжения г. Северо-Курильск выполнялись преимущественно в районе вулкана Эбеко и вблизи г. Северо-Курильска, в результате чего остальная часть Северо-Парамуширского геотермального района оказалась слабо изученной.

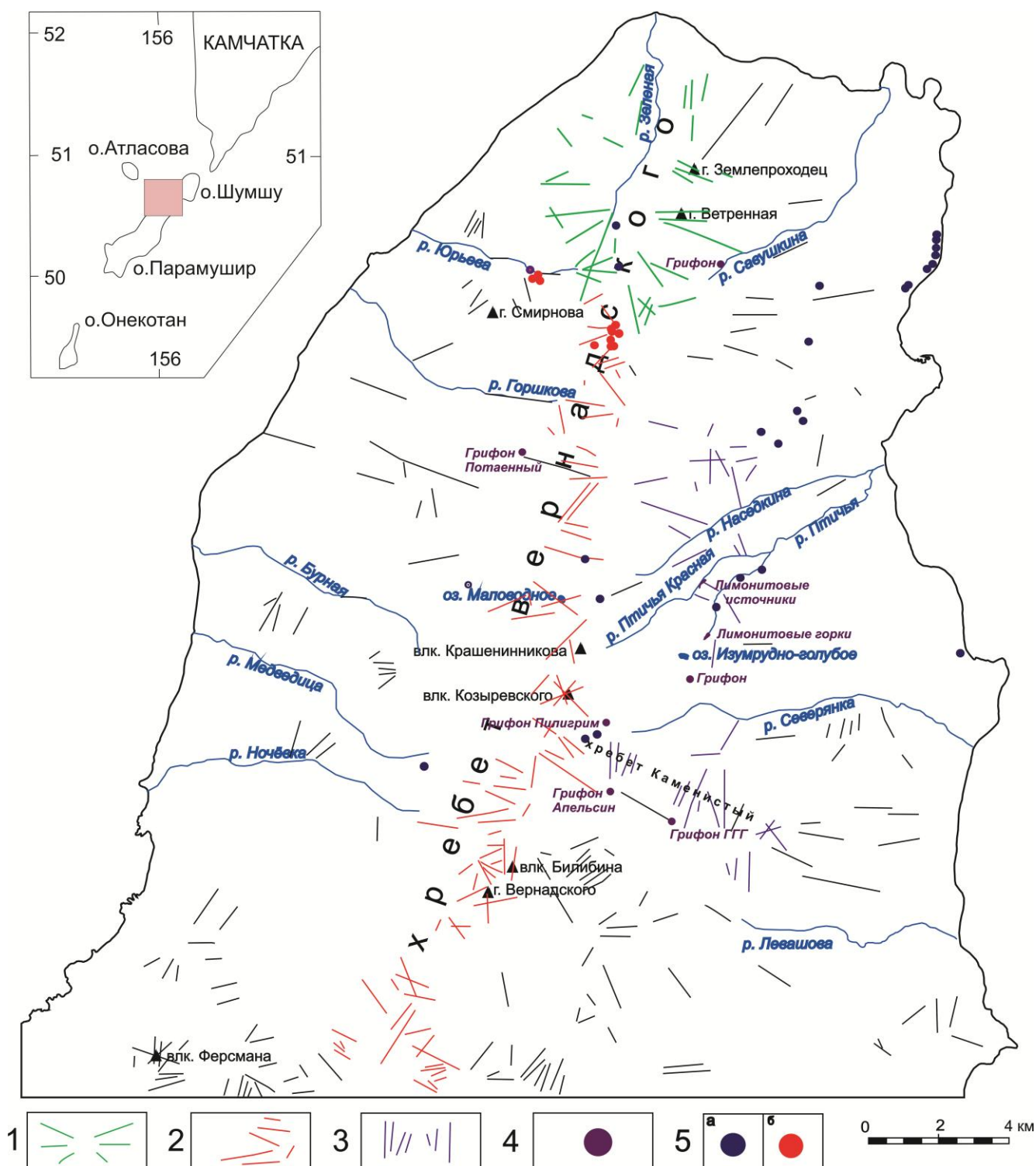


Рис. 4.2. Схема линеamentной сети северной части о. Пармушир

1 - зона радиальной трещиноватости в рисунке линеamentной сети; 2 - осевая субмеридиональная зона в рисунке линеamentной сети; 3 - восточная зона проницаемости; 4 – лимонитовые источники; 5 – источники: а - холодные, б -горячие.

С целью определения проницаемых для парогидротерм зон в исследуемом районе, была построена схема линеamentной сети северной части о. Парамушир (рис. 4.2.), так как в распределении линеamentов о. Парамушир может проявиться строение глубинных (корневых) частей гидротермально-магматической системы.

По результатам замера ориентировки линеamentов, автором были построены диаграммы направлений зон локальной тектонической трещиноватости (рис. 4.3). Диаграммы позволили установить общие закономерности в простирациях линеamentов, которые полностью согласуются с полученными значениями осей напряжения (см. выше.С. 55).

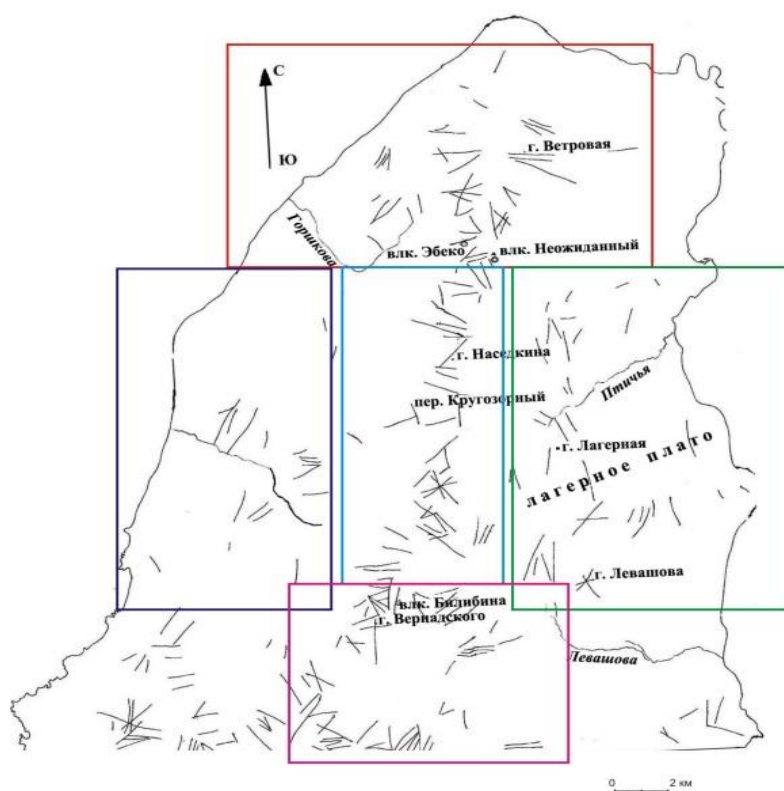


Рис. 4.3. Деление северной части о. Парамушир на секторы, по которым проводились замеры направлений выделенных линеamentов.



1. Северный сектор; 2. Западный сектор;
3. Южный сектор; 4. Восточный сектор;
5. Центральный сектор.

СВ направление линеamentов является преобладающим в северном, южном, центральном и западном секторах (рис. 4.4.а), в отличие от восточного сектора, где преобладающим является ССЗ направление линеamentов (рис. 4.4. в).

На рисунке 4.5. видно, что наиболее проработанные линеamentной сетью участки, пространственно соответствуют зонам распространения андезитов, андезибазальтов, базальтов Левашовской толщи (N_2 - Q_1^{IV}), а также первой и второй фазам Вернадского андезитового комплекса ($Q_{IV}^{VI} 2$; $Q_{II-III}^{VI} 1$).

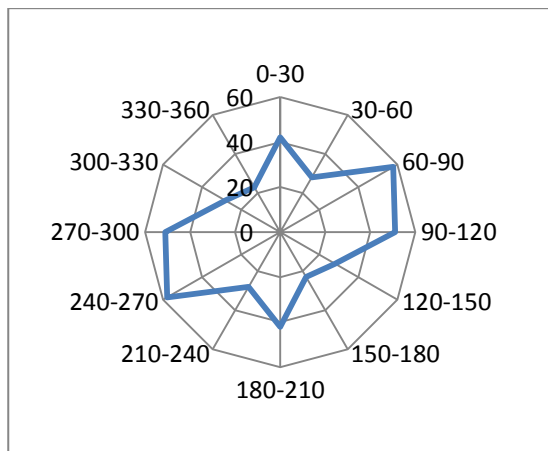


Рис. 4.4. (а) Общая диаграмма направления зон тектонической трещиноватости северной части о. Парамушир

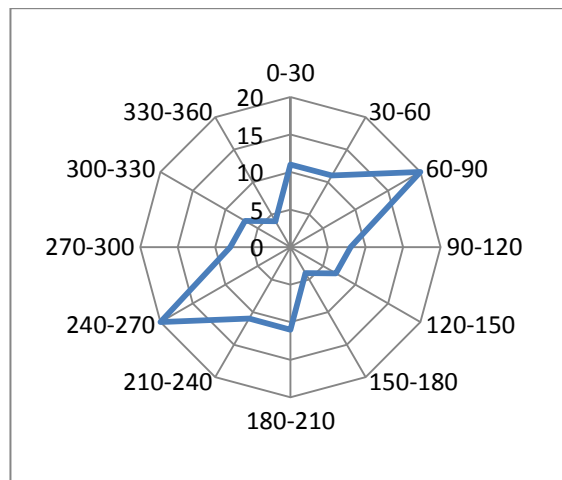


Рис. 4.4. (б) Направление зон тектонической трещиноватости в южном секторе

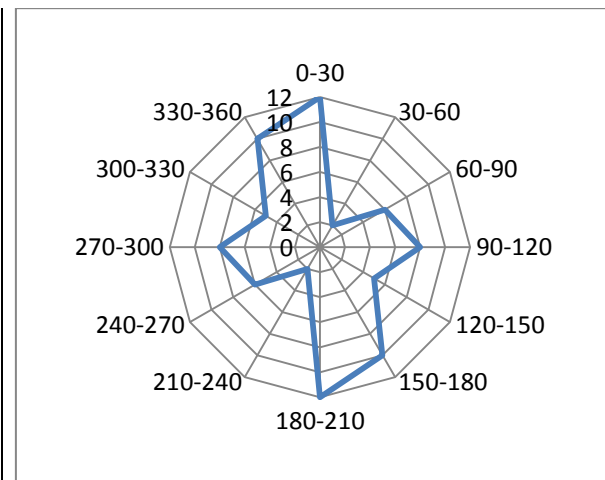


Рис. 4.4. (в) Направление зон тектонической трещиноватости в восточном секторе.

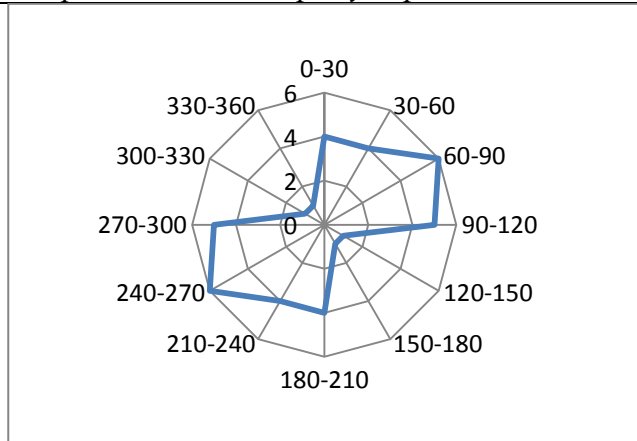


Рис. 4.4. (г) Направление зон тектонической трещиноватости в западном секторе

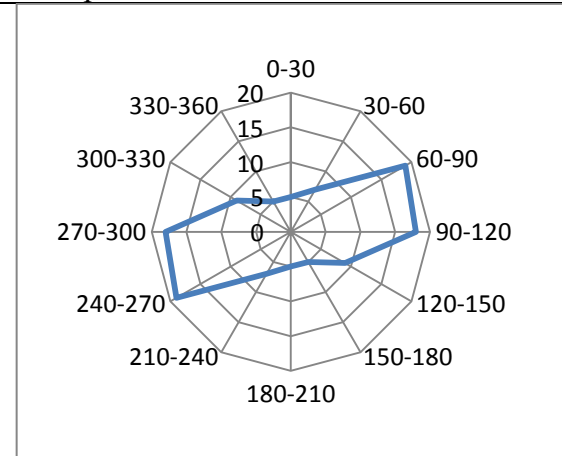


Рис. 4.4. (д) Направление зон тектонической трещиноватости в центральном секторе

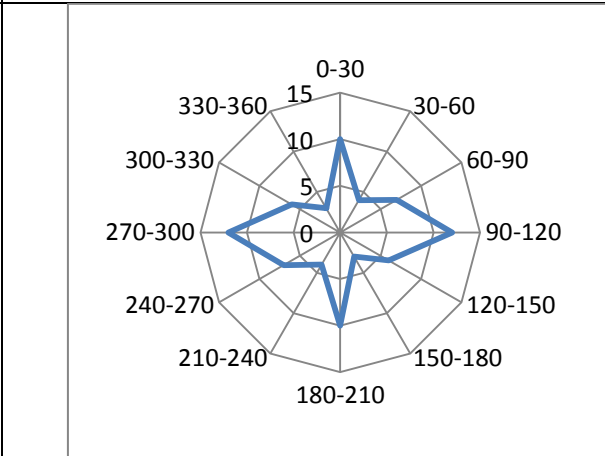


Рис. 4.3.(е) Направление зон тектонической трещиноватости в северном секторе

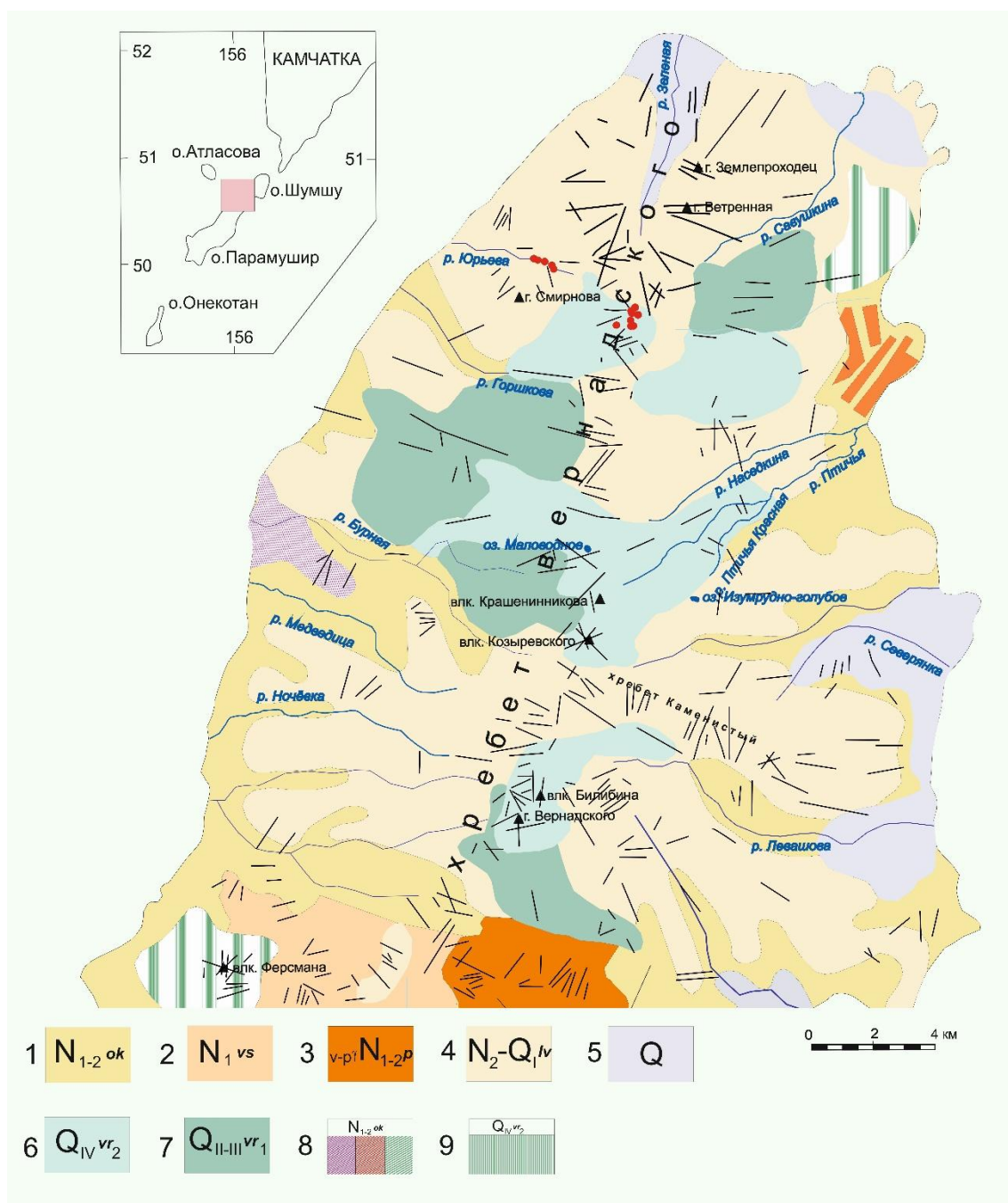


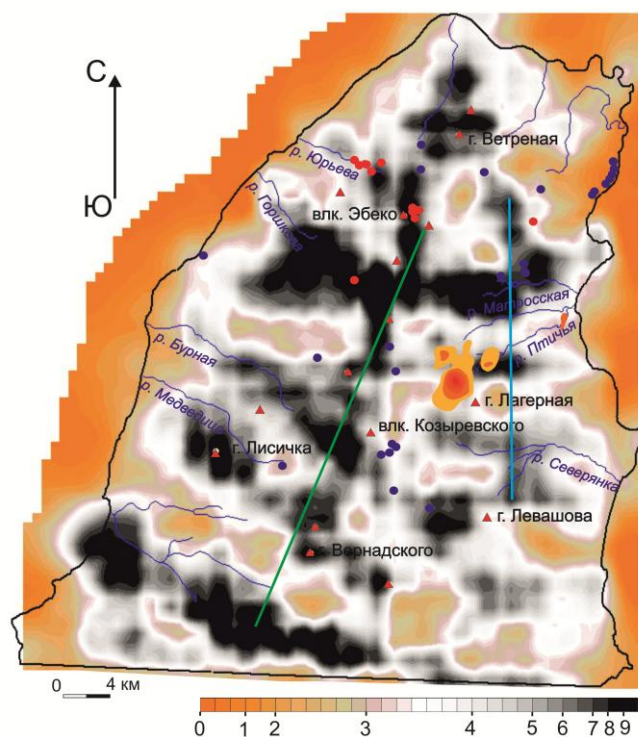
Рис. 4.5. Карта линейментной сети на геологической основе о. Парамушир (геологическая карта заимствована из [Атлас Курильских островов, 2009])

1. Округловская свита. Туффиты, туфы основного среднего и кислого состава, гиалокластиты базальтов и андезитов, разнообразные вулканогенно-осадочные породы. **2.** Васильевская свита. Туфы, гиалокластиты, туффиты андезитов, андезибазальтов, базальтов с подчиненными прослоями туфопесчаников и туфогравелитов (430 м). **3.** Парамуширский комплекс габбро-плагиогранитовый. Интрузии сложного состава: кварцевые диориты, кварцевые диорит- и диоритпорфиры, гранодиориты, грано-диорит-порфиры, плагио-гранит-порфиры, габброиды. **4.** Левашовская толща. Андезиты, андезибазальты, базальты, редко туфы и туффиты основного и среднего состава (350 м). **5.** Нерасчлененные образования. Морские, аллювиальные, деллювиально-пролювиальные, болотные, озерные, золотые, ледниковые пески, галечники, щебни, валунники, гравийники глины, супеси, суглинки, торфа (100 м). **6.** Вернадковский комплекс андезитовый. Вторая фаза. Андезиты, андезибазальты, базальты, дациты, туфы и тefра разного состава, игнимбриты дацитов. **7.** Первая фаза. Андезиты, андезибазальты, базальты, туфы основного и среднего состава, редко туфы дацитов. **8.** Субвулканические образования. Штокообразные тела андезитов, кварцевых диорит-порфиров; базальтов долеритов и габбродолеритов; дацитов и риодацитов. **9.** Вернадковский комплекс андезитов. Вторая фаза. Экструзии андезитов; дацитов.

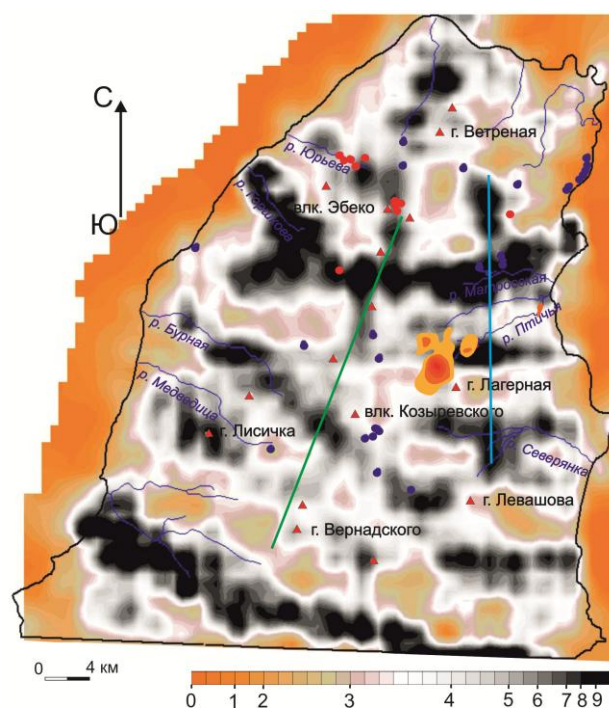
На схеме линеаментной сети (рис. 4.2, 4.5) видно, что наибольшая плотность линеаментов характерна для осевой части хр. Вернадского и его окончаний, к которым приурочена позднеплейстоцен-голоценовая вулканическая деятельность. Именно здесь можно ожидать наибольшее количество проницаемых зон для термальных вод. Цепочка узлов высокой деструкции для этого участка ярко выражены также в трехмерной модели тектонической раздробленности (рис.4.6 а-г).

Это подтверждается геофизическими данными, так с 1960-го года в районе влк. Эбеко проведены гравиметрические, радиометрические, электроразведочные и магнитометрические работы. В районе центрального конуса влк. Эбеко выявлена отрицательная аномалия силы тяжести, указывающая на низкую плотность пород на этом участке, которые образуют вертикальное цилиндрическое тело овального сечения (2 x 1 км) [Бернштейн и др., 1966]. В 1990-х годах на территориях, прилегающих к влк. Эбеко, также проводились геофизические работы, которые выявили локальные изометричные аномалии, интерпретировавшиеся, как области миграции гидротермальных потоков [Мишин, 1993].

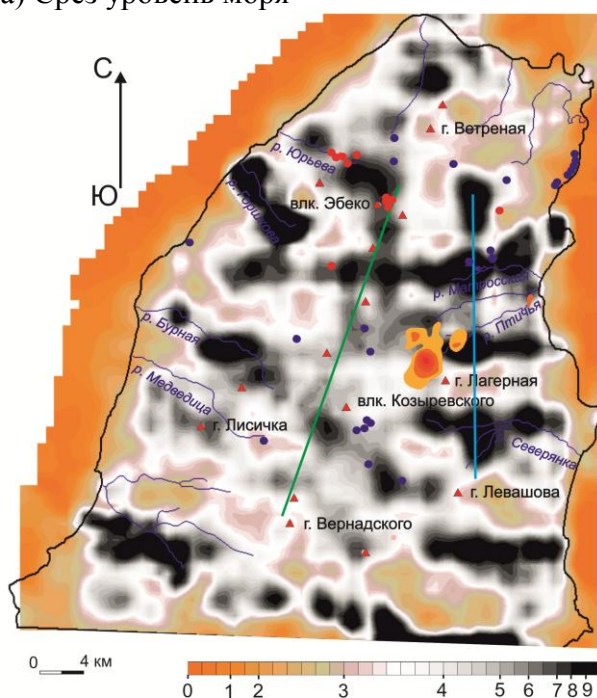
Зона высокой плотности линеаментов обнаруживается также в восточной части северного сектора о. Парамушир. Не исключено, что выделенные линеаменты, трассируют скрытое разрывное нарушение, которое бронируется многочисленными лавовыми потоками и потому плохо читается в рельефе. Это подтверждается тем, что здесь сосредоточена основная доля разгрузок на дневную поверхность холодных и термальных источников (рис. 4.2.). Участки высокой плотности линеаментов на восточном склоне хр. Вернадского ярко отображаются на горизонтальных срезах в трехмерной модели тектонической раздробленности блока пород для северной части о. Парамушир (рис. 4.6 а-г), а также подтверждается геофизическими данными. Так в верховьях рек Птичьей и Наседкина выявлена положительная локальная аномалия поля силы тяжести [Подошвин и др., 2001]. Гравиметрическая аномалия и пространственно связанные с ней магнитные аномалии [Краснов, Тузиков, 1968].



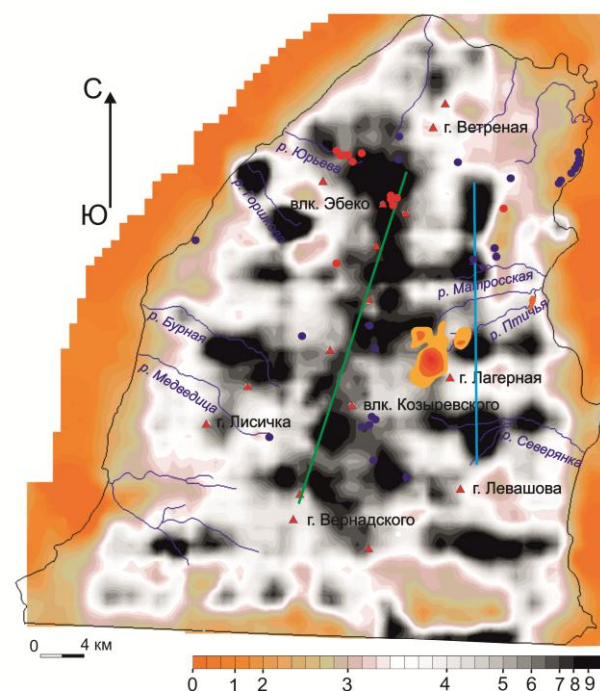
а) Срез уровень моря



б) Срез 0,5 км ниже уровня моря



в) Срез 1 км ниже уровня моря



г) Срез 1,5 км ниже уровня моря

Рис. 4.6. Горизонтальные срезы с трехмерной модели тектонической раздробленности блока пород для северной части о. Парамушир, с глубин исследования 0, 0,5, 1, 1,5 км. Распределение УДЛ (выражено в км^{-1} , показано цветом).



1 - Осовая зона хр. Вернадского; 2- скрытое разрывное нарушение на восточном склоне хр. Вернадского; 3- источники: а- холодные б- термальные; 4- Интрузивные тела на р. Птичьа (интрузивные тела выделены по данным отчета Подошвин, 2012)

рассматриваются как проявление в земных полях внедрившегося по зоне разлома и залегающего на большой глубине интрузивного тела, основного или среднего состава [Подошвин и др., 2012].

В районе влк. Ветровой, проявлена радиальная трещиноватость (рис. 4.2), которая может образовываться при внедрении крупного магматического тела и разрушением перекрывающих его пород, обеспечивая впоследствии миграцию к поверхности геотермальных флюидов. В дальнейшем образовавшаяся система трещин может прорабатываться дайками. Классическим примером являются радиальные дайки, расположенные вокруг Испанских пиков [Кнорф, 1936]. Такой тип системы радиальных даек нередко встречается на вулканических постройках Японии и подробно рассмотрен в работе Казуаки Накумура, который установил, что радиальные дайки распространены в пределах нескольких километров от жерла вулкана, а дальше могут искривляться [Nakamura, 1977] (рис. 4.7).

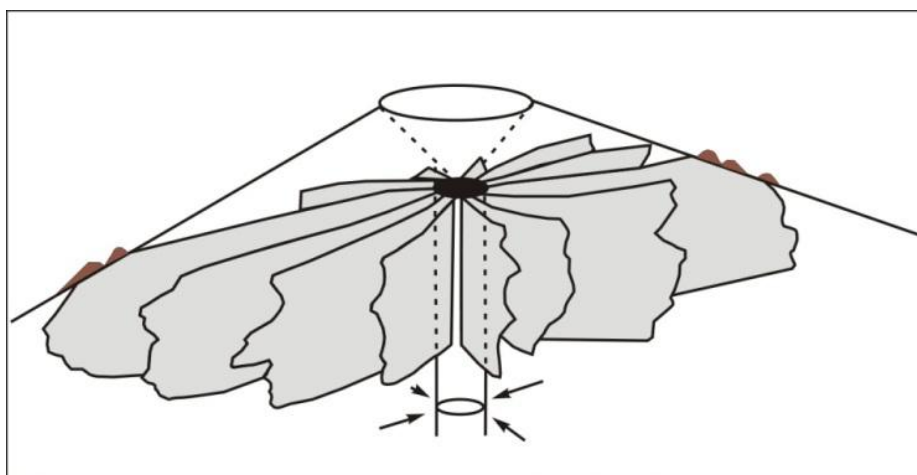


Рис.4.7. Схема радиальных даек и побочных вулканов полигенного вулкана при дифференцированных горизонтальных напряжениях. Зона побочных вулканов совпадает с направлением концентрации радиальные дайки; следовательно, с трендом максимального сжатия горизонтальной составляющей окружающего напряжения по [Nakamura, 1976].

Существование в этом районе радиальных трещин, проработанных дайками, обнаруживается на рисунке отдешифрованных автором интрузивных тел. (рис. 4.8). Тектоническая трещиноватость может распространяться на большие глубины, определяет водоносность этих глубин и обуславливает восходящие потоки нагретых вод глубокой

циркуляции к поверхности земли [Пчёлкин, 1996], на что указывает большое количество выходов гидротерм в районе вулкана Эбеко и р. Юрьева (рис. 4.1; 4.2). В северной части острова сконцентрированы все высокотемпературные источники хребта Вернадского, активные фумарольные постройки и большое количество холодных источников.

4.3. Секущие интрузивные тела северного сектора о. Парамушир.

На основе полевого дешифрирования интрузивных тел и геотермальных проявлений (термальные площадки, фумарольные поля и т.д.) в районе палеовулканов Ветровой, Влодавца, в районе г. Маяк и м. Крепкого, а также на хр. Каменистом, которое проводилось с 2003 по 2010 гг., автором были закартированы системы интрузивных тел (преимущественно некков и даек) северной и центральной частей хр. Вернадского. С целью выявления интрузивных тел, не зафиксированных в период проведения полевых работ, автором проводилось дешифрирование спутниковых снимков и аэрофотоснимков (масштабом 1: 50 000).

Наибольшее количество встречающихся на поверхности секущих интрузивных тел зафиксировано в районе влк. Ветровой, г. Маяк и м. Крепкого.

Описание состава пород основано на литературных данных и полевых наблюдениях.

4.3.1. Интрузивные тела палеовулкана Ветровой

Сравнивая расположение, проявленных на поверхности, интрузивных тел разрушенной постройки влк. Ветровой (рис. 4.8.) с картой разрывных нарушений северной части о. Парамушир (рис. 4.1.), видно, что дайки трассируют, выделенные автором, разрывные нарушения на этой территории. Большая часть выходящих на поверхность интрузивных тел, а также вмещающих пород в районе разрушенной постройки вулкана Ветровой, сильно аргилизованы, в результате, протекавших здесь ранее, мощных гидротермальных процессов.

В верховьях р. Савушкина на поверхность выходят два дайковых тела (рис. 4.8 Са-5 и Са-4), расположенные в 200 м друг от друга и образующие угол почти 90°.

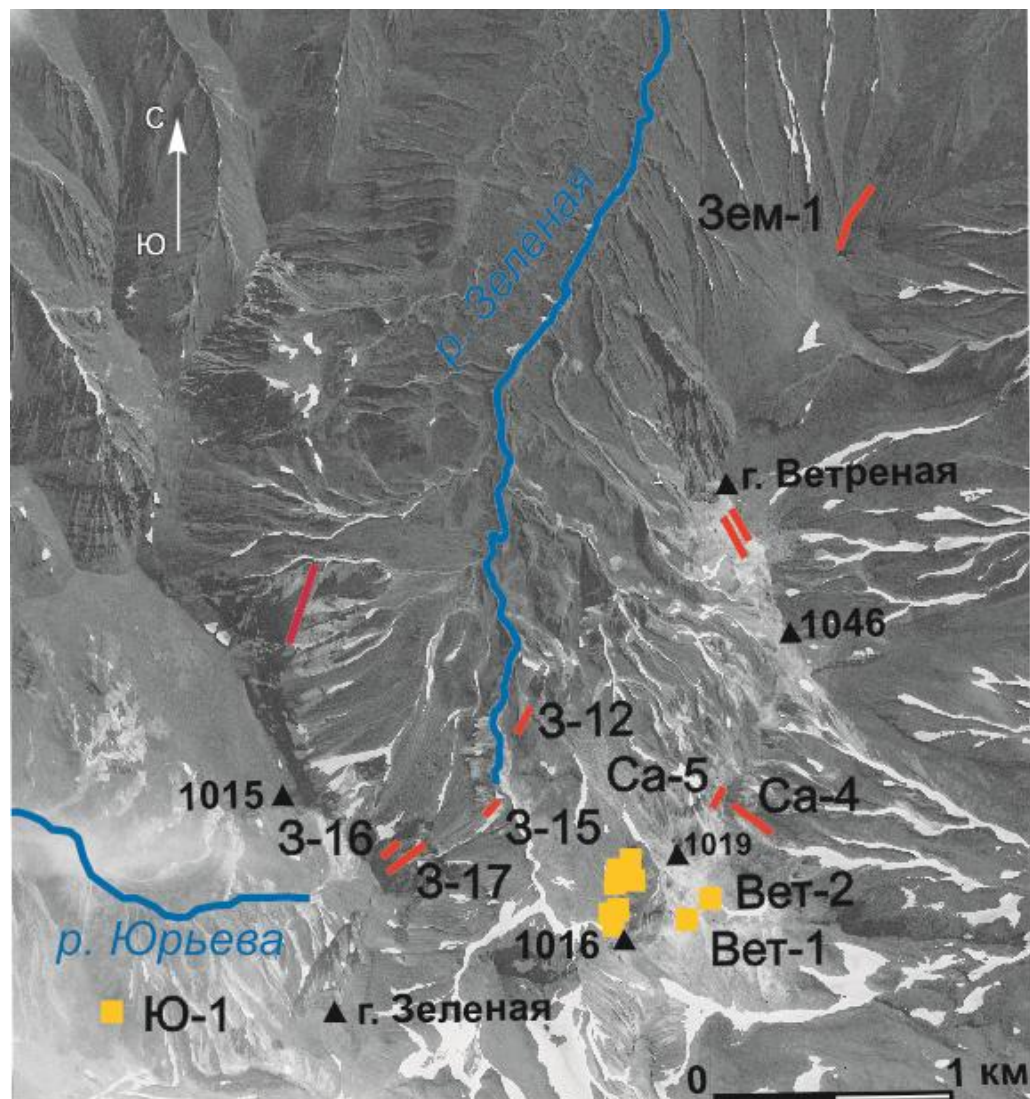


Рис. 4.8. Система интрузивных тел в районе вулкана Ветровой.



1 – дайки; 2 некки



Рис. 4.9. (а) Дайка Са-4 в верховьях р. Савушкина.



Рис. 4.9. (б) Дайка Са-5 на водоразделе р. Савушкина и р. Зеленой

Дайка Са-4 (рис. 4.8, 4.9 а) имеет андезитовый состав, представлена хорошо раскристаллизованной тонкоплитчатой отдельностью. Азимут простирания - СЗ 270°.

Двухстами метрами выше, на водоразделе р. Савушкина и р. Зеленая выходит на поверхность дайка Са-5 (рис. 4.8, 4.9 б). Азимут простирания СВ 45°. На контакте с вмещающими породами (зона контакта 6 м) наблюдаются вторичные изменения в виде гематизации, аргилизации, окремнения.

По левому борту р. Зелёной вскрывается секущее дайкообразное тело (рис. 4.8 3-12). Верхняя часть представляет собой габброид светло-серого цвета, прорывающий ледниковые отложения. Зона контакта (10 м) представлена зоной дробления с высокой трещиноватостью, ближе к зоне контакта тело сильно лимонитизировано.

На гребне водораздела рек Юрьева и Зеленой встречены два субмеридионально вытянутых дайковых тела (рис. 4.8. 3-16; 3-17), прорывающих толщу доледниковых образований. По данным Р.И. Родионовой [Родионова и др., 1966] указанные интрузивные тела сложены оливин-двупироксеновыми андезибазальтами.

Дайка 3-16 (рис. 4.8; 4.10 а.) имеет андезибазальтовый состав, разбита системой трещин, заполненных опалом и халцедоном. Ширина трещин достигает 15 см.



Рис. 4.10 Дайка 3-16 в левом борту р. Зеленой

В узлах пересечения трещин встречаются мощные образования опалов. Азимут простирания СВ 44° . Дайка 3-17 (рис. 4.8; 4.11 а,б) сильно брекчирована, состоит из обломков не окатанных глыб андезибазальтового состава. Цемент полностью замещен, сильно лимонитизирован. Азимут простирания СВ 52° .



Рис. 4.11 (а) Дайка 3-17



Рис. 4.11 (б) Цементирующие породы дайки 3-17

Гора Землепроходец, расположенная на северо-восточном склоне г. Ветренной, является ее сравнительно молодым побочным конусом. Вершину горы образует маломощная (10—15 м) вертикальная дайка Зем-1 (рис. 4.8.), сложенная плотными крупнопорфировыми оливин-авгитовыми базальтами [Родионова и др., 1966]. Похоже, что дайка горы Землепроходец трассирует выделенное крупное разрывное нарушение СВ

простираения [Хубаева и др., 2007] наряду с уже рассмотренными дайками 3-16, 3-17, 3-15, 3-12, расположенными на противоположном склоне р. Зеленой.

Многочисленные некки, кратерно-озерные отложения и широко развитые гидротермально-измененные породы указывают на существование в верховьях р. Зеленой (район правого борта) жерловой части древней постройки вулкана Ветровой.

Некки представляют собой неправильные скалистые лавовые останцы, диаметр которых составляет в среднем от 50 до 200 м. Вмещающие породы сильно аргилизированы (рис. 4.8, 4.12; 4.14). Некки сложены грубообломочными брекчиями и имеют вид штокообразных тел высотой от 20 до 30 м и сильно гидротермально изменены.



Рис. 4.12. Некки центральной части вулкана Ветровой

Краевые части некков имеют вертикальную концентрически-плитчатую отдельность.

По данным Р.И. Родионвой [Родионова и др., 1966] некки образованы андезибазальтами с микрокристаллической структурой основной массы (рис. 4.13; 4.14). Характерной особенностью являются крупные (до 1 - 2 см) идиоморфные вкрапленники анортита, которые составляют около 15 процентов породы. Породы некков различны по своему петрографическому составу: некки в долине р. Зеленой сложены полнокристаллическими среднезернистыми базальтами.

Гидротермально измененные породы, разделяющие некки, слагают значительные площади на водоразделе хр. Вернадского. Представлены почти мономинеральными



Рис. 4.13. Породы, слагающие тела некков центральной части влк. Ветровой (фото И.А. Бойковой)

пористыми опалитами, иногда несущими вкрапленность самородной серы. Опалиты образовались в результате сернокислотного выщелачивания вулканокластических пород и лав в прижерловой части вулкана Ветровой [Родионова и др., 1966].

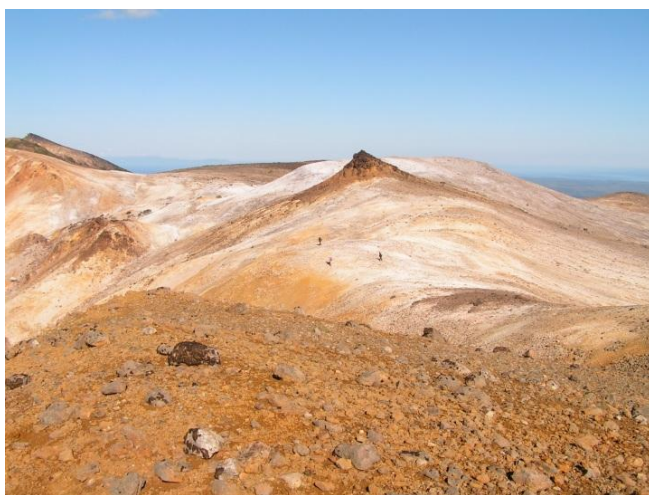


Рис. 4.14 (а). Некк на водоразделе между реками Зелёная и Савушкина. (Вет.-1.).



Рис. 4.14 (б) Некк на водоразделе между реками Зелёная и Савушкина (Вет-2).

4.3.2. Интрузивные тела палеовулкана Влодавца (р. Юрьева)

В период оледенений вулкан Влодавца был сильно разрушен ледниками и в настоящее время представляет собой обширную (до 2 км в диаметре) неправильную котловину,

открытую на запад и служащую верховьями р. Юрьева. Здесь наблюдается серия некков, даек и термальных источников, связанных с деятельностью вулканического центра Влодавца (рис. 4.15).

Самый крупный неkk вулкана Влодавца располагается в долине р. Юрьева, в районе слияния ее вершинных притоков. Некк не является единым лавовым телом и имеет форму эллипса с осями около 500 и 250 м. В целом неkk выглядит как несколько самостоятельных тел, образующих отдельные «шпы». По данным Р.И. Родионовой [Родионова и др., 1966] эти тела сложены плотными, хорошо раскристаллизованными андезитами.

По берегу Охотского моря отмечаются дайки, прорывающие лавовые потоки.



Рис. 4.15. (а) Расположение некков влк. Влодавца (указано стрелками).

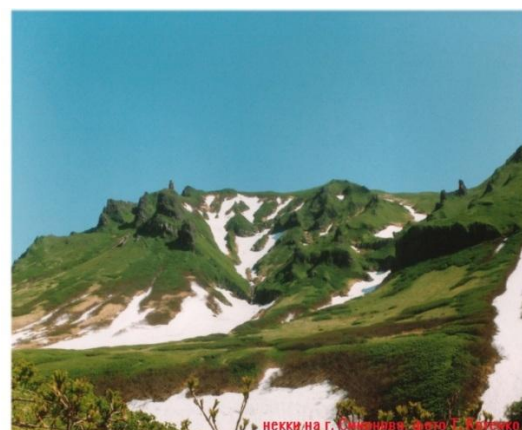


Рис. 4.15. (б) Некки и дайкоподобные тела влк. Влодавца (фото Т.А. Котенко).

В среднем течении левого притока р. Юрьева встречаются дайкоподобные тела, заметно затронутые гидротермальными изменениями. Эти тела сложены кислыми двупироксеновыми андезитами. Здесь же встречены осадочные образования,

напоминающие кратерно-озерные отложения. По мнению предшественников [Родионова и др., 1966, Бернштейн и др., 1966] образование двупироксеновых андезитов связано с деятельностью последнего побочного кратера вулканического центра Влодавца.

4.3.3. Интрузивные тела вулканического центра Богдановича

Расположение жерловой части доледникового вулкана Богдановича фиксируется некками, кратерно-озерными отложениями и гидротермально-измененными породами.

В районе сочленения хр. Каменистого с хр. Вернадского (рис. 4.16 а) встречаются кратерно-озерные отложения, а также остывшее термальное поле с хорошо сохранившимися фумарольными постройками. Вероятно, здесь располагался один из побочных кратеров древнего вулкана Богдановича, а фумарольная деятельность прекратилась сравнительно недавно.

На хр. Каменистом хорошо проявлена в рельефе система трещин меридионального направления, секущих хребет (хорошо отражены на карте линеаментной сети) (рис. 4.2), что может указывать на существующие здесь зоны растяжения. На восточном окончании хр. Каменистого виден некк, окруженный гидротермально-изменёнными породами (рис. 4.16 а (Нк-1)). Некк достигает 7 м высотой, сложен породами андезитового состава. В пятидесяти метрах к западу на поверхность выходит дайка андезитового состава. Простирается СВ 20°.

Таким образом, в районе вулканического центра Богдановича, интрузивные тела на дневной поверхности встречаются редко. Однако наличие здесь воронок взрыва и характер продуктов извержения хр. Вернадского, образующиеся в результате эксплозий (рис. 4.17 а-г), происходящих, преимущественно, в верхнем конце питающей дайки, могут указывать и на существование здесь мааро-диатремового вулканизма, который связан с фреато-магматическими или магматическими процессами (рис. 4.18).

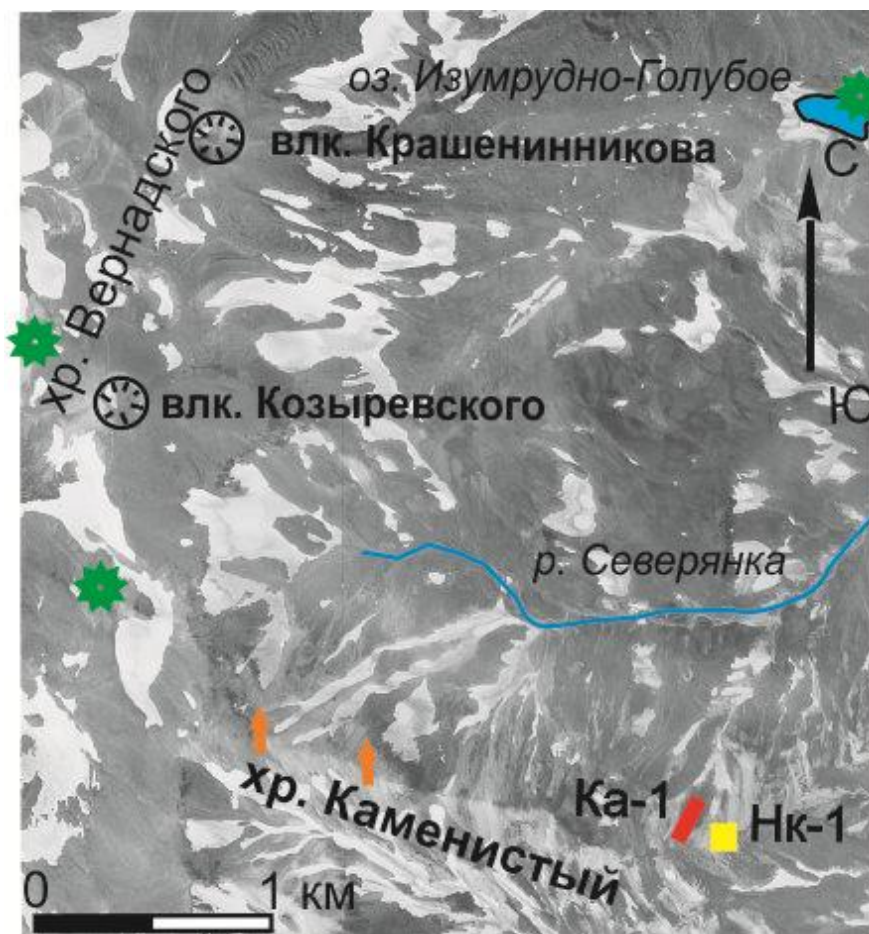


Рис.4.16 (а) Интрузивные тела хребта Каменистого.



Рис. 4.16 (б) Дайка Ка-1 андези-базальтового состава на хр. Каменистом (фото Л.В. Котенко)



Рис. 4.16 (в) Некк Нк-1 андезитового состава на хр. Каменистом (фото О.Р. Хубаевой)



Рис. 4.17 (а) Воронка взрыва на склоне Кратера влк. Богдановича



Рис. 4.17 (б) Воронка взрыва на северном склоне влк. Козыревского



Рис. 4.17 (в) Воронка взрыва на южном склоне влк. Козыревского



Рис. 4.17 (г) Воронка взрыва на оз. Изумрудно-Голубое

Этот тип вулканической активности контролируется взаимодействием магматических расплавов и летучих компонентов в корневой зоне. Так обломки гидротермально-измененных пород в районе озера Изумрудно-Голубое, могут свидетельствовать об инъекции магматических расплавов, которая происходила в водоносные комплексы современных гидротермальных систем, в соответствии с предположениями В. Лоренца [Lorenz, 1985, 1986, 1999а, 1998, 2003, 2003b], который считает, что эксплозии происходят преимущественно в верхнем конце питающей дайки (рис. 4.18).

вода накапливалась быстро на дне кратера маара и образовывала кратерное озеро маара до окончания вулканической активности, то восходящий поток магмы мог взаимодействовать с этой озерной водой, вызывая взрывы [Boxer et al., 1989].

Без постоянного участия подземных вод фреато-магматическая деятельность мааро-диатремовых вулканов может прекратиться. Тогда магма может продвигаться по трубке без термогидравлической эксплозивной фрагментации. В зависимости от концентрации ювенильных газов в магме эруптивная последовательность преобладавших фреато-магматических эксплозий в корневой зоне может сменяться магматическими извержениями, характеризуемыми ювенильной дегазацией, приводящей к стромболианской активности [Boxer et al., 1989]. Весьма вероятно, такие процессы происходили на хребте Вернадского, так как на некоторых воронках взрыва наблюдаются лавовые потоки.

4.3.4. Интрузивный комплекс горы Маяк и мыса Крепкого

Силлы и секущие тела (простые дайки) хорошо проявлены в рельефе на горе Маяк и в районе мыса Крепкого (рис. 4.19). Вмещающими породами служат отложения среднепарамуширской, и утесной серий.

Силло-дайковый комплекс г. Маяк и м. Крепкого подробно рассмотрен в работе В.К. Гаврилова [Гаврилов и др., 1966]. Мощность силла г. Маяк оценивается в 15—20 м. Сложен силл порфировыми анортозит-диабазами и погружается в восточном направлении под воды Второго Курильского пролива с С-З склона г. Маяк и прослеживается у берега в виде отдельных останцов. Видимая мощность силла на м. Крепком в среднем достигает 12 м. Сложен он крепкими темно-серыми диабазами, обладающими хорошо выраженной столбчато-призматической отдельностью [Гаврилов и др., 1966].

Секущие тела (дайки) широко развиты на г. Маяк. В верхней части северо-восточного склона горы наблюдается несколько даек, которые слагают ее вершину и имеют

простираение, близкое к широтному. К югу от г. Маяк хорошо видны, торчащие из-под воды останцы, которые также являются дайками.

Дайки г. Маяк хорошо читаются на космо- и аэрофотоснимках (рис. 4.19). Их мощность колеблется от нескольких метров до 20 м. Дайки имеют состав, схожий с описанными выше силлами. По данным В.К. Гаврилова [Гаврилов и др., 1966] породы даек имеют порфировую структуру. Вкрапленники, составляющие около 60 процентов их объема, образованы основным плагиоклазом (Ап 65—70), клинопироксеном и рудными минералами. Последние часто бывают включены в пироксены. Основная масса представляет собой микроклеритовый агрегат перечисленных выше минералов. Проявление вторичных процессов слабое и представлено в основном хлоритизацией, карбонатизацией и ожелезнением.

На участке между устьями рек Птичь и Матросская (Рис. 4.19.) по геофизическим данным (пониженному магнитному полю, относительно высокому сопротивлению и наличию положительной аномалии поля силы тяжести), на глубине предполагается интрузия андезибазальтового состава [Подошвин, 2012]. Судя по термальным источникам р. Птичь, интрузия возможно не до конца остыла в корневой части и обладает повышенной трещинной проницаемостью зонах секущих ее разломов. Такое предположение находит отражение в рисунке горизонтальных срезов трехмерной модели тектонической раздробленности блока пород для северной части о. Парамушир. (рис. 4.6.), в наличие здесь разрывных нарушений (рис. 4.1; 4.2.), а также в широко развитом в приповерхностной зоне интрузивно-дайковом комплексе.

Немного выше по долине р. Матросской была пробурена скважина 648 (забой 250 м), которая вскрыла высоконапорные низкотемпературные (40°C) гидротермы [Подошвин, 2012].

Таким образом, интрузивные тела в северной части острова имеют различные составы: базальтовые, андезитовые, андезибазальтовые. Примечательно, что, выделенные автором, дайки

сопряжены с зонами распространения гидротермально-изменённых пород, а зачастую и с современной гидротермальной деятельностью (рис. 4.20).

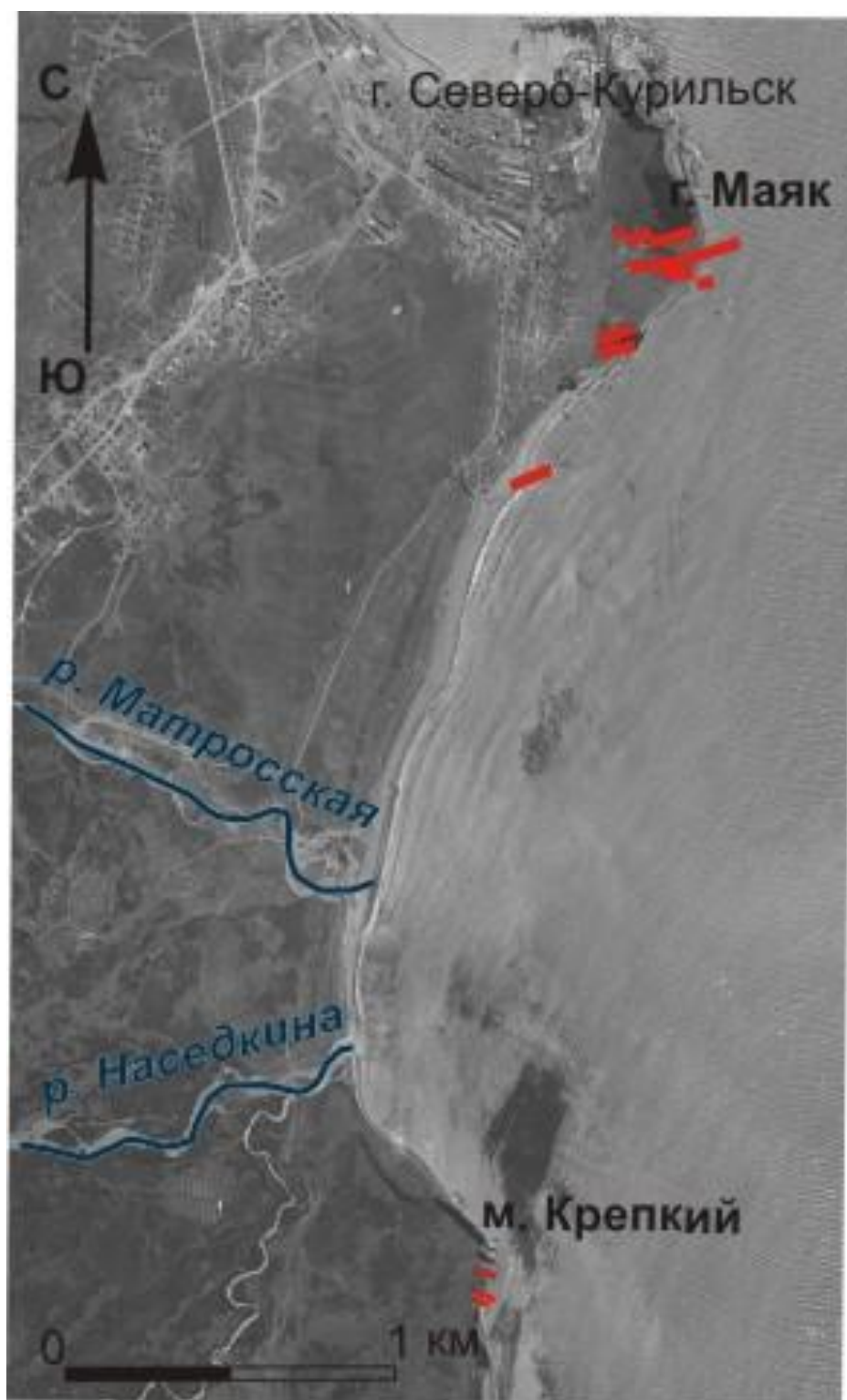


Рис. 4.19. Дайки горы Маяк и мыса Крепкого отмечены красным
(составлено автором)

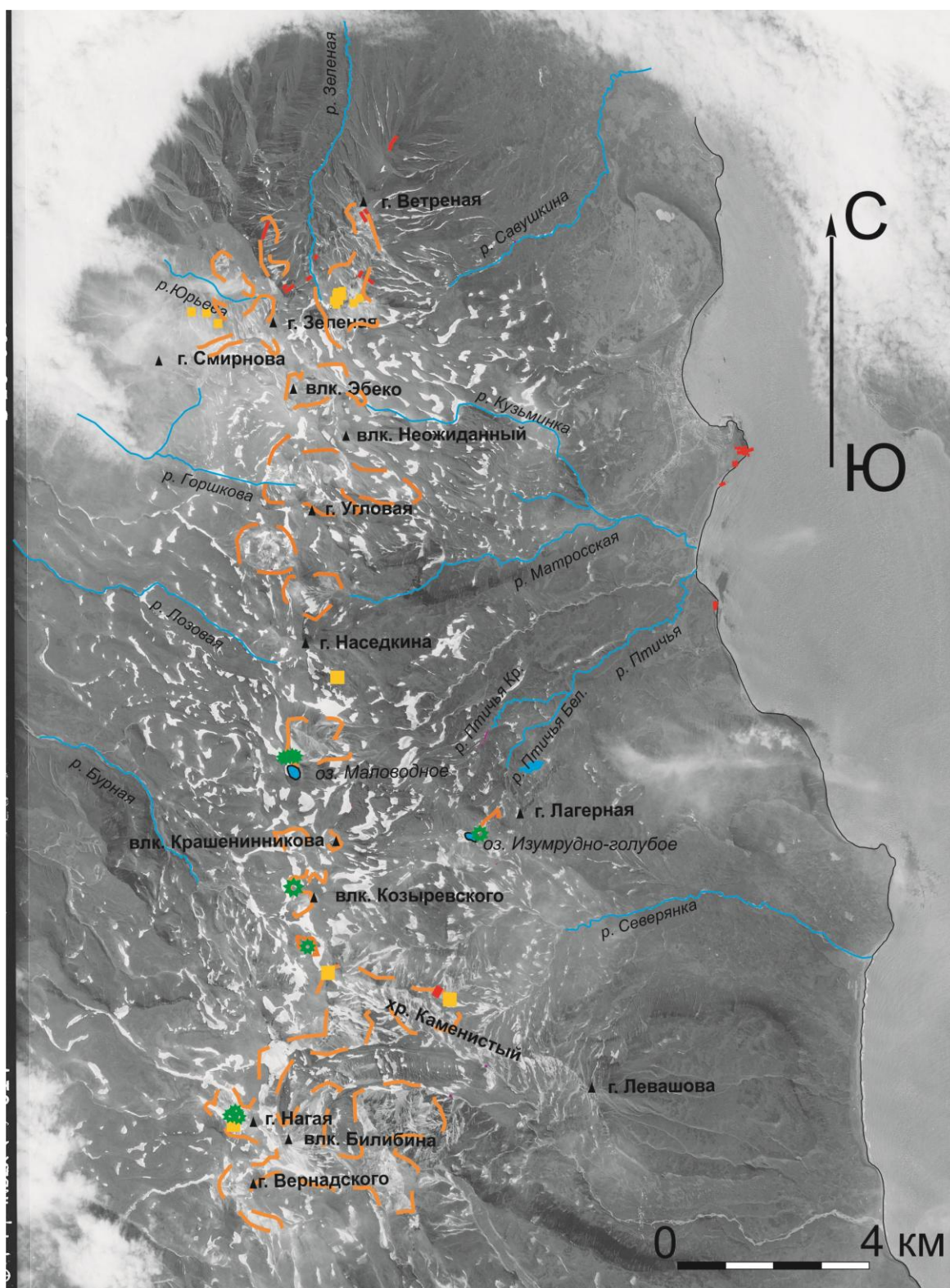
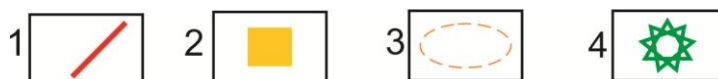


Рис. 4.20. Зоны распространения гидротермально-изменённых пород.



Карта выполнена на основе собственных полевых наблюдений, а также с использованием следующих работ: отчёт Подошвин, 2012; Родионова и др., 1966

1 - дайка; 2 - неkk; 3 - границы распространения гидротермально-изменённых пород; 4 – воронки взрыва

Комплекс геолого-геоморфологических методов исследования в сочетании с полевыми данными, позволил выявить зоны повышенной проницаемости для паро-гидротерм в исследуемом районе, оценить их взаимосвязь с системами интрузивных тел и геотермальными проявлениями.

ГЛАВА 5. ТЕПЛОВОЕ ПИТАНИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНО - МАГМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ХРЕБТА ВЕРНАДСКОГО

Район вулканического центра Эбеко характеризуется высокой гидротермальной и вулканической активностью. Исследователи выделяют здесь Северо-Парамуширскую гидротермально-магматическую систему [Барабанов, 1976; Белоусов и др., 2002; Рычагов и др., 2002]. В районе вулкана Эбеко и его окрестностях наблюдаются термальные и холодные источники, а также два центра термальной активности (рис.4.1). Первый приурочен к вершинной части вулкана Эбеко, второй - к верховьям долины р. Юрьева. В последние десятилетия появились публикации [Рычагов и др., 2002; Чудаев, 2003], в которых обоснована генетическая связь гидротерм с питающей магматической системой вулкана Эбеко и смежных вулканоструктур.

В центральной части хр. Вернадского автор выделяет отдельную гидротермально-магматическую систему, приуроченную к вулкану Крашенинникова, для её выделения имеются следующие основания:

1) На хребте Вернадского выделяется три вулканических центра [Горшков, 1967; Федорченко и др., 1989] Вернадского, Богдановича, Эбеко (рис. 2.3.). На всех перечисленных центрах гидротермальная деятельность напрямую связана с вулканической активностью. Так, в районе вулканического центра Вернадского (рис. 2.3.), на сегодняшний день, не наблюдается ни вулканической активности, ни гидротермальной деятельности, однако есть ряд свидетельств о протекавших здесь ранее мощных гидротермальных процессах.

Вулканический центр Богдановича (рис. 2.3.), расположенный к Северу от вулканического центра Вернадского, сегодня, также не проявляет признаков вулканической активности, за исключением влк. Крашенинникова, на котором с 1999 по 2004 годы наблюдалась фумарольная деятельность [Котенко Л.В, Котенко Т.А., 2006]. Фумарольная активность, влк. Крашенинникова, может быть связана с существованием интрузивного разогретого комплекса на глубине. Дайки нередко служат подводными каналами, питающими

вулканы, и являются основными источниками теплового питания гидротермально-магматических систем. Этой теме посвящено множество работ как российских, так и зарубежных исследователей [Nakamura, 1977; Белоусов, 1978; Большое трещинное..., 1984; Gudmundsson, 1995; Федотов и др., 2002; Kiryukhin et al., 2018; Nielson et al., 2019].

Замыкающим звеном является вулканический центр Эбеко (рис. 2.3.), расположенный на северном окончании хр. Вернадского, характеризующийся высокой вулканической активностью и связанной с ней гидротермальной деятельностью.

Таким образом, не исключено, что в районе хр. Вернадского происходит смещение вулканизма с Юга на Север и низкотемпературная гидротермальная система, расположенная на восточном склоне влк. Крашенинникова сопряжена с остывающими интрузивными телами, расположенными на глубине, что подтверждается в т.ч. геофизическими данными [Мишин, 1993; Подошвин, 2012].

2) Долина реки Птичьа расположена к ЮВ от вулкана Эбеко на опущенном (более чем на 100 м) блоке, ограниченном разрывными нарушениями широтного простирания. [Леонов, 1990]. Эти разрывные нарушения трассируются рекой Наседкина на Севере (сброс с опущенным южным крылом, амплитуда перемещения около 100 м.), и ручьём Утесный на Юге (сброс с опущенным южным крылом, амплитуда вертикального перемещения 200 м) [Леонов, 1990]. Очевидно, что область питания термальных источников, расположенных в верховьях р. Птичьа не связана с вулканом Эбеко. Кроме того, р. Птичьа сопряжена с разрывным нарушением СВ простирания [Хубаева, Николаева, 2017] (рис. 4.1) и, скорее всего связана с вулканом Крашенинникова, на котором в конце 1990- начале 2000 гг. была зафиксированна активная фумарольная деятельность [Конетко Т.А, Котенко Л.В., 2005].

3) По данным геофизических исследований (по магнитному полю [Мишин, 1993] и полю силы тяжести [Подошвин, 2012]) в районе верховьев рек Птичьа и Наседкина, на глубине примерно 2,5 км, выделяется крупное интрузивное тело (рис. 4.6), предположительно основного

или среднекислого состава, которое может служить источником теплового питания для гидротермальной системы.

4) На поверхности над выделенным интрузивным телом [Мишин, 1993] наблюдаются геотермальные проявления в виде теплых и холодных высокоминерализованных источников с высоким содержанием Cl и SO_4 (табл. 2).

5) Данные, полученные автором в результате проведения полевых работ [Хубаева и др., 2005; Хубаева, Николаева, 2017] позволяют предположить, что гидротермально-магматическая система влк. Крашенинникова имеет низкотемпературный режим в приповерхностной зоне и высокотемпературный режим на большей глубине [Хубаева, Николаева, 2017]. К такому же выводу приходят и другие исследователи. Так В.И. Пчёлкин [Пчелкин, 1996] выделяет в верховьях р. Птичьа высокоперспективные участки на парогидротермы. Также здесь прогнозируется месторождение с эксплуатационными запасами, эквивалентными 33-46 кг/с пара с температурой парогидротерм по Na-K-Ca геотермометру 250°C , по Na-K — 340°C [Подошвин 2012].

Для определения скрытых разгрузок термальных вод автором была построена карта теплового поля очагов скрытой разгрузки термальных вод. На карте (рис. 5.1) видно, что в районе вулканического центра Богдановича отсутствуют обширные участки скрытой разгрузки термальных вод в поверхностные водотоки, а наименьший вынос тепла характерен для осевой части хр. Вернадского. Исключение составляет обширный, веерообразный в плане участок в бассейне рек Птичьа и Наседкина, дренирующих восточные склоны хребта. К верховьям долины реки Птичьа Красная приурочена тепловая аномалия (вынос тепла в этом районе составляет $\sim 100\,000 \text{ Дж/м}^2\text{с}$).

Участки с высокими показателями выноса тепла полностью совпадают по значениям с ареалом высоких концентраций хлорид-ионов [Хубаева и др., 2005] в поверхностных водах (рис. 5.2). На прогнозной карте перспективности северной части о. Парамушир эта территория

выделяется как одна из наиболее перспективных районов на термальные воды (рис. 5.3.) [Пчёлкин, 1996], в этом районе выделяются высокоперспективные участки на парогидротермы.

Долина р. Птичь, в среднем течении, ассоциирует с разрывным нарушением СВ простирания (рис. 5.1). В таком случае, максимальные значения выноса тепла оказываются приуроченными к одному разрывному нарушению, что подтверждается также высокими концентрациями хлорид-ионов в поверхностных водах на данном участке (рис. 5.2.).

К числу проявлений гидротермальной деятельности относится и образование опалитов (рис.4.1), которые могут концентрироваться в нескольких километрах от гидротермального резервуара. Выделенные участки распространения опалитов приурочены к южной части зоны субмеридионального разлома, где расположены вулканы Козыревского, Билибина и др. (рис.4.1), что свидетельствует об интенсивном развитии гидротермальных процессов в этом районе в период активной деятельности вулканов, когда циркуляция глубинного флюида, насыщенного газами, ведет к интенсивной переработке горных пород. Горные породы в долинах ручьёв, обычно насыщены холодными водами с высоким содержанием кислорода. При взаимодействии с глубинным флюидом происходит активная переработка пород до аргиллитов. На возвышенностях, где глубинный флюид разгружается в толще дренированных пород, образуются опаловые сыпучки, опалиты и опал-алунитовые породы [Пчёлкин, 1996], что мы и наблюдаем в исследуемых районах (рис.4.1). В настоящее время, согласно карте теплового поля очагов скрытой разгрузки термальных вод (рис. 5, 12), в этом районе вынос тепла минимальный (табл. 1).

Таблица 1. Вынос тепла в средней части хребта Вернадского
(вулканический центр Богдановича)

Наименование точки	S км ²	t°С	Q л/с	Общий вынос тепла ккал/с	Вынос тепла ккал/км ² с	Вынос тепла Дж/м ² с	СИ Мг/л
Пр 10 /04	1,82	4,3	500	2150	1181,3186	4945.9	2.1
Пр 6 /04	1,22	11,6	10	116	95.08	398. 1	2.8
Пр 5 /04	2.18	4.5	25	112.5	51.6	216.0	4.3
Пр 7 /04	4.65	2.8	800	2240	481.72	2016.9	2.8
Мд 15 /05	0.45	1.5	1	1.5	3.33333	13.9	2.8
Мд 14-1 /04	0.15	4	0.5	2	6.6...	27.6	3.5
Мд 13 /04	3.25	5	0.2	1	0.3076	1.3	7.8
Мд 14 /04	1.56	1.8	20	36	23.076	96.6	5.0
Мд 12 /04	3.27	3	1000	3000	917.43...	3841,1	6.4
Нс 30 /04	0.82	15.7	5	78.5	95.731...	400,8	4.6
Нс 28 /04	1.15	6.7	40	268	233.04	975,7	6.7
Нс 27 /04	2.37	10	2000	20000	8438.81...	35331,6	4.6
Нс 14 /04	3.15	5.7	2800	15960	5066.66...	21213,10	4.3
Нс 23 /04	1.17	6.1	250	1525	1303.418....	5457,2	3.2
Нс 21 /04	5.25	6.6	3500	23100	4400	18421,9	3.2
Нс 25 /04	0.39	4.0	0.5	2	5.12	21,4	2.1
Нс 8 /04	13.37	6.1	8800	53680	4014.95	16809,8	3.5
Нс 7 /04	0,25	6,0	40	240	960	4019,3	7,8
Нс 5 /04	0.79	7.9	10	79	11.63	48,7	6.4
Нс 1 /04	17.5	6.9	129000	89010	5086.2...	21294,9	2.1
Нс 18 /04	0.97	5.8	15	87	89.69...	375,5	2.1
Лз 5 /04	1.25	8	10	80	64	267,9	5.7
Лз 7 /04	1.41	12.6	600	7560	5361.70	22448,4	5.7
Лз 4 /04	4.52	12.3	900	1170	2449.115	10253,9	7.1
Лв 11 /04	0.73	4	20	80	109.58...	458,8	3.5
Лв 10 /04	4.55	2.1	70	147	32.3076...	135,3	5.7
Лв 5 /04	1.58	4.4	50	220	139.2405	566,3	4.3
Лв 4 /04	3.25	6	150	900	276.91...	1159,4	3.5
Лв 7 /04	6.71	4.1	250	1025	152.75	639,5	3.5
Бе 8 /04	2.63	8.1	10	81	30.798	128,9	5.7
Бе 8-1 /04	0.27	10.5	2	21	77.7...	325,3	8.5
Бе 8-2 /04	2.93	8.4	12	100.8	34.402...	144	
Бе 6 /04	0.15	5.6	10	56	373.33	1563	3.5
Бе 5 /04	0.14	5.3	20	106	757.142...	3170	7.8
Бе 4 /04	4.18	5	1000	5000	1196.1722...	5008,1	2.1
Нч 5 /04	4.25	5	1100	5500	1294.1176	5418,2	3.5
Нч 3 /04	2.05	2	10	20	9.756	40,8	4.3
Нч 4 /04	6.76	3.1	50	155	22.928...	95,10	5.0
Нч 2 /04	7.7	4.5	1300	5850	759.740...	3180,9	7.1
Кр 5 /04	0.61	3.8	1	3.8	6.229...	26,1	5.0
Кр 4 /04	0.44	7.1	10	71	161.3636	675,6	2.1

Наименование точки	S км ²	t°C	Q л/с	Общий вынос тепла ккал/с	Вынос тепла ккал/км ² с	Вынос тепла Дж/м ² с	СИ Мг/л
Кр 2 /04	0.73	7.5	5	37.5	51.369...	215,1	1.4
Бр 13 /04	2.25	4.6	15	69	30.666...	128,4	2.1
Бр 9 /04	0.97	2.0	5	10	10.309...	43,2	2.1
Бр 28 /04	0.57	3	50	150	263.15	1101,8	
Бр 19 /04	10.54	5	1000	5000	474.38...	1986,13	0.7
Бр 27 /04	0.71	60	20	1200	1690.1408..	7076,3	5.7
Бр 22 /04	1.15	4	40	160	139.1304...	582,5	0.7
Бр 16 /04	0.21	12.4	5	62	295.238...	1236,1	1.4
Св 5 /04	0.88	3	19	570	647	2708,9	7.1
Св 2 /04	32.91	2	10000	20000	607.718...	2544,4	5.0
Св 40 /04	1.48	6	30	180	121.62...	509,2	20.6
Св 38 /04	0.29	4	20	80	275	1151,4	9.2
Св 37 /04	1.86	6	120	720	387.096..	1620,7	17.0
Св 36 /04	0.0019	6	0.5	3	1578.947	6610,7	9.9
Св 35 /04	2.19	6	1000	6000	2739.726...	11470,7	12.8
Св 31 /04	1.1	7	1	7	6.3636...	26,6	5.7
Св 33 /04	0.25	7	1.5	10.5	42	175,8	3.5
Св 29 /04	0.68	5	200	1000	1470.5888...	6157,1	4.3
Св 26 /04	0.87	5	3	15	17.24	72,2	4.3
Св 32 /04	3.94	5	2100	10500	2664.97	11157,7	9.2
Птб 14 / 04	1.34	9.2	1	9.2	6.865...	28,7	7.0
Птб 15 /04	54	9.3	1	9.3	0.1722...	0,7	0.7
Птб 9 /04	4.06	7.9	700	5530	1362.06	5702,7	9.2
Птб 6 /04	6..81	5	2500	12500	1835.53...	7684,10	56.0
Птб 13 /04	2	10.2	2	20.4	10.4	43,5	0.7
Птк 23 /04	1.56	5.9	3	17.7	1346	5635,4	1.4
Птк 20 /04	0.62	12.8	1500	19200	30967	129652,6	62.4
Птк 19 /04	1.5	11.5	1600	18400	12266.66	51358,1	66.0
Птк 18 /04	3.98	10	1800	18000	4522.6...	18935,2	55.3
Пт 5 /04	12.16	6	3500	21000	1726	7226,4	56.7
Пт 2 /04	13.52	7	5000	35000	2588.7...	10838,3	46.1
Пт 3 /04	0.5	7	1	7	14	58,6	9.2
Пт 1 /04	14.67	8.4	8000	67200	4580.7...	19178,4	24.8
Ср 3 /04	3.88	5	900	4500	1158.7	4851,2	22.0
Ср1 /04	0.62	4	450	1800	2903.2	12155,1	43.3
Тр 2 /04	3.34	8	50	400	119.7	501,1	9.2
Тр 1 /04	0.93	6	15	90	96.7	404,9	9.2
Ут 9 /04	0.36	5.9	10	59	163.8	685,8	8.5
Ут 5 /04	2.51	7.7	90	693	276	1155,6	6.4
Ут 3 /04	6.1	7.6	300	2280	373.7	1564,6	5.0

Примечание. Вынос тепла: $t^{\circ}\text{C} \cdot Q = (\text{общий вынос тепла ккал/с})S = (\text{вынос тепла ккал/км}^2 \text{ с})$

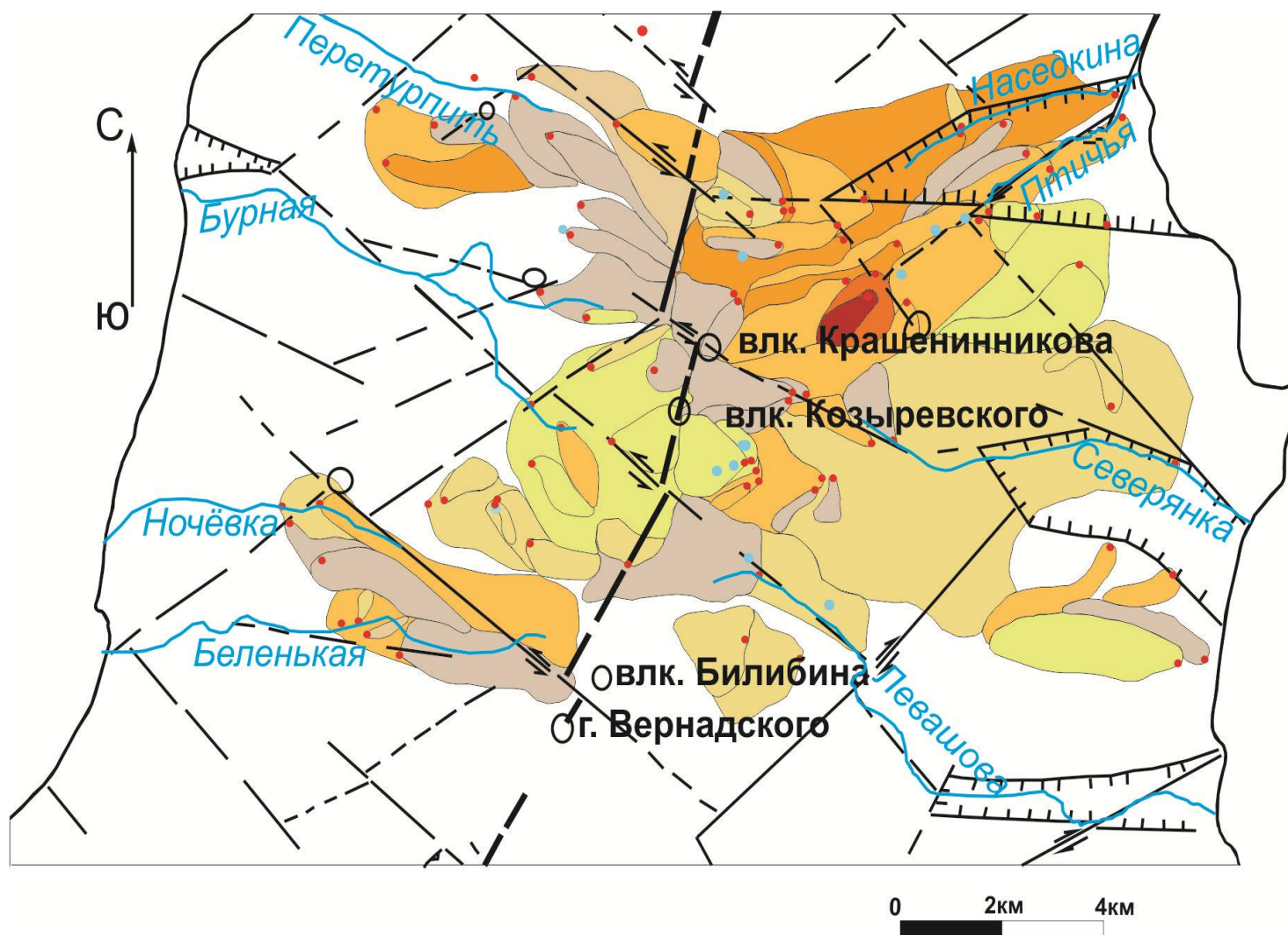


Рис. 5.1. Карта теплового поля очагов скрытой разгрузки термальных вод в средней части хр. Вернадского (вулканический центр Богдановича) [Хубаева и др., 2005, 2007]
Карта построена автором по данным, приведенным в таблице 1.



Вынос тепла (Дж/м²с)

1 ~ более 100 000 Дж/м²с

2. ~ от 50 000 до 100 000 Дж/м²с

3 ~ от 10 000 до 50 000 Дж/м²с

4. ~ от 3000 до 10 000 Дж/м²с

5. ~ от 500 до 3000 Дж/м²с

6. ~ от 100 до 500 Дж/м²с

7. ~ 0 – 100 Дж/м²с

точки замеров



1 - предполагаемые разрывные нарушения;

2 – сдвиги;

3 – грабенообразные впадины;

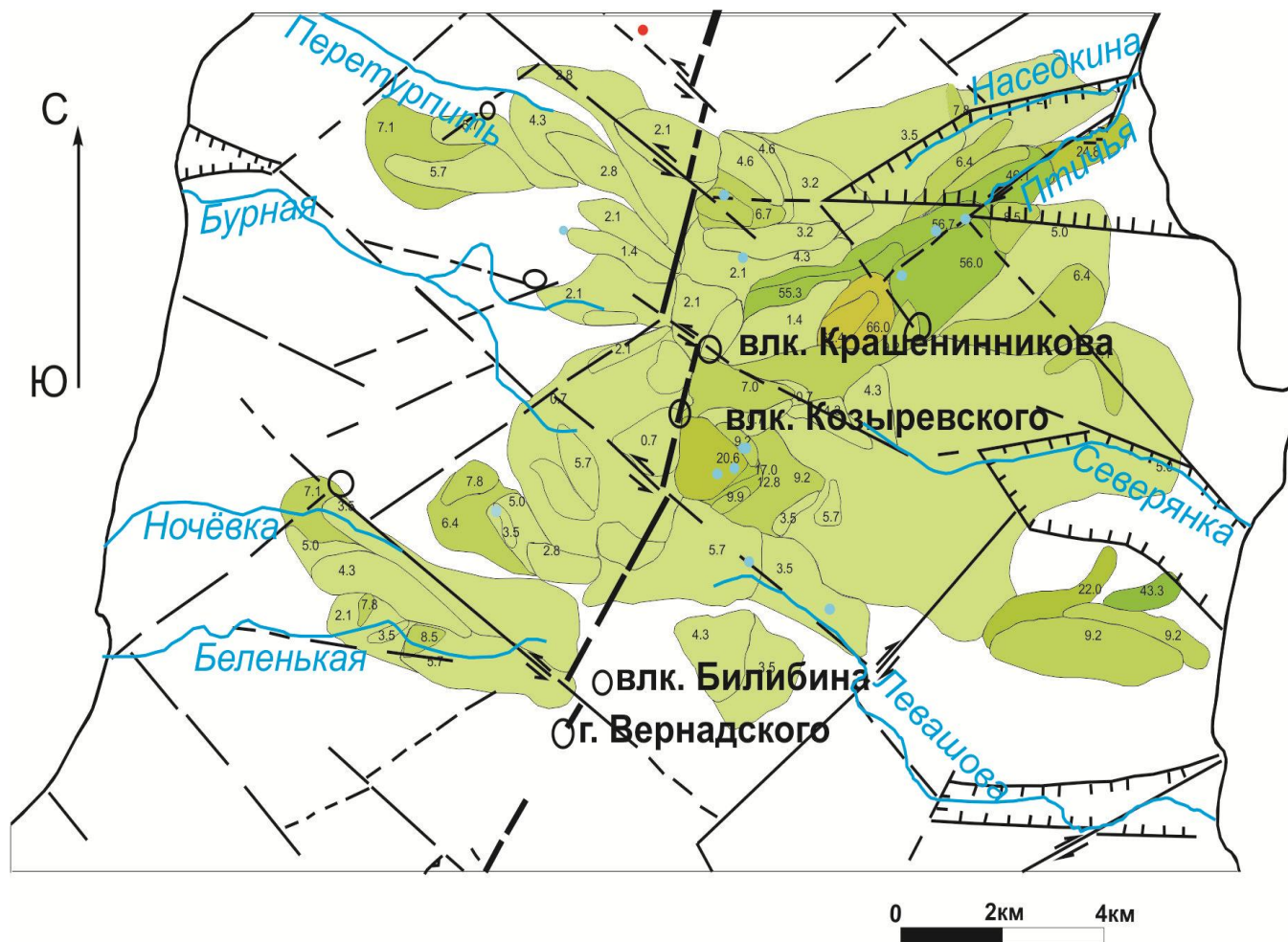


Рис. 5.2. Гидрохимическая карта поверхностных вод (по содержанию хлорид-ионов) для средней части хр. Вернадского (вулканический центр Богдановича) [Хубаева и др., 2005, шш 2007].

Содержание хлорид-ионов в пробах воды в мг/л



1. - 0-6 мг/л
2. - 6-20 мг/л
3. - 20-40 мг/л
4. - 40-60 мг/л
5. - 60 мг/л и выше

 Точки отбора проб воды

(Таблица 1)



- 1 - предполагаемые разрывные нарушения;
- 2 - сдвиги;
- 3 - грабенообразные впадины;

Карта построена на основе полевых материалов, собранных сотрудниками лаб. Геотермии ИВиС ДВО РАН (Котенко Т.А., Котекнко Л.В., Хубаевой О.Р., аналитическая работа Шульга О.В.), по заданию зав. лаб. Геотермии Рычагова С.Н. (таблица 1).

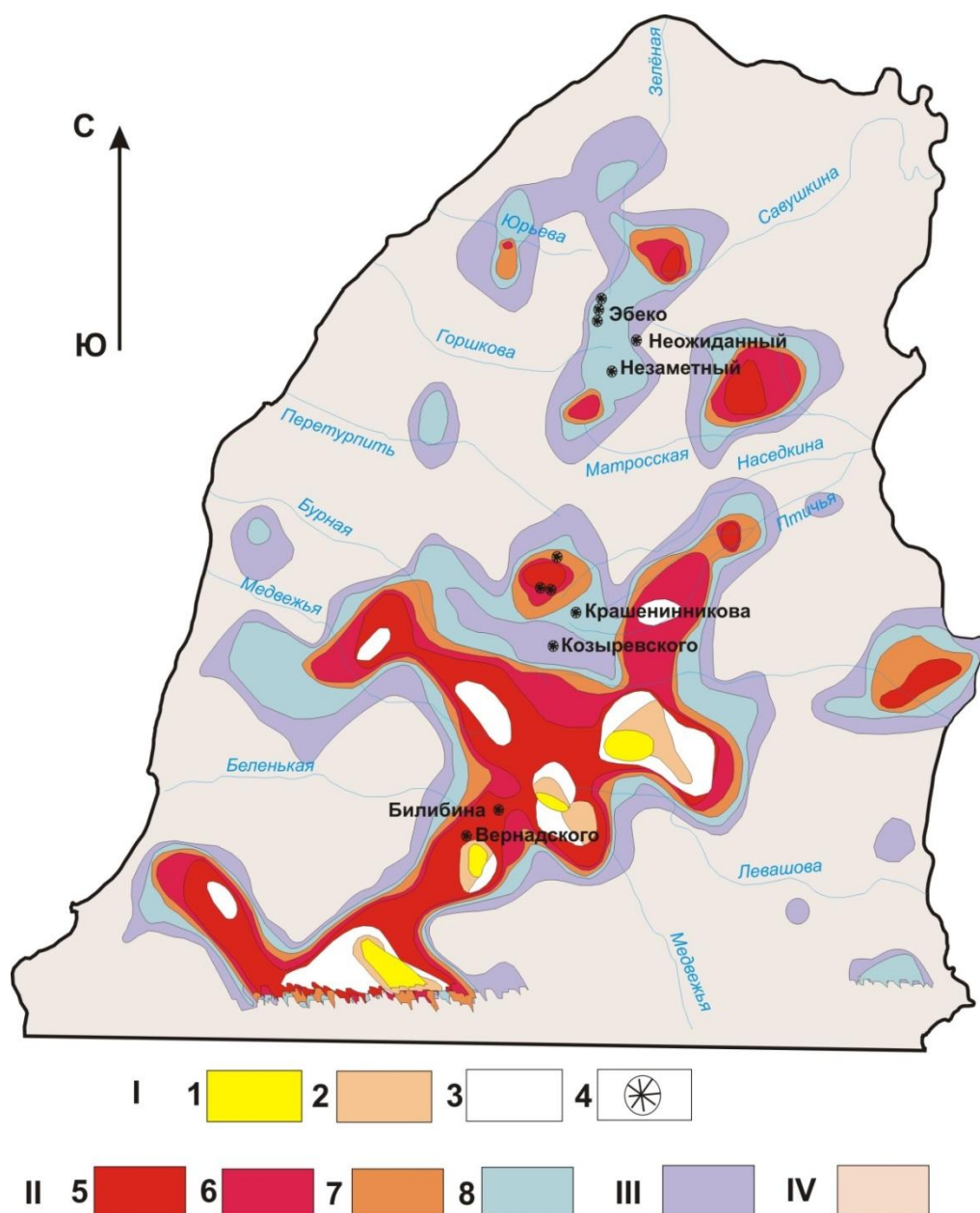


Рис. 5.3. Прогнозная карта перспективности Северной части о. Парамушир на термальные воды (Составлена В.И. Пчёлкиным [Пчёлкин, 1996])

I Центральные сводовые части «паровые шапки» сильногазонасыщенные парогидротермы, наибольшая раскрытость тектонических трещин:

1.Высокоперспективные; 2. Перспективные; 3. Среднеперспективные;
4. Вулканические постройки

II Парогидротермы: 5.Высокоперспективные участки; 6. Среднетемпературные участки; 7 Перспективные участки; 8. Малоперспективные участки.

III Участки с распространением туманных вод (геотермический градиент выше фонового) имеется в наличии небольшая тектоническая трещиноватость глубинных коллекторов.

IV Участки с фоновым геотермическим градиентом с наиболее мощным слоем рыхлых четвертичных поверхностных отложений. Пригодные для организации хозяйственно-питьевого водоснабжения. Трещиноватость глубже 100 м практически отсутствует.

5.1. Глубинное строение активных гидротермально-магматических систем северного сектора острова Парамушир

Как уже упоминалось, хребет Вернадского разделён на три сектора, каждому из которых соответствует группа вулканических центров (Эбеко, Богдановича, Вернадского), отличающихся друг от друга степенью вулканической активности, развитием гидротермальных процессов, степенью эродированности .

Гидротермально-магматические системы хребта Вернадского имеют тесную связь с магматической структурой и относятся к островодужным гидротермальным системам, сопряженным с андезитовым вулканизмом [Рычагов и др. 2002; Henley, Ellis, 1983].

5.1.1. Гидротермально-магматическая система Крашенинникова

Гидротермально-магматическая система Крашенинникова расположена на опущенном блоке, ограниченном разломами широтного простирания [Леонов, 1990] и представляет собой типичную островодужную гидротермально-магматическую систему, где главными ландшафтными конструкциями являются андезитовые стратовулканы. Такие системы, как правило, встречаются на больших высотах, но их питание метеорными водами осуществляется из районов с низким рельефом.

Для описания гидротермально-магматической системы вулкана Крашенинникова использовались данные по изучению опорного геологического разреза по керну поисково-оценочной скважины 4ГП [Бойкова, 2011]. Скважина, расположена у подножия плато Лагерного, была пробурена в 2002-2004 гг. до глубины 1274 м. Сахалинской гидрогеологической экспедицией. В разрезе наблюдается последовательная смена метасоматических зон (сверху - вниз): кварц - эпидот - хлоритовая; иллит-хлорит - кальцитовая; монтмориллонит – цеолитовая [Бойкова, 2011].

По линии А-Б (рис.5.4; 5.5) автором построен геоморфологический профиль, на основе которого была построена концептуальная модель гидротермально-магматической системы: вулкан Крашенинникова (восходящий поток гидротерм) – грабен р. Птичья (геотермальные проявления) – Тихий океан (зона разгрузки напорного потока низкотемпературных углекислых гидротерм) (рис. 5.4).

Гидротермальная деятельность. На вулкане Крашенинникова в последнее десятилетие отмечалась слабая активизация в виде функционирования слабой интенсивности фумарол в районе его кратера и повышения температурного поля в направлении от кратера вулкана к северо-востоку [Котенко, Котенко., 2006]. Заметные струйки пара в кратере вулкана наблюдались еще в начале 1999 г. Вскоре в кратере образовались термальные площадки, началась активная гидротермальная деятельность, высота некоторых паро-газовых струй иногда достигала 200 м.

В 2003-2004 гг. их площади и мощности увеличились (рис.5.6; 5.7.), вблизи дна эксплозивной воронки образовались новые прогретые участки. Замеры температуры газов в режимных точках показали температуры 96-102°C [Т.А. Котенко, Л.В. Котенко., 2006]. Гидротермальная деятельность в кратере влк. Крашенинникова продолжалась до 2006 года (рис. 5.7).

Типы вод в гидротермальной системе. Большая мощность вулканогенных пород над зоной восходящего потока гидротерм в гидротермально-магматической системе влк. Крашенинникова свидетельствует о том, что имеется значительный потенциал для формирования вторичных гидротерм. Там где гидротермальные газы образуют наиболее сосредоточенный восходящий поток, в результате окисления H_2S формируются низкотемпературные сульфатно-кислые гидротермы. Эти гидротермы могут фильтроваться обратно в гидротермальный резервуар по структурным каналам (поскольку они более низкотемпературные и более тяжелые, чем первичные гидротермы, образовавшего их резервуара) или могут растекаться латерально, образуя сульфатно-кислые горячие источники [Hedenquist, 1987].

Рис.5.4. Геологическое строение р-на р. Птичь (за основу взята карта [В.Л.Леонова 1990]).

1. породы фундамента ($Pg_3^? - N$);
2. доледниковые вулканические образования ($Q_1^? - Q_1^1$);
3. вулканические образования времени первого оледенения (Q_2);
4. отложения межледниковой трансгрессии (Q_2);
5. морены второго оледенения (Q_2^3);
6. вулканические образования межледниковой эпохи времени второго оледенения (Q_3);
7. современные (голоценовые) вулканические образования (Q_4);
8. современные голоценовые отложения: а) морские и эоловые б) аллювиальные и озерные отложения (Q_4);
9. современные обвальнo-оползневые отложения;
10. предполагаемые разрывные нарушения;
11. грабенообразные впадины;
12. вулканические постройки;
13. геоморфологический профиль;
14. точки отбора проб воды.

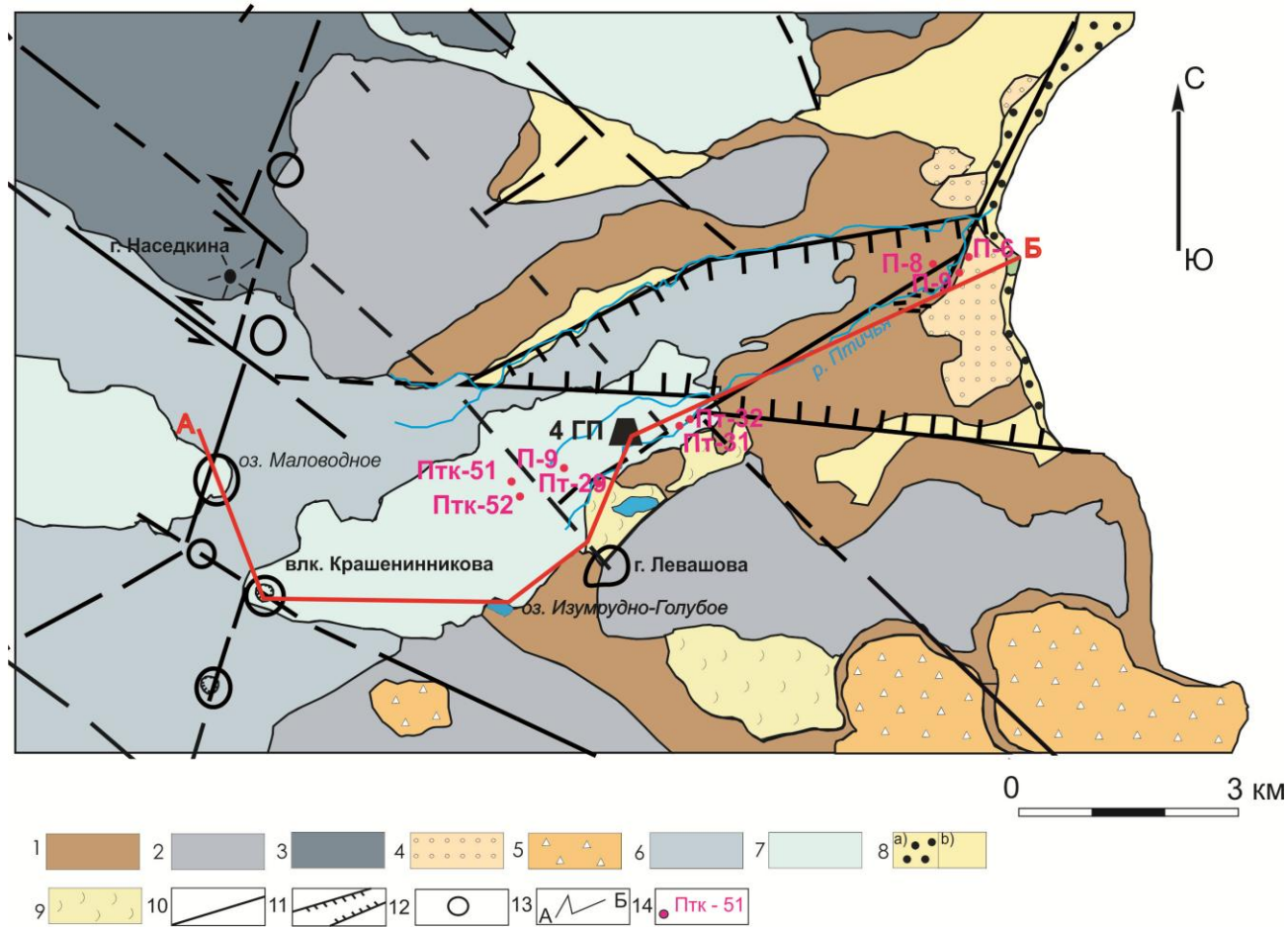




Рис. 5.6. а) Фумарола на влк. Крашенинникова 2004г.
(фото Т.А. Котенко)



Кратер влк. Крашенинникова, облёт 18.02.2002г., фото Т. Котенко

Рис. 5.6. б) Состояние кратера влк. Крашенинникова на 18.02.2002
(фото Т.А. Котенко)

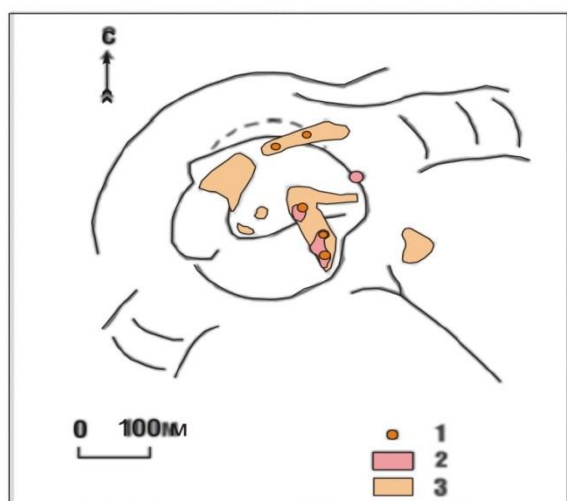


Рис. 5.7. Схема термальных площадок влк. Крашенинникова.

1. Наиболее активные паро-газовые струи (режимные точки измерения температур и отбора газов).
 - 2, 3 границы термальных площадок:
 2. по состоянию на май 1999г.
 3. по состоянию на август 2004 г.
- по [Котенко Т.А., Котенко Л.В. 2006]

В средней части течения реки Птичь, разгружаются воды хлоридно-сульфатного Cl-SO_4 состава [Подошвин и др., 2012]. Источники, локализующиеся в зоне разрывного нарушения, имеют сравнительно низкие температуры ($9-11^\circ\text{C}$) и повышенное содержание хлор-ионов (Табл. 2; рис. 5.2), однако температура источников может снижаться за счет сильного разбавления талыми водами, особенно с учётом того, что средняя температура воды в реке составляет $5-9^\circ\text{C}$, все это может указывать на наличие здесь притока термальных вод.

Химический состав разгрузок (Пт-29, Пт-31, Пт-32, Птк-51, Птк-52) (рис. 5.4, Табл. 2), а также повышенное содержание хлорид-ионов в районе р. Птичь, указывает на существование

глубинных хлоридных высокотемпературных гидротерм, расположенных в недрах гидротермальной системы Крашенинникова. Такие предположения подтверждаются данными Е.А. Руденко [Подошвин и др. 2012], который по результатам анализа опробования вод источников и водотоков в р-не рек Птичь, Птичь Белая, Птичь Красная зафиксировал прямой (температурный) признак притока термальных вод. В этом районе преобладает хлоридно-сульфатный тип вод и пестрый катионный состав, тяготеющий к кальциево-натриевому [Подошвин и др., 2012].

Данные по вторичным минералам (скважина 4-ГП) указывают на циркуляцию в системе гидрокарбонатно-кальциевых вод. Вместе с тем ничего неизвестно о присутствии гипса или большом количестве ангидрита в системе, наличие которого характерно для, описанных Хэденквистом [Hedenquist, 1987], островодужных гидротермальных систем. Однако известно, что после окончания бурения скважины П2 (рис. 4.1) начал выпадать карбонат кальция CaCO_3 и скважина быстро заросла. Вероятно, что этот процесс обусловлен высоким содержанием в системе CO_2 , что соответствует модели, представленной Хэденквистом [Hedenquist, 1987]. Не исключено, что скважина 4ГП, расположенная в районе грабена рек Наседкина и Птичь, центральная часть которого по данным Леонова [Леонов, 1990] погружена на несколько сот метров, оказалась не достаточно глубокой для того, чтобы вскрыть зону развития ангидрита.

Таким образом, в системе, предположительно, циркулируют три типа вод: Хлоридно-сульфатные (влк. Крашенинникова), гидрокарбонатно-кальциевые (склон влк. Крашенинникова) и глубинные хлоридные (хлоридно-натриевые?) воды.

Температурный режим. гидротермальная система влк. Крашенинникова представляется как низкотемпературная в приповерхностной зоне, однако, температура на забое скважины (215°C), а также повышенное содержание Cl в источниках может указывать на высокотемпературный режим в недрах гидротермально-магматической системы влк. Крашенинникова [Хубаева, Николаева, 2017].

Таблица 2.Химический состав источников (мг/л) разгружающихся в бассейне р. Птичь (Сев.Курилы, о. Парамушир), август 2001 г.

Номер пробы	рН	Т°С	Химический состав, в мг/л							
			Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Al ³⁺	Минерализация, в мг/л
П-6	6.78	6.0	12.3	1.0	12.8	7.9	18.4	20.7		121
П-8	4.35	5.4	11.4	2.8	23.0	7.3	45.2	86.4	4.6	186
П-9	7.08	6.0	17.8	0.6	13.2	6.6	14.2	9.6		133
Пт-29	4.50	2.0	5.7	1.1	12.0	2.4	21.3	44.2	3.2	092
Пт-31	4.20	3.1	9.7	4.0	26.1	9.2	43.3	105.6	10.8	203
Пт-32	4.30	7.1	8.1	2.3	14.4	3.9	31.9	39.2	1.1	105
Птк-51	4.12	9.0	18.5	5.6	50.1	16.4	117.0	211.2	26.4	445
Птк-52	4.16	11.0	28.3	7.1	3.5	36.2	79.1	326.4	48.6	0.529

Примечание: Анализ общего химического состава, включая Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, Al³⁺, выполнялся в аналитическом центре института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский.

Аналитик: н.с. Шульга Ольга Васильевна

[Калачёва, 2004]

По оценочным расчетам высоких температур базовых гидротерм Е.А. Руденко [Подошвин и др. 2012], пришел к выводу о наличии высоких температур в недрах гидротермально-магматической системы, не смотря на то, что гидротермы не отвечают фактическим природным величинам вблизи поверхности.

Выделенные на схеме глубинного строения р. Птичь изотермы основаны на данных скважины 4ГП. По термокаротажу скв 4ГП в условиях неуставившегося температурного режима на забое отмечена $T = 215^{\circ}\text{C}$ и геотермический градиент $16.9^{\circ}/100\text{ м}$ [Фурман, 2005]. В верховьях рек Птичьей Красной и Птичьей Белой прогнозируется месторождение с эксплуатационными запасами, эквивалентными 33-46 кг/с пара с температурой парогидротерм по Na-K-Ca геотермометру 250°C , по Na-K — 340°C [Подошвин и др. 2001].

В северном борту озера Изумрудно-Голубое отчетливо виден контур эруптивной воронки, приуроченной к зоне дробления (рис. 5.8), что указывает на наличие интрузивных тел,



Рис. 5.8. Одноактная воронка взрыва рядом с зоной тектонического дробления на озере Изумрудно-Голубое (Фото О.Р. Хубаевой)

обеспечивающих тепловое питание системы. В районе озера Изумрудно-Голубое на дневной поверхности наблюдается большое количество обломков окремнённых, брекчированных пород. Некоторые из них имеют ноздреватую текстуру, которая характерна для пород, слагающих кремнистое ядро эпитермальных месторождений типа Нансатсу. Формирование таких кремнистых образований происходит на глубинах более 200-300 м и до глубины 1000 м ниже дневной поверхности [White, Hedenquist, 1990]. Отмечая, что глыбы кремнистых пород на исследуемом участке находятся на дневной поверхности и учитывая молодость рельефа и отсутствие глубоких (несколько сот метров) эрозионных врезов, а также наличие серии эруптивных воронок в СВ борту озера Изумрудно-Голубого, приуроченных к зоне тектонического дробления, то возможно, что их появление в этих условиях обязано взрывной деятельности. То есть логически не противоречивым является предположение, что эти породы в коренном залегании могут находиться именно на этом участке в интервале глубин 200-1000 м. А это означает, что именно здесь локализовался восходящий поток парогазогидротерм, в составе которого могут присутствовать HCl, HF и др. соединения, отделяющиеся из корового магматического очага. Эти процессы подробно освещены в работах Ноэля Уайта [White, 1991] для гидротермальной системы типа Нансатсу, на южном Кюсю.

5.1.2. Гидротермально-магматическая система вулкана Эбеко.

На базе обобщенных данных построена концептуальная модель гидротермально-магматической системы вулкана Эбеко (рис. 5.9). Модель представляет собой геоморфологический профиль построенный по линии В-Г (устье р. Юрьева – влк. Влодавца – влк. Эбеко – влк. Неожиданный – скв. ГП-3 – р. Городская – плато Аэродромное). На модель вынесены комплексы горных пород, участки гидротермально-измененных пород, разгружающихся термальных источников и фумарол, зона самоизоляции гидротермальной системы, разрывные нарушения зоны, циркуляция метеорных и глубинных вод, температурный режим гидротермальной системы, зона латерального стока, магматический источник тепла.

Основой для построения концептуальной модели гидротермально-магматической системы влк. Эбеко послужили данные по опорной скв. ГП-3 (глубиной 2500 м), пройденной у подножья влк. Эбеко [Рычагов и др., 2002], а также некоторые данные по строению вулканов Влодавца и Эбеко и гравимагнитному профилю через о. Парамушир в субширотном направлении [Бернштейн, 1966].

Температуры. Автор не обладает необходимой информацией, для уверенного определения температурного режима на глубине гидротермально-магматической системы вулкана Эбеко, поэтому температуры гидротермальной системы, указанные на модели (рис. 5.9) выделены согласно следующим данным:

1. данным каротажа - температура на забое скважины 200 - 210°C.
2. на основе замера температур на фумарольном поле - температурный клин с отметкой 400°C.
3. согласно данным по вторичной минерализации скважины ГПЗ:
 - а) от 180°C до 300°C - в интервале 750-1650 м;
 - б) в интервале 1650 – 2500 м. температуры минералообразования составляют 180-200°C, 250-270°C, возможно до 300°C.
 - в) в зоне кипения 750 -1200 м. происходит резкое колебание и снижение температур до 130°C - 180°C. [Мониторинг., 2001].
4. Максимальные температуры, измеренные на Июньском фумарольном поле в 2010 г. составляли 400 °C.

По данным скважины П-2, пробуренной в среднем течении р. Матросской (рис. 5.10) также в интервале глубин 1280-1510 м была зафиксирована температура 160-177°C, а в интервалах с 507м до 746 м температура резко возросла от 92,7°C до 110,6°C [Мишин, 1993].

Типы вод в гидротермальной системе. Питание подземных вод на острове обильное и довольно устойчивое в силу большого количества атмосферных осадков. Количество ювенильных вод по оценкам исследователей в среднем составляет 4-5% от веса магматических продуктов [Арсанова, 1969]. Однако, согласно некоторым исследованиям [Ellis, 1959, Арсанова, 1969]

глубинные флюиды, выделяющиеся из магмы, могут иметь инфильтрационный генезис. Трещинные воды, связанные с зонами разрывных нарушений, большей частью СВ простирания (рис. 4.1), разгружаются в прибрежных участках. В гидротермальной системе влк. Эбеко циркулирует 2 типа подземных вод поверхностного и глубинного формирования. Воды первого типа - источники Лагерные и р. Горшкова, второго – пластовые воды, циркулирующие в пирокластических отложениях вулканической постройки Эбеко [Иванов, 1965].

По классификации В.В. Иванова [Иванов, 1965] они относятся к кислым сероводородно-углекислым термам, отличающимся высокими температурами, сульфатно-хлоридным анионным составом, с низкими значениями pH. Также на вулкане существуют два подтипа сероводородно-углекислых вод: фумарольные термы поверхностного формирования и фумарольные термы глубинного формирования.

Первые из них распространены в верхних горизонтах вулканических построек. Это инфильтрационные воды, насыщенные магматическими эманациями и обогащенные SO_4 (за счет окисления H_2S и SO_2). К ним относятся воды, разгружающиеся в районе руч. Лагерный.

Термы второго подтипа образуются в глубинной зоне вулканической постройки. Это пластово-трещинные, высокоминерализованные кислые воды хлоридно-сульфатного состава, насыщенные магматическими эманациями. К ним относятся Юрьевские источники, разгружающиеся в истоках р. Юрьевой. Они приурочены к частично разрушенной древней постройке вулкана Влодавца (рис. 4.1; 5.10).

Оба типа / подтипа вод циркулируют в зоне интенсивного водообмена, приуроченной к вулканическому аппарату Эбеко [Перспективы..., 1992].

Зона самоизоляции. Помимо инфильтрационного питания, подземные воды находятся под воздействием морских вод окружающих акваторий, что имеет влияние на развитие гидротермально-магматических систем острова.

По данным скважины ГП-3 в интервале 1650-2500 м (рис. 5.9) увеличивается частота встречаемости ангидрита, который заполняет трещины и пустоты.

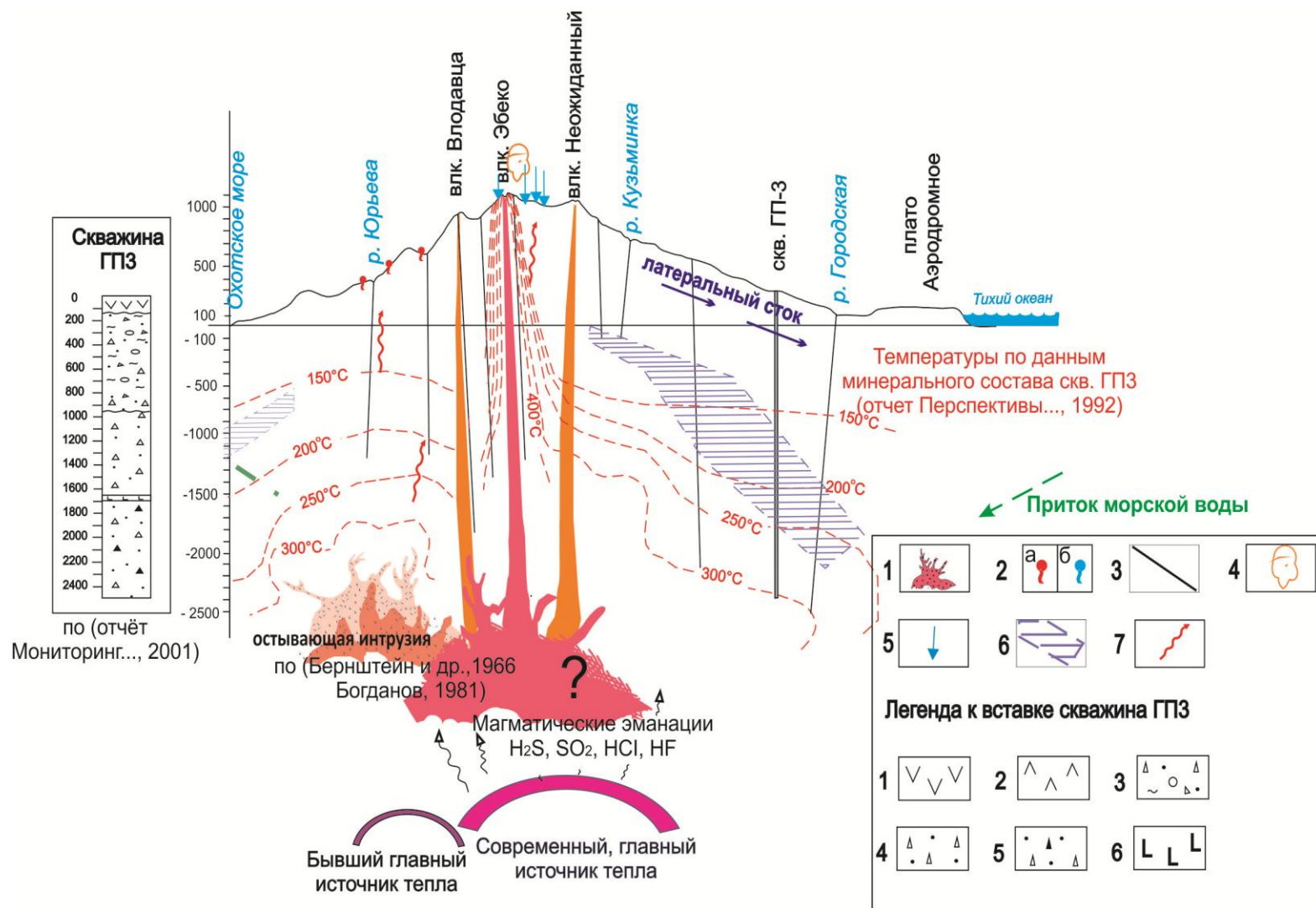


Рис. 5.9. Концептуальная модель гидротермально-магматической системы вулкана Эбеко.

1 – интрузивные тела; 2 – источники
а) горячие, б) холодные; 3 – разрывные нарушения; 4 – фумаролы; 5 – инфильтрационные воды; 6 – минеральный газогидрогеохимический барьер; 7 – газопаровые струи.

Вставка (скважина ГПЗ) 1 – лавы андезитов (Q_4); 2 – лавы андезитов (Q_3); 3 – туффы мелко-обломочные переслаивающиеся с туфами (N_2); 4 – туфы псефитовые андезитовые (N_{1-2}); 5 – туфы интрузивные; 6 – лавы (дайки, силлы) андезибазальтов. (Опорный геологический разрез скважины ГПЗ Заимствован из [Мониторинг..., 2001].)

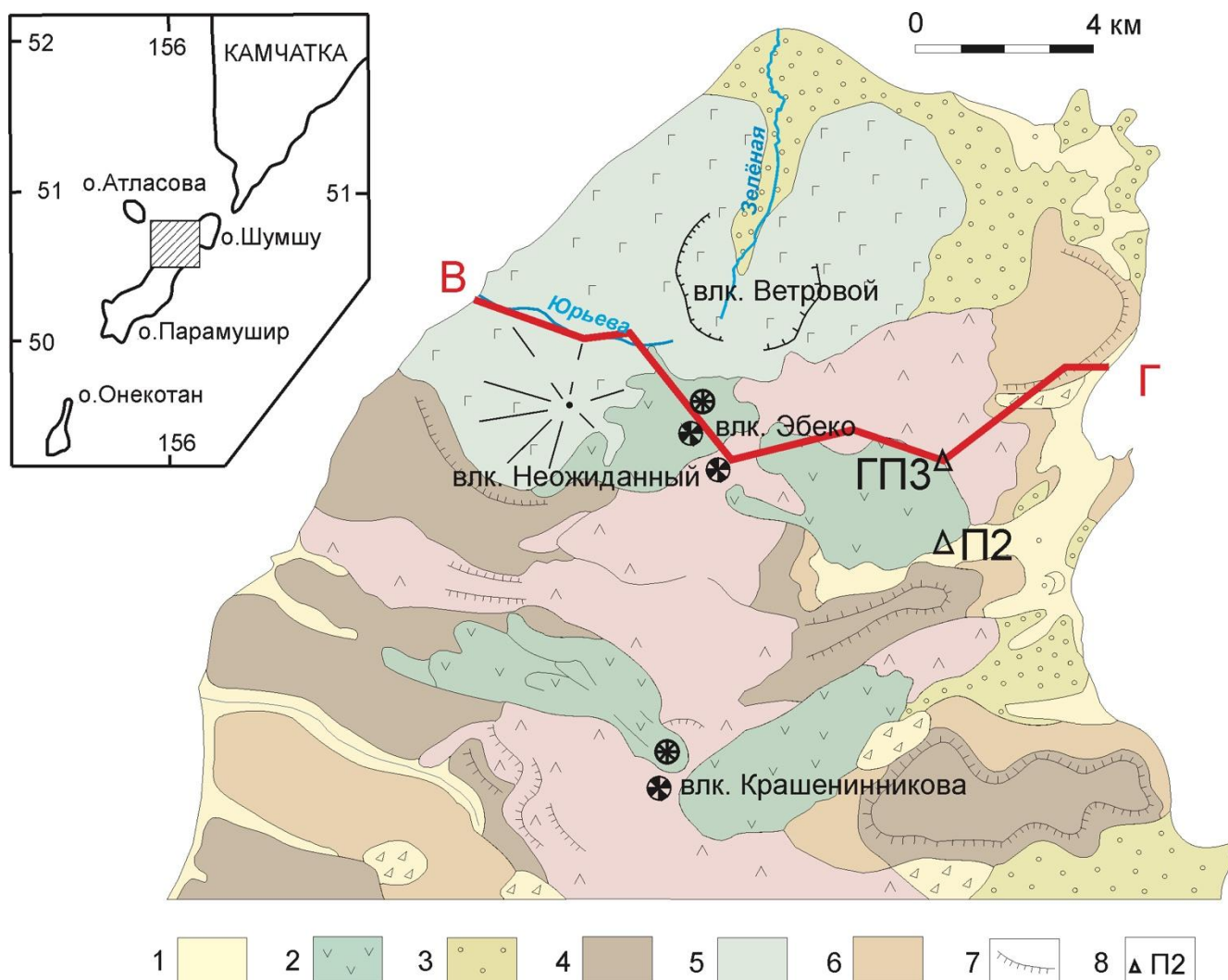


Рис. 5.10. Схематическая геологическая карта северной части о. Парамушир [составлена В.Л. Леоновым 1990; дополненная версия по Мониторинг..., 2001]

1. Современные аллювиальные, морские и озерные отложения; 2. Лавы андезитового и андезибазальтового состава голоценового возраста; 3. Ледниковые отложения (Q_3^4); 4. Лавы андезитового состава (Q_3); 5. Лавы андезитового и андезибазальтового состава ($N_2^2 - Q_1$); 6. Лавы, туфы и туфобрекчии базальтового состава (Q_{1-2}); 7. Морфологически выраженные уступы, границы эрозионных кальдер; 8. Скважины и их номера.

По мнению С.Н. Рычагова [Мониторинг..., 2001] массовое развитие ангидрита происходит в зоне смешения высокотемпературных растворов хлоридно-натриевого состава с морской водой. Однако, результаты изотопных исследований [Kalacheva et al., 2016] не свидетельствуют о присутствии морской воды в гидротермально-магматической системе влк. Эбеко. В.Ф. Гигенбах [Gigenbach, 1989] считает, что поступлению морской воды в гидротермально-магматическую систему препятствует образование химически изолированной зоны на внешней стороне гидротермальной системы (зона самоизоляции), в качестве которой выступают отложения ангидрита и кальцита из нагретой морской воды, за счёт кондуктивного теплового потока от гидротермальной системы. Образовавшаяся, таким образом, зона самоизоляции [Белоусов и др. 2002] гидротермально-магматической системы (рис. 5.9) предотвращает от притока морской воды и ограничивает от смешения магматических и метеорных вод.

Латеральный сток. На концептуальной модели гидротермально-магматической системы вулкана Эбеко (рис. 5.9) показана зона латерального потока: вершинная часть влк. Эбеко – северо-восточный склон влк. Эбеко. Данные буровых скважин (П-1, П-2), пробуренных в пределах Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы, указывают на присутствие мощного латерального горизонта бикарбонатных терм [Мониторинг..., 2001] и, как следствие, на наличие восходящего потока CO_2 в системе. Это подтверждается и присутствием CO_2 в парогазовых струях вершинной части вулкана Эбеко [Kalacheva et al., 2016], а также данными скважины П2 [Бессонова и др., 2006].

Поступление высокотемпературных гидротерм привело к формированию зоны восходящего теплового потока, приуроченного к центральной части системы (вулкан Эбеко, осевая часть хребта Вернадского) и образованию латеральных потоков.

Верхне-Юрьевские источники, расположенные на западном склоне гидротермально-магматической системы Эбеко, приурочены к пересечению крупных разрывных нарушений СВ и СЗ простирания. На сегодняшний день нет устойчивого мнения о происхождении Верхне-Юрьевских источников. По данным ряда исследователей [Воронова, Сидоров, 1966; Мархинин,

Стратула, 1977; Родионова и др., 1966], Верхне-Юрьевские источники, пространственно и генетически совпадают с доледниковой постройкой вулкана Влодавца и сосредоточены в жерловой части вулкана, в зоне контакта разрушенного некка. Другие же исследователи [Никитина, 1978; Бортникова и др. 2006] относят Верхне-Юрьевские источники к современной газо-гидротермальной деятельности вулкана Эбеко и считают, что гидротермы Верхне-Юрьевских источников формируются в прикратерной зоне вулкана Эбеко [Калачёва, Котенко 2013 и др.]. Однако, по данным Е.Г. Калачёвой [Калачева, 2013] зависимость температурного режима и химического состава термальных вод Верхне-Юрьевских источников (кроме источника № 1) с периодами активизации вулкана Эбеко не выявлено, а учитывая существующую систему разрывных нарушений (рис. 4.1 разрывные нарушения 1,2,3) термальные воды не могут дренироваться со склонов влк. Эбеко в район Верхне-Юрьевских источников т.к. разрывное нарушение СЗ простирания, на котором расположен влк. Эбеко и р. Юрьва смещается разрывным нарушением СВ простирания. Таким образом логично предположить, что термальные воды, дренирующиеся со склонов влк. Эбеко по разрывному нарушению СЗ простирания (рис. 4.1. разрывные нарушения 1,3) должны выходить на поверхность выше р. Юрьва в районе пересечения с разрывным нарушением СВ простирания (рис. 4.1. разрывное нарушение 2).

Следовательно, более реально рассматривать существование общей глубинной магматической системы, которая формирует питание влк. Эбеко (извержения, гидротермы в кратерной зоне), а также способствует образованию интрузивных тел, обеспечивающих тепловое питание Верхне-Юрьевских источников. Такое предположение находит отражение в трехмерной модели тектонической раздробленности (рис. 4.6. а-г), когда зоны высокой тектонической трещиноватости в районе влк. Эбеко и верховьев р. Юрьва практически сливаются на глубине 1,5 км. Подтверждается это предположение и тем, что в верховьях р. Юрьва и в северо-восточной зоне влк. Эбеко, по результатам гравиметрической и магнитометрической съемкам, выделены два субвулканических интрузивных тела, которые находятся в непосредственной близости друг

от друга. Так в верховьях р. Юрьева выделяется крупное субвулканическое андезитовое тело, которое интерпретировалось исследователями [Бернштейн и др., 1966] как многочисленные неки и связывалось с деятельностью разрушенного вулканического центра Влодавца. Позже, гравимагнитные исследования проводились на вулкане Эбеко, где была выделена северо-западная положительная аномалия (радиус 1,7 км), верхняя часть которой расположена на глубине 2,5 км [Богданов, 1981].

5.2. Тепловое питание гидротермально-магматических систем северного сектора острова Парамушир

На сегодняшний день нет устойчивого мнения об источниках обеспечивающих тепловое питание гидротермальных систем хр. Вернадского.

Некоторые исследователи ранее упоминали о магматическом многоканальном питании хребта Вернадского [Горшков 1967, Новейший... 2005, Федорченко и др. 1989]. На Парамушире была выделена Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая система [Барабанов, 1976; Белоусов и др., 2002; Рычагов и др., 2002], центром которой, является вулкан Эбеко.

Гидротермальные системы хребта Вернадского имеют непосредственную связь с вулканическими постройками, а также характеризуются длительной эволюцией во времени. Это служит основанием для предположения о существовании в районе хр. Вернадского сложной геологической структуры в виде многоканальной магматической системы, обеспечивающей тепловое питание гидротермальных систем. Опираясь на имеющиеся данные геофизических, гидрогеологических, геологических и других исследований, а также рассмотрев аналогичные системы в других регионах мира, можно сделать выводы о структурах, отвечающих за тепловое питание гидротермальных систем северной части о. Парамушир.

Большое количество интрузивных тел (даек, некков) в пределах северной части о. Парамушир, трассируют разрывные нарушения как СВ так и СЗ простирания или же расположены в районах их пересечения.

Ранее были высказаны предположения о том, что главным источником теплового питания гидротермальных полей в районе влк. Эбеко, служит мощный силло-дайковый комплекс, расположенный на глубине ~ 1 км ниже уровня моря. [Белоусов и др., 2002; Новейший и современный..., 2005] По данным опорной скважины ГП-3, породы в интервале 1650-1700 м представлены базальт-габбро-базальтами [Мониторинг..., 2001], предполагается, что это силл или серия даек [Мониторинг..., 2001].

Современные гидротермальные системы вулканических областей сопряжены с сетью даек. Примером этому служат многие гидротермальные системы Исландии, Гавайских и Курильских островов [Белоусов, 1978; Gudmundsson, 1995; Nielson et al., 2019], а также Камчатки, где дайки зачастую являются главным источником тепла для гидротермальных систем.

Проведя картирование и обзор литературы относительно состава интрузивных тел, автор пришёл к выводу, что дайки и некки различного состава сопряжены с зонами распространения гидротермально-изменённых пород, а зачастую связаны с современной гидротермальной деятельностью исследуемого района. Изучаемые интрузивные тела тяготеют к субмеридионально вытянутым разрывным нарушениям СВ и СЗ простирания и нередко пространственно совпадают с расположенными на глубине от 1,5 до 2,5 км крупными интрузивными телами, предположительно, базальтового состава [Богданов, 1981; Мишин, 1993; Подошвин, 2012].

Так например, один из крупных некков (500×250 м), сложенный андезитами [Родионова и др., 1966], расположен в районе слияния двух вершинных притоков р. Юрьевой (рис. 4.15 а, б). К этому некку приурочена интенсивная современная гидротермальная деятельность – Верхне-Юрьевские горячие источники. На спуске от котловины (в левое верховье р. Юрьевой)

в 1980 годах прошлого столетия еще отмечались прогретые площадки с остатками слабой фумарольной деятельности ($T=40-45^{\circ}\text{C}$). Затронутый гидротермальными изменениями того же, но более кислого состава некк, а также несколько дайкоподобных тел, отмечены и в среднем течении левого притока р. Юрьевой.

Дайка и некк андезитового состава на хр. Каменистом сопряжены с большими площадями гидротермально-измененных пород, чуть выше наблюдаются сохранившиеся фумарольные постройки и кратерно-озерные отложения.

В зонах субдукции, в результате исследований долгоживущих вулканических центров, ассоциирующих с современными гидротермальными системами, также отмечается широкое развитие даек. Дайки здесь, как правило, располагаются вдоль каких-то общих направлений или же группируются в виде веера вблизи главного эруптивного центра. Так, например, вулкан Мутновский (рис. 5.11), долгоживущий вулканический центр Камбальный (Камчатка), характеризуются несколькими центрами многоактных извержений магматического материала. В разрезе одного из них видна густая сеть базальтовых даек, в то время как единый лавовый стержень отсутствует [Белоусов, 1978].



Рис. 5.11. Каскад даек на влк. Мутновский (Камчатка)

Кирюхин А.В. [Kiryukhin, 2018] на основе анализа кластеров землетрясений отмечает внедрение даек и силлов, которое происходит на глубине 4-6 км непосредственно под Мутновским геотермальным полем, что подтверждает питание гидротермальных систем

посредством интрузивных тел. Таким образом, дайка, несмотря на небольшую мощность, благодаря частым инъекциям свежего магматического материала [Walker, 1987; Decker, 1987], может длительное время обеспечивать тепловое питание гидротермальной системы.

В одной из последних работ, посвященной определению потенциала коммерческого развития высокотемпературной геотермии в Айдахо (США), Д. Нэльсон [Nielson et al., 2019] получил результаты, свидетельствующие о том, что растяжение, приводит к быстрому подъему магмы к поверхности, способствуя формированию даек. В случае поступления больших объемов магмы, создаются дополнительные напряжения, способствующие формированию силлов или плутонических тел, которые могут быть эффективными источниками тепла продолжительное время (до 20000 лет).

В результате сопоставления и анализа, оригинальных полевых данных в сочетании с данными, полученными автором в результате применения структурно-геоморфологических методов исследования, сделаны выводы:

Выбранный автором комплекс методов исследования позволил выявить взаимосвязь магматизма и гидротермальных процессов.

В районе хр. Вернадского существует две современные гидротермально-магматические системы (гидротермально-магматическая система вулкана Эбеко (Северо-Парамуширская) и гидротермально-магматическая система вулкана Крашенинникова), тепловое питание которых, обеспечивается системой остывающих интрузивных тел (силло-дайковым комплексом).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В основу диссертации положен фактический материал, полученный в результате проведения на территории северной части острова Парамушир комплекса работ с применением геолого-геоморфологических методов для изучения теплового питания гидротермально-магматических систем. Организация полевых и камеральных работ, а также представленные в работе методы исследования позволили собрать достаточный объем фактического материала для написания диссертационной работы. Комплекс геолого-геоморфологических методов исследования в сочетании с полевыми данными, позволил выявить зоны повышенной проницаемости для паро-гидротерм в исследуемом районе, оценить их взаимосвязь с системами интрузивных тел и геотермальными проявлениями, а также выявить взаимосвязь магматизма и гидротермальных процессов в северной части о. Парамушир.

Обобщение полученного материала показало, что выходящий на поверхность дайковый комплекс, сопряжен с зонами распространения гидротермально-измененных пород, а выделенные на основе геофизических данных субвулканические интрузивные тела (предположительно силлы), расположенные на глубине ~ 2,5 км пространственно совпадают с выходами термальных источников на дневную поверхность. Географическое положение выделенных интрузивных тел совпадает с выделенными разрывными нарушениями и зонами высокой тектонической раздробленности пород.

Сделан вывод, что тепловое питание гидротермально-магматических систем хребта Вернадского обеспечивается системой остывающих интрузивных тел (силло-дайковым комплексом), а современная гидротермальная деятельность хр. Вернадского связана с крупным разрывным нарушением осевой части хр. Вернадского ССВ простирания и второстепенными разрывными нарушениями СЗ и СВ простирания.

Полученные данные могут использоваться как основа при дальнейших исследованиях гидротермальных систем северной части о. Парамушир.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аверьев В.В. Гидротермальный процесс в вулканических областях и его связь с магматической деятельностью // Труды Второго Всесоюзного вулканологического совещания, 3-17 сентября 1964 г. / Отв. ред. Б.И. Пийп. М.: Наука, 1966. Т. 1. С. 118-128.
2. Апрельков С.Е., Ежов Б.В., Оточкин В.В., Соколов В.А. Вулкано-тектоника Южной Камчатки // Бюлл. вулканол. станций. 1979. № 57. С. 72-78.
3. Арсанова Г.И. Редкие щелочи в воде кратерного озера вулкана Эбеко после извержения 8 августа 1965 г. // Материалы I городской конференции молодых ученых и специалистов. Петропавловск-Камчатский: «Камчатская правда», 1969.
4. Атлас Курильских островов / Под ред. В.М. Котлякова (председатель), П.Я. Бакланова, Н.Н. Комедчикова (гл. ред.), Е.А. Федоровой (отв. ред.-картограф). Российская академия наук. Институт географии РАН. Тихоокеанский институт географии ДВО РАН. М.-Владивосток: ИПЦ «ДИК», 2009.
5. Бабичев А.В., Полянский О.П., Ревердатто В.В., Коробейников С.Н. Численное моделирование «магморазрыва» и механизмы дайкообразования в рифтах // Материалы докладов Всероссийской конференции с международным участием, 3-8 октября 2016 г. М.: ИФЗ РАН, 2016. С. 231-236.
6. Барабанов Л.Н. Гидротермы Курильской вулканической области. Петропавловск-Камчатский, 1976. 460 с.
7. Белоусов В.И. Роль геолого-структурных факторов в формировании и деятельности гидротермальных систем в современных вулканических областях // Автореф. дисс. ... кандидата геол.-мин. наук. Петропавловск-Камчатский, 1967. 21 с.

8. Белоусов В.И. Геология геотермальных полей в областях современного вулканизма. М.: Наука, 1978. 176 с.
9. Белоусов В.И., Рычагов С.Н., Сугробов В.М. Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая система: геологическое строение, концептуальная модель, геотермальные ресурсы // Вулканология и сейсмология. 2002. № 1. С. 34-50.
10. Белоусов В.И., Белоусова С.П. Природные катастрофы и экологические риски геотермальной энергетики // Учебно-методическое пособие. Петропавловск-Камчатский: Издательство КГПУ, 2002. 132 с
11. Бернштейн В.А., Сивожелезов С.С., Федорченко В.И., Шилов В.Н. Геофизические наблюдения на некоторых вулканах хребта Вернадского // Труды СахКНИИ. 1966. Вып. 16. С. 44-65.
12. Бойкова И.А. Низкотемпературная минерализация вулканогенно-осадочных пород северной части о. Парамушир // Вулканизм и связанные с ним процессы // Материалы региональной научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 30 марта – 1 апреля 2011 г. Петропавловск-Камчатский, 2011. С. 121-125.
13. Большое трещинное Толбачинское извержение, Камчатка 1975-1976 / Под ред. С.А. Федотова. М.: Наука, 1984. 638 с.
14. Бортникова С.Б., Бессонова Е.П., Трофимова Л.Б. и др. Гидрогеохимия газогидротермальных источников вулкана Эбеко (о-в Парамушир) // Вулканология и сейсмология. 2006. № 1. С. 39-51.
15. Влодавец В.И. О вулканологической терминологии // Бюлл. вулканол. станций. 1954. № 21. 339 с.

16. Воронова Л.Г., Сидоров С.С. Сравнительная характеристика фумарольных газов некоторых вулканов Курильских островов. Современный вулканизм // Труды второго Всесоюзного вулканологического совещания 3-17 сентября 1964 г. Т. I. М.: Наука, 1966. С. 146-153.
17. Гаврилов В.К., Соловьева Н.А. Вулканогенно-осадочные формации геосинклинальных поднятий Малых и Больших Курил. Новосибирск: Наука, 1973. 152 с.
18. Газогидротермы активных вулканов Камчатки и Курильских островов: состав, строение, генезис / Под ред. О.Л. Гаськова, А.К.Манштейна, С.Б. Бортниковой и др. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2013. 282 с.
19. Геологический словарь: в 2 т./ Х. А. Арсланова, М. Н. Голубчина, А. Д. Искандерова и др.; под ред. К. Н. Паффенгольца.— 2-е изд., испр.— М.: Недра, 1978.— Т.1.— С.478.— 486 с.
20. Геометрия структур земной поверхности // Сборник научных трудов / Под. ред. И.Н. Степанова. Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1991. 201 с.
21. Горшков Г.С. Действующие вулканы Курильской островной дуги // Молодой вулканизм СССР. М.: Издательство академии наук СССР, 1958. С. 5 –19.
22. Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. С. 57–82.
23. Гущенко О.И. Реконструкция поля мегарегиональных тектонических напряжений сейсмоактивных областей Евразии // Поля напряжений и деформаций в литосфере. М.: Наука, 1979. С. 26-51.
24. Дитц Л.Ю. Теория потоковых структур и пластики рельефа в почвенной картографии // Актуальные направления научных исследований: от теории к практике // Материалы V

Международной научно–практической конференции (Чебоксары, 26 июня 2015 г.) / Под. ред. О.Н. Широкова и др. Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. С. 23-25.

25. Иванов В.В. Гидротермы Курило-Камчатской вулканической зоны: Автореферат дис. на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Москва : Изд-во Моск. ун-та. 1965. 39 с.
26. Калачёва Е.Г. Геохимические особенности подземных вод в области активного вулканизма (на примере хребта Вернадского, о. Парамушир, Курилы): дисс. ... канд. геол.-мин. наук. защищена 27.05.2004. Новосибирск, 2004. 112 с.
27. Калачева Е.Г. Условия формирования Верхне-Юрьевских термальных вод (о. Парамушир) // Материалы региональной конференции, «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 30 марта-1 апреля 2011 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 176.
28. Калачева Е.Г., Котенко Т.А. Химический состав вод и условия формирования Верхне-Юрьевских термальных источников (о.Парамушир, Курильские острова) // Вестник КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. 2013. № 2. Вып. 22. С. 55-68.
29. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Эрлих Э.Н., Шанцер А.Е., Челебаева А.И., Лупикина Е.Г., Егорова И.А., Кожемяка Н.Н. (1974) Камчатка. Курильские и Командорские острова // История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока./ Отв. ред. Лучицкий И.В. М.: Наука, 1974. 437 с.
30. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. Основы линеаментной тектоники. М.: Недра, 1986. 140 с.
31. Кирюхин А.В., Кирюхин В.А., Манухин Ю.Ф. Гидрогеология вулканов. СПб: Наука, 2010. С. 346-360.

32. Котенко Т.А., Котенко Л.В. Гидротермальные проявления и тепловой поток вулканов Эбеко и Крашенинникова (о. Парамушир, Курильские о-ва) // Вестник КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. 2006. № 1. Вып. 7. С. 129-137.
33. Котенко Т.А., Котенко Л.В., Шапарь В.Н. Активизация вулкана Эбеко в 2005-2006 гг. (остров Парамушир, Северные Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 2007. № 5. С. 1-11.
34. Костенко Н.П., Брянцева Г.В. К проблеме структурно-геоморфологического дешифрирования в условиях закрытых пространств // Вестник Московского университета. 2004. Сер. Геология. № 4. С. 34-38
35. Курякова Г.А., Флоринский И.В. Анализ пространственных отношений структур центрального типа, топографии и педогеологии. Пущинский НЦ, Пущино, 1991 г. 16 с.
36. Леонов В.Л. О некоторых закономерностях развития гидротермальной и вулканической деятельности на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1991. № 2. С.28-40.
37. Леонов В.Л. Вулканические хребты: морфология, ориентировка, значение для геотермии // Материалы международного полевого Курило-Камчатского семинара 16 июля - 6 августа 2005 г. Петропавловск-Камчатский, 2005. С. 171-180.
38. Макаров В.И. Линеаменты (проблемы и направления исследований с помощью аэрокосмических средств и методов) // Исследование Земли из космоса, 1981, №4, с. 109–115.
39. Мархинин Е.К., Стратула Д.С. Гидротермы Курильских островов. М.: Наука, 1977. 212 с.
40. Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирьянов В.Ю., Курбатов А.В., Несмачный И.А. Вулкан Эбеко (Курильские острова): История эруптивной активности и будущая вулканическая опасность. Ч.1 // Вулканология и сейсмология. 1993. № 3. С. 69-81.

41. Меняйлов И.А., Никитина Л.П., Будников В.А. Активность вулкана Эбеко в 1987-1991 годах. Характер извержений, особенности их продуктов, опасность для г. Северо-Курильска // Вулканология и сейсмология. 1992. № 6. С. 21-33.
42. Методическое руководство по изучению планетарной трещиноватости и линеаментов. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1977. 136 с.
43. Нечаев Ю.В. Линеаменты и тектоническая раздробленность. Дистанционное изучение внутреннего строения литосферы. – М. : ИФЗ РАН, 2010. – 215 с.
44. Никитина Л.П. Миграция металлов с активных вулканов в бассейн седиментации. М.: Наука, 1978. 80 с.
45. Новейший и современный вулканизм на территории России / Отв. ред. Н.П. Лаверов. М.: Наука, 2005. 604 с.
46. Полянский О.П., Прокопьев А.В., Бабичев А.В., Коробейников С.Н., Ревердатто В.В. Рифтогенная природа формирования Вилуйского бассейна (Восточная Сибирь) на основе реконструкций осадконакопления и механико-математических моделей // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 2. С. 163-183.
47. Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Маринин А.В. От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методики и алгоритмы. М: Геос, 2017. С. 48-101
48. Родионова Р.И., Сидоров С.С., Федорченко В.И., Шилов В.Н. Геологическое строение и современная гидротермальная деятельность вулкана Влодавца. М: Наука, 1966. С. 98-103.
49. Рычагов С.Н. Характеристика глубокого геологического разреза вулкана Эбеко и минералорудообразования // Современные гидротермальные системы и эпитеермальные золото-серебряные мсторождения Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 1998. С. 64-69.

50. Рычагов С.Н., Белоусов В.И., Главатских С.Ф. и др. Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая система: характеристика глубокого геологического разреза и модель современного минералорудообразования в ее недрах // Вулканология и сейсмология. 2002. № 4. С. 1-19.
51. Рычагов С.Н., Белоусов В.И., Словцов И.Б. и др. Гидротермально-магматические системы островных дуг: эволюция геолого-гидрогеотермической структуры, гидротермальный метаморфизм, механизмы функционирования, рудообразование (Результаты и программа исследований) // Современный вулканизм и связанные с ним процессы. Петропавловск-Камчатский: ИВ ДВО РАН, 1999. С. 96-99.
52. Рычагов С.Н. Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая система: характеристика глубокого геологического разреза и модель современного минералорудообразования в её недрах // Вулканология и сейсмология. 2002. № 4. С. 3-21.
53. Рычагов С.Н. Эволюция гидротермально-магматических систем островных дуг // Автореф. дисс. ... доктора геол.-мин. наук: М., 2003. 50 с.
54. Рычагов С.Н., Пушкарев В.Г., Белоусов В.И. и др. Северо-Курильское геотермальное месторождение: геологическое строение и перспективы использования // Вулканология и сейсмология. 2004. № 2. С. 56-72.
55. Сергеев К.Ф. Тектоника Курильской островной системы. М.: Наука, 1976. 240 с.
56. Сидоров А.А., Томсон И.Н. Рудоносность черносланцевых толщ: сближение альтернативных концепций // Вестник РАН. 2000. Т. 70. № 8. С. 719-724.

57. Сидоров М.Д. Картирование мезозойского фундамента Авачинско-Корякской группы вулкнаов (Камчатка) методом плотностного моделирования.//Вулканоология и сейсмология. 1994. № 4-5. С. 99-105.
58. Сидоров М.Д., Новаков Р.М. Плотностная модель зоны сочленения Камчатской и Алеутской островных дуг// Региональная геология и металлогения. 2014. № 58. С. 59-65.
59. Сидоров М.Д., Таскин В.В., Вешняков Н.А. Плотностные неоднородности в верхней коре Шанучского рудного района проблема выявления нескрытых никеленосных интрузий (срединный массив, Камчатка)// Региональная геология и металлогения № 65. 2016. С. 104-115.
60. Степанов И.Н. Пространство и время в науках о почвах. М.: Наука, 2003. 184 с.
61. Таскин В.В., Сидоров М.Д. Алгоритм создания трехмерной модели тектонической раздробленности в среде ГИС по результатам дешифрирования аэро- и космоснимков, оценка ее достоверности.// Геоинформатика. № 1. 2015. С. 21- 27.
62. Таскин В.В. Краткий обзор зарубежного опыта применения линеаментного анализа в геологии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 12 (Специальный выпуск 32). С. 138-144.
63. Трифонов В.Г. Неотектоника Евразии. М.: Научный мир, 1999. 252 с.
64. Федорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И. Вулканизм Курильской островной дуги: геология и петрогенезис. М.: Наука, 1989. 238 с.
65. Флоринский И.В. Визуализация линеаментов и структур центрального типа: количественные топографические подходы / Препринт. Пущино: ПНЦ РАН, 1992. 47 с.
66. Хубаева О.Р. Морфоструктурный анализ района долины реки Паратунка по данным морфометрических методов // Петропавловск-Камчатский: КГПУ; Вестник КРАУНЦ, 2003. №1. С. 54-62.

67. Хубаева О.Р., Шульга О.В., Котенко Л.К., Котенко Т.А. Морфоструктура и оценка выноса тепла в северной части острова Парамушир // Геотермальные и минеральные ресурсы областей современного вулканизма // Материалы Международного Курило-Камчатского семинара, 16 июля – 6 августа 2005 г. Петропавловск-Камчатский: «ОТТИСК», 2005. С. 181-194.
68. Хубаева О.Р., Брянцева Г.В., Сим Л.А. Новейшие деформации северной части острова Парамушир // Материалы XI тектонического совещания «Фундаментальные проблемы геотектоники». Т. 1. М.: ГЕОС, 2007. С. 109-111.
69. Хубаева О.Р., Бойкова И. А., Николаева А. Г. Модель гидротермальной системы вулкана Крашенинникова (как части Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы) // Материалы региональной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 30 марта – 1 апреля 2011. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 176.
70. Хубаева О.Р., Рычагов С.Н. Построение трехмерной цифровой модели Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы в связи с оценкой разгрузки геотермального тепла // Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии «Вулканизм и геодинамика» Т. 2. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. С. 825-828.
71. Хубаева О.Р. Роль даек в тепловом питании гидротермальной системы вулкана Богдановича (о. Парамушир, Курильские острова) // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36. № 2. С. 32-43.
72. Хубаева О.Р., Николаева А.Г. Проблемы теплового питания гидротермально-магматической системы вулкана Эбеко (о. Парамушир, Курильские острова) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2017. № 4. С. 62-73.

73. Цифровая фильтрация аэроснимков, стереомodelей и карт // Отв. ред. А. Чигирев. М.: Недра, 1976. 199 с.
74. Чудаев О.В. Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 173-174.
75. Anderson, A.T. Magma mixing: petrological process and volcanological tool // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1976. V. 1, Issue 1. P. 3-33.
76. Allard P. Diffuse degassing of Carbon Dioxide through volcanic systems: observed facts and implications // Report Geol. Sur. of Japan. 1992. P. 7-11.
77. Anderson A.T. Magma mixing: petrological process and volcanological tool // J. Geotherm. Res. 1976. V. 1, Issue 1. P. 3-33.
78. Baruah A., Gupta A. K., Mandal N., Singh R.N. Rapid ascent conditions of diamond-bearing kimberlitic magmas: Findings from high pressure-temperature experiments and finite element modeling // Tectonophysics. 2013. V. 594. P. 13-26.
79. Belousov V., Belousova I. Heat transfer in hydrothermal-magmatic systems // 41st Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, February 22-24, 2016. SGP-TR-209
80. Bessonova E.P., Bortnikova S.B., Bessonov D.Y., Khramov A.A. Hydrogeochemistry of thermal fields associated with the Ebeko system. Hydrogeology and Geochemistry of Waters of Siberia and Far East // Proceedings of the conference, Vladivostok (98-107 pp. in Russian), 2006.
81. Boxer G.L., Lorenz V., Smith C.B. The geology and volcanology of the Argyle (AK1) lamproite diatreme. Western Australia // Proceedings of the 4th International Kimberlite

- Conference, Perth, Australia. Geological Society of Australia Special Publication. 1989. V. 14. P. 140–151.
82. Drummond S.E., Ohmoto H. Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems // *Econ. Geol.* 1985. P. 126-147.
83. Ellis A.J. The solubility of calcite in carbon dioxide solutions // *American Journal of Science.* 1959. V. 257. P. 354-365.
84. Furumoto A.S., Woollard G.P. Seismic refraction studies of the crystal structure of the Hawaiian archipelago // *Pacific Science.* 1965. V. 19. No. 3. P. 315-319.
85. Giggenbach W.F., Hedenquist J.W., Houghton B.F., Otway P.M. et al. Research drilling into the volcanic hydrothermal system on the White Island, New Zealand, 1989. V. 70. P. 98-100, 108-109.
86. Giggenbach W.F. Geothermal mineral equilibria // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 1981. V. 45. 1981. P. 393-410.
87. Girina O.A., Manevich A.G., Melnikov D.V., Nuzhdaev A.A., Petrova E. Kamchatka and North Kurile Volcano Explosive Eruptions in 2016 and Danger to Aviation // *JpGU-AGU Joint Meeting 2017 Abstracts.* Chiba, Japan: Japan Geoscience Union. 2017.
88. Girina O.A., Gordeev E.I., Melnikov D.V., Manevich A.G., Nuzhdaev A.A., Romanova I.M. The 25 Anniversary Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team // 10th Biennial workshop on Japan-Kamchatka-Alaska subduction processes (JKASP-2018). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, August 20-26. Petropavlovsk-Kamchatsky: IVS FEB RAS. 2018. P. 80-82.
89. Girina O.A., Manevich A.G., Melnikov D.V., Nuzhdaev A.A., Petrova E.G. The 2016 Eruptions in Kamchatka and on the North Kuril Islands: The Hazard to Aviation // *Journal of Volcanology and Seismology.* 2019. V. 13. № 3. P. 157-171.

90. Gudmundsson A. Infrastructure and mechanics of volcanic systems in Iceland // J. of Volcanology and Geothermal Research. 1995. V. 64. P. 1-22.
91. Haas J.L. The effect of salinity on the maximum thermal gradients of a hydrothermal system at hydrostatic pressure // Econ. Geol. 1971. V. 66. P. 940-946.
92. Hedenquist J.W. Mineralisation associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific basin // Transactions of Forearth Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference. Singapore. Am. Ass. Pet. Geol. 1986. P. 513-524.
93. Hedenquist J.W., Houghton B.F. Epithermal gold mineralisation and its volcanic environments. Taupo volcanic zone, New Zealand, 15-21 november, 1987. 395 p.
94. Hedenquist J.W., Browne P.R.L. The evolution of the Waiotapu geothermal system, New Zeland, based on the chemical and isotopic composition of its fluids, minerals and rocks // Geochim. Cosmochim. Acta. 1989. V. 53. P. 2235-2257.
95. Henley R.W. and Ellis A.J. Geothermal systems ancient and modern: a geochemical review // Earth Sci. Rev. 1983. V. 19. P. 1-50.
96. Henley R.W., Truesdell A.H., Barton P.B., Whitney J.A. Fluid-mineral equilibria in hydrothermal systems // Society of Economic Geologists Reviews in Economic Geology. 1984. 267 p.
97. Hill D.P., Zucca J.J. Geophysical constraints on the structure of Kilauea and Mauna Loa volcanoes and some implications for seismomsgmatic processes // Chapter 37, Volcanism in Hawaii. P. 903-918.
98. Kalacheva E., Taran Y., Kotenko T., Hattori K., Kotenko L., Solis-Pichardo G. Volcano-hydrothermal system of Ebeko volcano, Paramushir, Kuril Islands: Geochemistry and solute

- fluxes of magmatic chlorine and sulfur // *J. of Volcanology and Geothermal Research*. 2016. P. 118-131.
99. Kaspereit D., Mann M., Sanyal S. et al. Updated Conceptual Model and Reserve Estimate for the Salton Sea Geothermal Field, Imperial Valley, California. *GRC Transactions*. 2016. V. 40. P. 57-65.
 100. Kelley S.P., Wartho J.-A. Rapid kimberlite ascent and the significance of Ar-Ar ages in xenolith phlogopites // *Science*. 2000. V. 289. P. 609-611.
 101. Khubaeva O.R., Briantseva G.V., Sim L.A. Analysis of recent deformations in North-Paramushir geothermal district (the Kuril islands, Russia) *Geothermal resources council, San-Diego, USA*. 2006.
 102. Khubaeva O., Boikova I., Nikolaeva A. Local Conceptual Model of the North-Paramushir Hydrothermal System // *Thirty-Sixth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 30 - February 1, 2012*.
 103. Kiryukhin A.V., Polyakov A.Y., Usacheva O.O. Thermal-permeability structure and recharge conditions of the Mutnovsky high-temperature geothermal field (Kamchatka, Russia) // *J. of Volcanology and Geothermal Research*. 2018. P. 36-55.
 104. Knopf A. Igneous geology of the Spanish Peaks region, Colorado // *Bull. Soc. Am.* 1936. V. 47. P. 1727-1784.
 105. Lorenz V. Formation of phreatomagmatic maar–diatreme volcanoes and its relevance to the formation of kimberlitediatremes // Ahrens L.H., Dawson J.B., Duncan A.R., Erlank A.J. (Eds.). *Proceedings of the 1st International Kimberlite Conference, Cape Town, South Africa, 1973. Physics and Chemistry of the Earth*. 1975. V. 9. P. 17–27.

106. Lorenz V. Maars and diatremes of phreatomagmatic origin, a review // Transactions of the Geological Society of South Africa. 1985. V. 88. P. 459–470.
107. Lorenz V. On the growth of maars and diatremes and its relevance to the formation of tuff-rings // Bulletin of Volcanology. 1986. V. 48. P. 265–274.
108. Lorenz V., Zimanowski B., Büttner R. Discussion on the formation of kimberlite pipes: the phreatomagmatic model // News letter of the IAVCEI Commission on Explosive Volcanism, August 1999a. P. 11–17.
109. Lorenz V., Zimanowski B., Büttner R. et al. 1999b. Formation of kimberlite diatremes by explosive interaction of kimberlite magma with groundwater: field and experimental aspects // Gurney J.J., Gurney J.L., Pascoe M.D., Richardson S.H. (Eds.). Proceedings of the 7th International Kimberlite Conference, The P.H. Nixon Volume, Cape Town, 1998. V. 2. P. 522–528.
110. Lorenz V. Maar–diatreme volcanoes, their formation, and their setting in hard rock or soft rock environments. Geolines 15 (Hibsch 2002 Symposium), 2003a. P. 72–83
111. Lorenz V. Syn- and post-eruptive processes of maar–diatreme volcanoes and their relevance to the accumulation of post-eruptive maar crater sediments. Földtani Kutatás. 2003b. V. 40. P. 13–22.
112. Lorenz V., Kurszlaukis S. Root zone processes in the phreatomagmatic pipe emplacement model and consequences for the evolution of maar–diatreme volcanoes. V. 159. Issues 1–3, 1 January 2007. P. 4–32.
113. Mathieu L., van Wyk de Vries B., Holohan E.P., Troll V.R. Dykes, cups, saucers and sills: Analogue experiments on magma intrusion into brittle rocks // Earth and Planet. Sci. Lett. 2008. V. 271. P. 1–13.

114. Moore J.G. Subsidence of the Hawaiian Ridge 85, *Volcanism in Hawaii*. 1987. V. 1. P. 85-100.
115. Nakamura K. Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation principle and proposal // *J. of Volcanology and Geothermal Research*. № 2. 1977. P. 1-16.
116. Nielson D.L., Shervais J. W., Glen J. Conceptual Model for a Basalts-Related Geothermal System Mountain Home AFB, Idaho, USA // 44th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, February 11-13. 2019.
117. Shinohara, H. (2008), Excess degassing from volcanoes and its role on eruptive and intrusive activity, *Rev. Geophys.*, 46, RG4005, doi:10.1029/2007RG000244.
118. Thordarson, T. and G. Larsen 2007. Volcanism in Iceland in Historical Time: Volcano types, eruption styles and eruptive history. *J. Geodyn.*, 43, 1, 118–152.
119. Walker G.P.L. The dike complex of Roolau volcano. Oahu: internal structure of Hawaiian rift zone. Chapter 41. *Volcanism in Hawaii*, 1987, Pp. 961-996.
120. White D. E. Anderson E. T., Grubbs D. K- Geothermal brine well: mile-deep drill hole May Tap orebearing magmatic water and rocks undergoing metamorphism.—*Science*, March 8 1963, 139, № 3558.
121. White N.C. Hedenquist J. Epithermal environments and styles of mineralization: Variations and their causes, and guidelines for exploration/ *Journal of Geochemical Exploration* 36(1), 1990, Pp. 445-474.
122. White, N.C. High sulfidation epithermal gold deposits: Characteristics, and a model for their origin: *Geological Survey of Japan Report* 277, 1991, p. 9-20.

Фондовые материалы

123. Барабанов Л.Н. Гидротермы Курильской вулканической области. Отчёт. Петропавловск-Камчатский, 1976, С.460.
124. Богданов А.И. Отчет о результатах геофизических работ по поискам термальных вод на Эбекской площади (о. Парамушир) в 1980 г. — Южно-Сахалинск: СГФЭ, 1981.
125. Власов Г.М., Бочкарёв В.В. Новые данные о серных месторождениях о. Парамушир. / Г.М. Власов, В.В. Бочкарёв. — 1955, № 1143
126. Краснов В.Г., Тузиков Г.Н. Геологический отчет о результатах поисково-съёмочных работ масштаба 1:100000, произведенных в районе месторождения серы "Заозерное" (о. Парамушир) в 1967 году — Южно-Сахалинск, ЮСГРЭ, 1968.
127. Леонов В.Л. Оценка перспективности г. Северо-Курильска на термальные воды — Петропавловск-Камчатский: ИВ ДВО РАН, 1990. 33 с
128. Мишин В.Б. Отчёт на подготовку геофизической основы для поисков в восточной части Северо-Парамуширской геотермальной системы. Елизово: Фонды ЕГФЭ, 1993, С. 140.
129. Научно-технический отчет об исследованиях, выполненных по проекту "Развитие и освоение минерально-сырьевой базы Курильских островов в т. ч. месторождений термальных вод, подземных вод для хозяйственного и питьевого водоснабжения, золоторудных месторождений" государственного контракта № НП-1-2/МНТ/ГК-02М. Этап-2.2 "Проведение научных исследований геотермальных систем острова Парамушир в связи с выявлением неглубокозалегающих геотермальных резервуаров для целей геотермального водоснабжения". // Науч. рук.-р техн. наук А. В. Кирюхин, "ВНИПИИСТРОМСЫРЬЕ", Геотермальный научный фонд Гео-Т, филиал ОАО «ИНСТИТУТ ГИДРОПРОЕКТ», «ЦСГНЭО» — М., 2000.

130. «Проведение комплексных работ по исследованию геотермальных систем Курильских островов, развитию минерально-сырьевой базы по обеспечению стройиндустрии строительными материалами». Этап-2: "Проведение электроразведочных работ в пределах выделенных в 1998 году обводненных тектонических зон с целью выбора мест заложения буровых на термальные воды скважин" // Рук. темы д-р техн. наук Ю.Д. Буянов. "ВНИПИИСТРОМСЫРЬЕ", РАО "ЕЭС России", ОАО "ИНСТИТУТ ГИДРОПРОЕКТ", филиал "ЦСГНЭО". М.: 1999.
131. «Мониторинг сейсмичности, вулканов, цунами, экзогенных процессов (оползни, обвалы, сели), геотермальных систем и детальное сейсмическое районирование в зонах промышленного и сельскохозяйственного освоения Курильских островов, оценка опасных последствий». Петропавловск-Камчатский, 2001. С.140.
132. «Перспективы использования высокотемпературных гидротермальных систем в областях современного вулканизма для захоронения жидких радиоактивных отходов и других вредных веществ». Петропавловск-Камчатский, 1992. С. 168.
133. Подошвин В.Е., Прядко А.Ф., Поносов В.И. Поисково-оценочные работы на парогидротермы в Северо-Курильском районе. "МП Электра" о геофизических исследованиях на Утесном участке острова Парамушир в 2000 г. Южно-Сахалинск: ООО "МП Электра", 2001. 168 с.
134. Подшвин В.Е. Изучение парогидротерм на высокоутесном и приустьевом участках Северо-Парамуширской гидротермальной системы. Южно-Сахалинск: ООО "МП Электра", 2012. 192 с.
135. Пчелкин В.И., Рослый Г.А., Швец Г.И. и др. Проект на детальные поиски парогидротерм на Эбекском месторождении (о. Парамушир) 1991-1994 гг. Южно-Сахалинск: СГГЭ, 1991.

136. Фурман В.А. Поисково-оценочные работы по изучению и оценке геотермальных ресурсов в районе вулкана Эбеко (о. Парамушир). Южно-Сахалинск: ОАО СГГЭ, 2005. 76 с.

СПИСОК ИЛЛЮСТРИРОВАННОГО МАТЕРИАЛА

№ рисунка	Название рисунка	Стр.
2.1.	Курильская островная дуга и остров Парамушир.....	23
2.2.	Геологическая карта о. Парамушир [Атлас Курильских островов, 2009].....	27
2.3.	Вулканические центры хр. Вернадского.....	29
2.4.	Схема строения вулканов группы Эбеко по [Горшков, 1966].....	32
2.5.	Схема строения вулканов группы Богдановича по [Горшков, 1966].....	33
3.1.	Пример составления схемы линеаментной сети.....	42
3.2.	Пример выявления разрывных нарушений о. Парамушир с помощью структурно-геоморфологического дешифрирования топографической карты.....	44
3.3.	Значения осей напряжений в очагах землетрясений.....	45
3.4.	а) Карта теплового поля очагов скрытой разгрузки термальных вод о. Парамушир (от р. Наседкина до р. Левашова) б) Гидрохимическая карта поверхностных вод (по содержанию хлорид-ионов) о. Парамушир (от р. Наседкина до р. Левашова).....	48
3.5.	Трехмерная модель тектонической раздробленности блока пород для северной части о. Парамушир.....	51
4.1.	Карта разрывных нарушений северной части о. Парамушир, выявленных по геоморфологическим данным.....	55
4.2.	Схема линеаментной сети северной части о. Пармушир.....	59
4.3.	Деление северной части о. Парамушир на секторы.....	60
4.4.	Диаграммы направления зон тектонической трещиноватости северной части о. Парамушир.....	61
4.5.	Карта линеаментной сети на геологической основе о. Парамушир	62
4.6.	Горизонтальные срезы с трехмерной модели тектонической раздробленности блока пород для северной части о. Парамушир, с глубин исследования 0, 0.5, 1, 1.5 км.....	64
4.7.	Схема радиальных даек и побочных вулканов полигенного вулкана при дифференцированных горизонтальных напряжениях по [Nakamura,	

	1976].....	65
4.8.	Система интрузивных тел в районе вулкана Ветровой.....	67
4.9.	а) Дайка Са-4 в верховьях р. Савушкина б) Дайка Са-5 на водоразделе р. Савушкина и р. Зеленой.....	68
4.10	Дайка 3-16 в левом борту р. Зеленой.....	69
4.11	а) Дайка 3-17 б) Цементирующие породы дайки 3-17.....	69
4.12.	Некки центральной части вулкана Ветровой.....	70
4.13.	Породы, слагающие тела некков центральной части влк. Ветровой ...	71
4.14	а) Некк на водоразделе между реками Зелёная и Савушкина б) Некк на водоразделе между реками Зелёная и Савушкина	71
4.15.	а) Расположение некков влк. Влодавца (указано стрелками) б) Некки и дайкоподобные тела влк. Влодавца	72
4.16.	а) Интрузивные тела хребта Каменистого б) Дайка Ка-1 андези-базальтового состава на хр. Каменистом в) Некк Нк-1 андезитового состава на хр. Каменистом.....	74
4.17	а) Воронки взрыва на склоне Кратера влк. Богдановича б) Воронка взрыва на северном склоне влк. Козыревского в) Воронка взрыва на южном склоне влк. Козыревского г) Воронка взрыва на оз. Изумрудно-Голубое.....	75
4.18.	Схематическая 3х мерная модель двух мааро-диатремовых вулканов, которые образовались на системе эруптивных трещин. [Lorenz, Kurszlaukis, 2007].....	76
4.19.	Дайки горы Маяк и мыса Крепкого отмечены красным.....	79
4.20.	Зоны распространения гидротермально-изменённых пород.....	80
5.1.	Карта теплового поля очагов скрытой разгрузки термальных вод в средней части хр. Вернадского (вулканический центр Богдановича)	88
5.2.	Гидрохимическая карта поверхностных вод (по содержанию хлорид-ионов) для средней части хр. Вернадского (вулканический центр Богдановича)	89
5.3.	Прогнозная карта перспективности Северной части о. Парамушир на термальные воды по [Пчёлкин, 1996].....	90
5.4.	Геологическое строение р-на р. Птичь по [В.Л.Леонов, 1990].....	93

5.5.	Концептуальная модель гидротермальной системы грабена р. Птичья....	94
5.6.	а) Фумарола на влк. Крашенинникова 2004 г. б) Состояние кратера влк. Крашенинникова на 18.02.2002	95
5.7.	Схема термальных площадок влк. Крашенинникова по [Котенко Т.А., Котенко Л.В. 2006].....	95
5.8.	Одноактный эруптивный канал рядом с зоной тектонического дробления на озере Изумрудно-Голубое	98
5.11.	Концептуальная модель гидротермально-магматической системы вулкана Эбеко.....	102
5.10.	Схематическая геологическая карта северной части о. Парамушир по [В.Л. Леонов, 1990; Мониторинг..., 2001].....	103
5.12.	Каскад даек на влк. Мутновский (Камчатка).....	108