

**РОЛЬ ДАЕК В ТЕПЛОВОМ ПИТАНИИ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВУЛКАНА
БОГДАНОВИЧА (О. ПАРАМУШИР, КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)**

О.Р. Хубаева

*ФГБУН Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, б-р Пуйна 9, г. Петропавловск-Камчатский, 683000;
e-mail: grifon03@yandex.ru*

Поступила в редакцию 19 мая 2015 г.

На основании комплексного анализа структурно-геоморфологических и геолого-геохимических данных построена модель современной гидротермальной системы, приуроченной к вулкану Богдановича (о. Парамушир, Курильские острова). Предполагается, что источником теплового питания системы является базальтовый очаг в корневой части системы, а дайки – основные теплопроводящие структуры.

Ключевые слова: островодужные гидротермальные системы, магматические очаги, дайки, тепловое питание гидротермальной системы, о. Парамушир, Курильские острова.

ВВЕДЕНИЕ

Поиск альтернативных источников энергии уже давно является одной из наиболее актуальных задач современности. Особенно важно решение этой задачи для таких удаленных территорий, как о. Парамушир. Территория эта мало изучена и вопрос о теплоснабжении населенных пунктов стоит достаточно остро.

Курильская островная дуга находится в зоне перехода от континента к океану. Ее развитие характеризуется проявлениями древнего и современного вулканизма, интенсивным осадконакоплением, активными тектоническими подвижками. Развитие этих процессов определяет формирование и деятельность гидротерм, нередко пространственно и генетически связанных с очагами активных вулканов. Одной из таких систем является вулкан Богдановича, расположенный в северной части о. Парамушир. Изучение процессов, связанных с развитием современных долгоживущих вулканических центров и сопряженных с ними гидротермальных систем, позволяет дать оценку тепловой мощности гидротермальной системы, судить об источниках ее водного и теплового питания.

Основная задача автора заключается в выявлении предполагаемого источника теплового питания гидротермальной системы, приуроченной к вулканическому центру Богдановича, а также в построении модели этой гидротермальной системы на основе обобщения всех имеющихся данных по этому району.

**ГЕОГРАФО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ**

Остров Парамушир расположен на северо-восточном окончании Большой Курильской островной дуги (рис. 1). Северную часть острова формирует вулканический хр. Вернадского, который протягивается в субмеридиональном направлении от горы Ветровой на севере до горы Вернадского на юге и имеет общую протяженность около 25 км. Водораздел хребта проходит почти строго по осевой части острова. К нему приурочены все наиболее высокие вершины.

Тихоокеанский склон хр. Вернадского достаточно пологий, в отличие от крутого охотоморского склона. Речная сеть района густая. Реки тихоокеанского склона протяженные, имеют большие водосборные бассейны и относительно спокойное течение. Реки охотского побережья порожисты, часто имеют каньонообразные долины.

Расчлененный 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 продолжени-

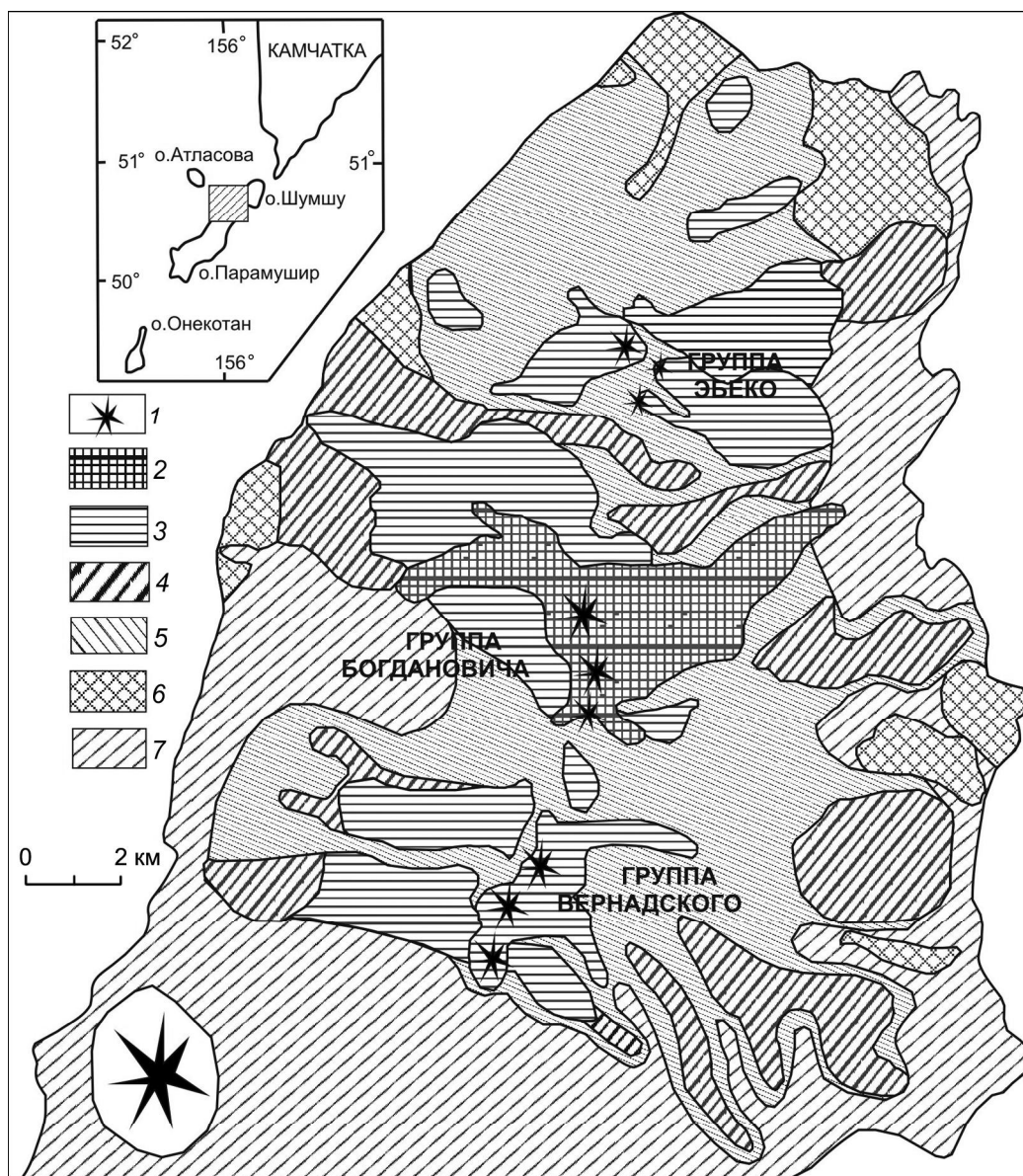


Рис. 1. Схема расположения вулканических центров хребта Вернадского, по [6].

1 – вулканические постройки; 2 – голоценовые лавы; 3 – межледниковые лавы; 4 – участки доледниковых лав, сохранившие первоначальный рельеф; 5 – эродированные участки четвертичных построек; 6 – морены; 7 – фундамент и морские террасы.

ем прибрежного горста Южной Камчатки. Северная часть о. Парамушир сложена 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 (N_2^{2-3}). 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 [5].

Хребет Вернадского сформирован тесно слившимися между собой сложными постройками двух вулканов центрального типа (Ветрового, Влодавца) и трех линейно-кустовых долгоживущих вулканических центров (Эбеко, Богдановича и Вернадского), фундаментом которых служат неогеновые вулканогенно-осадочные и интрузивные образования. Все вулканы хребта возникли до эпохи первого (рисского) оледенения, однако только три из них (Эбе-

ко, Богдановича и Вернадского) были активными в послеледниковое время [5, 6]. Помимо крупных вулканических построек, в осевой части хр. Вернадского дешифрируются многочисленные более мелкие диатремы и маары, свидетельствующие о частых фреатических и фреато-магматических взрывах.

Четвертичные вулканы Крашенинникова, Билибина, Богдановича, Неожиданный, Эбеко и др. образуют крупную «линейную» вулканотектоническую структуру, в недрах которой в течение длительного времени происходила миграция магматического расплава андезитабазальтового состава. Из наиболее древних эффузивов в северной части о. Парамушир вскрыты лавы базальтового состава, предположительно ранне-среднеплейстоценового возраста [15].

Группа вулканов Богдановича образует центральную часть хр. Вернадского (рис. 1). Она состоит из пяти эруптивных центров, образованных в послеледниковое время (рис. 2) [6]. Доледниковая щитовая постройка древнего вулкана Богдановича разрушена. Остаточным фрагментом этой постройки является плато Лагерное. Основанием плато являются вулканогенно-осадочные образования позднемiocен-плиоценового возраста. Эффузивный чехол плато представлен андезитами и базальтами с вкрапленниками оливина. Жерловая часть доледникового влк. Богдановича фиксируется неками, кратерно-озерными отложениями и гидротермально измененными породами.

Первая в группе вулканических построек – гора Краснуха, которая является сильно разрушенным вулканом. С юга к горе Краснухе примыкает кратер современного вулкана Богдановича, представляющий собой небольшой, очень низкий и пологий конус с диаметром основания около 1 км. На вершине конуса расположен широкий, до 500 м, кратер глубиной около 40 м. Дно кратера занято пресным озером.

К югу от кратера Богдановича расположен небольшой туфовый конус (кратер Плоский). В 1 км к югу от кратера Богдановича находится кратер Крашенинникова, представляющий собой два вложенных один в другой конуса, разделенных небольшим понижением.

Южнее расположен конус Козыревского – это большой туфовый конус с относительной высотой в 100–150 м (1160 м абс. высоты). У подножья конуса с северной стороны расположены две слившиеся боковые воронки взрыва. Конус сложен исключительно пирокластическим материалом, в составе которого преобладают остроугольные эксплозивные обломки. По всей вероятности, деятельность его была чисто эксплозивной. Состав всех лав – пироксеновый андезит с редкими включениями кристаллов оливина [6, 5].

ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ВУЛКАНА БОГДАНОВИЧА

Остров Парамушир имеет блоковую структуру [7]. В частности, хр. Вернадского, к которому приурочена Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая система [10], разделен на три блока, каждому из которых соответствует группа современных вулканических центров (рис. 1): Эбеко, Богдановича, Вернадского [6]. Вулканические центры отличаются друг от друга степенью вулканической активности, развитием гидротермальных процессов и пр. Северо-Парамуширская гидротермальная система имеет тесную связь с магматической структурой хр. Вернадского и относится к островодужным гидротермальным системам, сопряженным с андезитовым вулканизмом [10, 21]. В пределах влк. Вернадского известны проявления относительно древней гидротермальной активности.

Ранее в работе [14] была рассмотрена модель гидротермальной системы влк. Крашенинникова, который входит в группу влк. Богдановича. Она рассматривалась как часть Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы. В данной работе рассматривается вся постройка влк. Богдановича.

Для построения модели гидротермальной системы влк. Богдановича был изучен опорный геологический разрез по керну скважины 4ГП, расположенный у подножия плато Лагерного (рис. 3) [3]. В разрезе наблюдается последовательная смена метасоматических зон (сверху–вниз): кварц-эпидот-хлоритовая; иллит-хлорит-кальцитовая; монтмориллонит-цеолитовая.

Как правило, вертикальная метасоматическая зональность формируется в периферических условиях от оси основного восходящего потока гидротермальных растворов, при значительно меньшей общей проницаемости пород и интенсивном притоке холодных метеорных вод. Такие условия обеспечивают плавное понижение температур с небольшим геотермическим градиентом, причем признаки вскипания гидротерм отсутствуют либо проявлены настолько слабо и локально, что не определяют в явном виде метасоматическую зональность. При этом значительно увеличивается мощность монтмориллонит-цеолитовой зоны, соответствующей циркуляции гидрокарбонатно-кальциевых нагретых метеорных вод.

Метасоматоз пород происходит в условиях монтмориллонит-цеолитовой фации, где преобразование вмещающих пород происходит при взаимодействии их с нагретыми до 150°C гидрокарбонатно-кальциевыми растворами метеорного генезиса и система становится открытой по отношению к кислороду воздуха [23].

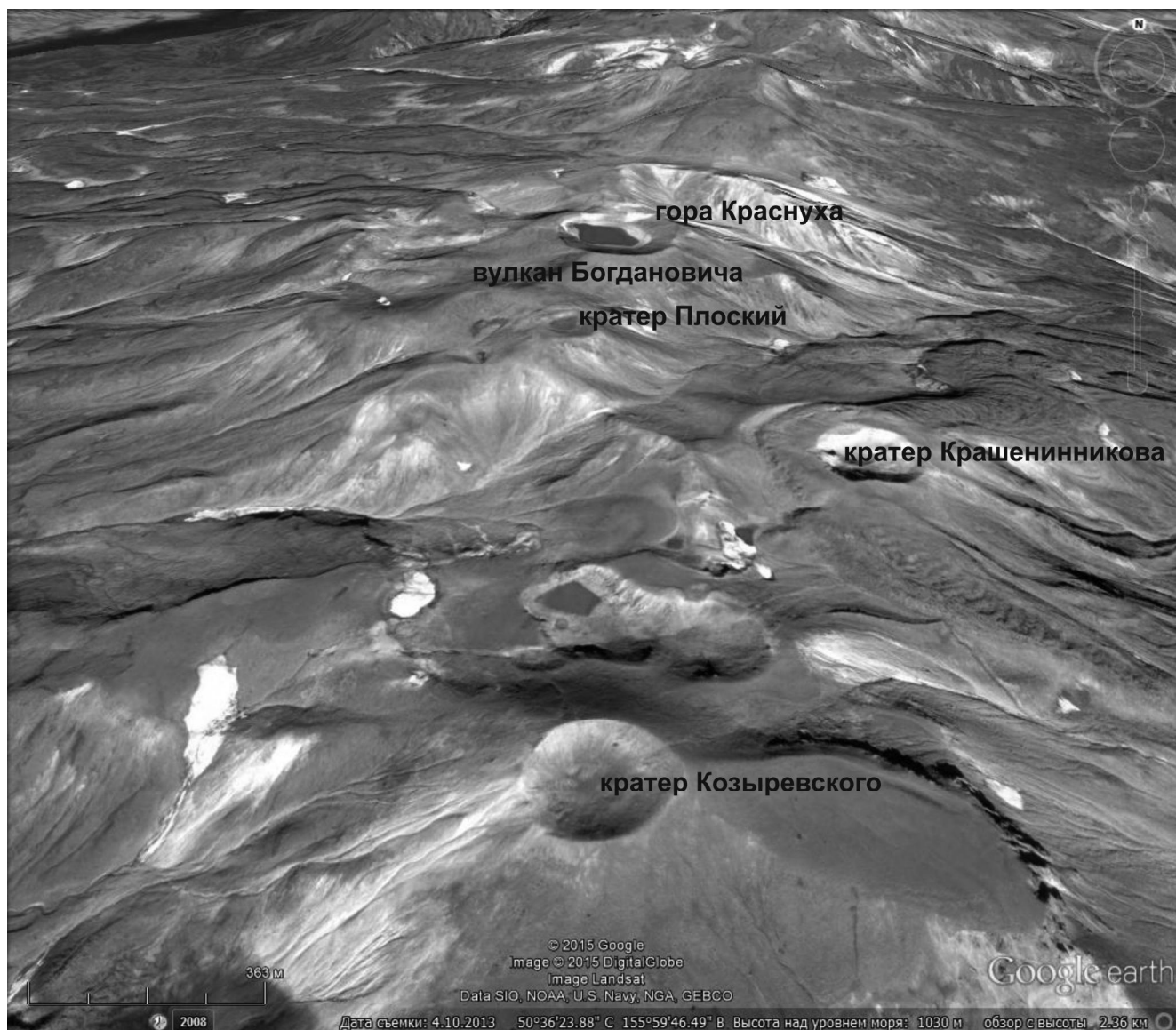


Рис. 2. Схема расположения вулканов группы Богдановича [6].

По линии А–В (рис. 3) построен геологический профиль, на основе которого была составлена схема гидротермальной системы: влк. Крашенинникова (восходящий поток гидротерм) – северо-восточный склон вулкана (латеральный сток) – Тихий океан (зона разгрузки напорного потока низкотемпературных углекислых гидротерм) (рис. 4).

Гидротермальная система Богдановича представляет собой островодужную гидротермальную 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.

Фумарольная деятельность в кратере влк. Крашенинникова говорит о наличии здесь восходящего потока парогидротерм.

Для таких систем характерны протяженные латеральные растеки гидротерм, что четко прослеживается в рассматриваемой нами системе, где на латеральный сток указывают выходы и химический состав слаботермальных источников, разгружающихся вдоль русла р. Птичьей (табл.), а также тепловые аномалии, отраженные на карте теплового поля очагов скрытой разгрузки[23].

Большая мощность вулканогенных пород над зоной восходящего потока гидротерм в исследуемой нами системе свидетельствует о том, что имеется зна-

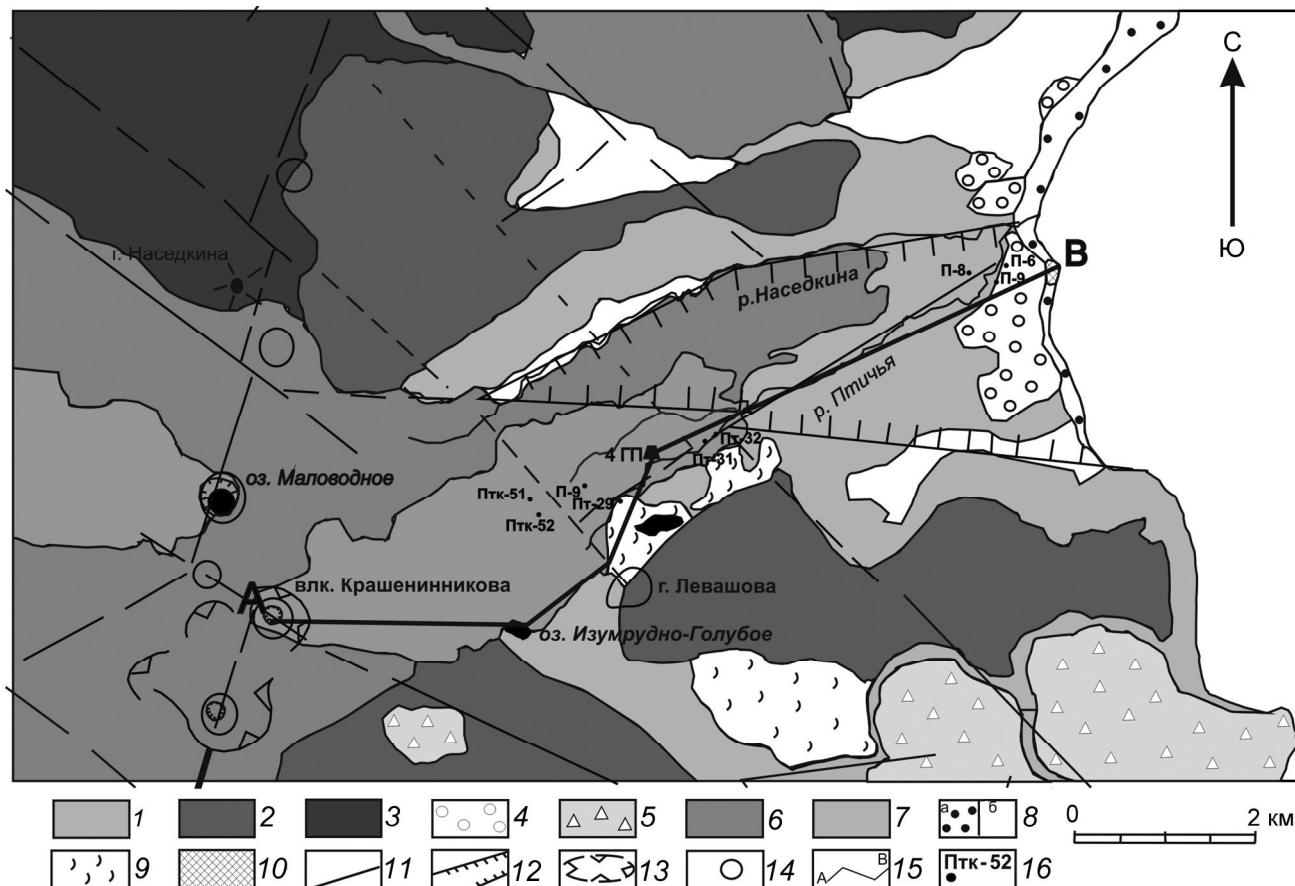


Рис. 3. Схема геологического строения р-на р. Птичь (за основу взята карта В.Л. Леонова, 1990).

1 – породы складчатого 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_2^2); 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 обвально-оползневые отложения; 10 – диориты; 11 – предполагаемые разрывные нарушения; 12 – грабенообразные впадины; 13 – границы кальдер; 14 – вулканические постройки; 15 – геологический профиль; 16 – точки отбора проб.

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

Номер пробы	pH	T°C	Химический состав, в мг/л							Минерализация, в мг/л
			Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Al ³⁺	
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 О.В.

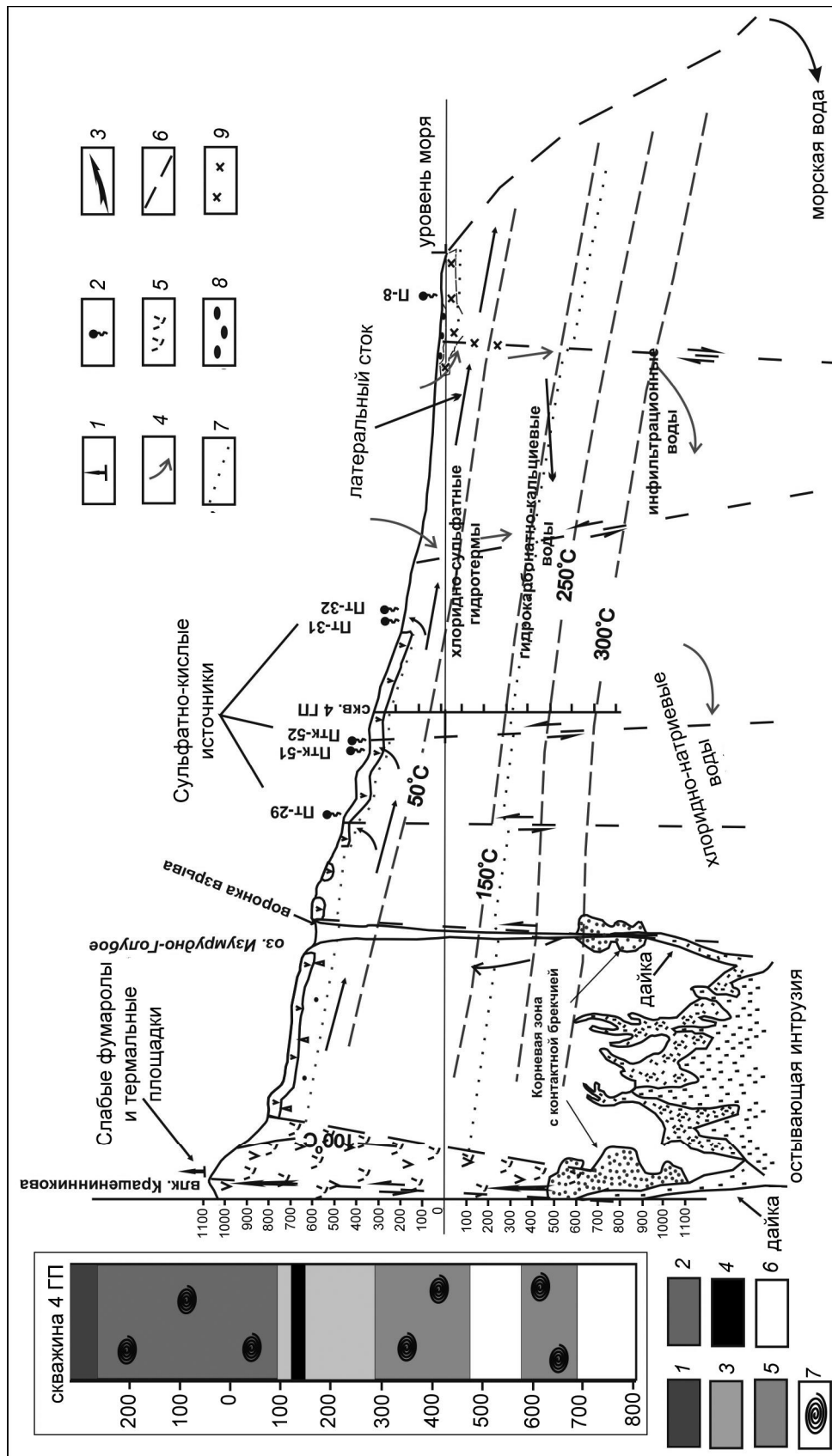


Рис. 4. Схема глубинного строения грабена р. Птичьей.

На разрезе: 1 – фумарола; 2 – источники; 3 – восходящий поток; 4 – нисходящий поток; 5 – зоны трещиноватости; 6 – водоупорные горизонты; 7 – водоупорные горизонты; 8 – отложения межледниковой трансгрессии Q_3 ; 9 – диориты. В скважине 4 ГП: 1 – андезиты; 2 – туфиты андезитовые, алевроитовые, кристаллокластические $N_{2,3}$; 3 – туфы андезитовые, псефитовые, литокластические $N_{1,2}$; 4 – диабазы; 5 – туфиты андезитовые, алевроитовые, кристаллокластические $N_{1,2}$; 6 – туфы, андезитовые, алевроитовые, кристаллокластические $N_{1,2}$; 7 – диатомовые водоросли.

чительный потенциал для формирования вторичных гидротерм. Там где гидротермальные газы образуют наиболее сосредоточенный восходящий поток, в результате окисления H_2S формируются низкотемпературные хлоридно-сульфатные 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 хлоридно-сульфатные горячие источники [20].

В средней части латерального стока, в точках (Птк-51, Птк-52) (рис. 4, табл.) разгружаются воды $Cl-SO_4$ состава. Локализация источников в зоне разрывного нарушения, сравнительно низкие температуры ($9-11^\circ C$) и повышенное содержание Cl может указывать на наличие здесь восходящего потока газогидротермального флюида из нижележащих горизонтов. Температура источников может снижаться за счет сильного разбавления талыми водами, особенно с учетом того, что средняя температура воды в реке составляет $5-6^\circ C$.

Химический состав разгрузок (Пт-29, Пт-31, Пт-32, Птк-51, Птк-52) (рис. 4, табл.) на р. Птичьей свидетельствует о глубинных хлоридных (хлоридно-натриевых?) высокотемпературных гидротермах, расположенных в недрах гидротермальной системы Богдановича. Долю разгрузок на источниках р. Птичьей составляют парогазоконденсатные дериваты глубинных флюидов. Разгрузки кислых вод в свою очередь оказывают химическое влияние на дальнейший состав речных вод, вплоть до самых их устьев (табл.).

Большое количество осадков приводит к тому, что восходящий водяной геотермальный пар и газы могут конденсироваться, в связи с чем встречаются районы эмиссии холодного газа. Поскольку растворимость CO_2 и H_2S различны, то происходит отделение CO_2 в латеральных потоках, в результате этой дегазации и поглощения углекислого газа выше расположенными грунтовыми потоками образуются зоны бикарбонатных гидротерм [20].

Данные по вторичным минералам (скважина 4ГП), указывают на циркуляцию в системе гидрокарбонатно-кальциевых вод. Вместе с тем ничего не известно о наличии большого количества ангидрита в системе, наличие которого характерно для описанных Хэденквистом [20] островодужных гидротермальных систем. Однако известно, что после окончания бурения скважины 4ГП начал выпадать $CaCO_3$ и скважина быстро им заросла. Вероятно, что этот процесс обусловлен высоким содержанием в системе CO_2 , что соответствует модели, представленной Хэден-

квистом. Геологические данные* по скважине ГП-3, пробуренной на восточном склоне хр. Вернадского в 3 км от г. Северо-Курильска (гидротермальная система вулкана Эбеко), свидетельствуют о присутствии большого количества ангидрита в системе, интервал 1650–2500 м от устья, который развивается в зоне смешения высоко-среднетемпературных растворов хлоридно-натриевого состава с морской водой (по геологическим данным). Скважина 4ГП расположена в районе грабена рек Наседкина и Птичьей, центральная часть которого погружена на несколько сот метров (по данным В.Л. Леонова**). В этом случае становится непротиворечивым предположить, что скважина 4ГП оказалась недостаточно глубокой для того, что бы вскрыть зону развития ангидрита.

В районе озера Изумрудно-Голубое на дневной поверхности наблюдается большое количество окремненных, брекчированных, пористых глыб, появление которых, возможно, связано с взрывной деятельностью [24]. В северном борту озера отчетливо виден абрис воронки взрыва, приуроченной к зоне дробления, что указывает на наличие системы интрузивных тел, обеспечивающих тепловое питание системы. Ранее нами [14] высказывалось предположение о том, что здесь локализовался восходящий поток парогазогидротерм, в составе которого могут присутствовать HCl , HF и др., отделяющиеся из корового магматического очага [22].

Обилие одноактных эруптивных каналов и характер продуктов извержения на хр. Вернадского могут указывать и на существование здесь мааро-диатремового вулканизма, который связан с фреато-магматическими или магматическими процессами. Не исключено, что на хр. Вернадского развита фреато-магматическая модель мааро-диатремовых вулканов. Этот тип вулканической активности контролируется взаимодействием магматических расплавов и летучих компонентов в корневой зоне. Многие исследователи предполагают, что мааро-диатремовые вулканы являются фреато-магматическим аналогом положительных вулканических морфоструктур, представленных шлаковыми конусами, моногенными куполами [25].

*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 // Отчет. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 2001. 291 с.

**Леонов В.Л. Оценка перспективности района г. Северо-Курильска на термальные воды // Отчет. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 1990. 33 с.

В. Лоренц [25] представляет мааро-диатремовый вулкан в виде цельной вулканической постройки от основания корневой зоны вверх, включая тефровое кольцо.

Глыбы кислотно-измененных пород в районе озера Изумрудно-Голубое, о которых упоминалось выше, могут свидетельствовать об инъекции магматических расплавов разного состава, которая происходила в водоносные комплексы современных гидротермальных систем.

Во фреато-магматической модели образования трубок, предложенной В. Лоренцом [26–32], предполагается, что эксплозии происходят преимущественно в верхнем конце питающей дайки. Когда подземные воды выбрасываются в виде водяного пара, то зеркало подземных вод образует депрессионную воронку. С подземными водами места эксплозий погружаются вглубь и новые очаги эксплозий формируются уже ниже произошедших взрывов. В. Лоренц отмечает, что во время распространения корневой зоны в глубину, эксплозивные очаги, повторные обрушения и растущая таким образом диатрема приводят к поглощению более ранних частей корневой зоны диатремы. Корневая зона и диатрема окружены ореолом вмещающих пород с низкой плотностью.

Кроме того, в конце активной фазы термогидравлических эксплозий может происходить взаимодействие подземных вод (содержавшихся в брекчиях корневой зоны или диатремовой брекчии) с магмой в корневой зоне или даже в диатреме. Если 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 [17].

Без постоянного участия подземных вод во фреато-магматической деятельности мааро-диатремовых вулканов она может прекратиться и 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, характеризующимися ювенильной дегазацией, приводящей к стромболианской активности. Весьма вероятно, такие процессы происходили на хр. Вернадского, так как на некоторых эруптивных каналах наблюдаются лавовые потоки.

ТЕПЛОВОЕ ПИТАНИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВУЛКАНА БОГДАНОВИЧА

На сегодняшний день нет устойчивого мнения о том, существует ли на о. Парамушир крупный магма-

тический очаг, обеспечивающий тепловое питание гидротермальной системы, или же это многоканальная система питания (силло-дайковый комплекс).

Некоторые исследователи ранее упоминали о магматическом (многоканальном) питании хребта Вернадского [5, 6, 9]. На о. Парамушир была выделена единая длительноживущая гидротермально-магматическая система [10], включающая в себя северную часть острова (хр. Вернадского), источником тепла и вещества для которой служат мощные массивы диоритов и габбро-диоритов, залегающие на глубине более 2.5 км.

Гидротермальная система хр. Вернадского является системой отстроводужного типа, имеет непосредственную связь с вулканическими постройками, а также характеризуется 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 гидротермальной системы влк. Богдановича.

Однако такие предположения нуждаются в доказательствах. На острове не проводились геофизические работы в таком масштабе, чтобы можно было сделать выводы о структурах, отвечающих за тепловое питание гидротермальной системы. Поэтому мы вынуждены опираться на ряд косвенных признаков, а также рассматривать аналогичные системы в других регионах мира.

Федорченко В.И. и др. [5] считают, что существование на Курильских островах линейных вулканических цепей, нередко образующих систему кулис под углом 45° к простираению дуги, свидетельствует о наличии оперяющих сдвигов. Эти сдвиги характеризуются открытостью, обуславливающей повышенную проницаемость земной коры и возможность проявления процессов генерации магмы в результате падения давления в них.

Это подтверждается данными, полученными при построении карты новейших деформаций Северной части о. Парамушир (рис. 5). На карте видно, что линейные разрывные нарушения представляют собой сочетание разрывов различных простираций. Главной является субмеридиональная зона, состоящая из системы разломов ССВ простираения, которая нарушается и смещается системой левых сдвигов СЗ простираения. По отдельным разломам устанавливается сбросовая составляющая с правосдвиговой компонентой перемещения. Проведенный нами анализ механизмов очагов землетрясений подтверждает наличие сдвиговых перемещений по разломам [13].

В пределах хр. Вернадского фиксируется большое количество даек и взрывных воронок, что может

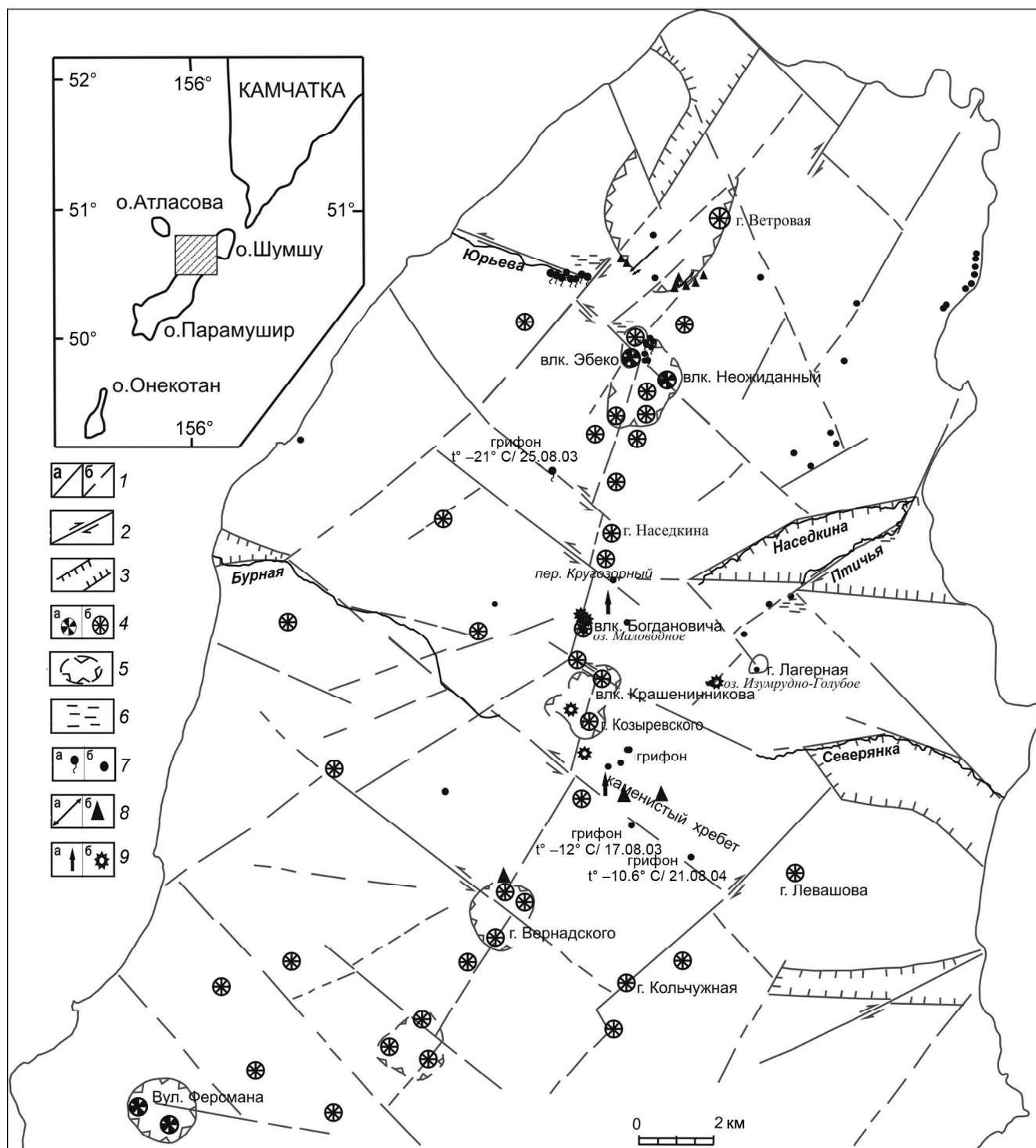


Рис. 5. Карта разрывных нарушений северной части о. Парамушир, выявленных по геоморфологическим данным.

1 – предполагаемые разрывные нарушения; 2 – сдвиги; 3 – грабенообразные впадины; 4 – вулканические постройки (а – действующие, б – потухшие); 5 – границы кальдер; 6 – сектора локальных растяжений; 7 – источники (а – термальные, б – холодные); 8 – интрузивные образования (а – дайки, б – нейки); 9 – потухшие фумарольные поля (а), воронки взрыва (б).

свидетельствовать о присутствии базальтового источника тепла в корневой части системы. В районе вулканического центра Эбеко эти структуры тяготеют к разломам СВ простирания, в то время как на территории более древнего вулканического центра Богдановича, подобные структуры в основном сопряжены с разломами СЗ простирания или расположены на пересечении разломов СЗ и СВ простирания (рис. 5).

На примере вулканов Исландии, Камчатки, Курильских островов и др. видно, что сеть базальтовых даек зачастую располагается вблизи долгоживущих вулканических центров, к которым приурочены современные гидротермальные системы.

Зачастую базальтовые дайки являются главной структурой, через которую происходит перенос расплава и тепла [1, 19].

Дайка как плоская маломощная дрена представляется идеальной геологической структурой для транспортировки больших масс расплава и тепловой энергии, так как при малом объеме расплава и большой поверхности теплоотдачи создаются условия резкого перепада температур на концах, этой структуры [1]. Перенос больших количеств тепла в головную часть магматических дрен создает высокотемпературные условия перед их фронтальными частями, вызывая расплавление пород на этом узком участке, прожигая канал раскаленными летучими компонентами для следующего за ними магматического расплава [1]. Такие процессы наблюдались при прорыве даек на вулкане Килауэа [18] и на Большом Трещинном Толбачинском извержении [4]. Не исключено, что на о. Парамушир базальтовые дайки были основными каналами, по которым происходила миграция расплавов.

А. Gudmundsson [19] предполагает, что мало-глубинные коровые магматические очаги на раннем этапе вулканических систем отсутствуют, все интрузии (дайки) и экструзии внедряются непосредственно из мантийного резервуара. Некоторые вулканические системы коровых очагов могут не иметь никогда. Поэтому самые ранние дайки в региональных дайковых роях внедрялись из глубинных резервуаров, тогда как более поздние дайки в некоторых вулканических системах впоследствии, частично, внедрялись горизонтально от образованного корового магматического очага.

Присутствие оливина, который считается минералом глубинного происхождения, в породах интрузивных тел вулканических комплексов хр. Вернадского также свидетельствует о том, что магматические расплавы к этим группам вулканов поступали с уровней верхней мантии. Скорее всего, магматическая система в этом районе имела эмбриональный

очаг небольшого объема в земной коре. Этот очаг располагался в породах, обогащенных кремнеземом [11], которые разогревались вплоть до частичного плавления. По-видимому, образованный более кислый расплав перемешивался с глубинным базальтовым расплавом с вкрапленниками оливина. В результате этого процесса и последующей кристаллизационной дифференциации образовывались андезитовые магмы [16]. Поскольку в смешанном расплаве сохранялись реликты кристаллов оливина, то доля анатектического расплава была меньше доли мантийного расплава, что подтверждает предположение о небольшом объеме очага в земной коре.

Возможно также, что на о. Парамушир происходит миграция вулканизма по главной субмеридиональной зоне с юга на север. Так на о. Парамушир вдоль субмеридиональной зоны разломов, в участках ее пересечения с разломами СЗ и СВ простираний, располагается цепочка многоканальных лавово-пирокластических массивов с кальдерами (вул. Козыревского, Вернадского, Эбеко) и стратовулканами. Г.С. Горшков [6] называет такие структуры линейно-кустовыми вулканами.

Особенностью «кустовых» вулканов является большая продолжительность жизни. Геологическое строение, морфология, петрографический и химический состав лав и обломочных продуктов извержений эруптивных аппаратов «кустовых» вулканов свидетельствуют о том, что магматическая проводящая система эволюционировала на всем протяжении формирования этих вулканических структур. Активное развитие эрозионных процессов в осевой части хр. Вернадского свидетельствует об интенсивных вертикальных движениях, происходящих здесь и в настоящее время [12].

Длительное поступление к поверхности магматических расплавов поддерживало высокий уровень активности вулканов. Этот процесс завершился заложением наиболее молодых вулканов Эбеко и Неожиданный, вулканическая деятельность которых сохраняется и в настоящее время [2, 8]. Вулканические постройки Эбеко и Крашенинникова сопряжены со структурными узлами, образованными пересечением диагональных разломов. Вулкан Неожиданный находится на разломе СВ простирания (рис. 5), в то время как вулканы Козыревского и Богдановича расположены в осевой субмеридиональной зоне ССВ простирания (рис. 5). Вулканическая активность группы вулканов Богдановича отсутствует или выражена слабой фумарольной деятельностью, что подтверждает предположение о миграции активного вулканизма.

На основании вышесказанного можно предположить, что дайки являются основными структурами,

обеспечивающими тепловое питание гидротермальных систем о. Парамушир.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гидротермальная система Богдановича представляет собой типичную островодужную гидротермальную систему, где главными ландшафтными конструкциями являются андезитовые стратовулканы. В приповерхностной зоне система представляется как низкотемпературная, но в ее недрах предполагается высокотемпературный режим.

Обилие эруптивных каналов одноразового действия и характер продуктов извержения в районе вулканического центра Богдановича указывает на существование здесь мааро-диатремового вулканизма, развитию которого способствуют фреато-магматические или магматические процессы. Большое количество интрузивных тел и воронок взрыва в пределах хр. Вернадского может свидетельствовать о присутствии базальтового источника тепла в корневой части системы. Базальтовые дайки, вероятнее всего, являются основными структурами, обеспечивающими тепловое питание гидротермальных систем о. Парамушир. В связи с этим гидротермальную систему вулканического центра Богдановича можно отнести к перспективным геотермальным объектам с целью поиска возобновляемого источника энергии для г. Северо-Курильска.

Автор признателен к.г.-м.н. В.И. Белоусову, чьими консультациями и советами автор постоянно пользовался; благодарит к.г.-м.н. Е.И. Сандимирову, А.Г. Николаеву за участие и помощь при выполнении работы; д.г.-м.н. С.Н. Рычагова за поддержку в полевых исследованиях и ценные советы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов В.И. Геология геотермальных полей в областях современного вулканизма. М.: Наука, 1978. 176 с.
2. 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.
3. Бойкова И.А. Низкотемпературная минерализация вулканогенно-осадочных пород северной части о. Парамушир: Материалы регион. конф. «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 30 марта–1 апреля 2011, г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 121.
4. Большое трещинное Толбачинское извержение. Камчатка. 1975–1976 гг. М.: Наука, 1984. 636 с.
5. Вулканизм Курильской островной дуги: геология и петрогенезис. М.: Наука, 1989. 239 с.
6. Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 267 с.
7. Леонов В.Л. Вулканические хребты: морфология, ориентировка, значение для геотермии: Материалы междунар. полевого Курило-Камчатского семинара, 16 июля–6 августа 2005 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский, 2005. С. 171–180.
8. 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 // Вулканология и сейсмология. 1993. № 3. С. 69.
9. Новейший и современный вулканизм на территории России / Отв. ред Н.П. Лаверов. М.: Наука, 2005. 604 с.
10. Рычагов С.Н., Белоусов В.И., Главатских С.Ф., Ладыгин В.М., Сандимирова Е.И. Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая система: характеристика глубокого геологического разреза и модель современного минералорудообразования в ее недрах // Вулканология и сейсмология. 2002. № 4. С. 1–19.
11. Сидоров А.А., Томсон И.Н. Рудоносность черносланцевых толщ: сближение альтернативных концепций // Вестн. РАН. 2000. Т. 70, № 8. С. 719–724.
12. Хубаева О.Р. Морфоструктурный анализ района долины реки Паратунка по данным морфометрических методов. Петропавловск-Камчатский: КГПУ Вестн. КРАУНЦ, 2003. № 1. С. 54–62.
13. Хубаева О.Р., Брянцева Г.В., Сим Л.А. Новейшие деформации северной части острова Парамушир: Материалы XI тект. совещ. «Фундаментальные проблемы геотектоники» М.: ГЕОС, 2007. Т. 1. С. 109–111.
14. Хубаева О.Р., Бойкова И. А., Николаева А. Г. Модель гидротермальной системы вулкана Крашенинникова (как части Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы): Материалы регион. конф. «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 30 марта–1 апреля 2011, г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 176.
15. Чудаев О.В. Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 173–174.
16. Anderson A.T. Magma mixing: petrological process and volcanological tool // J. Geotherm Res. June 1976. V. 1, Is. P. 3–33.
17. Boxer G.L., Lorenz V., Smith C.B., The geology and volcanology of the Argyle (AK1) lamproite diatreme, Western Australia: Proc. of the 4th Intern. kimberlite conf., Perth, Australia // Geol. Soc. Australia Spec. Publ. 1989. V. 14. P. 140–151.
18. Decker R.W. Dynamics of Hawaiian volcanoes: an overview // Volcanism in Hawaii : U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 1350. United States Government Printing Office, Washington DC., 1987. Ch. 42. P. 997–1118.
19. Gudmundsson A. Infrastructure and mechanics of volcanic systems in Iceland // J. Volcanol. Geotherm. Res. 1995. V. 64. P. 1–22.
20. Hedenquist J.W. Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific basin // Transactions of fore-arc Circum-Pacific energy and mineral resources conference. Singapore // Am. Ass. Pet. Geol. 1987.
21. Henley R.W., Ellis A.J. Geothermal systems ancient and modern: a geochemical review // Earth Sci. Rev. 1983. V. 19.

22. Kazahaya K., Shinohara H. Generation of HCl by high temperature hydrolisis of NaCl // Extended abstracts of the 3th symposium on deep-crust fluids, held at Tsukuba, October, 1991. P. 101–105.
23. 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.
24. Khubaeva O., Boikova I., Nikolaeva A. Local conceptual model of the North-Paramushir hydrothermal system // Proc., Thirty-sixth workshop on geothermal reservoir engineering. Stanford University. Stanford, California, January 30–February 1, 2012.
25. Lorenz V. Formation of phreatomagmatic maar–diatreme volcanoes and its relevance to the formation of kimberlite diatremes / L.H. Ahrens, J.B. Dawson, A.R. Duncan, A.J. Erlank, (Eds.) // Proc. of the 1st Intern. kimberlite conf., Cape Town, South Africa, 1973 // Physics and Chemistry of the Earth. 1975. V. 9. P. 17–27.
26. Lorenz V. Maars and diatremes of phreatomagmatic origin, a review // Transactions Geol. Soc. South Africa. 1985. V. 88. P. 459–470.
27. Lorenz V. On the growth of maars and diatremes and its relevance to the formation of tuff-rings // Bull. Volcanol. 1986. V. 48. P. 265–274.
28. Lorenz V., Zimanowski B., Büttner R. et al. Formation of kimberlite diatremes by explosive interaction of kimberlite magma with groundwater: field and experimental aspects / J.J. Gurney, J.L. Gurney, M.D. Pascoe, S.H. Richardson, (Eds.) // Proc. of the 7th Intern. Kimberlite Conf, The P.H. Nixon Volume, Cape Town, 1998. V. 2. P. 522–528.
29. Lorenz V. Zimanowski B., Büttner R. Discussion on the formation of kimberlite pipes: the phreatomagmatic model // Newsletter of the IAVCEI Commission on Explosive Volcanism, August, 1999. P. 11–17.
30. Lorenz V. Maar–diatreme volcanoes, their formation, and their setting in hard rock or soft rock environments // Geolines 15, (Hibsch 2002 Symp), 2003. P. 72–83.
31. 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, 2003. V. 40. P. 13–22.
32. Lorenz V., Kurszlaukis S. Root zone processes in the phreatomagmatic pipe emplacement model and consequences for the evolution of maar–diatreme volcanoes // J. Volcanol. Geotherm. Res. V. 159. Issues 1–3, 1 January 2007. P. 4–32.

Рекомендована к печати О.В. Чудаевым

O.R. Khubaeva

Role of the dikes in the thermal supply of the hydrothermal system in the Bogdanovich Volcano, the Paramuchir Island, the Kuril Islands

Based on the integrated analysis of structural-geomorphological and geological-geochemical data a model for the modern hydrothermal system confined to the Bogdanovich Volcano, Paramushir Island, the Kuril Islands, has been constructed. The source of the thermal supply of the system is assumed to be a basaltic chamber located in the root part of the system, and dykes are the main heat-conducting structures.

Key words: island arc hydrothermal systems, magma pockets, dikes, thermal supply of hydrothermal systems, Paramushir Island, Kuril Islands.