

МОРФОСТРУКТУРА И ОЦЕНКА ВЫНОСА ТЕПЛА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА ПАРАМУШИР

Хубаева О.Р., Шульга О.В., Котенко Л.В., Котенко Т.А.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,
Россия, E-mail: grifon03@yandex.ru*

Территория Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы характеризуется разной степенью изученности. Хорошо изучены район вулкана Эбеко и выходы термальных источников в долине р. Юрьева. За их пределами данных значительно меньше. В статье для выявления термоконтролирующих проницаемых зон использован метод линеamentного анализа, позволяющий трассировать такие зоны за пределы хорошо изученных участков. Это позволяет оценивать прогнозные термальные ресурсы на флангах системы. Использование карт линеamentной сети и карт сопряжённых с ними морфоструктур центрального типа позволило уточнить строение гидротермально-магматического резервуара. В частности, в его недрах предполагается наличие куполовидной магматической интрузии центрального типа, с морфологически хорошо выраженной надинтрузивной зоной. Единство структурного плана и пространственная связь кольцевых структур с вулканитами позволяет предположить, что под северной частью о. Парамушир существует единая длительноживущая питающая магматическая система, обеспечивающая тепловое питание всех термопроявлений.

MORPHOSTRUCTURE AND ESTIMATE OF A HEAT EFFLUX IN NORTHERN PART OF PARAMUSHIR ISLAND

Khubaeva O.R., Chulga O.V., Kotenko L.V., Kotenko T.A.

*Institute of Volkanology and Seismology Russian Academy of Sciences Far East Division,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, E-mail: grifon03@yandex.ru*

The terrain of North-Paramushir hydrothermal - magmatic systems is characterized by a different degree of a scrutiny level. Region of a volcano Ebeko and outputs of thermal sources in apron plain of river Jureva are well studied. Behind their borders the information is significant less. Thermal sources are situated near the permeable zones. The method of the lineament analysis allows to site permeable zones outside of the well studied zones. It allows to give the forecast for thermal resources on flanks of hydrothermal - magmatic systems. Usage of the maps, compounded by me, (map of lineament grid and map of conjugate with them central morphostructure patterns) allows to give a conclusion, that in lineament and central morphostructure patterns the constitution of the hydrothermal - magmatic reservoir shows. In particular, the availability of dome-shaped magmatic intrusion. The unity of the structural plan and spatial connection of ring structures with volcanic rocks allows to suspect that the unified long-living feeding magmatic system ensuring a feed of all thermomanifestations is exist under northern part of island Paramushir.

1. Введение

Научные исследования для выявления геотермальных ресурсов с целью водо- и теплоснабжения г. Северо-Курильска проводятся на острове Парамушир с 1950-х годов. Однако эти работы выполнялись преимущественно в районе вулкана Эбеко и вблизи г. Северо-Курильска, в результате чего остальная часть Северо-

Парамуширского геотермального района оказалась слабо изученной. В настоящее время имеется очень мало геоморфологических и специальных структурных исследований, направленных на расшифровку морфоструктуры геотермального района или отдельных, наиболее перспективных на выявление месторождений парагидротерм.

Известно [1, 9], что в северной части Северо-Парамуширского геотермального района расположена одноименная гидротермально-магматическая система, локализованная в пределах северных отрогов вулканического хребта Вернадского (рис. 1). Здесь на относительно небольшой территории разгружаются термальные воды различных типов - глубинных высокотемпературных, смешанных

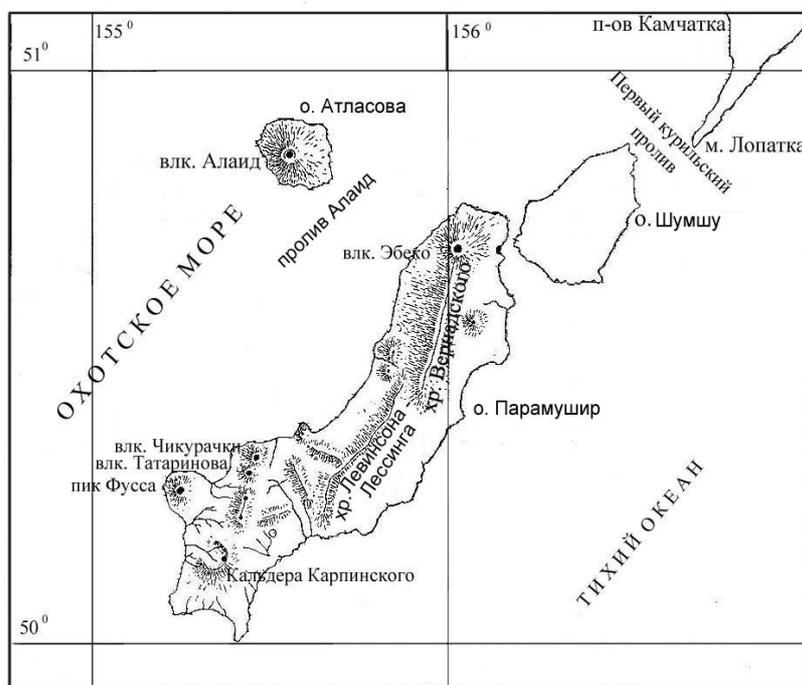


Рис. 1. Карта действующих вулканов Северных Курильских островов [2].

охлажденных и холодных метеорных. Наличие элементов линейности в их расположении предполагает возможность циркуляции термальных вод по субвертикальным или наклонным проницаемым зонам, однако конкретное их положение пока мало изучено. В данной работе выполнено исследование дизъюнктивной тектоники методом линеаментного анализа в сочетании с методами гидролого-гидрогеохимического исследования поверхностных вод.

2. Общая географическая характеристика района

Остров Парамушир расположен на северо-восточном окончании Большой Курильской островной дуги, вулканический хребет Вернадского слагает северную часть острова. Северо-Парамуширский геотермальный район в пространственном отношении соответствует хребту Вернадского, и имеет протяженность около 25 км, причём его границы в пределах хребта располагаются в районе вулкана Ветрового на севере и вулкана Вернадского на юге. Осевая часть геотермального района в морфологическом отношении представляет собой серию следующих друг за другом в субмеридиональном направлении моногенных и более сложно построенных четвертичных вулканических аппаратов, слагающих водораздел хребта Вернадского.

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.

3. Общая геологическая характеристика Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы

Северная часть о. Парамушир сложена породами, имеющими возраст от верхнемиоцен-плиоценового до современного. Фундамент составляют вулканогенно-осадочные породы парамуширского комплекса свит: вулканомиктовые песчаники, туфы, туфогравелиты охотской свиты, а также плохо сортированные конгломераты, брекчии, грубозернистые песчаники океанской свиты. С отложениями охотской и океанской свит согласны или прорывают их дайки, силлы, субвулканические образования сложной формы. Дайки имеют андезитовый и андезибазальтовый состав, мощность до первых десятков метров и близкий к силлам и субвулканическим телам возраст [9].

На отложениях охотской и океанской свит залегают лавы андезитов верхнеплиоценового возраста, образующих плато в южной части северного Парамушира. В северной части о. Парамушир из наиболее древних эффузивов вскрыты лавы базальтового состава, предположительно нижне-среднеплейстоценового возраста [11]. Здесь широко представлены, названные

междундиковыми, двупироксеновые андезиты. Четвертичные вулканы: Крашенинникова, Билибина, Богдановича, Неожиданный, Эбеко и др. образуют крупную линейную вулcano-тектоническую структуру, в недрах которой в течение длительного времени происходила миграция магматического расплава андезибазальтового состава. Вулканы Эбеко и Неожиданный, венчающие Северо-Парамуширскую гидротермально-магматическую систему, сложены наиболее молодыми постледниковыми лавами двупироксеновых андезитов или андезибазальтов.

Вулкан Эбеко является действующим. Известны извержения 1793, 1833-34, 4.10.1934-осень1935 (эксплозивное из среднего кратера), 1963, 1965 (фреатическое), 1967, 1970, 14.10.1987-апрель1990, 16-22.03 1998 (фреатические взрывы) [3, 5]. Последние извержения были фреатическими [1, 9].

4. Методика исследований

Применение линеаментного анализа, обычно позволяет выделить линеаменты всех направлений. При этом преобладающими направлениями во многих регионах Земли являются направления планетарной трещиноватости (ортогональные – субширотное и меридиональное, и диагональные – СЗ-ЮВ и СВ-ЮЗ). В частности, для вулканического хребта Вернадского на о. Парамушир (Северные Курильские острова) основными служат именно эти четыре направления. Поэтому особый интерес представляет развитие используемого нами метода, ориентированного на изучение ортогональной и диагональной сети линеаментов, так как по данным В.Л. Леонова (Леонов, устное сообщение) термопроявления северной части о.Парамушир приурочены к разрывным нарушениям данных простираний.

Так же используемый метод позволяет учитывать как линейные, так и кольцевые элементы рельефа [10].

На первом этапе исследований для решения поставленной задачи, на основании дешифрирования топографической карты масштаба 1:50000, были составлены следующие картосхемы: линеаментной сети, ортогональных и диагональных линеаментов, горизонтального эрозионного расчленения рельефа, кольцевых морфоструктур.

Составленная по материалам анализа топографических карт схема линеаментов корректировалась путём анализа космических снимков.

Важной методической проблемой линеаментного анализа является решение

вопроса о степени формальности таких построений. Не всегда известно, в каких случаях выявленные линеаментные узоры являются реальным отражением дизъюнктивной тектоники, а в каких – случайным сочетанием разнородных элементов рельефа. Для устранения этого недостатка существуют два пути. Первый, детальное полевое картирование, может потребовать многих лет работы, и авторами уже начаты такие исследования на некоторых участках хребта.

Однако нельзя не воспользоваться и другой особенностью линеаментного анализа, которая даёт большое преимущество при предварительных исследованиях геотермальных районов, - возможность получать при минимальных затратах времени и ресурсов генерализованную схему общего строения территории даже в том случае, если часть линеаментов выявлена ошибочно. Тем не менее, для повышения объективности исследования мы использовали и второй путь повышения достоверности такого анализа – сопоставление с данными геолого-гидрогеологического строения территории. Для этого нами выполнены работы по картированию теплового поля очагов скрытой разгрузки термальных вод и содержания хлора в поверхностных водах. При составлении карты теплового поля очагов скрытой разгрузки термальных вод использовалась формула:

$$Q \cdot t^{\circ}\text{C} : S = J \text{ ккал/км}^2\text{-с.}$$

где Q – расход воды (л/с); $t^{\circ}\text{C}$ – температура ручья; S – площадь водосбора.

J -вынос тепла в $\text{ккал/км}^2\text{-с}$, после чего полученные данные наносились на топографическую основу (В.И. Белоусов, устное сообщение).

5. Фактический материал

На картосхеме линеаментной сети (**рис. 2**) отчётливо проявляются зоны меридионального простирания, состоящие из трёх параллельных линеаментов. Одна из них (Осевая меридиональная зона) приурочена к осевой части северного сектора острова, две другие окаймляют её с обеих сторон, образуя фигуру, напоминающую эллипс. Развитые в пределах таких зон породы быстро осваиваются гидросетью и хорошо проявляются в рельефе, что благоприятствует обнаружению и прослеживанию разрывных нарушений. На северном и южном окончаниях данной структуры обнаружены две крупные симметрично расположенные овальные области (соответствующие среднечетвертичному вулкану Ветровой и горе Вернадского), ограниченные со всех сторон оперяющими трещинами.

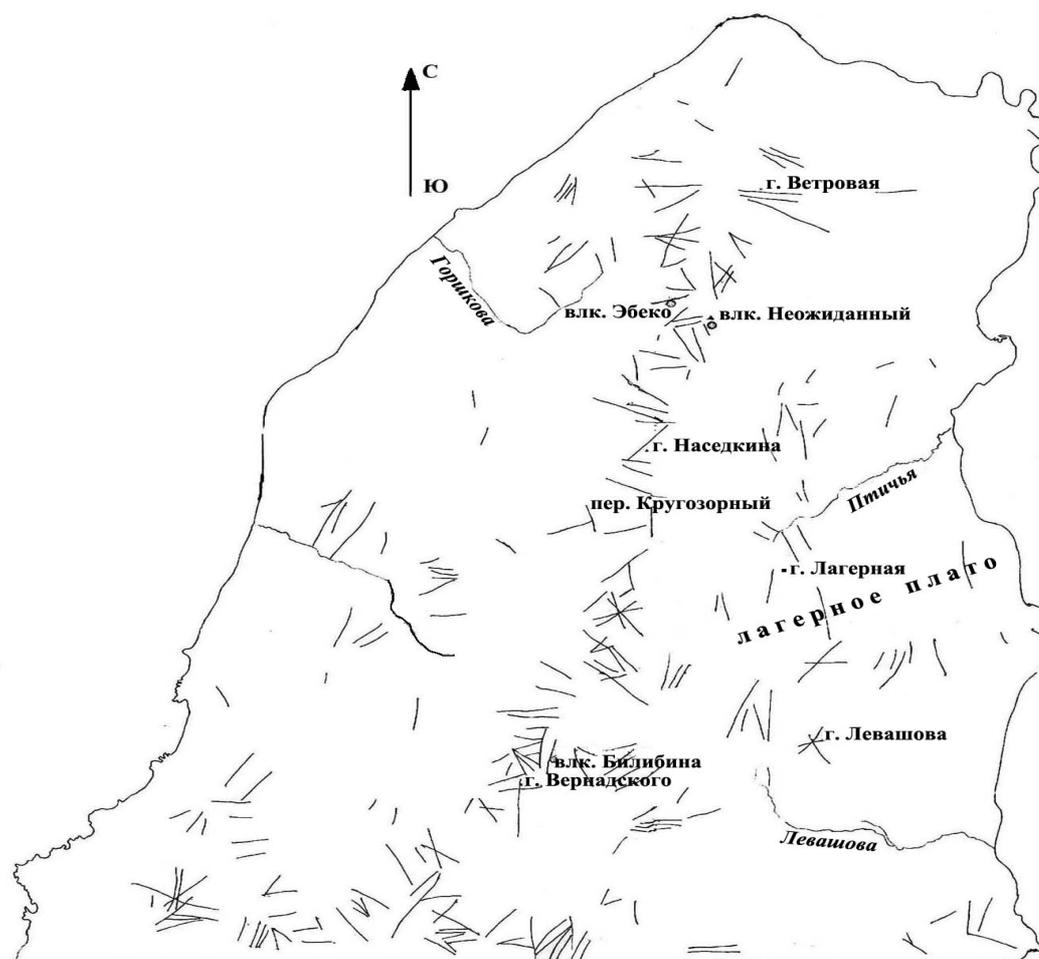


Рис. 2. Картограмма линейной сети.

Примечательно, что эти две кольцевые структуры замыкают северное и южное окончание Осевой Меридиональной линейной зоны, и именно к этому ансамблю линейных и кольцевых структур пространственно приурочено большинство новейших вулканических морфоскульптурных форм рельефа и очагов разгрузки на дневную поверхность термальных вод. Район г. Вернадского пространственно соответствует крупному разлому субширотного простирания, в центральной части которого наблюдается смещение его бортов по механизму левостороннего сдвига.

На территории восточного побережья северного сектора о. Парамушир видна чешуеобразная структура, включающая в себя р. Левашова, центральную часть хр. Вернадского и р. Птичья.

На картограмме горизонтального эрозионного расчленения чётко

прослеживается активное развитие эрозионных процессов в осевой части объекта. На фоне общей высокой интенсивности расчленения рельефа хр. Вернадского наблюдаются зоны с относительно низким горизонтальным расчленением в его периферийных частях. Восточная часть северного сектора острова, которая сложена ледниковыми и современными аллювиальными, морскими и озерными отложениями проработана эрозией гораздо сильнее, чем западная её часть, сложенная в основном лавами андезитового и андезибазальтового состава. При сравнительном анализе топографической карты и картосхемы эрозионной расчлененности отмечается, что весь северный сектор острова разделён на горизонтально вытянутые, попеременно сменяющие друг друга и различающиеся по степени эродированности, блоки.

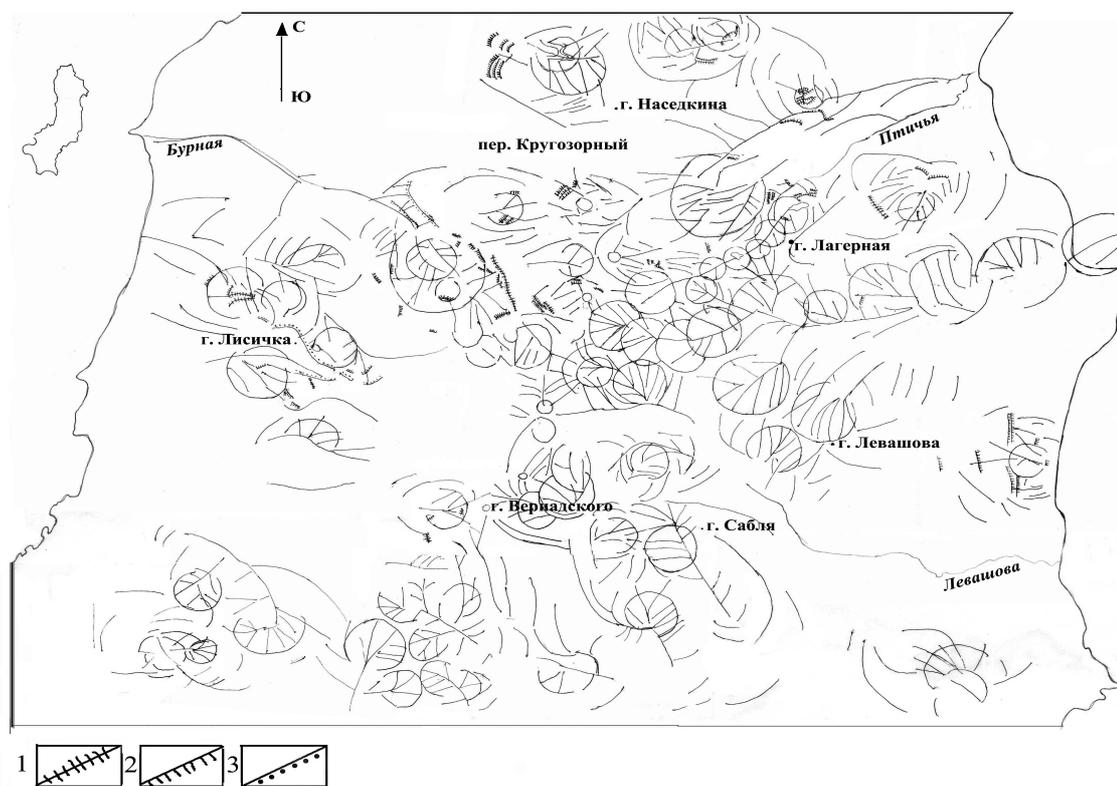


Рис. 3. Картосхема кольцевых структур.
1 – преобладающее простирание изолиний; 2 – уступ; 3 – бровка

На схеме кольцевых морфоструктур (рис. 3) хорошо проявлен радиальный рисунок, приуроченный к сочленению двух смежных наиболее крупных кольцевых морфоструктур, проявленных на схеме. Одна из них находится в районе горы Краснухи, расположенной в центральной части постройки. Южная часть структуры имеет значительно более чёткие очертания по сравнению с северной и представляет

собой полукруг правильной формы. Вторая находится в районе г. Сабля и представляет собой вихреобразную по форме структуру. Наибольшее количество кольцевых структур приурочено к осевой части хр. Вернадского.

Кроме того, в восточной и западной частях о. Парамушир обнаруживаются линейно вытянутые скопления кольцевых структур, соответствующие ослабленным зонам, проявленным на карте линеаментов. Такие структуры на территории северной части о. Парамушир распространены почти повсеместно, за исключением участков, перекрытых лавами или обвальными-осыпными отложениями.

На схеме структуры теплового поля очага разгрузки (**рис. 4**) хорошо видно, что на территории Северо-Парамуширского геотермального района отсутствуют обширные участки скрытой разгрузки термальных вод в поверхностные водотоки, наименьший вынос тепла характерен для его осевой части хребта Вернадского.

Исключение составляет обширный веерообразный в плане участок в бассейне рек Птичь и Наседкина, дренирующих восточные склоны хребта. Здесь происходит интенсивный вынос тепла, причём на территории р. Птичьей выделяются две аномальные зоны (в верховьях ($30967 \text{ ккал/км}^2\text{с}$) и в устье реки ($10306 \text{ ккал/км}^2\text{с}$)), совпадающие по значениям с ареалом высоких концентраций хлора в поверхностных водах. На инфракрасном снимке эта территория также выделяется как одна из наиболее тёплых зон. Более того, этот район чётко вписывается в центр вышеупомянутой кольцевой структуры (см. рис. 3).

6. Обсуждение результатов анализа

Проявленные на картосхеме линеаментной сети две симметрично расположенные овальные области (соответствующие среднечетвертичному влк. Ветровой и влк. Вернадского), ограниченные со всех сторон оперяющими линеаментами, могут свидетельствовать о высокой проницаемости земной коры на этих участках. По геологическим данным видно, что к этому ансамблю линейных и кольцевых структур пространственно приурочено большинство новейших вулканических морфоскульптурных форм рельефа и скрытых очагов разгрузки термальных вод. Особенно много локализованных выходов гидротерм наблюдается у подножия влк. Ветрового, тогда как в эродированной части его постройки термы отсутствуют.

Поскольку линеаментный анализ выполнялся на основе анализа эрозионной сети, то этот факт свидетельствует о развитии вокруг построек вулкана Ветровой и г.

Вернадского кольцевых просадок, проработанных речными долинами. Этому явлению могут быть даны три возможных объяснения:

- Если предположить, что постройки вулканов Ветрового и Вернадского сформировались в более древних кальдерных депрессиях, то кольцевые долины могут обрамлять каждую из построек и ограничиваться при этом бортами кальдеры.
- Не исключено также, что кольцевые линеаменты вокруг каждого из вулканов трассируют кольцевые ослабленные зоны над разрывами, относящимися к элементам строения магматического комплекса центрального типа, обеспечивающего магматическое питание этих вулканов.
- Третье возможное объяснение – приуроченность речных долин к кольцевым компенсационным опусканиям, образовавшимся вокруг вулканических построек, нагружающих своим весом подстилающие их геологические слои.

На данном этапе исследований сложно остановиться на одном из перечисленных механизмов или говорить о совместном их действии. Однако очевидно, что наличие ослабленной кольцевой зоны определяет пути циркуляции нагретых термальных и холодных вод метеорного происхождения.

Расположенная на восточном побережье северной части о. Парамушир чешуеобразная структура представляет интерес с точки зрения изучения глубинных тектоно-магматических процессов.

Достаточно чёткое отражение линеаментов различного простирания в рельефе Северной части о. Парамушир, возможно, является результатом их неоднократной тектоно-магматической активизации.

Развитие современных эрозионных процессов в осевой части геотермального района с высоким горизонтальным расчленением даёт основание допускать проявление здесь интенсивных вертикальных движений. Зоны же низкой эродированности в периферийных частях хр. Вернадского могут свидетельствовать о замедлении поднятия хребта. Впрочем, возможно и другое объяснение. Известно, что у подножия вулканических построек, даже небольших по масштабам, формируется мощный пояс вулканического пролювия, горизонтальная расчленённость которого обычно ниже расчленённости постройки [6]. Скорее всего, на хребте Вернадского проявляются оба фактора. Очевидно также, что значительная часть восточных склонов северного сектора острова проработана эрозией гораздо сильнее, чем западная её часть, из-за большей площади ледниковых, аллювиальных, морских и озерных отложений.

Выявленные при сравнительном анализе топографической карты и карты эрозионной расчлененности горизонтально вытянутые, различающиеся по степени эродированности участки, возможно, соответствуют различным блокам, различающимся между собой по глубинному строению и направленности вертикальных движений. На гидрогеологической-гидродинамической схеме северной части о. Парамушир [13] выделены два крупных тектонических блока, положение и размеры которых согласуются с нашими данными.

Образование вихреобразного сочетания кольцевых структур может быть обусловлено неоднородным полем деформации, приведших к образованию этих структур, сопровождавшимся значительным перекосом всего деформируемого блока пород с проявлением деформаций вращения.

Единство структурного плана и пространственная связь кольцевых структур с верхнечетвертичными вулканитами позволяет предположить, что верхнечетвертичные вулканиты были сингенетичны локальным магматическим телам. Независимо от конкретных механизмов происхождения таких структур (вулканические структуры, концентрические и кольцевые дайковые комплексы, магматические комплексы центрального типа, радиально-концентрические надинтрузивные зоны и т.д.), центр каждой из кольцевых структур соответствует апикальной части магматического тела. Известно, что при времени заложения магматического очага более 40-100 тыс. лет, он остывает, если не происходит повторное его пополнение магмой [12]. Следовательно, формирование средне-верхнеплейстоценовых вулканических аппаратов было связано с деятельностью уже остывших магматических очагов. Вместе с тем, обилие одноактных небольших голоценовых построек в осевой части хребта (особенно вблизи вулкана Эбеко), свидетельствует о том, что их магматическое питание происходит из нескольких небольших магматических очагов. Можно предположить, что хребет Вернадского сформировался вследствие выноса вулканического вещества из магматических очагов, входящих в единую длительноживущую магматическую питающую систему, заложившуюся в среднем-верхнем плейстоцене вдоль ослабленной проницаемой зоны, которой пространственно соответствует сейчас осевая часть хребта Вернадского.

Другими словами, данные морфоструктурного анализа позволяют предположить, что не ослабленная зона приурочена к осевой части хребта, а наоборот, хребет Вернадского сформировался над ослабленной зоной, причём

наибольшие объёмы отложившегося вещества приходятся на линию, соединяющую апикальные зоны действующих и остывших магматических очагов. По понятным причинам мы не рассматриваем в данной работе механизмы заложения проницаемой зоны, контролирующей местоположение магматических очагов. Однако очевидно, что с учётом новых данных необходимо переосмысление понятия магмо-гидротермальной системы, и, как следствие, оценки геотермальных ресурсов. На данном этапе исследования можно лишь утверждать о большей локальности разгрузки термальных вод, чем предполагалось ранее на основе уже сложившихся представлений о магмо-гидротермальных системах.

На схемах линеаментной сети и эрозийного расчленения хорошо проявлены разрывы, поперечные к магмоконтролирующей проницаемой зоне осевой части хребта. Особенно отчётливо они проявлены в прибрежной части острова, где смещения береговой линии и водотоков, а также изменения высот свидетельствуют о существовании здесь современных вертикальных движений типа сбросо-сдвигов. Известно, что сбросо-сдвиговые деформации сопровождаются образованием сместителя разлома с неровной, волнистой поверхностью, где наиболее открытые (проницаемые) участки имеют субгоризонтальное или пологое залегание. Исходя из такого предположения, становится понятным выявленное ранее [4] растекание термальных вод от оси хребта не только в северном направлении (вдоль оси проницаемой субмеридиональной зоны растяжения), но и в поперечных к ней северо-западном и северо-восточном направлениях. В пределах субмеридиональной зоны происходит вертикальный подъём термальных вод с глубины и растёк их в стороны от надапикальных зон магматических очагов (выступающих в качестве источников теплового питания). По мере приближения к поверхности часть разгрузки глубинных вод происходит по поперечным разломам, причём движение термальных вод происходит по пологим проницаемым зонам, расположенным в плоскостях сместителей сбросо-сдвигов северо-западного и северо-восточного простирания. Наибольшие масштабы разгрузки термальных вод достигаются в бассейне Птичьа и Наседкина, однако, эта разгрузка предопределяется здесь латеральным растёком глубинных терм, смешанных к тому же с вадозными и метеорными водами. В этих условиях наличие высокой проницаемости не является гарантией обнаружения экономически значимых ресурсов термальных вод. Определённый интерес могут представлять только зоны растяжения, расположенные в осевой части хребта Вернадского. Для того, чтобы получить подземное тепло, необходимо отказаться от

2. В пределах субмеридиональной зоны происходит вертикальный подъём термальных вод с глубины и растёк их в стороны от надапикальных зон магматических очагов. Наибольшие масштабы разгрузки термальных вод достигаются в бассейне Птичьа и Наседкина, однако эта разгрузка предопределяется здесь латеральным растёком глубинных терм, смешанных к тому же с вадозными и метеорными водами. В этих условиях наличие высокой проницаемости не является гарантией обнаружения экономически значимых ресурсов термальных вод.
3. В распределении линейных и кольцевых линеаментов о. Парамушир проявляется строение глубинных (корневых) частей гидротермально-магматической структуры. В частности, предполагается наличие куполовидной интрузии, проявленной на дневной поверхности в виде овального рисунка линеаментов с хорошо выраженной системой радиальных и кольцевых структур. Наибольшая плотность линеаментов характерна для осевого разлома, вдоль которого вытянут овал. На окончаниях разлома расположены две кольцевые структуры, к которым приурочена позднеплейстоцен-голоценовая вулканическая деятельность. Вероятно, именно здесь можно ожидать наибольшее количество проницаемых зон для термальных вод.

Авторы благодарят д.г.-м.н. С.Н. Рычагова за постановку проблемы, организацию работ и редакцию статьи; к.г.-м.н. И.Ф. Делемена за помощь в выборе темы и интерпретации материала; к.г.-м.н. В.И. Белоусова за ценные советы и постоянное участие при выполнении работы; Е.Г. Калачёву за поддержку в полевых исследованиях; Г.В. Брянцеву, к.г.-м.н. Л.В. Панину, к.г.-м.н. А.И. Полетаева, д.г.-м.н. проф. Н.В. Короновского за понимание, критические замечания, консультации и методическое обеспечение.

Работа выполнена по программам и при поддержке проектов и грантов:

ДВО РАН № 05-III-Г-08-146; ДВО РАН № 05-III-Е-08-029; НШ-2294-2003.5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **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.
2. **Горшков Г.С.** Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. С 57 – 82.
3. **Горшков Г.С.** Действующие вулканы Курильской островной дуги // *Молодой вулканизм СССР*. М.: Издательство академии наук СССР, 1958. С. 5 –19.
4. **Калачёва Е.Г.** Геохимические особенности подземных вод в области активного вулканизма // *Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук*.

- наук. Новосибирск, 2004. 24 с.
5. **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. 69-81.
 6. **Мелекесцев И.В.** Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука. 1980. 212 с.
 7. **Опыт комплексного исследования района современного и новейшего вулканизма (на примере хр. Вернадского, о. Парамушир).** Отв. Ред. С. И. Набоко. Южно-Сахалинск, 1966. 204 с.
 8. **Рычагов С.Н.** Характеристика глубокого геологического разреза вулкана Эбеко и минерало-рудообразование // *Современные гидротермальные системы и эпitherмальные золото-серебряные месторождения Камчатки. Петропавловск-Камчатский*, 1998. С. 64-69.
 9. **Рычагов С.Н., Белоусов В.И., Главатских С.Ф. и др.** Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая система: характеристика глубокого геологического разреза и модель современного минерало-рудообразования в её недрах // *Вулканология и сейсмология*. 2002. № 4. С. 3-21.
 10. **Флоринский И.В.** Визуализация линеаментов и структур центрального типа: количественные топографические подходы. Препринт. Пушино: ПНЦ РАН, 1992. 47 с.
 11. **Чудаев О.В.** Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2003. 174 с.
 12. **Федотов С.А., Делемень И.Ф., Уткин И.С., Уткина Л.И.** Динамика роста и развития проточных магматических очагов Мутновско-Гореловской группы вулканов, их тепловые поля и накопленное ими подземное тепло (см. настоящий сборник статей).
 13. **Rychagov S. N., Kalacheva E.G., Belousov V.I.** Hydrodynamic structure of North-Paramuschir hydrothermal-magmatic system (the Kuril islands) // *Geothermal Resources Council*, 2002, September 22-25, Reno, Nevada, USA.