

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу ХУБАЕВОЙ О.Р.
«ТЕПЛОЕ ПИТАНИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ ХРЕБТА ВЕРНАДСКОГО
(О. ПАРАМУШИР, КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)»,
представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук
по специальности 25.00.01 – «Общая и региональная геология»

Актуальность диссертации О.Р. Хубаевой определяется тем, что она вносит существенный вклад в изучение гидротермальных процессов, которые потенциально могут использоваться как относительно недорогой и экологически чистый источник электроэнергии и тепла. В настоящее время направление геотермальной энергетики в мире развивается весьма активно. В некоторых регионах геотермальные источники покрывают существенную часть энергетических потребностей, а отдельные страны даже экспортируют геотермальную энергию. Особенно важным представляется создание небольших геотермальных станций на удаленных территориях, где обеспечение традиционными источниками энергии затруднено. В частности, такого рода системы активно развиваются на Алеутских островах, которые чрезвычайно схожи по природным условиям с Курильскими островами. Наработки О.Р. Хубаевой активно используются при проведении поисков геотермальных месторождений на острове Парамушир.

Научная новизна работы заключается в получении новых фактических данных, указывающих на связь между гидротермальными проявлениями, наблюдаемыми на поверхности, и глубинными магматическими источниками. Впервые построена трехмерная модель раздробленности пород верхней коры в северной части острова Парамушир. На основании этого выявлены скрытые разрывные нарушения, к которым приурочена миграция флюидов.

Теоретическая значимость работы Ольги Руслановны заключается в построении концептуальной модели взаимодействия магматических источников и гидротермальных систем в районе хребта Вернадского на о. Парамушир. Выявленные закономерности могут оказаться применимыми для объяснения характера геотермальной активности в других островных дугах, например, на Алеутских островах, которые оказываются во многом схожими с Курильскими островами.

Диссертационная работа имеет важное **практическое значение**. Разработанные методики по выявлению магматических тел, разрывных нарушений и геохимических аномалий могут быть применены для поисков и разведки гидротермальных ресурсов в районах с современной вулканической активностью. Результаты, представленные в диссертации, были использованы для интерпретации геофизических данных в рамках разведочных работ по изучению перспектив использования подземного тепла с целью

обеспечения энергией населения острова Парамушир и других островов Курильской дуги. Это имеет важное значение для реализации государственной программы по социально-экономическому развитию Курильских островов.

Диссертация начинается с представления основных терминов, используемых в работе. Это очень полезная часть работы, однако, как мне кажется, в ней представлены далеко не все специальные термины, использующиеся в дальнейшем описании и требующих четкого определения. В частности, термины «*дайка*» и «*линеament*» интуитивно понятны каждому специалисту и не требуют столь подробного обоснования. С другой стороны, для таких терминов, как «*гидротермы, fumarолы, аргиллизация, мааро-диатремовый вулканизм* и пр.», встречающихся по ходу текста, было бы полезно дать краткие определения в данном разделе.

В первой главе описываются особенности вулканизма в Курильской дуге. Большая часть описания сводится к проблеме дайкообразования в земной коре и роли магматических тел в формировании геотермальных источников. Вместе с тем, данная глава построена, по моему мнению, не совсем оптимальным образом. При описании геодинамики и вулканизма Курильских островов использованы литературные источники 60-80 х годов прошлого века. Не умаляя важность классических работ по этой теме, считаю, что необходимо было использовать более свежие работы, основанные на современных результатах. Удивляет, что в данной главе практически отсутствует слово «субдукция», а ведь именно этот процесс является первоосновой формирования вулканических систем в данной области. Именно субдукционные процессы ответственны за насыщение глубинных магматических источников флюидами, что, в свою очередь, имеет принципиальное значение при функционировании геотермальных комплексов. Наконец, состав магматического материала, его мобильность и объемы целиком определяются субдукционными процессами. В контексте данной работы было бы важно упомянуть наличие различных режимов субдукции под Камчаткой, южной и северной частью Курильской дуги, что во многом определяет особенности вулканической и геотермальной активности этих регионов.

В данном разделе проводятся параллели с характером вулканизма Исландии и Гавайев, что кажется мне не совсем корректно, поскольку эти примеры представляют собой случаи плюмового вулканизма, являющегося принципиально отличным от субдукционного. Более уместным было бы привести результаты по изучению, например, Алеутской дуги, которая представляется очень схожей с Курильской. В частности, мне известны весьма детальные геохимические и геофизические исследования с целью разведки геотермальных ресурсов на острове Акутан, который по всем признакам удивительно

похож на о. Парамушир. Уверен, что использование имеющихся материалов для этого случая помогло бы лучше понять суть геотермальных и магматических процессов для рассматриваемых в настоящей работе объектов.

Глава 2 посвящена представлению геолого-географических характеристик острова Парамушир и включает в себя описание особенностей вулканизма и геотермальной активности. Представленный обзор дает достаточно полную картину всех геологических структур на острове и их эволюцию в геологическом прошлом. Особое внимание в обзоре уделяется северной части острова, которая является главным объектом исследования данной работы. В этой части обзора приводится описание вулканов, расположенных на острове Парамушир. Значительную часть главы 2 занимает описание гидротермальных и фумарольных проявлений на острове, что является необходимым элементом для представления сути работы. Настораживает, что все описание вулканов базируется на работах 50-60 х годов прошлого века. Могу также отметить, что в этом обзоре мне не хватает информации о хронологии основных эруптивных событий в недавнем геологическом прошлом. Имеется только описание исторических извержений вулкана Эбеко, а, например, для системы Богдановича-Крашенинникова, которая также занимает одно из центральных мест в настоящей работе, никакой информации о прошлых извержениях не приводится. Такая информация является принципиально важной, учитывая то, что основным источником термальной активности в этом регионе являются остывающие дайки, которые, вероятно, были связаны с прошлой магматической активностью.

Глава 3 посвящена описанию методов, использовавшихся в настоящем исследовании. По моему мнению, этот раздел структурирован не слишком удачно. Насколько я понял, в работе использованы две основные группы методов: гидролого-геохимические и геоморфологические. Соответственно, группировать их следует именно по этому признаку, а не вперемешку, как в настоящей версии. Первая группа включает в себя полевые измерения температуры и химических параметров вод, их обобщение и интерпретацию. В этой части следовало бы более подробно описать все методики, которые использовались в полевых и камеральных работах, а также методы и инструменты для проведения анализов. Это необходимо для четкого понимания достоверности результатов, полученных посредством этой группы методов.

Вторая группа включает в себя структурно-геоморфологические методы, направленные на выявление пространственных закономерностей распределения топографических, тектонических и магматических структур в изучаемом регионе. Ключевым направлением в этой части является линеаментный анализ и попытка

определить с его помощью распространение разрывных нарушений в коре на глубину. Возникает ряд вопросов, касающихся конкретных шагов при выделении линеаментов. Насколько я понял, анализ рельефа производился по напечатанным топографическим картам масштаба 1:50 000. Вместе с тем, насколько мне известно, для этого острова существуют достаточно детальные цифровые модели рельефа. Путем существующих инструментов подсвечивания под разными углами этих моделей (например, посредством программы Surfer) возможно выделять более тонкие линейные структуры, которые в явном виде в топографии не прослеживаются. Использовались ли такого рода возможности в данной работе? Мне кажется, что в этом разделе автору следовало бы более подробно и конкретно описать свои действия при выделении линеаментов. Например, Рисунок 3.1, который должен иллюстрировать принцип построения линеаментов, большой ясности не вносит. Остается непонятным, почему отдельные источники по разные стороны водораздела соединяются друг с другом, а другие нет. Никаких четких критериев для построения линий я не вижу в данном случае. Остается непонятным, использовались ли при построении карт линеаментов какие-либо формализованные подходы, или же эти структуры определялись на основании исключительно субъективного ощущения автора. Являются ли эти карты научно повторяемыми? Другими словами, не получится ли, что другой специалист при реализации схожих действий выделит совершенно другие линеаменты? Думаю, этих вопросов можно было бы избежать, если бы в этой главе были бы описаны более подробно конкретные шаги и формальные критерии, которые использовались для построения линеаментов в данном случае.

Отдельным разделом стоит метод дешифрирования спутниковых и аэрофотоснимков, описание которого занимает всего 7 строк. Такая краткость порождает сомнение в том, что этот метод использовался на практике в рамках данной работы. В противном случае при успешном выделении значимых структур, следовало бы показать примеры снимков с наложенными линеаментами. Как мне кажется, это могло бы оказаться более показательным, чем выделение структур на топографической карте, как продемонстрировано на рисунке 3.2.

Раздел «Метод трехмерного моделирования тектонической раздробленности» (Раздел 3.6), как мне кажется, является продолжением части линеаментного анализа и должен следовать сразу же за ним. Работа этого метода основывается на предположении, что глубина проникновения разрывных нарушений в земную кору напрямую зависит от размера площадки, по которой производится усреднение наблюдаемых на поверхности структур. Другими словами, если усреднение производится по клетке размером 500 м, то выявленные в ней структуры являются локальными и вряд ли прослеживаются глубже

нескольких сотен метров. В случае, если размер ячейки составляет несколько километров, и в ней наблюдаются явно когерентные линеаменты, то связанные с ними структуры расположены на больших глубинах. Как мне кажется, этот метод вряд ли может претендовать на абсолютную универсальность. Например, линейные рисунки дюн в пустынях, которые прослеживаются в отдельных районах на сотни километров, являются лишь приповерхностными эффектами взаимодействия песка и ветра, и никакого отношения к процессам в коре и мантии Земли они не имеют. С другой стороны, некоторые региональные разломные зоны, пронизывающие всю кору на глубины десятки километров, на поверхности представляют собой широкие долины, полностью заполненные молодыми осадками, без видимых проявлений крупных линеаментов (например, разлом Мертвого моря выглядит именно таким образом). В этом случае данный метод вряд ли показал бы какие-нибудь глубинные разрывные нарушения. При описании метода трехмерного моделирования тектонической раздробленности очень важно было бы продемонстрировать примеры успешного его применения в районах с хорошо изученной глубинной структурой, например, посредством сейсморазведки. Такого рода тесты с успешной верификацией этого метода было бы полезно поместить в методологический раздел, что существенно повысило бы доверие к результатам, представленным в основной части диссертации.

Метод определения механизмов землетрясений стоит отдельным пунктом и занимает в тексте диссертации всего 7 строк. Разумеется, никакого серьезного описания методики при таком объеме дать невозможно. Судя по всему, этот метод в работе по-настоящему не использовался; поэтому непонятно, зачем его представлять в данной главе. В результатах на стр. 52 этот подход упоминается вскользь, причем в том контексте, что при имеющейся системе сейсмологических наблюдений невозможно обеспечить достаточную достоверность определений механизмов землетрясений, и, поэтому, большого вклада этот метод в общие выводы не вносит. Считаю, что этот метод вообще не стоило упоминать.

Рисунки 3.4. а и б по сути повторяют Рисунки 5.1 и 5.2, только в них отсутствуют условные обозначения. Не думаю, что такое повторение графического материала является оправданным.

Глава 4 начинается с описания выделенных на картах и снимках линейных структур и интрузивных тел, а также анализа их взаимосвязи. Во второй части главы приводятся подробные характеристики магматических тел (даек, некков и воронок взрыва), изученных автором по ходу полевых работ. Этот раздел прекрасно проиллюстрирован и дает достаточно полную информацию о характеристиках этих тел. Насколько я знаю, последнее

подробное описание этих структур было проведено в работах Родионовой и др. (1966), Гаврилова и др. (1966), Берштейна и др. (1966): О.Р. Хубаевой удалось существенно дополнить и обобщить имеющуюся информацию, что, несомненно, является важным вкладом в описание геологического строения острова Парамушир.

На основании сопоставления результатов линеamentного анализа и распределения центров геотермальной и вулканической деятельности сформулировано **первое защищаемое положение** о том, что современная гидротермальная деятельность хребта Вернадского связана с тремя зонами разрывных нарушений, одна из которых направлена вдоль хребта, а две другие – вкрест. Пересечения этих зон маркируют зоны аномальной вулканической и геотермальной активности в районе комплексов Эбеко и Богдановича. Этот результат полностью подтверждается фактическим материалом. Интересно, что приуроченность вулканов к пересечению разломных зон схожим образом проявляется во многих других местах, например, в районе вулканов Толбачик и Безымянный, что объясняется наличием ослабленных зон в коре в точках пересечения разломов, благоприятных для подъема магмы и флюидов. Таким образом, полученный в данной работе результат является важным шагом для лучшего понимания механизма этого процесса и может быть применен и для исследования других вулканических и геотермальных зон мира.

Результаты линеamentного анализа, дополненные данными грави- и магниторазведки, послужили основой для формулировки **второго защищаемого положения**, согласно которому под восточным склоном хребта Вернадского выделяется крупное интрузивное тело на глубине 2.5 км. Следует отметить, что я нахожу данное защищаемое положение менее удачным, чем остальные два. Во-первых, довольно проблематично найти место в тексте, где в явном виде приводится его обоснование. Неявные упоминания структур под восточным склоном встречается как в четвертой, так и в пятой главах, однако четкого указания фактов, подтверждающих это положение, я не нашел. Во-вторых, сама формулировка требует редактирования. С сокращениями и моими комментариями оно звучит следующим образом: “*Скрытое разрывное нарушение (ИЮК: как я понимаю, выделенное по результатам линеamentного анализа)... совпадает с крупным интрузивным телом (ИЮК: я не нашел явных доказательств наличия интрузивного тела, только предположения, основанные на данных геофизики, но об этом в положении не сказано ни слова)... а также проявляется в трехмерной модели тектонической раздробленности...* (ИЮК: также выделенной по результатам линеamentного анализа; см начало предложения)”. То есть результаты линеamentного

анализа проявляются в результатах этого же линеаментного анализа. Считаю, однако, что данное положение с некоторыми оговорками может считаться обоснованным.

При прочтении **Главы 4** у меня возник ряд вопросов и замечаний, которые приведены ниже.

На странице 65 обсуждается связь между наличием радиальных линеаментов вокруг вулканической постройки с напряжениями и деформациями, вызванными внедрением магматического вещества по оси вулкана. Мне это объяснение кажется маловероятным. Наличие радиальных структур вокруг вулканов связано, прежде всего, с эрозионными процессами, а не тектоникой. Типичный пример – практически идеально распределенные радиальные барранкосы на вулканах Корякский и Вилючинский, отражающие полосы сползания ледников со склонов. Никакого отношения к внедрению магмы внутри постройки эти структуры не имеют. Автор утверждает, что данный тезис подтверждается наличием радиально-ориентированных даек на вулкане Ветровой, однако на Рисунке 4.8, на котором представлены результаты выделения таких тел, я не могу обнаружить структуры с радиальной направленностью.

На странице 76 приведена схема образования эруптивных воронок, как результат деятельности мааро-диатремовых вулканов. На Рисунке 4.18, иллюстрирующем этот процесс, трудно понять масштаб структур. Речь идет о десятках километров, километрах или десятках метров? Необходимо было в тексте уточнить порядок величины размеров этих структур. Также не сказано, для каких объектов построена эта схема. Являются ли они сходными по составу, explosивности и прочим характеристикам с вулканическими структурами, наблюдаемыми на о. Парамушир вдоль хребта Вернадского?

На Рисунке 4.1 перепутаны обозначения горячих и холодных источников

Глава 5 посвящена обобщению всего имеющегося материала и определению на его основе механизмов теплового питания гидротермально-магматических систем хребта Вернадского с учетом ранее полученных результатов геофизических исследований (гравитационных и магнитных измерений) и бурения. Очень интересными мне показались концептуальные схемы, показанные на рисунках 5.5 и 5.9 и представляющие связь между глубинными магматическими очагами и приповерхностными гидротермальными процессами вкост хребта Вернадского в районах вулкана Крашенинникова (Рисунок 5.5) и Эбеко (Рисунок 5.9). К сожалению, О.Р. Хубаева не представила аналогичный профиль вдоль хребта Вернадского, который связал бы эти два вулканических центра и показал бы возможную связь между ними. Эти схемы являются, на мой взгляд, наиболее важным результатом настоящего исследования.

На основании этих концептуальных схем было выдвинуто **третье защищаемое положение** об определяющей роли интрузивных тел в тепловом питании термальных источников северной части острова Парамушир, которые пространственно локализованы в зонах разрывных нарушений. В работе приведено достаточно аргументов, доказывающих обоснованность этого утверждения.

По ходу прочтения **Главы 5** у меня возникли некоторые вопросы и комментарии.

В таблице 1 приводятся результаты измерений характеристик воды в источниках в районе средней части хребта Вернадского, на основании которых делаются оценки величин выноса тепла. Для стороннего читателя непросто понять смысл представленной информации; автору следовало бы представить краткое описание основных приведенных параметров. Например, S , очевидно, показывает площадь распространения источников, однако не ясно, как она определяется. Мне непонятно, например, почему холодный источник Св02/04 с температурой 2 градуса выносит 20 000 кКал/с тепла, что существенно больше, чем в случаях источников с гораздо большей температурой, которые также приводятся в этой таблице. Понятно, что это определяется объемом вытекающей воды, который в случае Св02/04 на порядки больше. Но разве можно рассматривать источник с температурой 2 градуса, как место аномального прогрева? По-моему, вне зависимости от объема выходящей воды данный источник является местом, где никакой термальной активности нет.

Неожиданной для меня оказалась карта перспективности на термальные воды (Рисунок 5.3), которая, насколько я понимаю, не бьется ни с наличием современной вулканической деятельности, ни с результатами по гидротермальной активности, представленными в настоящей работе. Действительно, максимальная интенсивность аномалий на Рисунке 5.3 достигается в районах вулканов Билибина и Вернадского, где, согласно описанию в диссертации, в настоящий период времени нет ни термальной, ни вулканической активности. С другой стороны, горячие источники в районе вулкана Эбеко и р. Юрьева (Рисунок 4.1) очень слабо проявляются на этой карте. Некоторое соответствие наблюдается с распределением выноса тепла в верховьях р. Птичь, показанного на Рисунке 5.1, однако более детальное рассмотрение аномалий показывает, что их максимумы расположены в разных местах. Необходимо пояснить причину такого несоответствия.

При интерпретации результатов грави- и магниторазведки следует относиться критически к точности определения аномалий на глубине. В тексте упоминаются точные цифры глубины расположения и размеров магматических очагов на основе этих данных (например, на странице 106), вместе с тем, надо помнить, что при интерпретации такого

рода данных существует довольно большая степень неоднозначности, и к этим оценкам следует подходить осторожно.

В финальной части работы проводится сопоставление полученных для острова Парамушира результатов с другими примерами гидротермальной активности и дайкообразования, например, в случае вулкана Мутновского на Камчатке. Из схожести этих примеров следует, что выявленные связи являются характеристикой не только изучаемого региона, но и могут являться общей закономерностью для многих вулканических областей. В **заключении** диссертации в тезисной форме повторяются основные результаты, полученные соискателем в рамках настоящего исследования.

Достоверность сделанных в диссертации выводов определяется большим объемом фактического материала, применением широкого спектра методов и приемов исследований, глубоким анализом полученных данных, применением современных приемов моделирования.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Однако мне непонятно, почему автор не привел в автореферате концептуальные схемы питания гидротермальной активности (Рисунки 5.5 и 5.9 в диссертации), которые кажутся мне наиболее ярким результатом настоящего исследования.

Работа апробирована на многочисленных международных, всероссийских и региональных конференциях. По теме диссертации опубликовано 15 работ, из них 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК.

Несмотря на возникшие замечания, можно сделать вывод, что Ольгой Руслановной Хубаевой проведена большая работа по исследованию источников питания гидротермальной активности в вулканических областях, которая имеет **научную новизну, очевидную практическую значимость** и важна для решения многих фундаментальных проблем. В совокупности результаты диссертации О.Р. Хубаевой могут быть квалифицированы как значительное научное обобщение, имеющее высокую значимость для науки и практики. Поставленные в работе задачи полностью выполнены и цель достигнута. Работа написана грамотно и хорошо иллюстрирована рисунками и таблицами фактического материала, полученного автором.

Диссертация соответствует паспорту специальности 25.00.01 – Общая и региональная геология в пунктах: 4. «Модели геологического развития регионов: разработка пространственно-временных моделей их развития и анализ закономерностей изменения состава и строения осадочных, вулканогенно-осадочных, магматических и рудных формаций», 5. «Теория и решение прикладных задач геокартирования».

Диссертационная работа О.Р. Хубаевой удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. (№ 842) (ред. от 21.04.2016).

Считаю, что диссертация О.Р. Хубаевой отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор достоин присуждения степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.01 – Общая и региональная геология.

Заместитель директора по науке
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук
доктор геол.-мин. наук, член-корреспондент РАН
04.09.2020

Кулаков Иван Юрьевич.

630090, Новосибирск. Проспект академика Коптюга, 3, ИНГТ СО РАН
e-mail: KoulakovIY@ipgg.sbras.ru
Тел.: 913 453 89 87

Я, Кулаков И.Ю., даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

