

Краткий критический обзор парадигмального развития концепций структурного контроля зон разгрузки термальных вод и флюидов Мутновской гидротермальной системы (Южная Камчатка)

И.Ф. Делемень¹, В.Ю. Павлова², А.И. Обжиров³, Р.Б. Шакиров³, А.Г. Николаева²

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: delemen@kscnet.ru; ocean@kscnet.ru*

²*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: sacura17041988@mail.ru*

³*Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, 683006; e-mail: obzhirov@poi.dvo.ru; ren@poi.dvo.ru*

В докладе представлена концептуальная модель сопряженности локальных газопроявлений Мутновско-Гореловской флюидно-магматической системы с зонами повышенной трещинной проницаемости разломных и разрывных зон.

Введение

Мутновско-Гореловская группа вулканов и расположенный у их подножий Мутновский геотермальный район вызывают неизменный интерес вулканологов и геотермальных геологов разнообразным сочетанием эндогенных и экзогенных процессов. Немаловажно и то, что их изучение позволяет обеспечить поиск термальных ресурсов для устойчивого функционирования Мутновского энергетического комплекса — расположенных у подножия вулкана Мутновской и Верхне-Мутновской геотермальных электростанций. Необходим поиск новых подходов к уточнению наших знаний о трехмерном строении термоподводящих и термораспределяющих зон в недрах гидротермального резервуара. В данной работе кратко представлено развитие концепций структурного контроля термопроявлений.

Краткая характеристика слоистого строения гидротермального резервуара

В вертикальном сечении резервуар Мутновской гидротермальной системы состоит из чередующихся проницаемых для теплоносителя пород и водоупоров. По литологическим особенностям и физико-механическим свойствам все породы резервуара могут быть разделены на нижнюю часть резервуара, сложенную доплиоценовыми (K₂-N₁) плотными песчаниками и метаморфическими породами, реже — лавами и их туфами. Верхняя часть резервуара представлена плиоценовыми вулканитами (лавы и туфы). Большая часть поверхности резервуара перекрыта малопроницаемой для термальных вод толщей игнимбритов, выброшенных в позднем плейстоцене при кальдерообразующем извержении, приведшем к образованию кальдеры вулкана Горелого. В центральной части Дачного участка материал палящей тучи отложился в фациальной обстановке существовавшего на момент извержения крупного озерного бассейна — на этом участке игнимбриты сменяются по латерали пемзовыми туфами.

Анализ смены парадигм теплового и флюидного питания

Преобладающей (парадигмальной) является точка зрения, что тепловое и магматическое питание Мутновско-Гореловской группы вулканов осуществляется проточными периферическими и коровыми магматическими очагами, хотя полного единства точек зрения на тепловое питание пока нет. Считается, что тепловое и флюидное питание её также обеспечивается магматическим очагом, хотя предполагают также возможность теплового питания остывающей интрузией магмы, залегающей в верхней части коры под подошвой (бедроком) гидротермального резервуара.

На протяжении всего периода исследований Мутновского месторождения парогидротерм, занимающего центральную часть Мутновской гидротермальной системы (ГТС) и северные фланги постройки Мутновского вулкана, выдвигались различные гипотезы и на их основе разрабатывались различные концепции строения этой системы.

Вследствие того, что в течение почти четырех десятилетий на месторождении проводятся геолого-разведочные работы, каждая из концепций проверялась бурением скважин для вывода теплоносителя и оценки его ресурсов.

Большая часть термальных источников и термопроявлений Мутновского геотермального района была обнаружена в конце 50-х – начале 60-х годов прошлого века вулканологами И.Т. (Дачные источники) были обнаружены и впервые описаны вулканологами И.Т. Кирсановым, Е.А. Вакиным, а также их коллегами из различных геологических организаций нашей страны [1]. Эти работы позволили Е.А. Вакину впервые обосновать структурную приуроченность всех выявленных термопроявлений к впервые выделенной им субмеридиональной (азимут простирания 10°) [2].

Структурные исследования в 70-х – начале 80-х годов были продолжены В.Л. Леоновым, который (на основании детального картирования северных подножий Мутновского вулкана), обосновал концепцию, предполагающей, источником теплового питания могут быть еще не остывшие кислые магматические тела в основании молодой вулканической постройки сопки Скалистая. Однако бурение двух поисково-разведочных скважин (№ 5 и № 6) в прогнозных точках у основания сопки показало, что теплоноситель на глубинах до глубин ~ 1 км отсутствует. Это потребовало дальнейшей детализации предыдущей модели – принципы оценки структурного контроля гидротерм были усовершенствованы на основе учета выявленной им региональной закономерности. Он показал, что на Южной Камчатке во всех геотермальных районах присутствуют проявления молодого или новейшего кислого вулканизма, а термальные источники приурочены к участкам пересечения двух систем ортогональных разрывов, причем ведущую роль в локализации источников играют субмеридиональные разрывы с простиранием ~ 10 [3].

Поскольку эта концепция соответствовала и представлениям Е.А. Вакина, то с учетом схемы разрывных нарушений В.Л. Леонова были заданы две скважины в пределах выделенных им субмеридиональных дизъюнктивов, тяготеющих к осевой линии субмеридиональной же Северо-Мутновской вулканической зоны Е.А. Вакина. Обе скважины (№ 17 и № 28) не дали ожидаемых результатов.

Впрочем, тогда же (в начале 80-х годов), старший геолог разведочной партии, Б.П. Чумак, разработал альтернативную модель месторождения. Его концептуальная модель, вошедшая в несколько отчетов по материалам разведки предыдущего этапа, предусматривала, что основные термопроявления располагаются в местах пересечения разрывов (как и в предшествующей концепции), но основную роль играет радиальная надочаговая система разрывов, в которой определяющую роль играют разрывы северо-восточного простирания.

В это же время начался новый этап разведки месторождения (ПГО «Сахалингеология», с использованием буровых установок, (с большим диаметров бурения), и позволяющих увеличить глубину бурения (с $\sim 1,5$ км – до $\sim 2,5$ км). В итоге в среде геотермальных геологов и специалистов ПГО «Сахалингеология» появилось понимание того, для более адекватного изучения трехмерного строения резервуара ГТС, необходим переход от двумерных моделей и сечений, основанных на картировании земной поверхности, к трехмерным, 3D моделям, учитывающим данные геофизики и глубокого бурения.

Было обращено внимание на то, что большинство подсекаемых скважинами крупных продуктивных зон приурочены к зонам экзоконтактов дочетвертичных интрузивных тел, залегающих в основании гидротермального резервуара [4].

Предыдущие концепции учитывались в качестве частного случая этой модели рассматривались разрывы, закартированные В.Л. Леоновым – они обеспечивали транспорт теплоносителя от экзоконтактных зон в верхнюю часть резервуара и к земной поверхности.

Однако в дальнейшем опыт разбуривания на тех же принципах в первой половине 1990-х годов глубоких горизонтов высокотемпературных гидротермальных резервуаров Японии, в рамках работ Организации New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), показал, что вскрытие зон экзоконтакта является необходимым, но недостаточным условием для поиска высокопродуктивных зон.

Переинтерпретация имеющихся данных о глубинном строении резервуара Мутновской ГТС позволила сделать вывод о значительной роли в формировании глубинной проницаемости зон повышенной трещиноватости над малыми интрузиями, субвулканическими телами и вокруг них [5]. Были также сделаны два важных вывода. Во-первых, стало очевидно, что хорошо проницаема для теплоносителя не вся экзоконтактная зона интрузий, а только те её участки, где резко уменьшается в вертикальном сечении радиус кривизны зоны границы интрузии и вмещающих пород. Это обусловлено тем, что при любых деформациях гидротермального резервуара, на таких участках границ жестких включений, которыми являются консолидированные магматические тела, формируются зоны концентрации напряжений с раскрытием уже существующих трещин, и вспарыванием новых.

В дальнейшем было показано, что дальнейшее усовершенствование модели строения резервуара Мутновской ГТС можно обеспечить введением допущения, что все основные продуктивные зоны, вскрытые скважинами, располагается в пределах известного уже разрыва северо-восточного простирания. А.В. Кирюхиным было показано, показало, что поступление теплоносителя из глубинных очагов нагрева вод метеорного происхождения в резервуар, происходит по разлому северо-северо-восточного простирания и с падением 60° на восток-юго-восток. Учитывая нахождение большей части подсеченных скважинами отрезков пересечения продуктивных зон стволами скважин, эта широкая зона сама стала рассматриваться как главная продуктивная зона, поэтому она была названа «Основная» [6]. Эта модель дает хорошую сходимость с параметрами ГТС при моделировании моделировании тепломассопереноса в системе с уже известными параметрами.

К сожалению, к началу первого десятилетия нового века, стало очевидно, что ни одна из существующих концептуальных и математических моделей различных исследователей ГТС не обладает прогнозными функциями. Было пробурено 5 эксплуатационных скважин, не давших ожидаемых результатов. Только после постановки новейших инструментальных геофизических исследований, с построением трехмерной геоэлектрической модели Мутновского месторождения парогидротерм [7], была достигнута задача извлечения достаточного количества теплоносителя вновь пробуренными эксплуатационными скважинами.

Проблема адекватности концептуальных геологических моделей, т.е. соответствия их реальным условиям в недрах гидротермальных резервуаров, имеет чрезвычайно важное прикладное и теоретическое значение. Для организации бурения скважины, не выполнившей своего геологического задания, оборачивается значительными убытками. Значит ли, например, то, что необходимость привлечения априорной, дополнительной информации (геоэлектрическое 3D-картирование) лишает модель «Основной» зоны, её прогнозного значения. Проблема в другом. Похоже, при определении этапности работ, бурение скважин было начато до того, как указанная модель не была согласована со всей имеющейся информацией. Учитывались ли данные о трещиноватости пород? Нет. Не учитывались ранее полученные геофизические данные. Не были проведены морфоструктурные и структурно-геологические исследования. На этом примере видно, что нередко стремление производственных

организаций к экономии на научных исследованиях, оборачивается значительными потерями ресурсов.

Заключение

На приведенных выше примерах можно увидеть, что в развитии геотермальной геологии действует принцип парадигмальности. Каждая новая концепция, ставшая общепринятой, казалось бы отвергает предыдущую. В действительности же предыдущая включается в новую в качестве частного случая новой концепции. Однако, как только в новой концепции появляются малейшие несоответствия с экспериментальными данными (в нашем случае – геофизика и данные бурения скважин). В таких случаях необходимо, во первых, привлекать новые методы исследования, а также – комплексировать уже используемые методы исследования.

На наш взгляд, для этих целей в недостаточной мере используются газогеохимические исследования. Так, например, разрабатываемые сейчас газогеохимические индикаторы геологических процессов [8] могут быть источником новых знаний о деформациях недр Мутновского геотермального района, при комплексировании с методами изучения локальной сейсмичности резервуаров.

На рассматриваемой территории авторами в результате совместных исследований получены новые данные о распределении углеводородных газов, азота, гелия, водорода и углекислого газа в районе вулканов Горелый и Мутновский. Выявлены аномалии метана, гелия и водорода в подпочвенных и растворенных фазах. Увязка выявленных локальных газогеохимических аномалий с данными других исследователей для понимания геологической природы геофизических аномалий и проницаемых зон в недрах ГТС, может повысить достоверность прогнозов и дать новые знания о гидротермальном процессе.

Список литературы

1. Вакин Е.А., Кирсанов И.Т., Кирсанова Т.П. Термальные поля и горячие источники Мутновского вулканического массива // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 1976. С. 85-114.
2. Вакин Е.А., Пилипенко Г.Ф. Мутновский геотермальный район на Камчатке. Изучение и использование геотермальных ресурсов в вулканических областях, М.: Наука. 1979 С. 36-46.
3. Леонов В.Л. Структурные условия локализации высокотемпературных гидротерм. М., Наука, 1989, 104 с.
4. Кирюхин А.В., Делемень И.Ф., Гусев Д.Н. Высокотемпературные гидротермальные резервуары. М.: Наука. 1991. 160 с.
5. Делемень И.Ф. Кольцевые структуры как индикатор глубинного строения современных гидротермальных систем Камчатки. Автореф. канд. дисс. геол.-мин. наук. В.: ДВГИ. ДВО РАН. 1998. 28 с.
6. Кирюхин А.В., Леонов В.Л., Слоцов И.Б., и др. Моделирование эксплуатации участка Дачный Мутновского геотермального месторождения в связи с обеспечением теплоносителем Мутновской геозс 50 МВт // Вулканология и сейсмология. 2006. № 5. С. 19-44.
7. Нурмухамедов А.Г., Чернев И.И., Алексеев Д.А., и др. Трехмерная геоэлектрическая модель Мутновского месторождения парогидротерм // Физика Земли. 2010. № 9. С. 15-26.
8. Обжиров А.И., Шакиров Р.Б. Газогеохимические индикаторы геологических процессов и участие газа в природных катастрофах на суше и море. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Материалы Шестой научно-технической конференции 1-7 октября 2017 г., г. Петропавловск-Камчатский. Секция Секция "Исследование предвестников землетрясений и извержений вулканов". Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН. 2017. 5 с. <http://www.emsd.ru/conf2017lib/pdf/predv/objirov.pdf>