

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГЛУБИННЫХ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ И ИХ МЕСТО В ВУЛКАНИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

Г.И. Арсанова

Институт вулканологии, Москва, e-mail: agi888@list.ru

Настоящие представления о происхождении термальных вод вулканических областей построены на основе использования характера распределения в термальных водах микроэлементов Li, Rb, Cs, как индикаторов процессов генерации этих вод, а также на сопоставлении этих данных с различными физико-химическими параметрами гидротерм и их геологическом положении. Было изучено более сотни образцов вод источников, скважин, конденсатов паров вулканических фумарол и кипящих вод, растворов грязевых котлов, глинистых котлов, пород керна, и т.п. Везде определялись Na, K, Li, Rb, Cs и иногда некоторые другие компоненты. Термальные воды сравнивались по характеру распределения редких щелочей с генетически различными природными водами и другими геологическими образованиями земной коры, а также с различными экспериментальными данными.

Анализ особенностей вещества термальных вод вулканических областей, место и время появления гидротерм в вулканическом процессе привели к следующим выводам:

1. Геохимические особенности распределения лития, рубидия и цезия в термальных водах, породах и других природных образованиях показали, что эти элементы не могли накопиться в водах как выщелоченные из кристаллических пород. Их источником не могли быть ни бывшие седиментационные воды, ни горячие рассолы. В то же время известно, что магматический процесс ведёт к образованию в земной коре газовой-жидкой дифференциации, богатых всеми редкими щелочными элементами, но особенно литием и цезием – как это и наблюдается в термальных водах. Литий и цезий среди щелочных элементов наиболее отличаются по своим свойствам, но в пегматитах и термальных водах они ассоциируют. Известен вынос в эндоконтакты цезия и лития и обогащение ими же апикальных участков гранитных массивов. Термальные воды обогащены всеми редкими щелочами, но относительно больше цезием и литием.

Отсюда наиболее вероятный источник редких щелочей – это газовой-жидкий водный флюид, который отделяется от силикатной расплава на определённых этапах его жизни, предшествующих окончательной кристаллизации.

Все щелочные элементы относятся к очень подвижным в природных растворах, однако если их сравнивать между собой, то минимально подвижным оказывается цезий. Отношение Cs/Li всегда падает при изменении абсолютных содержаний редких щелочей, мигрирующих в природном растворе, но графически по-разному при рассеянии и накоплении. Графики, построенные для 24 гидротермальных систем и гидропроявлений Камчатки, соответствует типу рассеяния растворов с высоким содержанием редких щелочей в гидросфере. Поэтому все термальные глубинные воды Камчатки являют собой семейство вод рассеяния в гидросфере горячего водного флюида, несущего редкие щелочи.

2. Большинство исследователей признаёт само существование горячего флюида, но всё семейство горячих вод считается результатом простого смешения в той или иной пропорции горячего флюида и метеорных вод коры. Однако наши исследования показывают, что механизм формирования высокотемпературных глубинных вод молодых вулканических областей, как процесс растворения в метеорных водах магматических эндогенных эманаций, не подтверждается особенностями их химического состава. Смешение с метеорными водами возможно и обычно происходит, но только на периферии глубинного потока или близ поверхности в зоне разгрузки, а также на некоторых обводнённых вулканах, но оно не играет определяющей роли в формировании собственно глубинных подземных горячих вод.

Существует, как минимум, два сценария прорыва флюида к поверхности, которые и определяют состав термальных вод на уровне поверхности Земли.

3. Первый вариант прорыва флюида происходит почти без изменения его общего химического (элементарного) состава. Благодаря особенностям структуры вмещающих кристаллических пород, флюид стремительно поднимается, «как по трубе», только частично теряя SiO₂, а также «юркие» газы и возможно какие-то(?) не определяемые на поверхности микрокомпоненты. В этом случае на уровне Земли флюид проявляет себя как самые

высокотемпературные, кипящие, почти чисто хлоридно-натрово-калиевые растворы невысокой минерализации (1,5—4 г/л), с характерным отношением Na/K=10. Представители – Паужетские термальные воды, гидротермы Долины Гейзеров. С этими водами связан самый высокий вынос редких щелочей, самые высокие их содержания и выдержанность отношения Li:Rb:Cs=100:9:10 (среднее для Камчатки) или 100:13:14 (среднее для всех вод этого типа Земли). Дебит - высокий: 100—300 л/с. На поверхности - это кипящие напорные источники и гейзеры, отлагающие у выходов гейзериты.

Утверждение о том, что флюид ни с чем не смешивается, базируется на том, что столь чисто хлоридно-натрово-калиевые растворы (1) не могут возникнуть как результат выщелачивания силикатных пород и (2) в коре отсутствует природный раствор, которым бы флюид можно было бы разбавить, что бы получились реально наблюдаемые природные воды.

Эксперименты по выщелачиванию показывают, что получающиеся при этом растворы имеют гидрокарбонаты в анионной части. Стало быть хлор, как и редкие щелочи, тоже поступает с флюидом. Натрий и калий так же генетически связаны с флюидом: их содержания прямо коррелируют с содержанием редких щелочей, являющимися принадлежностью флюида.

Центральные источники и скважины гидротермальных месторождений выводят столь чисто хлоридные воды (почти без сульфатов и гидрокарбонатов!), что их нечем разбавить в коре. Природная вода для смешения должна быть почти без минеральной нагрузки. Реально существующие в коре метеорные воды имеют уже на глубине сотен метров минерализацию в виде гидрокарбонатов и сульфатов не менее (обычно значительно выше!) 0,3 г/л и эта минерализация была бы видна, если бы простое смешение метеорных вод с флюидом имело место. Из этого следует так же и то, что и вся вода (H₂O) - это вода флюида.

К тому же, отличительной характеристикой вод этого типа является их планетарное однообразие. Физико-химические параметры этих вод из разных вулканических районов очень похожи: высокие температуры, высокий дебит, высокие содержания редких щелочей, характерное, особенное и выдержанное отношение между ними, всегда хлоридно-натрово-калиевый макросостав при низкой минерализации, с отношением натрия/калий 10, а также сходный качественный состав газов и других микрокомпонентов. Выдержанность параметров вод этого типа для различных районов молодого вулканизма не может быть обусловлена процессами генерации вод при движении среди различных кристаллических пород верхней части коры. Смешение (если его допустить) должно всегда происходить в одной пропорции (флюид/метеорные воды), что уже совсем не возможно представить. Такая похожесть вод скорее свидетельствует о большой глубине их образования и о «единственности» изначального процесса их генерации, который однообразно повторяется в различных вулканических регионах. «Сброс» водного флюида при остывании магматических тел скорее всего и есть тот однообразный, одинаковый процесс, который обеспечивает планетарную похожесть термальных вод этого типа.

Воды этого типа являются характерной принадлежностью областей современного вулканизма, но они не локализируются непосредственно на активных вулканах. Обычное место их проявления — дно старых кальдер или их периферия, глубокие разломы. Наше рабочее название - гидротермы I группы.

4. Остывание магматического очага сопровождается падением объема отторгаемого флюида, падением общего выноса тепла и вещества. На выходе на дневную поверхность гидротермы I группы превращаются в гидротермы II группы (наше название). Последние характеризуется самым высоким содержанием редких щелочей, выраженным в мг/л (за счет сокращения количества отторгаемой очагом воды по отношению к минеральному веществу), что показывает, что разбавляющих флюид холодных метеорных вод в их составе нет. Примечательно, что в % от мин. содержания редких щелочей почти одинаковы или чуть ниже, чем в гидротермах I группы. Воды II группы имеют повышенную минерализацию (более 4 г/л), сложный, но преимущественно хлоридно-натровый состав. В анионной части «на вторых ролях» присутствуют гидрокарбонат-ион. Температура их ниже 100°C и дебит значительно меньше, чем у источников I группы. На выходе источники рассматриваемой группы часто отлагают травертины. Воды II группы разгружаются на площадях, где активный вулканизм имел место не позднее раннечетвертичного — неогенового времени. Падение дебита и температур в отдельных случаях зафиксировано уже в историческое время непосредственными наблюдениями. II группа источников представляется древними, медленно угасающими ключами. Представители на Камчатке — Пушинские, Налычевские, Краеведческие и др.

5. Второй вариант прорыва флюида к поверхности Земли осложнён его вскипанием на глубине нескольких км в зонах раздвига при резком падении давления. Вскипание ведёт к разделению на две составляющие: депарированный раствор и парогазовую смесь вероятно с капельками («туманом») раствора. Первый захоранивается на глубине, а парогазовый дифференциат рвётся вверх и даёт начало гидроермам III группы (наше название). На возможность подземного кипения, как природного процесса, впервые обратил внимание ещё В.И. Вернадский.

Простое разбавление флюида водами коры для вод III группы не могло иметь места. В случае разбавления почти чисто хлоридных растворов метеорными в основном гидрокарбонатными водами коры хлор хорошо коррелирует со всеми редкими щелочами. Это наглядно видно в зонах разгрузки гидротермальных систем. Например, отношение Cl/Li колеблется в водах растекания Паужетского месторождения в среднем всего на 5%. Для глубинных вод III группы такой связи редких щелочей и хлора не установлено. В то же время существование подземного кипения доказывается характером распределения в гидротермах III группы микрокомпонентов (Li, Rb, Cs) и особенностями их физико-химических параметров.

Температура воды источников колеблется в широком диапазоне – до кипящих на выходе. Дебиты источников различны – до 200 л/с и более.. Минерализация вод низкая (0,5-2 г/л), причём в анионной части преобладают сульфаты. (Хлориды должны концентрироваться, возможно до рассолов, в депарированной части. На Камчатке они ещё не встречены и возможно будут найдены при бурении.)

Редкие щелочные элементы в водах III группы также присутствуют и иногда в значительных количествах, но всегда в меньших, чем в водах двух первых групп. Диапазон колебаний велик, нет выдержанности содержаний и отношений $Li:Rb:Cs$, как это было в гидротермах I и II групп. При кипении природных растворов редкие щелочи переходят в пар, и тем в больших количествах, чем выше температура, причём цезий при переходе в пар относительно опережает все редкие щёлочи, что и наблюдается для высокотемпературных вод этой группы. На фоне меньшего, чем в водах I и II групп общего содержания редких щелочей, увеличивается относительное к другим редким щелочам содержание цезия, что является одним из основных показателей изменения фазового состояния водного носителя редких щелочей.

В зон кипения неизбежно усложнение природных растворов за счет перевода в их ионно-солевой состав элементов из газов: окисление H_2S до элементарной серы или даже SO_4^{2-} (скорее всего биогенным путём), потеря CO_2 (и других газов) в атмосферу или их последующее растворение где-то в стороне в холодных метеорных водах. Кислоты в контакте с породами нейтрализуются, а в раствор поступают добавочные катионы из пород.

Все эти особенности в купе хорошо объясняют существование дифференциации и разделения вещества флюида через кипение.

Зона, где происходит вскипание, превращается в некий «реактор». Резкое изменение физических параметров ведёт к выпадению из раствора различных минералов. Здесь должен образовываться кварц, идти окремнение пород, выпадать гипс и образовываться другие гидротермальные минералы. Не исключена пульсация при вскипании, подобная той, что наблюдается на поверхности при извержении гейзеров, и, может быть, этим объясняется полосчатость некоторых гидротермальных минералов и другие особенности гидротермального минералообразования. Можно предположить, что в этих местах возникает и длительно существует нечто похожее на водовороты наземных рек со всеми вытекающими следствиями по механическому изменению обломков пород.

Разнообразие геолого-структурной обстановки участков, где происходит резкое изменение фазового состояния флюида, температура поступающего флюида и глубина трещинных зон, состав вмещающих пород, неповторимость комбинаций многочисленных факторов объясняют разнообразие, пестроту и неповторимость гидротерм III группы на поверхности. Это наиболее распространенные воды районов современной вулканической деятельности. Типичные представители: Паратунские, Начикинские, Банные и др.

6. Наиболее вероятный источник вещества гидротерм - мантия. Даже если допустить проплавление больших объемов кристаллических пород коры и существование субдукции, то и тогда из пород коры не удастся извлечь столько вещества и такого качества, сколько его присутствует в термальных водах. Например, цезий в фактически выносимых количествах не может быть мобилизован проплавлением пород не только с фоновым, но и с максимально высоким его содержанием, по причине физико-химических особенностей цезия, как

рассеянного элемента. Этот элемент скорее рассеется, чем «соберёт свои атомы в кучку», чтобы обеспечить высокое, дозированное и ритмичное своё поступление с гидротермами тысячи лет. Две самые крупные гидротермальные системы Камчатки за время своей жизни выбрасывают в мировой океан цезия столько же, сколько его содержится в богатейшем месторождении поллуцита Берник-Лейк, Канада (м-ние содержит 70% мировых разведанных запасов).

7. Наиболее вероятным представляется движение глубинного флюида из мантии по колонне силикатного вещества («корням вулканов»). До возникновения гидротерм этот путь длительно «подготавливался» проплавлением пород коры и продвижением силикатного расплава при извержениях. Сформировавшаяся силикатная колонна на определённом этапе начинает выступать в роли «лифта» для вещества гидротерм, поступающих из мантии.

Можно предположить, что собственно сам гидротермальный процесс представляет собой закономерный заключительный этап «горячего» существования долгоживущих вулканов центрального типа.

Список литературы

Арсанова Г.И. Редкие щелочи в термальных водах вулканических областей. Новосибирск. 1974. (2 редакция. 2009 г.) (Сайт «Всё о геологии» <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1181535>).