

Кора — мантия — ядро

Crust — Mantle — Core / Krusten — Mantel — Kern

УДК 550.42:551.23:553.7



Арсанова Г.И.

## Цезий как индикатор ювенильного флюида и многофункциональность флюида

Памяти вулканолога Валерия Аверьева

Арсанова Галина Ивановна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

E-mail: galina-i-arsanova@j-spacetime.com; agi888@list.ru

Свойства флюидного состояния и фазовый переход, вероятно, впервые привлечены для объяснения механизмов вулканического и гидротермального процессов. Индикатором земного флюида оказался цезий. Состав глубинного ювенильного флюида по гидротермам и газовой-жидким включениям — совпал. Свойства флюида в значительной мере определяют тип вулканизма, гидротермальный процесс и рудообразование.

**Ключевые слова:** активный вулканизм, астеносфера, гидротермальный процесс, гидротермы, дегазация земли, кислый вулканизм, магмовод, глубинный ювенильный флюид, сверхкритический флюид, рудообразующий раствор, флюидная фаза, флюидо-расплав, фрагментация магм, цезий, литий, рубидий.

Изучение особенностей геохимии цезия и его распределения в различных природных водах Земли показало, что уровень его содержания в термальных водах вулканических областей чрезвычайно высок — на 4—5 порядков больше, чем в речных водах, — при том, что накопления элемента в водных растворах за счет выщелачивания их из пород в силу особенностей геохимии элемента не происходит [Арсанова 2013]. Можно предположить, что цезий оказывается частью раствора уже при «рождении» самих этих вод еще до того момента, когда они начинают взаимодействовать с вмещающими кристаллическими породами, и тогда особенности геохимии цезия можно использовать для решения вопроса генезиса самой природной воды.

Ныне как возможные дебатированы два варианта происхождения вод Земли, что рассматривалось ранее [Арсанова 2014]: (1) вода поступает из космоса с метеоритным и кометным материалом, и (2) вода есть следствие дифференциации глубинного вещества Земли. Большинство исследователей склоняется к последнему варианту. По замечанию Ф. Летникова [Летников 1999], концепция дегазации и выноса из недр в литосферу, атмосферу и далее в космос летучих веществ наиболее отвечает современным представлениям об эволюции Земли как космического тела. Также полагают А. Маракушев [Маракушев 1992; Маракушев 1999], В. Сывороткин [Сывороткин 2002] и ряд других ученых. Ранее исследования В. Орленка [Орленок 1987] по истории накопления поверхностных вод Земли, помимо известных, дали две новые статьи ее баланса, и одна из них — поступление ювенильных, (внутрипланетарных, по В. Орленку) вод, которые ежегодно пополняют мировой объем на 37 куб. км.

В понятие «ювенильные» в данной работе вкладывается их исконное значение, то есть вод, не бывших в поверхностном кругообороте. Однако сами выходы этих вод следовало найти, установить их физико-химический тип и доказать их ювенильность. Несложно предположить, что если все воды Земли действительно являются следствием ее дегазации, то наиболее вероятно, что при поступлении на поверхность они должны быть горячими, глубинными, и сходного химического типа для разных районов Земли. Поэтому перспективными для поиска должны быть районы активного вулканизма.

## 1. Гидротермы как поверхностное проявление ювенильного флюида

Соответствующая этим показателям («подозрительная») природная вода — вернее, горячая смесь раствора с газами — была обнаружена в ходе изучения термальных вод Камчатки — района современного активного вулканизма.



**Рис. 1.** Камчатка. Поселок Ключи на фоне Ключевского вулкана (слева). Конец XIX в. Реставрация.

Подлинник — ферротипия из книги: Маргаритов В.П. Камчатка и её обитатели // Записки Приамурского русского географического общества. Т.V. Вып. I. Хабаровск: Типография Канцелярии Приамурского Генерал-Губернатора. 1899. 22 с.

Это хорошо известные глубинные низко минерализованные, слабо щелочные, в основном хлор-натровые, кипящие на выходе воды, отличающиеся очень высоким теплосодержанием, дебитом и выносом цезия.

Извергаемое водное вещество кипит, при том, что замеренная на забое скважин температура гидротерм этого типа составляет  $\sim 200^\circ\text{C}$  (для Камчатки) и до  $350^\circ\text{C}$  (в других районах); дебит достигает 100—200 л/сек и больше; поступление — напорное, обычно в гейзерном режиме в виде серии кипящих фонтанирующих источников. Жидкая часть смеси представляет собой водный раствор невысокой минерализации ( $\sim 3,5$  г/л и меньше) почти чистых хлоридов всех щелочных элементов: натрия и калия — в макросоставе, лития, рубидия и цезия — как микрокомпоненты. Выносятся много кремния, который тут же, как неравновесный в поверхностных условиях, отлагается в виде гейзерита. Газы (кроме пара) представлены в основном  $\text{CO}_2$ , а так же  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{NH}_3$  и другими редкими (гелий, аргон, радон).

Характерны не только высокие (десятые доли мг/л) содержания цезия в этих водах, но, что еще показательней, огромный его вынос. Полностью цифровой материал об этом см. в работах Г.И. Арсановой [Арсанова 1974б; Арсанова 2009; Арсанова 2014]. За год гидротермальные системы рассматриваемого типа Камчатки выносят 2—3 тонны цезия. Цифра — огромная, принимая во внимание, что объем годовой мировой добычи элемента составляет порядка 8 тон в  $\text{Cs}_2\text{O}$ . За время жизни Узон-Гейзерной системы, определенное В. Белоусовым с соавт. [Белоусов и др. 1983] в 250—300 тыс. лет, вынос цезия составляет 690 тыс. т, что в 5—6 раз больше мировой базы ресурсов, составляющей, по данным ГИРЕДМЕТ, в Cs порядка 110 тыс. т. [Мировой и российский рынок цезия... 2012, с. 10—11]. При создании эффективной технологии извлечения такие воды могут быть жидкой рудой на цезий.

Необходимо особо подчеркнуть, что столь высокие количества цезия при стремительном режиме поступления не могут иметь своим источником породы коры, даже при условии их полного переплавления или выщелачивания. Геохимические особенности цезия, как рассеянного элемента, и фактический уровень его содержания в породах верхней части континентальной коры ( $5,5 \times 10^{-4}\%$ ), не допускают возможности такого концентрирования элемента в водном растворе как следствия его извлечения из пород, даже если это были бы породы субдуцируемой плиты, а растворы — горячими. Источник поступления элемента, если допустить его извлечение в раствор, должен быть значительно богаче цезием, чем это фактически есть, и к тому же цезий должен быть в форме, допускающей его переход в раствор. Естественным богатым концентратом цезия в природе является минерал поллуцит  $[\text{Cs}(\text{Si}_2\text{Al})\text{O}_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$  (рис. 2), известный как цезиевая руда, но именно эта форма оптимальна в качестве матрицы для иммобилизации

**АРСАНОВА Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

радиоактивных изотопов цезия по причине ее прочности. Так, форвардная (от forward, «передний», «передовой») скорость выщелачивания Cs водой с  $T = 90^{\circ}\text{C}$  из силикатной (фельд-шпатоид) модели матрицы с высоким уровнем загрузки оказалась ниже  $1 \times 10^{-6}$  г/см<sup>2</sup>·сут. [Кузнецов, Богданов 2010]. Поэтому рассчитывать на поллуцит как источник поступления цезия в раствор, даже если бы он был, — принципиально невозможно.



**Рис. 2.** Минерал поллуцит — каркасный алюмосиликат цезия, состава  $\text{Cs}(\text{Si}_2\text{Al})\text{O}_6 \times n\text{H}_2\text{O}$ ; содержит 26—32%  $\text{Cs}_2\text{O}$ .

Отношение Li:Rb:Cs (где Li условно принимается за 100) вод этого типа при высоких содержаниях достаточно выдержано для различных вулканических областей в среднем как 100:13:14 (для Камчатских гидротерм — как 100:10:9). Такое отношение не возникает в случае выщелачивания редких щелочных элементов из пород. Если в гидротермах цезия всего на порядок меньше лития, то при процессах выщелачивания в растворе его оказывается меньше лития на два-три порядка, причем при низких содержаниях. Поэтому и по содержанию, и по отношению редких щелочных элементов кристаллические породы коры не могут быть их поставщиками в природный гидротермальный раствор, даже если бы это были летучие, отделяющиеся от слоя морских осадков, затянутых с плитой. Механизм процесса см., например, работу М. Ломизе [Ломизе 1999] и другие работы, иллюстрирующие механизм субдукции, и возникновения связанных с ней магматических очагов. Невозможность последнего к тому же подтверждается и сейсмологическими данными [Действующие вулканы Камчатки 1991, с. 24]. Вышеизложенное означает, что искать источник столь высоких содержаний цезия следует ниже кристаллической коры в составе глубинного водного флюидного вещества.

Однако опираться для обоснования геологического процесса на один даже очень важный показатель (метку, индикатор) его продукта не слишком убедительно; следует иметь совпадение и по другим показателям («принцип кроссворда»<sup>1</sup>) и чем их больше, тем выводы надежней.

<sup>1</sup> Как говорил в выступлении лауреат премии Абеля за 2014 год математик Я.Г.Синай, правильное решение похоже на разгаданный кроссворд: должно быть совпадение по горизонтали и вертикали.

Такие совпадения в данном случае имеются.

Анализ условий формирования основного солевого состава этих гидротерм (их раствора) говорит, что все их минеральное вещество минует кору без взаимодействия с окружающими породами. Ранее этот момент разбирался детально [Арсанова 1974a]. Было показано, что минеральный состав раствора не может образовываться за счет пород, и не может быть результатом смешения горячего флюида с реальными холодными водами коры. То есть следы химического взаимодействия с окружающими породами и смешения с холодными водами в солевом составе вод этого типа — отсутствуют, что означает эндогенность всего их минерального вещества.

Способ образования и условия подъема сложного водно-газового раствора иногда можно установить по его физико-химическому состоянию при излиянии. В данном случае регистрируется факт одновременного совместного присутствия в едином объеме раствора и газов при очень высоких температурах. Известно, что растворимость газов с ростом температуры на интервале до ста градусов падает. Поэтому в условиях кристаллических пород коры при высокой температуре вадозные воды и газы не могут «собраться» и удерживаться вместе. В коре много противоречащих этому условий: если для аккумуляции газов нужна проницаемость, обеспечивающая их поступление, то чтобы раствору их не потерять с нагреванием, — нужна изоляция. Если каким-то образом возникшая горячая смесь раствора и газов окажется среди проницаемых пород, — газы начнут ее покидать и т.п. То, что поступление такой смеси на поверхность является фактом, говорит о том, что сквозь кристаллическую кору она проследовала в условиях изоляции. В противном случае произошла бы дегазация. А также о том, что она образовалась не среди пород коры через нагрев и поглощение газов при-

**АРСАНОВА Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

родными вадозными водами, а много ниже. И не через постепенный набор газов, а наоборот — как результат дифференциации некоего более сложного глубинного горячего вещества, которое изначально, будучи горячим, существовало как гомогенное: только так при условии изначальной и последующей изоляции этого вещества оно может оказаться на поверхности как горячий раствор с газами.

Изотопные отношения элементов воды для генетических целей не привлекались из-за их неопределенности в данном случае. Известно, что изотопный состав элементов гидротерм сходен с таковым метеорных вод. Определения многократно повторялись; сам факт сомнений не вызывает. Например, в обобщающей работе Г. Наумова с соавт. [Наумов и др. 2011], приведен график в координатах « $\delta D\text{‰} - \delta O\text{‰}$ » [Наумов и др. 2011, с. 39, рис. 8], где поля метеорных и термальных вод перекрываются, что принимается как доказательство вадозного происхождения термальных вод. Несмотря на популярность этого аргумента, его нельзя считать таковым: однозначно установлен только факт сходства. Его геологические причины остаются неопределенными. С такой же вероятностью можно утверждать, что сходство есть следствие того, что все воды Земли изначально поступили из глубин как термальные. Но что не вызывает сомнения, так это то обстоятельство, что вода, как ни какое другое земное вещество, участвует в огромном количестве всевозможных процессов, которые многократно меняют изотопные отношения её элементов. В данном случае скорее имеет место конвергенция [Арсанова 2014, с. 56].

О неопределенности данных по изотопам элементов воды убедительно говорят исследования М. Мартыновой и др. [Мартынова и др. 2013]. Поэтому полезней исключить неоднозначный материал, поменять тактику и оперировать для доказательств другими, более надежными данными.

Таким образом, опираясь одновременно на несколько совершенно разных индикаторных показателей, можно утверждать, что вся высокотемпературная смесь, в том виде, как она есть на поверхности, — моногенна, и рождается как единое глубинное вещество, которое поднимается сквозь кору к поверхности планеты по хорошо изолированному каналу.

Указание на происхождение вещества содержит и локализация выходов, которые, по многим наблюдениям, приурочены к кальдерам долгоживущих вулканических центров — то есть к кольцевым геологическим структурам, имеющим канал (магмовод), по которому сотни тысяч — миллионы лет поднимались магмы при извержениях. Появлению гидротерм предшествуют (в геологическом смысле) явления кислого вулканизма, с его катастрофическими по масштабам эксплозиями вплоть до разрушения вулканической конусовидной постройки и возникновения на ее месте кольцевой структуры — кальдеры. Путь флюида наиболее логично привязывать к тому же магмоводу, по которому поднимались магмы, принимая во внимание, склонность природы к многофункциональности своих образований.

И наконец, сравнение между собой физико-химических характеристик и геологического положения гидротерм этого типа разных вулканических регионов мира действительно показывает их высокую похожесть [Арсанова 1974.а], что косвенно говорит о моногенезе и глубинности.

Гидротермы этого типа выносят самое высокое количество тепла, превышающее возможности кондуктивной теплопередачи. Согласно расчетам В. Аверьева [Аверьев 1966], столь высокий вынос тепла говорит о присутствии горячего эндогенного вещества в количестве не менее четверти. А так как все вещество — моногенно, то, следовательно, и все оно — эндогенно.

Итак, комплексный анализ причинно-следственных связей различных физико-химических параметров гидротерм, объединившихся на графиках [Арсанова 2014] в кластер, отвечающий водам 1-ой группы, локализация этих гидротерм на земной поверхности и их сходство из разных активных вулканических регионов мира позволяют считать их по набору элементов и их соотношению (но не по состоянию и структуре!) почти соответствующими глубинному ювенильному флюиду — ГЮФ, — поднимающемуся по изолированному вулканическому каналу (магмоводу) долгоживущего вулканического центра с глубин ниже кристаллической коры. Длительность излияния определяются эволюцией вулканического процесса, с которым связана жизнь гидротерм.

Состав глубинного флюида, в том виде, как он поступает на поверхность (по пробам центральной части гидротермальных систем Камчатки и с учетом нескольких проб по Японии и Сев. Америке, данные по которым не слишком разнятся):

Газовая составляющая: пар,  $CO_2$  (в основном), а также —  $H_2S$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $NH_3$  и некоторые другие редкие газы: Rn, He, Ar.

Жидкая составляющая: низко минерализованный (1,5—4 г/л) раствор хлоридов всех щелочных элементов, Na/K ~10, Li — 3—4 мг/л (или 0,1—0,15% от минеральной части), Rb — 0,2—0,3 мг/л (или 0,01—0,02% от минеральной части), Cs — 0,3 — 0,4 мг/л (или 0,01 — 0,02 % от минеральной части), отношение Li:Rb:Cs = 100:13:14 (мировое, для Камчатских гидротерм как 100:10:9).

По данным разных исследователей, в гидротермах этого типа присутствуют многие микрокомпоненты в повышенных количествах: бериллий, ниобий, молибден, иттрий, вольфрам, кадмий, бор, титан, свинец, олово, фтор, бром, йод, фос-

**АРСАНОВА Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

фор, мышьяк, сурьма, селен, уран, элементы группы лантанидов. Для них Г. Карпов с соавт. [Карпов и др. 2008] установили взаимные связи (с использованием гидротерм всех типов) с коэффициентами корреляции 0,6 и более.

Таким образом, с высокой вероятностью можно сказать, что разгрузка гидротерм вышеописанного типа представляет собой выход на поверхность глубинного ювенильного флюида (ГЮФ) в том виде, как он может существовать при поверхностных значениях давления и температуры.

Но в геологии уже сложилось определенное представление о флюиде по другим данным, поэтому важно сравнить с ними вышеприведенную сигнатуру.

Современные представления о составе флюидов Земли в основном базируются на результатах анализа газовой-жидких включений в минералах и породах, а также компьютерном моделировании и экспериментах. Опираясь на эмпирические данные и теоретические предпосылки современные исследователи, определяют природный флюид как существенно гидротермальную фазу низкой плотности и вязкости, сложенную в разных пропорциях летучими компонентами в основном —  $H_2O$  и  $CO_2$  и в меньшей степени —  $CO$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$  и другими углеводородами, а также содержащими щелочные металлы и хлор. Система « $H_2O$  —  $CO_2$  —  $NaCl$ » в экспериментальных исследованиях в общем случае рассматривается в качестве главной модельной флюидной системы [Граменицкий и др. 2000].

Методические сложности с извлечением вещества включений есть причина отсутствия надежных количественных данных по микрокомпонентам, однако, материалы о присутствии редких щелочных элементов и многих других элементов в составе газовой-жидких включений, тем не менее, имеются [Прокофьев и др. 2008].

Согласно обобщающим работам Г.Наумова с соавт. [Наумов и др. 2011], содержания во включениях диоксида углерода, а так же метана и азота достигают максимума в районе  $350^\circ C$ , уменьшаясь как в сторону снижения, так и в сторону повышения температур и для значений выше  $500^\circ C$  они уже не характерны. Изменение солёности имеет обратную направленность. Высокотемпературные растворы обычно хлоридные; низкотемпературные не содержат таких концентраций хлора.

Есть материалы о составе флюидов границы перехода кора-мантия. По данным Л.Похиленко [Похиленко 2006], главным компонентом флюида литосферной мантии является  $H_2O$ ; вторым по значимости —  $CO_2$ , реже —  $CH_4$ .

Основное разногласие современных геологов заключается в толковании источников компонентов флюида: воды и газов. Часть исследователей находят их коровыми и полигенными. Так, В. Старостин [Старостин 1997], В. Попов [Попов 1997], Г. Наумов с соавт. [Наумов и др. 2011], а также некоторые другие считают водно-углекислый флюид результатом дегидратации гидроксилсодержащих минералов и декарбонатизации пород при метаморфизме.

Существуют представления о флюиде как о летучих, отделившихся при кристаллизации большого объема магм в коре. Величина растворимости воды в некоторых силикатных расплавах достигает 9—12 массовых %, то есть более 50% в молекулярных процентах [Граменицкий и др. 2000].

Ряд исследователей помещает источник флюида ниже кристаллической коры и считает его существенно водным «глубинного происхождения». В литосфере флюид эволюционирует от высоких  $T$  — к низким [Коржинский 1962; Перчук 2000; Летников 1999; Гаранин 2006; и др.]. Флюиды называют и средой минералообразования и универсальным теплоносителем; при их активном участии протекают процессы метаморфизма, метасоматоза, образования гранитов, пегматитов [Перчук 1997, Граменицкий и др. 2000], алмазов и вынос на поверхность кимберлитовых магм [Посухова 2000, Гаранин 2006].

Таким образом, сравнение составов флюида по гидротермам и газовой-жидким включениям показывает, что они действительно одинаковы на качественном и полуколичественном уровне. Принимая в расчет высокие физические параметры гидротерм 1-й группы, можно говорить об их выходах, как о разгрузке ГЮФ на дневную поверхность.

Поиск геологического явления, прокладывающего в коре путь мощному вертикальному потоку ГЮФ, следует искать в связи с вулканами, извергающими кислые магмы.

## **2. Современные представления о свойствах флюидов и геологический флюид**

Осознание важности флюидного состояния летучих в земных недрах появилось у геологов очень давно. Однако свойства веществ во флюидном состоянии из-за сложности экспериментального изучения одновременно при очень высоких давлениях и температурах изучены мало.

В последние десятилетия в связи с применением сверхкритических флюидов (СКФ) в технике стали активно исследоваться свойства газов и воды во флюидном состоянии, и эти знания целесообразно привлекать для понимания поведения и роли земных флюидов. Два примера из техники покажут особенность свойств флюидов:

- 1)  $CO_2$  во флюидном состоянии за минуты извлекает кофеин из цельных зерен;
- 2) вода во флюидном состоянии за минуты разлагает пластик до  $H_2O$  и  $CO_2$ .

Арсанова Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА

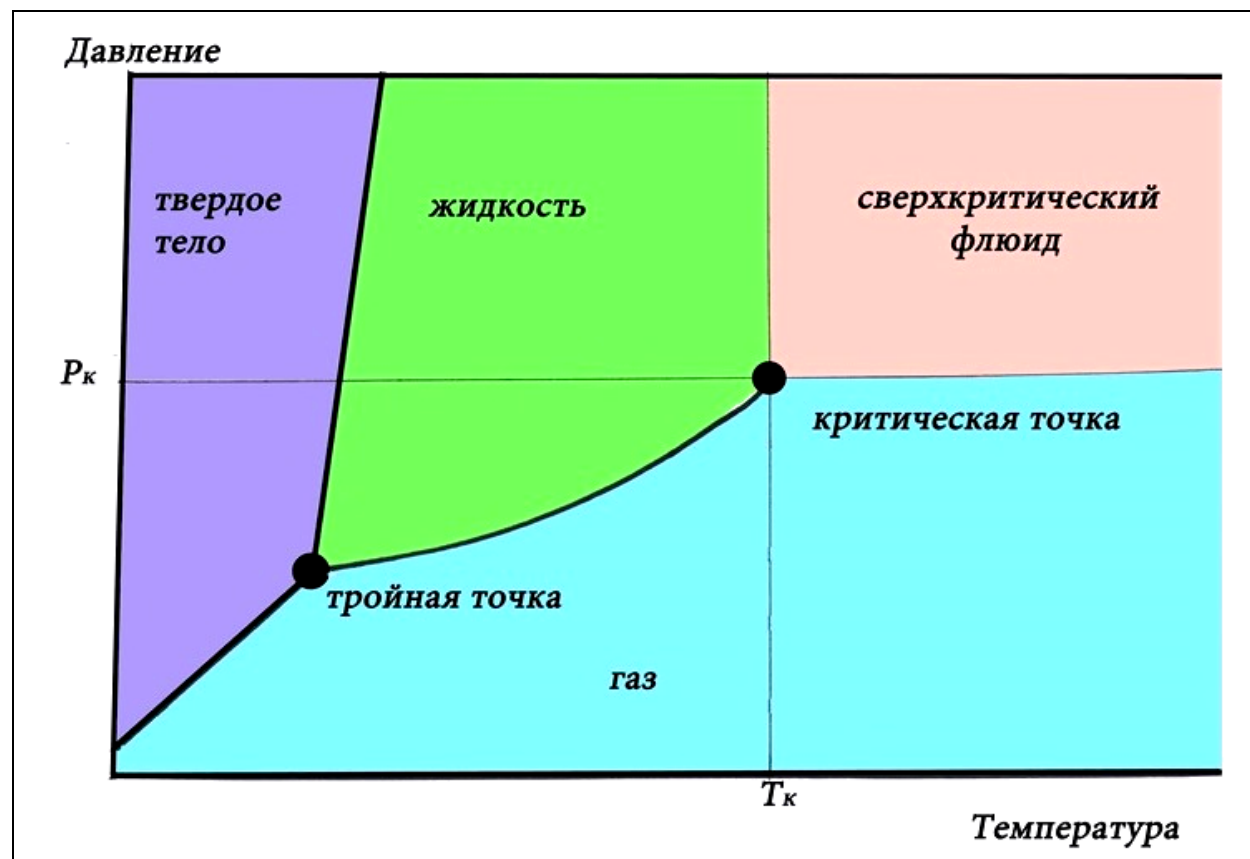


Рис. 3. Фазовая диаграмма воды.

$P_{критич.} = 22,060$  МПа;  $T_{критич.} = 646,9^\circ$  К ( $373,75^\circ$ С);  $\rho$  в критич.точке = 322 кг/куб. м

В химии флюид, или флюидное состояние вещества, — это одна из фаз состояний. Флюиды могут быть разными по составу, например, водный сверхкритический флюид (СКВ) или углекислый флюид ( $СКCO_2$ ) или флюид, представляющей собой «смесь» веществ (смесь в данном случае в кавычках, так как структура этого нового вещества — неясна.) Считается, что СКФ — гомогенные вещества, существующее только при очень высоких давлении и температуре, а их флюидное состояние наступает с переходом неких критических, своих для каждого вещества, значений РТ.

Согласно исследованиям структуры флюида [Горбатый, Бондаренко 2007], его нельзя считать и вполне гомогенным:

«В физическом смысле это, скорее, микрогетерогенная смесь газо-подобных и жидко-подобных конфигураций молекул, быстро сменяющих друг друга».

По свойствам в первом приближении СКФ кажутся веществами, представляющим нечто среднее между жидкостью и газом. Их главная особенность — непрерывно меняющееся движение молекул. Они могут сжиматься как газы (обычные жидкости практически несжимаемы) и, в то же время, способны эффективно растворять твердые вещества, что газам не свойственно, причем их высокая растворяющая способность контролируется давлением. В СК состоянии вещество имеет крайне низкую вязкость, и его плотность в зависимости от давления меняется непрерывно до перехода критических параметров. СКФ обладают высоким коэффициентом диффузии.

Для понимания геологических процессов очень важно учитывать, что состояние (и, стало быть, — свойства) воды выше критических параметров значительно отличаются от её состояния до них, причем в значительно большей мере, чем для других веществ. Если при нормальном давлении и температуре вода является полярным растворителем, то в СК состоянии, она превращается в практически неполярную среду и становится сильнейшим окислителем, при этом ее окисляющая способность увеличивается сильнее, чем можно было ожидать только от повышения температуры. Повышается ее диэлектрическая проницаемость, электропроводность, ионное произведение, меняется структура водородных связей. Одно из важных преимуществ СКВ перед горячей водой заключается в способности хорошо растворять в себе газы и, следовательно, транспортировать их компактным способом. СКВ растворяет и переносит вещества, практически нерастворимые в обычных условиях: силикаты, оксиды, сульфиды, фосфиды, причем даже небольшие отклонения температуры и давления меняют физико-химические характеристики СКВ и у нее появляются селективные свойства. При снижении давления, сопровождающемся переходом через критическую точку, растворимость твердых веществ падает практически до нуля и бывшая СК-среда выступает как антирастворитель, или осадитель [Жузе 1981; Леменовский, Баграташвили 1999; Галкин, Лунин 2005; Залепугин и др. 2006; Горбатый, Бондаренко 2007; и др.]. Поэтому для минерало- и рудообразования (перехода из подвижного в фиксированное состояние) иногда достаточно одного фазового перехода при снижении температуры или давления.

Хотя о свойствах флюидов известно не слишком много, но уже известные данные способны существенно корректировать наши представления о природе высокотемпературных геологических процессов с участием воды.

Так, свойства СКФ, допускают превращение водно-газового флюида в горячую смесь воды с газами при снижении и

**АРСАНОВА Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

температуры или давления, однако переход в состояние СКФ смеси воды с газами на фоне роста температуры и давления в условиях реальной земной коры ограничивается взаимоисключающими условиями:

1) чтобы перевести во флюидное состояние азот, водород перед повышением давления (то есть с погружением в недра) их требуется предварительно охладить до минус 239,9°C и 118,4°C соответственно;

2) растворимость всех газов в воде падает с ростом температуры, но становится высокой в СКВ, однако, пока холодные воды в условиях свободного водообмена смогут погрузиться до температур и давлений выше критических, газы их покинут. Приведенный пример говорит о проблематичности или, как минимум, ограничивает состав флюидов, согласно геологическим моделям возникновения в природе сложных по составу флюидных систем на основе свободного водообмена при одновременном росте температур и давлений с погружением.

Или, иными словами, в условиях земной коры возможен только *один* вариант возникновения многокомпонентных флюидных систем, включающих весь реально наблюдаемый комплекс газов, а именно — как *следствие остывания* ГЮФ, то есть конкурентные модели рождения в условиях реальной коры сложных по составу флюидных систем через нагрев — исключаются. Тем более, что согласно второго закона термодинамики, в природе нет обратимых процессов.

Геологическим следствием высокой растворяющей способности ГЮФ является смесимость расплавов с водой, и высокая подвижность смеси, а следствием высокой растворимости в ГЮФ газов — такие явления как фрагментация магм и мощь вулканических взрывов. К этому вернемся ниже.

### **3. Гидротермальный процесс и кислый вулканизм**

Один из актуальных вопросов вулканологии — вопрос связи гидротермального процесса и комплекса явлений, объединяемых общим термином кислый вулканизм. Представление о том, что образование гидротерм, а также кальдер и магматических тел кислого состава генетически связано высказывалось давно, и его можно считать согласованным для большинства современных вулканологов: работы Э. Эрлиха, В. Леонова, В. Белоусова, И. Флоренского, Е. Гриб и многих других [*Структура гидротермальной системы 1993*].

Расхождения исследователей — в геологических причинах этой связи.

Последовательность процессов на поверхности ставит на первое место явления кислого вулканизма с его катастрофическими взрывами, выбросами огромного количества пемз, пеплов и иной пирокластики кислого состава до риолитов, выжатыми куполами и т.п. Выходы горячих вод с газами возникают в кальдерах и иногда на некотором удалении как наложенные. Поэтому гидротермальный процесс, как исторически сложилось, называют поствулканическим, а возникающие горячие воды принято считать нагретыми метеорными водами. При этом возможность добавки «эндогенного пара» непосредственно в метеорные воды — допускается.

Принципиально иначе посмотрел на происхождение гидротерм В. Аверьев [*Аверьев 1966*]. Сравнивая величину выноса тепла самыми высокотемпературными гидротермальными системами с теплом остывающих магматических очагов, он впервые высказал сомнение в ведущей роли магматических тел в возникновении гидротермального процесса. По В. Аверьеву,

«корни молодых экстрезий, равно как и гипотетические интрузивные тела, нельзя считать источниками мощной и длительной гидротермальной деятельности. Формирование... термоаномалий в земной коре обусловлено восходящим потоком горячего флюида, генерация которого, в общем случае, не связана с находящимися здесь магматическими телами, а является следствием самостоятельного глубинного процесса... горячий водный флюид можно рассматривать как главный агент особой формы вулканизма, в рамках которой взрывные явления, экстрезии магмы и гидротермальная деятельность предстают как ассоциация различных проявлений одного процесса».

Или иными словами — не горячие магмы нагревают холодные воды, но кислые магмы в купе с другими проявлениями кислого магматизма и самой гидротермальной деятельностью есть следствие поступления горячего флюида, который и является общей причиной, как появления кислого магматического материала, так и гидротерм.

Выводы настоящих исследований опираются на особенности состава действующих веществ, и они тоже говорят о флюиде как о единой причине гидротермального процесса и кислого вулканизма.

Многими независимыми исследованиями выявлена интересная геохимическая особенность кислых вулканитов — их стекла постоянно содержат повышенные содержания цезия. На основании обобщения данных по нескольким тысяч образцов [*Григорьев 2008*] было установлено, что превышение содержаний цезия — есть характерная черта кислых вулканитов при том, что элемент сосредоточен почти целиком в стеклах. Редкий и рассеянный цезий является отличительным, маркирующим элементом глубинного ювенильного флюида, что в сочетании с особенностями геохимии элемента позволяет с высокой вероятностью говорить об активной роли флюида в извержении кислых вулканитов. Тем более, что следы присутствия флюида в кислых вулканитах подтверждаются и другими характерными для него элементами.

**АРСАНОВА Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

Детальное геохимическое исследование расплавных включений — реликтов магматического расплава — пород Карымского вулканического центра на Камчатке [Наумов и др. 2008] показало их любопытную особенность: примитивные расплавы содержат аномально высокие количества лития и натрия (Cs не определялся). Авторы считают натрий и литий привнесёнными элементами, но их источник «требуется дальнейшего уточнения», хотя и высказано предположение о возможной контаминации корового материала. Последнее представляется по ряду причин маловероятным, в то время как глубинный ювенильный флюид, содержит именно эти элементы и особенно — литий. Натрия в нем в десять раз больше, чем калия, в то время, как в алюмосилкатах натрия больше калия только в 2—3 раза, поэтому будет заметна именно прибавка по натрию. Хлор и сера тоже входят в состав флюида. Здесь важно, что помимо привноса тепла и ряда элементов, флюид способствует еще и активному перемешиванию магм за счет интенсификации внутренних движений. Такова особенность флюидов [Соболева 2013]. Но этого нельзя сказать о холодном коровом материале в качестве контаминанта, который сам требует затрат энергии на расплавление и перемешивание.

Текстуры выброшенных кислых вулканитов — пеплы и пемзы — в свою очередь говорят о присутствии большого количества летучих в магме перед ее извержением.

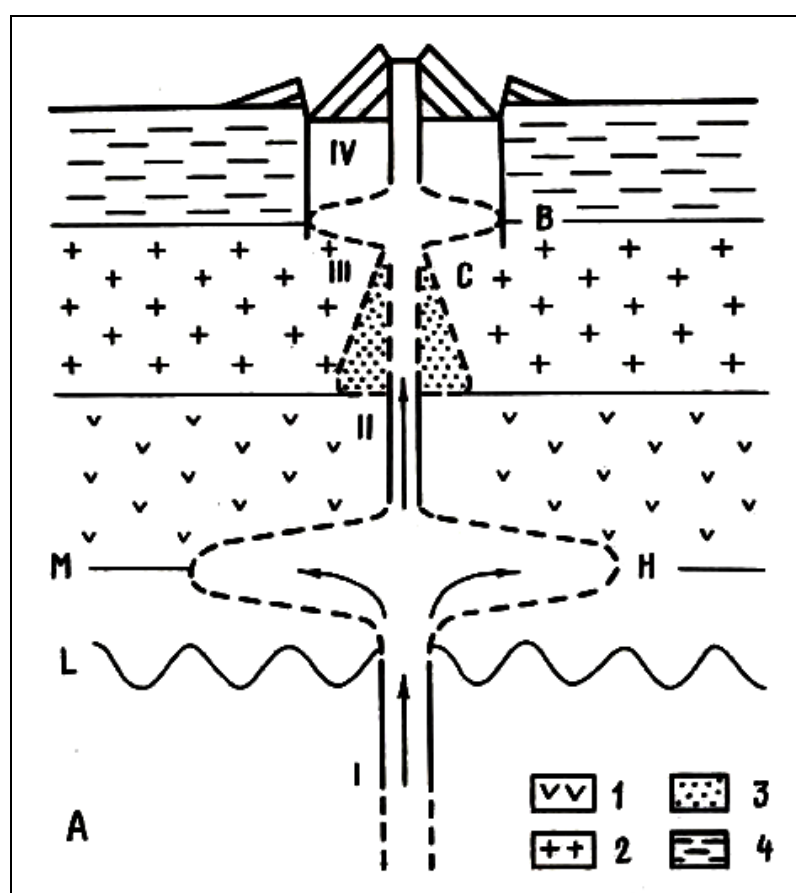
Таким образом, состав выброшенных вулканитов подтверждает предположение В. Аверьева о самостоятельности гидротермального процесса, в отличие от представлений о нем, как о постмагматическом явлении, а также о существовании глубинного горячего флюида, как общей причине явлений.

Выводы об активной роли флюида в извержении тем более убедительны, что получены на базе системной обработки полевых материалов двумя независимыми методами: в одном случае по величине теплового потока (В. Аверьев), а в нашем — по составу и состоянию действующих веществ.

**3. О механизме совместного подъема и извержения магм и водного флюида**

Свойства флюидов, а также геологические, геофизические и экспериментальные данные позволяют судить о некоторых элементах механизма совместного проникновения и сосуществования в коре магм и воды.

На рис. 4 отражен современный уровень представлений о глубинном строении очагов и каналов, который дан по двухтомной коллективной монографии Института сейсмологии и вулканологии «Действующие вулканы Камчатки» [Действующие вулканы Камчатки 1991, т. 1, с. 27, рис. 13].



**Рис. 4.** Схема развитой системы магматических каналов и очагов для вулканов центрального типа.

**A** — астеносфера; **L** — граница литосферы; **M** — граница земной коры; **H** — подкоровый, или нижнекоровый магматический очаг; **C** — коровый промежуточный очаг, возникающий при плавлении гранитных или осадочных пород основными магмами; **B** — верхний, периферический очаг.

**1** — «базальтовый» слой; **2** — «гранитный» слой; **3** — возможная область плавнения в «грантном» слое вокруг магматического канала; **4** — осадочный слой; **I** — магматическая астеносферная колонна; **II** — часть питающего канала, находящаяся в «базальтовом» слое; **III** — то же, в «грантном» слое; **IV** — между «периферическим» очагом и кратером.

Очевидно, что вещество может подняться по этой колонне, если оно изначально имеет допустимый уровень вязкости. Для кислых магм характерна высокая вязкость, что определяет их низкую подвижность. К падению вязкости при высоких РТ-параметрах ведет добавка флюида, причем в количествах, не ограниченных его растворимостью. Ранее было отмечено несоответствие состава магм и образующихся из них горных пород в отношении воды [Граменицкий и др. 2000]. В совокупности с нашими материалами это дает основание предположить существование флюида как отдельного самостоятельного вещества. Являясь мощным энергоносителем, флюид приносит в систему алюмосиликатных расплавов помимо тепла еще и добавки-флюсы (воду, щелочи, хлор и другие элементы), которые на порядки снижают вязкость алюмосиликатов с их участием [Перчук 2000; Граменицкий и др. 2000].

**АРСАНОВА Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

Из свойств флюидов как среды следует важное их качество — способность к интенсивному внутреннему перемешиванию [Соболева 2013], которое определяет их особую подвижность. К тому же водный флюид хорошо и в больших объемах растворяет и транспортирует газы.

Растворимость воды в магмах сильно зависит от давления, что может дать водному флюиду опережающий подъем по магматической колонне и относительный рост флюидной фазы в ее верхних частях, вплоть до её обособления. В качестве вероятного механизма возможен поток поднимающихся пузырей флюидов. При моделировании всплывания пузырей был обнаружен эффект «памяти» расплава. После всплывания первого пузыря последующие предпочтительно используют его путь, и скорость их всплывания возрастает, как будто вязкость расплава понизилась [Граменицкий и др. 2000]. Обычно это всплывание рассматривается как механизм накопления газов в апикальной зоне магмоводов и, как следствие, повышение там давления, ведущего к взрыву.

Однако принимая во внимание высокую растворяющую способность СКВ, следует учитывать, что происходит и растворение алюмосиликатов во флюиде. То есть в объеме канала сосуществуют расплав с растворенной водой и флюид с растворенными алюмосиликатами и при этом обе субстанции тонко перемешаны.

Известно, что при высоких давлениях меньший объем занимает структура из разно размерных элементов, чем из элементов одинаковых по размеру. Поэтому, согласно принципу Ле Шателье, на больших глубинах скорее существует квазигомогенный сложный по составу флюидо-расплав с непостоянным отношением флюид/расплав. С подъемом (падением давления) субстанция перестраивается, расплав и флюид начинают обособляться, а затем флюид с фазовым переходом превращается в воду и свободные газы. По-видимому, именно квазигомогенность флюидо-расплава является условием фрагментации магм: освобождающиеся из флюида газы уже перемешаны с алюмосиликатами и, расширяясь, они вспенивают магму и «измельчают» её до газо-взвеси. Тяжелые алюмосиликаты становятся легкими пемзами и пеплами, как следствие свойств ГЮФ.

Из этих рассуждений следует, что сложные газы должны покидать глубинные области Земли не как свободные, но в составе флюидо-расплава и флюида, а свободными они становятся уже в верхней части каналов или в апикальных частях вулканических построек.

Проложить в коре канал транзита от мантии до поверхности и многие тысячи лет поддерживать его в рабочем состоянии — задача достаточно сложная, но, тем не менее, система магматических каналов вулканов центрального типа — конструкция долгоживущая. По-видимому, отдельно флюид или вязкие магмы едва ли способны её построить, но флюидо-расплав, объединив их свойства, в состоянии создать мощный долгоживущий магмовод и поддерживать его функционирование.

Фронтальная часть флюидо-расплава в поиске пути к поверхности («ориентируясь» на минимум давления) проникает в ослабленные разуплотненные зоны коры. Начало пути — трещина, потом на трещине оформляется канал. Такой сценарий подмечен на поверхности непосредственными наблюдениями. Если по ходу случится более низкое боковое давление, то наиболее вероятно, что флюидо-расплав начнет проникать в эту зону, пока позволяет давление, после чего продолжит путь вверх, оставив заполненное пространство остывать и закристаллизовываться. Какое-то время оно будет регистрироваться геофизическими методами как аномалия, и его отнесут к промежуточным очагам. Закристаллизовавшись, оно перестанет быть аномалией и, скорее всего, исчезнет из поля зрения исследователей. Для иных сценариев эволюции вещества магмоводов, в частности для случая образования и особенного развития, так называемых, промежуточных очагов, требуется определить источник дополнительной энергии.

Подъем глубинного материала — процесс энергозатратный, и чтобы он не остановился, магмовод должен быть защищен от теплопотерь. Сбережение тепла достигается наращиванием толщины стенок канала, которые сложены из тех же алюмосиликатов, которые по нему поднимаются и, по-видимому, включает механизм опережающего проникновения флюида, как энергоносителя, в апикальную зону. При увеличении мощности канала, возникающие в его стенке трещины и дефекты, будут последовательно заполняться алюмосиликатами, так как давление в магмоводе для обеспечения подъема всегда должно быть выше литостатического. Этим же достигается и герметичность канала. По геологическим данным и расчетам диаметр каналов средних вулканов центрального типа в земной коре равен 100—200 м, и при движении вещества по осевой его части толстые стенки обеспечивают высокий уровень теплоизоляции [Действующие вулканы Камчатки 1991, т. 1, с. 26].

Магмоводы «обязаны» быть конструкцией, обеспечивающей сохранение тепла и вещества. Пока канал цел, массообмен с вмещающими породами не должен происходить, а теплообмен быть минимальным. Иначе вещество не сможет дойти до поверхности.

Непосредственные наблюдения подтверждают: извергающиеся вулканы не окружены выходами термальных вод или другими термальными аномалиями, не связанными с выходом вещества через центральный кратер. В специальной литературе на поясняющих рисунках иногда изображают под вулканической постройкой часть магматического канала в виде расширенного интрузивного тела, из которого в разные стороны по трещинам поднимаются флюиды. Если бы подобная структура действительно существовала под действующим вулканом, то фумаролы наблюдались бы в разных местах скло-

**АРСАНОВА Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

нов и основания вулканической постройки, но они обнаруживаются только на дне кратеров, либо на их кромке, - то есть в местах проекции подводящего канала. Это говорит о форме, прочности и непроницаемости стенок магмовода, включая его приповерхностную часть. Момент чрезвычайно важный при построении различных физических моделей извержений.

Причины вулканических взрывов в общем случае связываются с повышением давления в апикальной части канала в связи с увеличением количества летучих. Механизм взрывов описан в пионерской работе Ю. Слезина [Слезин 1998]. Теоретическая модель системы «извергающийся вулкан», позволяет, по мнению автора, объяснить механизм смены режимов извержения с целью прогноза катастрофических взрывов. Однако, согласно неизбежным упрощающим допущениям модели, конденсированная фаза принимается как несжимаемая, а газ как идеальный. Существование флюидной фазы летучих моделью игнорируется. Последнее объяснимо недостаточным уровнем современных представлений о флюидном состоянии веществ, но понимание геологического процесса вуализует.

Флюидное фазовое состояние имеет свойства, отличные от идеальных газов и, в частности, флюиды сжимаемы, поэтому для них объем контролируется давлением, а сам водный флюид — это концентрат растворенных газов. Его фазовый переход должен быть значимым геологическим явлением, так как практически разом освобождается много газов: в системе резко повысится давление, вспенятся алюмосиликаты, и произойдет взрыв с выбросом пемз, пеплов, газов и воды.

Глубина взрыва связана с глубиной места фазового перехода флюида в теле или канале вулкана. Для Узона глубина зоны дробления в кальдере по геофизическим данным определяется в 200 — 700 м [Карпов и др. 2014]. По её центру ниже должен находиться магмовод, который продолжает оставаться аппаратом дегазации мантии. Из него к поверхности выдавливаются последние порции теряющего пластичность расплава. Среди холодных вмещающих пород и на поверхности они оформляются в виде куполов, даек, обелисков и т.п. По отношению к гидротермальному процессу эти магматические тела инертны.

В этой связи не кажется «обескураживающей» информация Дж. Айкельбергера относительно низких (160°C) замеренных температур «питающей» дайки [Кирюхин 2006]. Дайка не питает гидротермальную систему; она ей только сингенетична. Время жизни гидротермальных систем (десятки — сотни тысяч лет при дебите в сотни литров в секунду) подсказывает, что остывающие магматические тела не имеют достаточно тепла и массы, уже не говоря о проблемах с механизмом их перемещения, о чем писал еще В. Аверьев.

Источник и тепла, и вещества для реальных гидротермальных систем должен быть несоизмеримо мощнее. Наиболее вероятно связывать его с магмоводом — как проводником к поверхности — и областями ниже кристаллической коры — как с источником вещества. Поэтому наиболее вероятным представляется поступление по магмоводу потока ГЮФ, который, не имея возможности подняться до поверхности по каналу из-за того, что он разрушен, извергается непосредственно в породы, и с этого места начинается весь гидротермальный процесс в коре.

Эволюция изливающегося во вмещающие породы флюида начинается с его фазового перехода, если он не случился еще в верхней части канала. Флюид дифференцируется на водный раствор и свободные газы. Резкое расширение газов должно сопровождаться некоторым скачкообразным падением температуры в системе в связи с диссипацией энергии, но давление останется достаточно высоким. Поэтому смешения с холодными «местными» газами и водами не произойдет; они будут вытеснены к периферии зоны.

На участке «устья» магмовода система будет очень динамичной. Газовая составляющая согласно газовым законам устремляется вертикально вверх через дробленные породы кальдеры, обгоняя конденсат, который — напротив, связанный силами поверхностного натяжения, останется ниже и оттесненным к периферии, что действительно и подмечено по поверхности на Узоне [Бычков 2009]. Основная часть относительно тяжелого раствора заполнит разуплотненное взрывом пространство вокруг верхней части магмовода и поэтому часто вырывается на дневную поверхность гипсометрически ниже и несколько дальше от «родного» вулкана. Так, Мутновская ГеоЭС извлекает теплоноситель из наклонного разлома ССВ простирающегося, плоскость которого пересекает жерло вулкана Мутновский, расположенного в 8 км [Кирюхин 2006]. Такое характерное пространственное взаимоотношение согласно подчеркивается исследователями как типичное: «стратовулкан или комплекс экструзий с фумарольной активностью на вершине и гидротермальная активность на флангах» [Кирюхин 2006, с. 215].

Магнитотеллурическое зондирование в кальдере Узон [Мороз и др. 2013] выявило вертикальную зону повышенной электропроводности, по которой поступает глубинное водно-газовое вещество в разных состояниях, и которая, по мнению авторов, предположительно отражает бывший магматический канал вулкана Узон.

Проточный процесс сепарации флюида на преимущественно газообразную и преимущественно жидкую составляющие действует тысячелетия. Чаще, но не обязательно, эти части разгружаются в гипсометрически разных местах: как фумаролы — в кальдере и как жидкие гидротермы — на её флангах: полный состав ГЮФ отвечает сумме этих частей.

Вмещающие породы на всей этой глубине подвергаются глубокому и длительному гидротермальному метаморфизму дифференциатами флюида с различной температурой в местах воздействия. Например, для Паужетской гидротермальной системы (Камчатка) она была определена по газово-жидким включениям от 50 до около 330°C [Рычагов и др. 1993].

Чашеобразный рельеф поверхности кальдеры благоприятствует созданию в её приповерхностной зоне гидрогеохими-

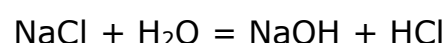
**АРСАНОВА Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

ческой обстановки активного взаимодействия горячих газовых компонентов флюида с холодными дождевыми водами и вмещающими вулканитами. Вследствие чего в кальдере рождается специфическая гамма по сути поверхностных вторичных (по отношению к ГЮФ) термальных вод, очень кислых. Отдельные участки пород гидротермально изменены до глин, возникают грязевые котлы, множественные и разнообразные минеральные новообразования.

Как растворенные в этих водах в разных отношениях присутствуют два генетически разных типа элементов-катионов: выщелоченные из пород и поступившие с дифференциатами ГЮФ и их соотношение обычно можно разными способами оценить, как было сделано, например, в отношении редких щелочей [Арсанова 1974].

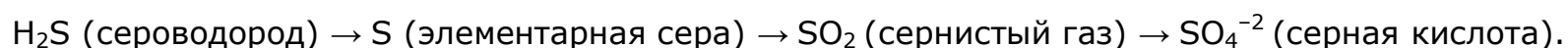
Анионная часть этих вод возникает как результат газовых реакций при падении параметров — РТ флюида и его дифференциатов:

1. На глубине потерю флюидного состояния сопровождает высокотемпературный гидролиз [Граменицкий и др. 2000]:



При этом кислота обогащает паровую фазу (или то, что разгружается в кальдере), а щелочи концентрируются в жидкой (то есть в воде гейзеров). HCl регистрируется в вулканических «дымах», если их температура будет не ниже несколько сотен градусов (600-800°C).

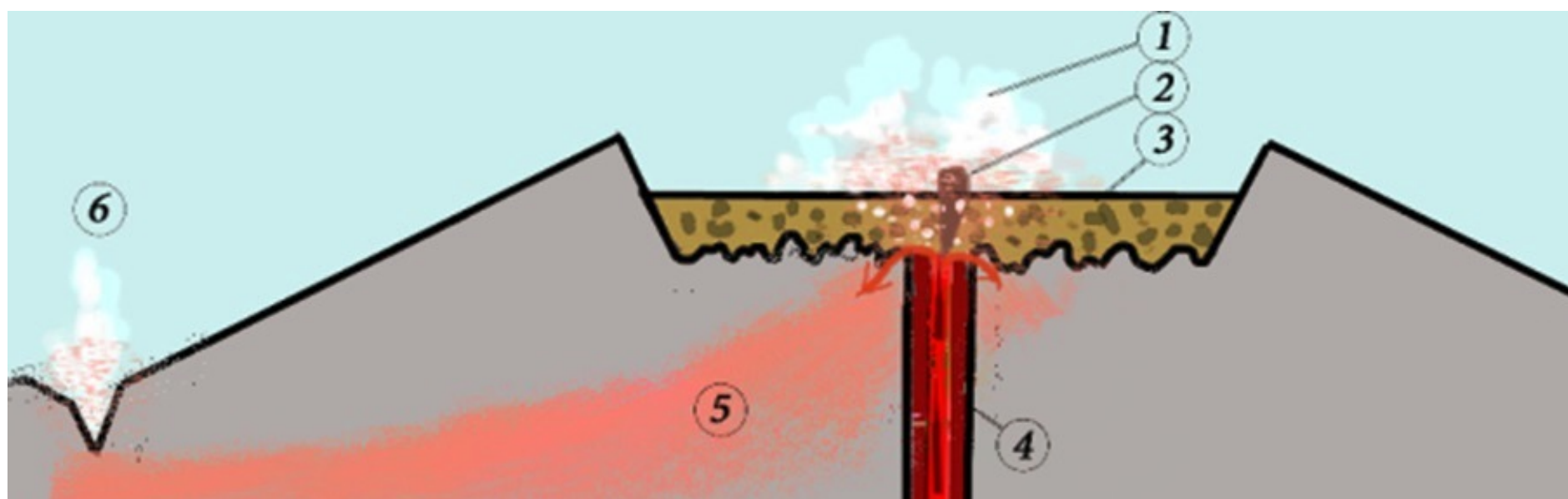
2. С подъемом парагазового дифференциата ГЮФ и на поверхности происходит окисление H<sub>2</sub>S:



Температура химического окисления (кислородом воздуха) достаточно высокая — 300 — 350°C, но при относительно низкой температуре идет и биологическое окисление. На поверхности регистрируется все формы серы.

3. Диоксид углерода (CO<sub>2</sub>) достигает поверхности как свободный газ и частично растворяется в холодных водах с образованием угольной кислоты, которой образуется приблизительно сотая часть от растворенного CO<sub>2</sub>.

Температуры выходов над разными гидротермальными системами колеблются от нескольких сотен градусов до теплых, и в таких условиях длительной кислотной обработки не может устоять ни одна порода. Каркасные алюмосиликаты превращаются в слоистые глины и разлагаются до окислов. Материал переносится большим количеством воды и перекладывается в подходящем месте, давая начало окремнению, образованию каолинитов, а также, вероятно, и бокситам, и железным рудам. Растворяясь в холодных водах, уголекислота делает их агрессивными, и если случится таким водам встретиться с карбонатными породами, в последних возникнут карстовые явления.



**Рис. 5.** Схема вулканической постройки центрального типа и разгружающейся через неё гидротермальной системы  
1 — выходы фумарол в кальдере; 2 — батолит, (купол, дайка); 3 — нижняя часть кальдеры с обломками измененных пород, сквозь которые поступают горячие пар и газы; 4 — магмовод; 5 — горячий гидротермальный раствор с остатками газов; 6 — выход гидротермального раствора с остатками газов на дневную поверхность (гейзеры, гидротермы)

Яркий пример разложения вулканитов — кальдера Узон, описанная многими геологами Института вулканологии, начиная с Б. Пийпа еще в 1933 г., а позднее — Г. Пилипенко, С. Набоко, Г. Карповым и многими другими исследователями.

Котлообразную форму кальдеры обычно объясняют разовым обрушением «крыши» приповерхностного магматического очага. Представляется более вероятным связывать её с множественными длительными и постоянными обрушениями и уплотнениями материала кальдеры в связи с растворением пород и их выносом, что длится многие тысячи лет. Дно кальдеры (дневная поверхность) постоянно гипсометрически опускается и выравнивается, причем неровность подошвы рыхлого материала достигает 0,5 км.

**АРСАНОВА Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

Итак, гидротермальный процесс и кислый вулканизм генетически связанные геологические явления, объединенные общей причиной — кислые магмы и глубинный ювенильный флюид поступают по одному магмоводу. В начале они объединены во флюидо-расплав, но потом многие тысячелетия флюид изливается один. С точки зрения возможности извлечения теплоносителя оптимальное соотношение глубины и температуры следует ожидать вблизи «устья» магмовода, если технические средства (буровое оборудование, материалы) будут в состоянии удержать вещество с такими параметрами.

**4. О роли ювенильного флюида в вулканизме**

По мнению А. Маракушева [Маракушев 1999], роль дегазации планеты в ее жизни до конца еще не понята и не оценена. Осмысление данных, собранных в связи с настоящей работой, позволяет считать, что действия флюида в вулканическом процессе не ограничиваются рождением гидротерм. Они весьма разнообразны по функциям и, действительно, только начинают осознаваться.

Состав и свойства ГЮФ позволяют говорить о нем, как об идеальном «движителе», или «активаторе» для алюмосиликатов, причем разными способами при разных значениях РТ.

На больших глубинах присутствие ГЮФ снижает вязкость магм, разогревая их, добавляя в расплав компоненты, играющие роль флюсов, и при этом сами алюмосиликаты растворяются во флюиде и вся масса вещества интенсивно перемешивается.

В апикальной части вулканических магмоводов в относительно приповерхностных условиях фазовой переход ГЮФ высвобождает газы, повышающие давление в системе, за которым следует взрыв. Одновременно происходит фрагментация магм, и их выброс в виде пемз и пеплов.

Вероятно, именно ГЮФ вместе с мощнейшей изоляцией не дает магмам «замерзнуть» в канале в межпараксизмальный период. Анионный состав конденсатов высокотемпературных донных кратерных фумарол активных вулканов и высокие содержания цезия в них позволяют думать, что умеренную вулканическую активность между взрывами и потоками лав обеспечивают постоянные поступления ГЮФ по магмоводу. Поднимаясь к апикальной части, ГЮФ слегка «стравливается» в дне кратеров над питающими каналами, и здесь его можно отобрать как конденсат вулканических «дымов». Это подтверждается их составом: анионная часть самых высокотемпературных фумарол включает HCl, более холодных — сульфаты и самые холодные представлены диоксидом углерода. Но наиболее показательны содержания редких щелочей и особенно цезия.

**Таблица 1**

**Конденсаты пара кратерных фумарол вулкана Авача (Камчатка) в мг/л  
(Пробы на дне кратера отобраны Н.А. Зененко в 1964 г.)**

Пробы	Т°С	Li	Rb	Cs	Li:Rb:Cs	Cs/Rb
<b>А-3</b>	300	н/о	0,18	0,08		0,44
<b>А-2</b>	750	0,02	0,29	0,16	100:1450:800	0,55
<b>А-1</b>	850	0,02	0,23	0,43	100:1150:2150	1,09
<b>А-1а</b>	800	н/о	0,3	0,25		0,83

Необходимо еще раз особо подчеркнуть, что парогазовое вещество кратерных фумарол не может быть нагретыми метеорными водами, о чем говорит уровень редких щелочей в сочетании с особенностями их геохимии. В отличие от всех известных природных гидротерм, горячие фумарольные струи кратеров активных вулканов не только выносят все щелочные элементы, но отличаются специфическим отношением между ними: лития меньше, чем цезия и рубидия. Отношение Cs/Rb равно в среднем около 0,5, и повышается в конденсатах самых горячих вулканических газов до 1.

При том, что в породах верхней части коры цезия меньше рубидия на 1,5—2 порядка.

Чтобы понять причину такого распределения анализировался состав пара над природными высокотемпературными гидротермами, богатыми редкими щелочами, при атмосферном давлении [Арсанова 2013]. Выяснилось, что все редкие щелочи переносятся с паром, но по сравнению с раствором, в конденсате пара уменьшается относительное значение лития и рубидия к цезию. Отношение Cs/Rb оказывается выше, чем для всех типов природных растворов с высоким содержанием редких щелочей. Устанавливается ряд интенсивности перехода щелочных элементов в пар Cs > Rb > Li, причем повышение температуры в значительно большей степени влияет на летучесть цезия, чем лития; цезий резко — почти на два порядка — опережает рубидий и еще больше опережает литий.

Всё это позволяет полагать, что вещество донных кратерных фумарол представляет собой парогазовую фазу ГЮФ при потере им флюидного состояния с падением давления в апикальной части магмовода (но не воду, освободившуюся из лав, и, тем более, не метеорную воду!)

**АРСАНОВА Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

В этих же условиях на кратерах активных вулканов иногда встречается очень редкий возгон с цезием — минерал авогадрит (K, Cs, Rb)[BF<sub>4</sub>] (на Камчатке не встречен).

Не исключено, что ГЮФ поступает в «стартовых» дозах, как инициатор извержений всех типов лав: разное только его количество.

Как минералогическая редкость минерал, содержащий цезий, был обнаружен в малых количествах в трещине вблизи кромки кратера второго конуса Северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения (базальты, Камчатка). Температура газов в месте отбора составляла 294—310<sup>0</sup>С. Обнаруженный минерал отнесли к ванадатам меди с содержанием Cs<sub>2</sub>O в среднем (по 17 пробам) — 3,35 массовых %. Он назван аверьевитом в честь вулканолога В.В. Аверьева [Вергасова 1998].



**Рис. 6.** Слева — авогадрит — борофторид калия, в котором калий частично изоморфно замещен цезием (K, Cs, Rb)[BF<sub>4</sub>].

Справа — аверьевит — ванадат меди Cu<sub>5</sub>O<sub>2</sub>(VO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>\*<sub>n</sub>(CuCl) или Cu<sub>5</sub>O<sub>2</sub>(VO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>\*<sub>n</sub>(CuCl<sub>2</sub>) или Cu<sub>5</sub>O<sub>2</sub>(VO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.<sub>n</sub>(K,Rb,Cs)Cl

Особенность геохимии цезия — в его стремлении рассеяться в зоне гипергенеза (но не концентрироваться!), поэтому остывающие магмы с их микросодержаниями редких щелочей не могут быть источником цезиевых минералов как их «выпоты». Единственно вероятным источником остается ГЮФ как их изначальный носитель.

Согласно выводам Н. Титаевой и др. [Титаева и др. 1978], базальты Большого Трещинного Толбачинского извержения показали присутствие некогерентных элементов, перемещенных, по мнению авторов, с летучими, а необходимая вода (холодная!) могла поступить в магматический канал из вмещающих пород. Однако вряд ли такой механизм принципиально возможен:

- 1) давление в магматическом канале всегда выше, чем в окружающих породах, — иначе не состоится подъем;
- 2) высокая изоляция стенок магмоводов при их толщине в сотню метров едва ли позволит холодной воде сквозь них проникнуть;
- 3) движение вещества идет по температурному градиенту от высокого значения к низкому, а не наоборот. В то время как присутствие и поступление ГЮФ наиболее вероятно.

Образец свежего пепла со склона конуса Южного прорыва 1976 г. (там же) показал присутствие цезия в ураганных количествах: 0,031 %. Оно на два с лишним порядка превышает содержание элемента в лавах. Такие содержания могут быть только следами ГЮФ, особенно принимая во внимание роль летучих во фрагментации магм при образовании вулканических пеплов и пемз. Следы ГЮФ при фрагментации магм надо искать на поверхности пеплов и пузырьков пемз, но они легко смываются водой, а системный целенаправленный поиск их пока не проводится.

Участие флюида в ходе вулканических извержений наблюдается непосредственно, но зафиксировав воду в связи с извержением, принято сразу же без доказательств относить её к метеорной. Ниже примеры извержений: вулкана Мон-Пеле на Мартинике 8 мая 1902 г. и двух вулканов Камчатки.

**1-й пример.** Город Сент-Пьер у подножья вулкана Мон-Пеле готовился к выборам губернатора, в связи с чем судам было приказано не покидать бухты, а населению — города. Власти уверяли об отсутствии опасности. Однако утром 8 мая, так и не успев проголосовать, город и все его население (более 30 тыс., за исключением трех человек, случайно уцелевших, но получивших сильные ожоги) погибли мгновенно.

Сохранились свидетельства того, как разворачивались геологические события.

За 2 недели до катастрофического взрыва на вулкане возникли «довольно сильные» струи пара, затем — был выброс пепла, а еще через два дня кратер наполнился кипящим озером шириной до 200 м, рядом с которым заработал десятиметровый фонтан перегретой воды. По свидетельству женщины, оставшейся в живых на судне в бухте, непосредственно после параксизмального взрыва утром 8 мая «на нас повалил горячий влажный пепел». Город

**Арсанова Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

погиб от «палящей тучи», которая стремительно скатилась по склонам. Люди задохнулись от газов и обугливались на месте от жара. Причем иногда предметы в непосредственной близости оставались без изменений. Так, была найдена обуглившаяся женщина с прижатым к губам совершенно нетронутым платком, а в губернаторском доме на столе осталась целой посуда при том, что сам губернатор и его жена обуглились. Через четыре месяца из кратера стал расти каменный обелиск — столб окаменевшей лавы диаметром 100—150 м, который через месяц-полтора достиг высоты 310 м над основанием кратера, но через год — рухнул.



**Рис. 7.** Извержение вулкана Мон-Пеле 8 мая 1902 г. Слева направо: раскаленная туча, несущаяся по клону от вулкана к морю в сторону города во время извержения; вид на Сен-Пьер после извержения вулкана; на улице Сен-Пьера после извержения вулкана; столб окаменевшей лавы, образовавшийся на вершине вулкана Мон-Пеле после извержения

Пример показывает, что в извержении, участвовало огромное количество воды, физические параметры которой говорят о её изначальном флюидном состоянии. Если бы извергались нагретые морские или метеорные воды, каким-то путем проникшие в канал (хотя — как они могли оказаться в вершинной части горы?), то они бы не содержали растворенных газов и ход извержения был бы другим, если бы вообще состоялся. Если бы выброшенные газы были бы сразу свободными — они бы поднялись в атмосферу прямо с кратера, так как изначально были горячими, но они переместились с раскаленным флюидом и освобождались по ходу уже на склонах и внизу.

Рассматривая ход извержения можно сказать, что на его начальных стадиях к поверхности поднялись только малые порции материала, и потеря флюидного состояния глубинным водным веществом наступала в верхней части канала. В результате чего произошел выброс отдельно воды, газов и пепла. Через пару недель путь подъема был «прочищен» и прогрет, и до поверхности дошла основная масса преимущественного флюидного материала. Но в апикальной части канала выход на поверхность был мал, а давление за счет газов, массово освобождающихся из флюида в связи с его фазовым переходом, росло уже стремительно, что и привело к взрыву. Однако вершинная «пробка» канала оказалась прочной, и растущее давление разорвало сам канал на уровне склона. Через образовавшуюся «брешь» в магмоводе начал выдавливаться и выливаться подобно лаве еще не дифференцированный водный флюид. По своим физическим свойствам флюид — вещество чрезвычайно подвижное и в 3 раза легче воды. Сметая и перемешивая все, он с огромной скоростью, недостижимой для лав, ринулся по склонам. В равновесие с окружающей средой он приходит не моментально. Именно флюидным состоянием и фазовым переходом можно объяснить характер воздействия: мгновенный испепеляющий жар и удушье от газов. Так как неравновесное состояние — коротко, а поток — направленный, то в «его тени» случаются непострадавшие, чудом уцелевшие местечки — как платок или посуда. (Кстати: такое совместное в одном потоке присутствие обугленного и целого материала следует использовать как поисковый признак типа извержения.) Остыв, флюид становится водой и газами. Произведя массу разрушений и лишив жизни всё живое, главное действующее вещество в основной своей массе рассеялось в атмосферу, то есть исчезло, хотя в теле грязевого потока еще некоторое время шли экзотермические реакции высвобождающихся газов.

**2-й пример.** Согласно наблюдениям А. Белоусова [Белоусов А. 2006], перед извержениями двух камчатских вулканов наблюдался следующий порядок геологических событий:

На вулкане Безымянный: произошел вершинный оползень и сразу же — очень сильный взрыв;

На вулкане Шевелуч: произошел вершинный оползень, затем слабый фреатический выплеск, потом — 7 мин. покоя и сильное извержение пеплов по плинианскому типу.

Для того, чтобы состоялся оползень во всех случаях нужна вода в каком-либо из её состояний. Флюид обладает особенно высокими диффузионными свойствами, что дает ему возможность при нарастающем давлении проникать и «пронизать» вулканическую постройку. Каменные массы по нему съезжают. Давление в апикальной части магмовода — падает, что ведет к неустойчивости состояния находящегося там флюида. Происходит массовый фазовый переход, в си-

**АРСАНОВА Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

стеме появляется много газов и воды, за которыми следует взрыв. Сила взрыва зависит от массы флюида, как основного носителя газов.

В случае вулкана Шевелуч собственно флюида в апикальной части канала было **немного**. Основная его масса находилась ниже в смеси с магмами. Поэтому сразу состоялись только небольшие выбросы воды. Потом понадобилось время на подъем по колонне смеси флюида с магмой, и далее последовал мощный выброс фрагментированной лавы в виде пеплов.

В случае вулкана Безымянного в апикальной части канала флюида было **много**, что и определило скорость и силу взрыва.

Итак, алюмосиликаты не единственные поставщики воды и газов на поверхность, и присутствие летучих не лимитируется их растворимостью в магмах. Львиная доля поступает в составе ГЮФ, самостоятельного, в такой же мере, как и магмы, «игрока» в магматическом процессе. Ниже кристаллической коры ГЮФ существует или как флюидо-расплав с переменным отношением флюид/расплав, или возможно в собственном объеме.

По Ф. Летникову [Летников 1999], флюидную природу имеет астеносферный слой мантии, что подтверждается результатами магнитотеллурического зондирования Камчатки, проведенными Ю. Морозом с соавт. [Мороз и др. 2008]. Подчеркивается, что крупные центры современного вулканизма Камчатки приурочены к поднятию астеносферного выступа, вытянутого вдоль полуострова, а выходы гидротерм 1-й группы как раз и связаны с кальдерами старых вулканических центров.

Можно предположить, что на уровне верхней мантии астеносферный флюид периодически подтягивается к основанию магмоводов, что отражается в вулканической активности на поверхности. Не исключено, что причины извержений обусловлены его активностью, и она определяет «быть или не быть» извержению на поверхности.

Основания считать ювенильный флюид энергоносителем и даже инициатором вулканического процесса бесспорно просматриваются. Сложность работы с ним, как с извергаемым материалом — в его неуловимости из-за выброса непосредственно в атмосферу, растворимости соединений и последующего бесследного поверхностного рассеяния. Необходимо проведение целенаправленных исследований по поиску его следов в свежих еще горячих продуктах вулканизма, с отдельным анализом водно-растворимой части, стекол и расплавов извергаемого материала, а также конденсата пара.

Проблема тем более важна, что в рамках современных представлений об эндогенной активности Земли первичную роль в изменении объемно-напряженного состояния литосферы, по мнению А. Маракушева [Маракушев 1999], следует приписать процессам дегазации планеты.

**5. Изменения поднимающегося ювенильного флюида  
в коре при разрыве магмовода**

Протяженный (несколько десятков километров) канал, по которому поднимается глубинный ювенильный флюид, хотя и представляет собой хорошо изолированную «трубу», едва ли долго может сохранять в коре свою целостность, если магмы по нему уже не поднимаются и не «залечивают» его трещины и дефекты. Если такой канал повредится, например, при землетрясении, то до поверхности ГЮФ не поднимется; он станет выдавливаться, «вытекать» и внедряться в породы холодной коры в месте разрыва. (Возможно, эти зоны обозначатся как геофизические аномалии.)

Отсюда следует еще один очень важный вывод: в природе существует механизм доставки ГЮФ на любой по глубине уровень коры.

Потеряв изоляцию, флюид окажется в условиях более низкого давления и значительно более низких температур, на что ответит закономерной структурной перестройкой вплоть до полной дифференциации своего состава и разделения его на отдельные самостоятельные части. В общем случае — на преимущественно пар-газовую часть и преимущественно хлоридный раствор, причем начнется высокотемпературный гидролиз NaCl и окисление газов, о чем говорилось выше. Во всех случаях система станет открытой, и процесс пойдет в проточном режиме (десятки-сотни литров в секунду) и будет длительным (десятки-сотни тысяч лет). При этом еще и сам ювенильный флюид будет эволюционировать («стареть», как следствие пока неосмысленных процессов в источнике его генерации): постепенно остывать и менять в определенных рамках свой состав, пока не иссякнет совсем. Ранее это исследовалось в отношении термальных вод [Арсанова 2014]. Изменение состава старого флюида в общем виде сводятся к тому, что элементы, ранее в молодом ГЮФ наблюдаемые на поверхности в газовой форме ( $H_2S$  и  $CO_2$ ), её меняют и переходят в раствор в форме  $SO_4^{-2}$  и  $HCO_3^{-}$  и раствор становится уже не только хлоридным, но также и с сульфатами и гидрокарбонатами. В качестве окислителя, по-видимому, выступает сам СКВ, так как изменение формы скорее происходит в «стареющем» источнике генерации флюида, а не «по дороге» в коре, хотя и последнее не исключается.

Характер преобразований флюида, оказавшегося в коре при разрыве магмовода, определит давление, или глубина места разрыва. От нее зависит — останется ли вещество в состоянии флюида или станет смесью водного раствора с газами.

Изначальный поднимающийся из-под кристаллической коры молодой ювенильный флюид, по-видимому, всегда близок по составу элементам (отвечает гидротермам 1 группы + фумарольные газы кальдеры), но превращения в коре из-

**АРСАНОВА Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

меняют его до полной неузнаваемости. Причина в том, что флюид рассеивается не путем смешения, например, с другими холодными водами, или простого остывания без изменения состава, а через фазовые переходы, дифференциацию вещества, изменение форм соединений, их окисление, нейтрализацию и т.п. действия.

Потеря флюидного состояния определится, прежде всего, давлением. Конечно и температурой тоже, но мощные стенки канала до поры ее хорошо сохраняют. Поэтому особенности метаморфоз ювенильного флюида в коре, прежде всего, зависят от глубины места разрыва канала. Здесь для флюида кончаются «тепличные» условия магмовода, и он оказывается среди относительно холодных вмещающих пород. Изменения, которые с ним будут происходить, определяются его свойствами как гомогенного преимущественно водного вещества во флюидном состоянии. Правда, неизвестны значения критических параметров флюидного состояния вещества, отвечающего по составу реальному ГЮФ, но некоторые черты его поведения можно предвидеть хотя бы в самом общем виде:

Если разрыв флюидо-проводника произошел ниже 6—7 км, то литостатическое давление еще превышает критические параметры существования воды во флюидной фазе, и ГЮФ останется в гомогенном (квазигомогенном) состоянии и начнет взаимодействовать с породами как единое вещество. И это один тип взаимодействий. Такой недифференцированный флюид, вероятно, действует в наиболее глубинных условиях при гранитизации, пегматитообразовании и образовании кимберлитов.

Если разрыв канала произойдет выше 6 километров, то тип взаимодействия будет уже другой. Попав в кору, водный флюид потеряет флюидное состояние по давлению и вместе с ним способность растворять газы. На какой-то глубине для диоксида углерода параметры потери флюидного состояния могут быть еще не достигнуты, а для воды уже перейдены. Теоретически параметры флюидного состояния смеси рассчитываются как их среднее арифметическое, но практически система будет открытой и эти два вещества скорее «разбегутся». Тем более, нельзя сказать будет ли флюид под действием литостатического или гидродинамического давления. Опыт бурения сверхглубоких скважин показал наличие зон разуплотнения на очень больших глубинах более десяти километров. Поэтому зона потери флюидного состояния в реальной коре будет «размыта» по вертикали.

Кроме падения давления ниже критического с удалением от магмовода по относительно холодным породам температура всего вещества флюида рано или поздно опустится ниже критической, и оно потеряет флюидное состояние, если не по давлению, то по температуре. В условиях отсутствия изоляции газы и раствор уже вблизи магмовода могут начать сепарироваться и проявлять себя как два вещества: газ и гидротермальный раствор. Оба они генетически глубинные, эндогенные, но представляют собой только часть ювенильного флюида, да и состояние (структура) их будет отличаться от таковой флюида. Поэтому только из свойств флюидной системы следует, что остывающая, глубинная ювенильная субстанция будет последовательно менять свои свойства по экстракции, удержанию (переносу) и осаждению различных веществ и элементов, причем селективно. И эти свойства сложного вещества, теряющего флюидное состояние, могут объяснить конкретные особенности гидротермального минералообразования.

Как известно, наиболее продуктивна именно верхняя часть коры, имеющая мощность 5—10 км. Так называемая, рудосфера, в которой сконцентрировано более 90% всех типов и видов полезных ископаемых. Вероятно, не случайно она приходится на глубины потери флюидного состояния.

Во всем объеме анизотропного по напряжению поля взаимодействия с породами, куда только сможет «дотянуться» флюид, в конкретный момент и в конкретном месте установится свое равновесие, причем динамическое. С одной стороны — везде действует единое вещество — ювенильный флюид, — однако в разных частях зоны будет иметь место градиент параметров ТР и, следовательно, этот флюид будет существовать и действовать в разных своих состояниях и фазах и поэтому может быть представлен разными своими частями, имеющими разные свойства. Вследствие чего в разных местах зоны взаимодействия, он оставит разные следы в виде газовой-жидких включений, твердых фаз и измененных пород. Мысль, что любой природный раствор должен подчиняться принципу «мозаичного равновесия» на длинном своем пути, была впервые высказана Д. Коржинским [Коржинский 1962].

Вероятно, именно по этой причине иногда возникают представления об отсутствии общих закономерностей гидротермального рудообразования. Примером может быть работа Д. Уайта [Уайт 1977], согласно которой существуют лишь «разнообразные модели рудообразования» и для рудообразования необходимо «благоприятное стечение обстоятельств». По нашему мнению, закономерности гидротермального рудообразования не могут не существовать, и настоящая работа есть попытка посмотреть на проблему со стороны самой гидротермальной среды, в которой минералообразование происходит.

Гидротермальные процессы, наблюдаемые в природе, действительно очень многообразны, но существует общность их генетических корней, и самым подходящим кандидатом на роль главного действующего лица, как в качестве энергоносителя, так и в части вещества и среды, является ГЮФ. Его самая важная уникальная особенность — чрезвычайно широкая многофункциональность. Прежде всего, ГЮФ — мощный энергоноситель. Он и магмы активизирует, чтобы вывести их на поверхность, и сам разгружается на поверхности в виде горячей воды и газов. Он может проникнуть на любой уровень коры, где может менять фазы и формы соединений своих элементов. Дифференцируется на вновь возникшие вещества, которые участвуют в реакциях высокотемпературного гидролиза, окисления, разложения, переотложе-

**АРСАНОВА Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

ния и т.п. При этом меняются формы переноса-концентрирования элементов, уже не говоря о том, что его много по массе, он длительно и в больших объемах течет и перемещает различные вещества в разных их видах, оставляя твердые минеральные осадки и пополняя гидросферу и атмосферу.

Никакой из предлагаемых на эту роль ранее альтернативных кандидатов рудообразующих растворов, как то: отщепившиеся магматогенные воды, метаморфогенные и тем более инфильтрационные или седиментогенные – такими свойствами не обладают.

Единый общий закон гидротермальных воздействий, скорее всего, есть, и его познание в деталях лежит через изучение эволюции и свойств многофункционального ГЮФ.

**Заключение**

Ниже в тезисной форме излагаются самые общие выводы о природе и роли ГЮФ, которые на данном этапе осмысления материала рассматриваются как рабочая гипотеза, необходимая для оценки её соответствия полевым наблюдениям на вулканах и гидротермах, а также возможности объяснения с её помощью происхождения некоторых генетически неясных руд:

- Горячая дегазация планеты происходит в форме сложного вещества, названного глубинным ювенильным флюидом — ГЮФ, который поступает в кристаллическую кору и на поверхность в процессе вулканизма совместно с магмами и самостоятельно. Его условный состав (т.е. приведенный к нормальным ТР условиям, так как глубинная структура неясна) соответствует ранее полученному на основании газово-жидких включений, расчетов и экспериментов.
- По-видимому, изначально ГЮФ скапливается в области астеносферы и возможно его активность на этом уровне влияет или определяет вулканизм на поверхности.
- Уникальные свойства ГЮФ позволяют ему разными способами взаимодействовать с магмами, что определяет характер и тип вулканического извержения. Так, ГЮФ
  - вместе с магмой строит в твердой коре канал транзита — магмовод,
  - снижает вязкость магм теплом и добавкой компонентов как флюсов,
  - растворяет алюмосиликаты и создает смесь флюида и расплава,
  - активно перемешивает материал со своим участием,
  - перемещает газы в растворенном состоянии и быстро их освобождает,
  - фрагментирует магмы до пены и газо-взвеси и эвакуирует их в виде пемз и пеплов.
- Максимальное количество ГЮФ требуется для начала извержения кислых магм, после чего флюид самостоятельно поступает по тому же магмоводу с огромным дебитом еще в течение десятков-сотен тысяч лет; в поверхностной и приповерхностной зоне он создает гидротермальные системы.
- Если магмовод, по которому поднимается ГЮФ, потеряет в коре свою целостность, ГЮФ станет изливаться непосредственно в кору в месте дефекта, что ведет к длительному гидротермальному метаморфизму вмещающих пород и новому минерало- и рудообразованию.
- Особенности гидротермальных воздействий на вмещающие породы определяются уникальной способностью ГЮФ менять в зависимости от РТ-условий формы соединений своих элементов, которые затем, вступая в химическое взаимодействие с окружающими породами сообразно их свойствам, кардинально их перестраивают, а мощные водные потоки их перемещают в пространстве и переоткладывают, создавая все многообразие гидротермальных рудопроявлений и различного вида перерождений вмещающих пород. Одновременно возникают разнообразные минеральные воды от низкоминерализованных (конденсатных) до рассолов, а газы становятся свободными.
- Путь к познанию единого закона рудообразования лежит через изучение свойств ГЮФ.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Аверьев В.В. Гидротермальный процесс в вулканических областях и его связь с магматической деятельностью // Современный вулканизм. М.: Наука, 1966. С. 118–128.
2. Арсанова Г.И. К вопросу о происхождении перегретых хлоридно-натриевых вод молодых вулканических областей // Гидротермальные минералообразующие растворы областей активного вулканизма. Новосибирск: Наука, 1974.а. С. 14–21.
3. Арсанова Г.И. Редкие щелочи в термальных водах вулканических областей. Новосибирск: Наука, 1974.б. 111 с.

**АРСАНОВА Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

4. Арсанова Г.И. К геохимии цезия: источник цезия в термальных водах и кислых вулканитах [Электронный ресурс] // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2013. Т. 4. Вып. 1: Система планета Земля. Стационарный сетевой адрес: 2227-9490e-aprov\_e-ast4-1.2013.23.
5. Арсанова Г.И. Происхождение термальных вод вулканических областей // Вулканология и сейсмология. 2014. № 6. С.44–58.
6. Белоусов А.Б. Эксплозивные извержения вулканов Курило-Камчатского региона: механизм, динамика, закономерности образования отложений. Автореф. дисс. ... д. г.-м. н. М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2006. 42 с.
7. Белоусов В.И., Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Геологические позиции геотермальных систем Долины гейзеров и кальдеры Узон // Вулканология и сейсмология. 1983. № 1. С. 65–80.
8. Бычков А.Ю. Геохимическая модель современного рудообразования в кальдере Узон (Камчатка). Москва: ГЕОС. 2009. 124 с.
9. Вергасова Л.П., Старова Г.Л., Филатов С.К., Ананьев В.В. Аверьевит  $Cu_5(VO_4)_2O_2 \cdot nH_2O$  — новый минерал вулканических эксталяций // Доклады РАН. 1998. Т. 359. № 6. С. 804–807.
10. Галкин А.А., Лунин В.В. Вода в суб- и сверхкритическом состояниях — универсальная среда для осуществления химических реакций. // Успехи химии. 2005. Т. 74. № 1. С. 24–40.
11. Гаранин В.К. Минералогия кимберлитов и родственных им пород алмазоносных провинций России в связи с их генезисом и поисками. Автореф. дисс. ... д. г.-м. н. М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2006. 48 с.
12. Горбатый Ю.Е. Бондаренко Г.В. Сверхкритическое состояние воды // Сверхкритические флюиды: теория и практика. 2007. Т. 2. № 2. С. 5–19.
13. Граменицкий Е.Н., Котельников А.Р., Батанова А.М., Щекина Т.И., Плечов П.Ю. Экспериментальная и техническая петрология. М.: Научный мир, 2000. 416 с.
14. Григорьев Н.А. Распределение цезия и цезиевых максиминералов в верхней части континентальной коры // Литосфера. 2008. № 6. С. 87–93.
15. Действующие вулканы Камчатки / Отв. ред. Федотов С.А., Масуренков Ю.П. Т. 1. М.: Наука, 1991. 302 с.
16. Жузе Т.П. Роль сжатых газов как растворителей. М. Недра, 1981. 165 с.
17. Залепугин Д.Ю., Тилькунова Н. А., Чернышова И.В., Поляков В.С. Развитие технологий, основанных на использовании сверхкритических флюидов // Сверхкритические флюиды: теория и практика. Т. 1. № 1. 2006. С. 27–51.
18. Карпов Г.А., Алехин Ю.В., Лапицкий С.А. Новые данные по микроэлементному составу гидротерм и фумарол Камчатки // Ежегодная конференция, посвященная Дню вулканолога. 2008. Петропавловск-Камчатский: Ин-т вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 2008. С. 120–131.
19. Карпов Г.А., Мороз Ю.Ф., Николаева А.Г. Геохимия гидротерм и глубинное строение кальдеры Узон (Кроноцкий заповедник) // Труды Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника. Воронеж: СТП, 2014. Вып. 3. С. 163–180.
20. Кирюхин А.В. Международный семинар «Взаимосвязь магматической системы вулкана Мутновский и Мутновского геотермального месторождения» // Вестник Камчатской региональной ассоциации «Учебно-научный центр». Науки о Земле. 2006. № 2. Вып. 8. С. 215–219.
21. Коржинский Д.С. Проблемы физико-химической теории петрологических процессов // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1962. № 1. С. 10–25.
22. Кузнецов Р.А., Богданов Р.В. Ядерно-химические аспекты захоронения концентратов радиоактивных отходов в земной коре // Вестник СПбГУ. 2010. Сер. 4. Вып. 3. С. 126–130.
23. Леменовский Д.А. Баграташвили В.Н. Сверхкритические среды. Новые химические реакции и технологии // Соросовский образовательный журнал. 1999. № 10. С. 36–41.
24. Летников Ф.А. Флюидные фации континентальной литосферы и проблемы рудообразования // Смирновский сборник-99. М.: ВИНТИ, 1999. С. 63–98.
25. Ломизе М.Г. Вулканическое кольцо Тихого океана // Соросовский образовательный журнал. 1999. № 9. С. 59–66.
26. Маракушев А.А. Происхождение и эволюция Земли и других планет Солнечной системы. М.: Наука, 1992. 206 с.
27. Маракушев А.А. Происхождение Земли и природа ее эндогенной активности. М.: Наука, 1999. 225 с.
28. Мартынова М.А., Хаустов В.В., Диденков Ю.Н. Ювенильные воды // Пространство и Время. 2003. № 1(11). С. 132–139.

**АРСАНОВА Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

29. Мороз Ю.Ф., Лагута Н.А., Мороз Т.А. Магнитотеллурическое зондирование Камчатки // Вулканология и Сейсмология. 2008. № 2. С. 1 – 13.
30. Мороз Ю.Ф., Карпов Г.А., Мороз Т.А. Николаева А.Г., Логинов В.А. Строение кальдеры Узон на Камчатке по геофизическим данным // Вулканизм и связанные с ним процессы. Сборник научных статей. Петропавловск-Камчатский: Ин-т вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 2013. С. 233 – 240.
31. Мировой и российский рынок цезия 2012 (Металлический, радиоактивный, другие соединения). Аналитический обзор. Екатеринбург: METALResearch, 2012. 40 с.
32. Наумов Г.Б., Толстых М.Л., Гриб Е.Н., Леонов В.Л., Кононкова Н.Н. Химический состав, летучие компоненты и элементы-примеси расплавов Карымского вулканического центра (Камчатка) и вулкана Головнина (о. Кунашир) по данным изучения включений в минералах // Петрология. 2008. Т. 16. № 1. С. 3 – 20.
33. Наумов Г.Б., Беркелиев Т.К., Миронова О.Ф. Формирование гидротермальных рудообразующих растворов в океанах и на континентах // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2011. № 3. С. 28 – 44.
34. Орлёнок В.В. К расчету баланса эндогенных поступлений и фотолитических потерь земной гидросферы // Доклады АН СССР. 1987. Т. 296. № 5. С. 1191 – 1194.
35. Перчук Л.Л. Флюиды в нижней коре и верхней мантии Земли // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2000. № 4. С. 25 – 29.
36. Перчук Л.Л. Глубинные флюидные потоки и рождение гранита // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 6. С. 56 – 64.
37. Попов В.С. Как образуются граниты // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 6. С. 64 – 69.
38. Посухова Т.В. Кимберлиты – природные сверхглубокие скважины // Соросовский образовательный журнал. 2000. № 5. С. 57 – 63.
39. Похиленко Л.Н. Особенности флюидного режима литосферной мантии Сибирской платформы: По ксенолитам глубинных пород в кимберлитах. Автореф. дисс. ... к. г.-м. н. Новосибирск: Институт геологии и минералогии СО РАН, 2006. 16 с.
40. Прокофьев В.Ю., Боровиков А.А., Ишков Ю.М., Гетманская Т.И., Борисенко А.С., Зарайский Г. П., Ступак Д.Ф. Состав рудообразующего флюида Спокойнинского месторождения вольфрама (Забайкалье, Россия) // Материалы XIII Международной конференции по термобарогеохимии и IV симпозиума APFIS. Т. 2. Москва, ИГЕМ РАН, 2008. С. 104 – 107.
41. Рычагов С.Н., Жатнуев Н.С., Коробов А.Д., Королева Г.П., Ладыгин В.М., Сандимирова Г.П., Стефанов Ю.М., Сывороткин В.Л., Васильева Ю.В., Главатских С.Ф., Гончаренко О.П., Делемень И.Ф., Кривошеева З.А., Ломоносов И.С., Молоствовский Э.А., Рихер Я.А., Фролов И.Ю. Структура гидротермальной системы. М.: Наука, 1993. 298 с.
42. Слезин Ю.Б. Механизм вулканических извержений (стационарная модель). М.: Научный мир, 1998. 124 с.
43. Соболева Е.Б. Термогидродинамика сверхкритических флюидов при наличии температурных неоднородностей // Сверхкритические флюиды: теория и практика. 2013. № 4. С. 62 – 77.
44. Старостин В.И. Флюидодинамика месторождений полезных ископаемых – новое направление в геологии // Новые направления в изучении колчеданных месторождений. Новочеркасск: Изд-во Новочеркасского гос. техн. ун-та, 1997. С. 135 – 150.
45. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация и глобальные катастрофы. М.: Геоинформцентр, 2002. 250 с.
46. Титаева Н.А., Ермаков В. А., Зазуля Т.А., Ставров О.Д., Чеховских М.М. Геохимические типы базальтов Большого Трещинного Толбачинского извержения 1975–1976 гг. // Петрологические исследования базитов островных дуг. М.: Наука, 1978. С. 69 – 109.
47. Уайт Д. Различное происхождение гидротермальных рудообразующих флюидов // Стабильные изотопы и проблемы рудообразования. М.: Мир, 1977. С. 464 – 509.

Цитирование по ГОСТ Р 7.0.11–2011:

Арсанова, Г. И. Цезий как индикатор ювенильного флюида и многофункциональность флюида [Электронный ресурс] / Г.И. Арсанова // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. — 2016. — Т. 11. — Вып. 1: Система планета Земля. — Стационарный сетевой адрес: 2227-9490e-arprovr\_e-ast10-1.2016.15.

## CESIUM AS AN INDICATOR OF JUVENILE FLUID AND MULTIFUNCTIONALITY OF THE FLUID

Galina I. Arsanova, Sc.D. (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Institute of Volcanology and Seismology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

E-mail: galina-i-arsanova@j-spacetime.com; agi888@list.ru

Nowadays, scientists are debating about two possible origins of waters on the Earth: (i) water comes from space with meteorite and comet material, and (ii) water is a consequence of the differentiation of depth substance of the Earth. Most researchers lean towards second version. There is also a point of view that accumulation of surface waters of the Earth is due to juvenile (intra-planetary) waters, which bring approx. 37 cubic kilometers into the global volume each year. It makes the relevant an issue of the surface discharge of 'juvenile' waters (i.e. waters that have not been in a superficial circuit), as well as the establishment of physical and chemical type of such waters and the proof of their juvenile character.

In my article, I probably first propose to use properties of fluid state and phase transition for explaining the mechanisms of volcanic and hydrothermal processes.

I formulate my hypothesis, based on two known fact. The first is that there is a certain type of hydrothermal fluids, which is characterized by high levels of cesium and its huge outwash (they are chloro-sodic, high temperature hydrothermal fluids, for example, water of geysers in Valley of Geysers in Kamchatka or in Yellowstone National Park). The second fact is that in this case, geochemistry of cesium does not permit its accumulation in the solution due to leaching. These two facts combined with several other indicators have led me to the conclusion that substance of these type hydrothermal fluids (i) is monogenic, (ii) it climbs up the isolated channel through the crust, and (iii) it is in an initial fluid state.

Localization of hydrothermal fluids discharges that, according to many observations, is confined to the calderas of long-lived volcanic centers, i.e. to the ring geological structures with magma conduit, through which magma rises during eruptions for hundreds of thousands or millions years. It also indicates the location of the fluid substance.

Finally, comparison between the physical and chemical characteristics and geological position of these type hydrothermal fluids of different volcanic regions of the world shows their high similarity, which also indirectly indicates their monogenesis and depth. It allows to consider such fluids, in terms of composition of elements and their ratio (but not in terms of condition and structure of such hydrothermal fluids), almost corresponds to the deep juvenile fluid (DJF), which climbs up the isolated magma conduit of long-lived volcanic center from the depths below crystalline crust.

Core fault in rising channel of these type hydrothermal fluids leads to a longtime (kiloannum) DJF discharge in the enclosing rocks with a high yield. In this case, DJF will differentiate and change complexly. As a result, the new thermal mineral waters and a variety of novel solid mineral substances will arise.

In my analysis, I identified DJF participate in volcanic eruptions: traces of cesium systematically present in acidic volcanic rocks; they are also found in the products of basic volcanism and in the composition of high-temperature bottom crateral fumaroles of active volcanoes. The ability to dissolve gases and aluminum silicates is a characteristic of water in the fluid state, but this peculiarity is lost during phase change, and this explains the features of volcanic eruptions mechanism.

I conclude that, in general, the nature of eruption is defined by ratio 'fluid-aluminum silicates' in magma conduit: (i) with the predominance of the fluid, strong explosions occur over the magma; (ii) when magma prevail over fluid, lava outflow occurs; (iii) in the presence of the fluid mixed with aluminosilicates, both fragmentation of magmas and eruption of ashes and pumices are happen. In general, studying deep juvenile fluide, its composition and location is the right way to understanding unified law of ore formation.

**Keywords:** active volcanism, acidic volcanism, asthenosphere, hydrothermal process, hydrothermal fluid, degassing of the Earth, magma conduit, deep juvenile fluid, supercritical fluid, ore-forming solution, fluid phase, fluid-fusion state, fragmentation of magmas, cesium, lithium, rubidium.

### References:

1. Averiev V.V. "Hydrothermal Process in Volcanic Areas and Its Relationship with Magmatic Activity." *Modern Volcanism*. Moscow: Nauka Publisher, 1966, pp. 118–128. (In Russian).
2. Arsanova G.I. "On the Matter of Origin of Overheated Chloride-Sodium Waters of Young Volcanic Areas." *Hydrothermal Mineral-Forming Solutions of Active Volcanic Areas*. Novosibirsk: Nauka Publisher, 1974, pp. 14–21. (In Russian).
3. Arsanova G.I. *Rare Alkalis in Thermal Waters of Volcanic Areas*. Novosibirsk: Nauka Publisher, 1974, 111 p. (In Russian).

**АРСАНОВА Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

4. Arsanova G.I. "Geochemistry of Cesium: Cesium Source in the Thermal Waters and Acidic Volcanic Rocks." *Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time* 4.1 ('The Earth Planet System') (2013). Web. <2227-9490e-aprov\_r\_e-ast4-1.2013.23> (In Russian).
5. Arsanova G.I. "Origin of Thermal Waters of Volcanic Fields." *Volcanology and Seismology* 6 (2014): 44–58. (In Russian).
6. Belousov A.B. *Explosive Eruptions of Volcanoes of the Kuril-Kamchatka Region: Mechanism, Dynamics, Regularities of Sedimentation*. Synopsis of Doctoral diss. Moscow, 2006. 42 p. (In Russian).
7. Belousov V.I., Grib E.N., Leonov V.L. "Geological Position of the Geothermal Systems of the Valley of Geysers and the Uzon Caldera". *Volcanology and Seismology* 1 (1983): 65–80. (In Russian).
8. Bychkov A.Yu. *Geochemical Model of Modern Ore Formation in the Uzon Caldera (Kamchatka)*. Moscow: GEOS Publisher, 2009. 124 p. (In Russian).
9. Vergasova L.P., Starova G.L., Filatov S.K., Anan'ev V.V. "Averievite  $Cu_5(VO_4)_2O_2 \cdot nMX$  – a New Mineral of Volcanic Exhalate." *Doklady Earth Sciences* 359.6 (1998): 804–807. (In Russian).
10. Galkin A.A., Lunin V.V. "Water in Sub- and Supercritical States as a Universal Medium for Performing Chemical Reactions." *Russian Chemical Reviews – Uspekhi Khimii* 74.1 (2005): 24–40. (In Russian).
11. Garanin V.K. *Mineralogy of Kimberlites and Related Rocks of Diamondiferous Provinces of Russia in Relation to Their Genesis and Prospecting*. Synopsis of Doctoral diss. Moscow, 2006. 48 p. (In Russian).
12. Gorbatyy Yu.E. Bondarenko G.V. "Supercritical State of Water." *Supercritical Fluids: Theory and Practice* 2.2 (2007): 5–19. (In Russian).
13. Gramenitsky E.N., Kotelnikov A.R., Batanova A.M., Shchekina T.I., Plechov P.Yu. *Experimental and Technical Petrology*. Moscow: Nauchny mir Publisher, 2000, 416 p. (In Russian).
14. Grigoriev N.A. "The Distribution of Cesium and Cesium Maximinerals in the Upper Continental Crust." *Lithosphere* 6 (2008): 87–93. (In Russian).
15. Fedotov S.A., Masurenkov Yu.P., eds. *Active Volcanoes of Kamchatka*. Moscow: Nauka Publisher, 1991, volume 1. 302 p. (In Russian).
16. Zhuze T.P. *Role of Compressed Gases as Solvents*. Moscow: Nedra Publisher, 1981. 165 p. (In Russian).
17. Zalepugin D.Yu., Tilkunova N. A., Chernyshova I.V., Polyakov V.S. "Development of Technologies Based on the Use of Supercritical Fluids." *Supercritical Fluids: Theory and Practice* 1.1 (2006): 27–51. (In Russian).
18. Karpov G.A., Alekhin Yu.V., Lapitskiy S.A. "New Data on Microelement Composition of Hydrotherms and Fumaroles of Kamchatka." *Proceedings of Annual Conference Dedicated to the Volcanologist's Day*. 2008. Petropavlovsk-Kamchatsky: Institute of Volcanology and Seismology Publisher, 2008, pp. 120–131. (In Russian).
19. Karpov G.A., Moroz Yu.F., Nikolaeva A.G. "Geochemistry of Hydrothermal and deep Structure of the Uzon Caldera (Kronotsky Reserve)". *Proceedings of Kronotsky State Natural Biosphere Reserve*. Voronezh: STP Publisher, 2014, volume 3, pp. 163–180. (In Russian).
20. Kiryukhin A.V. "International Seminar 'Interaction of the Magmatic System of Mutnovsky Volcano and Mutnovsky Geothermal Field'." *Herald of Kamchatka Regional Association 'Educational-Scientific Center.'* *Earth Sciences* 2.8. (2006): 215–219. (In Russian).
21. Korzhinsky D.S. "Problems of Physico-Chemical Theory of Petrological Processes." *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 1 (1962): 10–25. (In Russian).
22. Kuznetsov R.A., Bogdanov R.V. "Nuclear-Chemical Aspects of Disposal of Radioactive Waste Concentrates in the Earth's Crust." *Moscow University Geology Bulletin* 3 (2010): 126–130. (In Russian).
23. Lemenovsky D.A., Bagratashvili V.N. "Supercritical Environment. New Chemical Reactions and Technology." *Soros Educational Journal* 10 (1999): 36–41. (In Russian).
24. Letnikov F.A. "Fluid Facies of the Continental Lithosphere and Problems of Ore Formation." *Smirnov's Analects-99*. Moscow: All-Russian Institute for Scientific and Technical Information Publisher, 1999, pp. 63–98. (In Russian).
25. Lomize M.G. "Volcanic Ring of the Pacific Ocean". *Soros Educational Journal* 9 (1999): 59–66. (In Russian).
26. Marakushev A.A. *Origin and Evolution of Earth and Other Planets of the Solar System*. Moscow: Nauka Publisher, 1992. 206 p. (In Russian).
27. Marakushev A.A. *Origin of the Earth and the Nature of its Endogenic Activity*. Moscow: Nauka Publisher, 1999. 225 p. (In Russian).
28. Martynova M.A., Khaustov V.V., Didenkov Yu.N. "Juvenile Water." *Space and Time* 1 (2003): 132–139. (In Russian).
29. Moroz Yu.F., Laguta N.A., Moroz T.A. "Magnetotelluric Sounding of Kamchatka." *Volcanology and Seismology* 2 (2008): 1–13. (In Russian).

**АРСАНОВА Г.И. ЦЕЗИЙ КАК ИНДИКАТОР ЮВЕНИЛЬНОГО ФЛЮИДА И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФЛЮИДА**

30. Moroz Yu.F., Karpov G.A., Moroz T.A., Nikolaeva A.G., Loginov V.A. "The Structure of the Uzon Caldera on the Kamchatka Peninsula According to Geophysical Data." *Volcanism and Related Processes*. Petropavlovsk-Kamchatsky: Institute of Volcanology and Seismology Publisher, 2013, pp. 233 – 240. (In Russian).
31. *World and Russian Market of Cesium 2012 (Metal, Radioactive, Other Compounds). An Analytical Review*. Ekaterinburg: METALResearch Publisher, 2012. 40 p. (In Russian).
32. Naumov G.B., Tolstykh M.L., Grib E.N., Leonov V.L., Kononkova N.N. "Chemical Composition, Volatile Components, and Trace Elements of Melt of Karymsky Volcanic Center (Kamchatka) and Golovnin Volcano (Kunashir Island) According to the Study of Inclusions in Minerals." *Petrology* 16.1 (2008): 3 – 20. (In Russian).
33. Naumov G.B., Berkeliev T.K., Mironova O.F. "Formation of Hydrothermal Ore-Forming Fluids in the Oceans and on the Continents." *Geology and Minerals of World Ocean* 3 (2011): 28 – 44. (In Russian).
34. Orlenok V.V. "On the Calculation of the Balance of Endogenous Income and Photolytic Losses in the hydrosphere of the Earth". *Doklady Earth Sciences* 296.5 (1987): 1191 – 1194. (In Russian).
35. Perchuk L.L. "Fluids in the Lower Crust and Upper Mantle of the Earth." *Moscow University Geology Bulletin* 4 (2000): 25 – 29. (In Russian).
36. Perchuk L.L. "Underlying Fluid Flows and the Birth of Granite." *Soros Educational Journal* 6 (1997): 56 – 64. (In Russian).
37. Popov V.S. "How Granites Are Formed." *Soros Educational Journal* 6 (1997): 64 – 69. (In Russian).
38. Posukhova T.V. "Kimberlites Are Natural Ultra Deep Wells." *Soros Educational Journal* 5 (2000): 57 – 63. (In Russian).
39. Pokhilenko L.N. *Peculiarities of Fluid Regime of the Lithospheric Mantle of the Siberian Platform: The Deep-Seated Rock Xenoliths in Kimberlites*. Synopsis of Sc.D. diss. Novosibirsk, 2006. 16 p. (In Russian).
40. Prokofiev V.Yu., Borovikov A.A., Ishkov Yu.M., Getmanskaya T.I., Borisenko A.S., Zaraysky G P., Stupak D.F. "Composition of Ore-Forming Fluid Pokojninskega Tungsten Deposit (Transbaikalia, Russia)." *Proceedings of 13th International Conference on Thermobarogeochemistry and 4th APIFIS Symposium*. Moscow: RAS Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry Publisher, 2008, volume 2, pp. 104 – 107. (In Russian).
41. Rychagov S.N., Zhatnuev N.S., Korobov A.D., Koroleva G.P., Ladygin V.M., Sandimirova G.P., Stefanov Yu.M., Syvorotkin V.L., Vasilieva Yu.V., Glavatskikh S.F., Goncharenko O.P., Delemen I.F., Krivosheeva Z.A., Lomonosov I.S., Molostovskiy E.A., Rikher Ya.A., Frolov I.Yu. *The Structure of the Hydrothermal System*. Moscow: Nauka Publisher, 1993. 298 p. (In Russian).
42. Slezin Yu.B. *Mechanism of Volcanic Eruptions (Stationary Model)*. Moscow: Nauchny mir Publisher, 1998. 124 p.
43. Soboleva E.B. "Thermohydrodynamics of Supercritical Fluids in the Presence of Temperature Inhomogeneities". *Supercritical Fluids: Theory and Practice* 4 (2013): 62 – 77. (In Russian).
44. Starostin V.I. "Fluid Dynamics of Mineral Deposits Is a New Direction in Geology". *New Directions in the Study of Pyrite Deposits*. Novocheerkassk: Novocheerkassk State Technical University Publisher, 1997, pp. 135 – 150. (In Russian).
45. Syvorotkin V.L. *Deep Degassing and Global Disasters*. Moscow: Geoinformatic Publisher, 2002. 250 p. (In Russian).
46. Titaeva N.A., Ermakov V. A., Zazulya T.A., Stavrov O.D., Chekhovskikh M.M. "Geochemical Types of Basalts Big Crack Tolbachik Eruption, 1975 – 1976." *Petrological Study of Mafic Rocks of Island Arcs*. Moscow: Nauka Publisher, 1978, pp. 69 – 109. (In Russian).
47. White D.E. "Diverse Origins of Hydrothermal Ore-Forming." *Stable Isotopes and Problems of Ore Formation*. Moscow: Mir Publisher, 1977, pp. 464 – 509. (In Russian).

**Cite MLA 7:**

Arsanova, G. I. "Cesium as an Indicator of Juvenile Fluid and Multifunctionality of the Fluid." *Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time* 11.1 ('The Earth Planet System') (2016). Web. <2227-9490e-aprovr\_e-ast11-1.2016.15>. (In Russian).