

УДК 550.2:550.42:551.23:556



**Арсанова Г.И.**

## **Вода гидротерм вулканических областей: метеорная или вулканическая?**

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

E-mail: agi888@list.ru

На основании выявленных закономерностей и особенностей качественного и количественного состава гидротерм вулканических регионов, с использованием данных по их тепловому выносу, а также материалов по балансу вод Земли и по воде на планетах земной группы сделан вывод, что термальные воды представляют собой либо сам глубинный флюид, либо продукты его рассеяния в коре. Вода гидротерм — вещество вулканическое. Ее извержение замыкает активность долгоживущего вулканического центра.

**Ключевые слова:** гидротерма, термальная вода, происхождение гидротерм, генезис термальных вод, геохимия редких щелочей, геохимия лития, рубидия, цезия, вулканизм.

Вопрос, вынесенный в заголовок, один из актуальных вопросов современной гидрогеологии, вулканологии и геологии в целом. Существуют две принципиально разные позиции по вопросу происхождения гидротерм: гидротермы — нагретые инфильтрационные воды и гидротермы — глубинные флюиды магматического или мантийного происхождения.

Изотопный состав термальных вод отвечает таковому вод метеорных, но признание воды гидротерм по одному параметру нагретым инфильтрационными водами ведет к ряду геологических несоответствий, что объясняет повышенный интерес к проблеме происхождения термальных вод со стороны геологов разных специальностей.

Настоящим сделана попытка понять процессы формирования гидротерм через комплексное изучение их вещества. Исследования выполнены в основном на камчатском материале. Анализировались термальные воды, конденсаты фумарол, растворы грязевых котлов, породы и т.д. — более сотни системно отобранных проб. Определялись все щелочные элементы и компоненты общесолевого состава. По содержаниям элементов, их отношениям, взаимосвязям, распределением между фазами и состоянием вещества исследовались процессы, ответственные за природный состав гидротерм. Для подтверждения концепции привлекались материалы по балансу вод Земли и наличию воды и вулканизма на планетах земного типа.

### **1. Ювенильная вода Земли**

Априори следует иметь в виду, что локализация выходов глубинного водного вещества планеты (если оно будет обнаружено) хотя и должна быть сопряжены с глубокими структурами коры, но едва ли это будет единственная по типу структура. Поэтому ювенильная вода может быть не единственного физико-химического типа. Однако не исключено, что флюид как очень глубинное вещество планеты изначально един по своим физико-химическим параметрам, а различия возникают в коре с подъемом.

Поиск водного, глубинного, эндогенного вещества логично начинать среди самых горячих и самых энергоемких гидротерм районов активного вулканизма. Ими являются кипящие на выходе, напорные пароводяные смеси, — имеющие на глубине максимальную замеренную температуру до 350°C; так называемые "перегретые" воды. Их дебит очень высок — порядка 100—200 л/сек и больше. По солевому составу водная часть представлена почти полностью хлоридами щелочей с высоким содержанием кремния и невысокой минерализацией порядка 4—3,5 г/л и меньше. Газы (помимо азота) состоят в основном из CO<sub>2</sub>, а так же H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, NH<sub>3</sub> и других редких. Представители на Камчатке — воды Долины Гейзеров, Паужетские термы; в С. Америке — гейзеры Йеллоустонского Национального парка; в Новой Зеландии — гейзеры и источники районов Вайракей, Вайотапу, Каверау; и другие. Природные воды этого типа специфичны и похожие друг на друга по

**АРСАНОВА Г.И. ВОДА ГИДРОТЕРМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ: МЕТЕОРНАЯ ИЛИ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ?**

физико-химическим параметрам. Примечательна и важна для понимания генезиса — их приуроченность к кальдерам.

Наличие в их составе глубинного вещества показал В. Аверьев [Аверьев 1966]. Согласно его исследованиям количество тепла, выносимого водами этого типа, превышает возможности кондуктивного теплопереноса, что указывает на присутствие в их составе до четверти теплоносителя, то есть глубинного эндогенного вещества. Комплексное изучение самого вещества по его качественному составу, объему выноса и физическому состоянию показало, что все оно — эндогенно.

Действительно, характеристика минерального макросостава раствора этих гидротерм на предмет возможности его формирования через нагрев реальных холодных вод коры детально изучалась ранее [Арсанова 1974а]. Были подобраны пробы вод этого типа из разных вулканических районов мира. Они сравнивались друг с другом и сопоставлялись с составами природных инфильтрационных вод коры разных глубин, а также с растворами, получающимися при выщелачивании пород согласно лабораторным экспериментам. Исследовалась также возможность выпадения в осадок отдельных компонентов при превышении произведения растворимости различных солей при разных температурах, если допустить смешение горячей составляющей с глубинными холодными водами и т.п. различные процессы, влияющие на состав вод.

Исследование показало, что (1) вмещающие породы не могут быть источником минеральных солей для изливающихся в столь динамичном режиме "перегретых" вод, так как не содержат необходимых их количеств, в частности — хлора, и что (2) гидротермы не могут быть результатом смешения горячей и холодной составляющих. Фиксируется только горячая "составляющая", так как разбавляющая вода должна быть почти дистиллированной, а существующие на километровых глубинах природные воды — сложно минерализованы.

Большая глубина зарождения этих гидротерм — подтверждается элементами их микрокомпонентного состава. Воды этого типа повсеместно богаты редкими щелочами: Li, Rb, Cs [Арсанова 1974б]. Рассчитанный вынос цезия только одной Узон-Гейзерной гидротермальной системой за время ее жизни, определенное в 250-300 тыс. лет [Белоусов и др. 1983], составляет 690 тыс. т, в то время как мировая база ресурсов цезия, по данным ГИРЕДМЕТ, оценивается в 110 тыс. т, причем последняя цифра рассчитана для окиси цезия, а первая — для цезия. Породы коры не могут обеспечить таких содержаний в воде не только из-за их низких количеств — цезий элемент редкий, — но и потому, что он еще крайне рассеян, из-за чего его невозможно извлечь из руд полностью, а также — использовать вторично и концентрировать в растворе, извлекая из пород с фоновым содержанием. Находиться в гидротермах в столь высоких количествах цезий может только, если он поступает одновременно с эндогенным водным веществом и только из мантии.

Большой вынос цезия глубинными водами из мантии косвенно подтверждается данными по его балансу в породах верхней части земной коры. По расчёту Н. Григорьева [Григорьев 2008], цезий — элемент избыточный для осадочных пород: его содержание в них вдвое превышает то, которое соответствует продуктам выветривания. Избыток цезия в осадках покрывается его выносом с термальными водами, который идет непосредственно из мантии в гидросферу, но в расчетах не был учтен.

Совместное нахождение газов и раствора гидротерм при столь высоких температурах говорит, что газы не могли накапливаться в растворе через их растворение в условиях коры: температура в коре с погружением растет, а растворимость газов с ростом температуры падает. Тем не менее, фактически они сосуществуют при таких параметрах в одном объеме. Значит, их компоненты образовались на глубине одновременно, а последующий подъем проходил в условиях, препятствующих их разобщению. Это возможно при структурной перестройке вещества флюида. Его глубинная неизвестная нам структура, судя по всему, допускает нахождение всех этих компонентов в одном объеме. С подъемом флюид становится тем, что наблюдается на поверхности, и если его компоненты все еще вместе и не окислились, значит — путь подъема был изолированным.

**Выводы:**

(1) Рассматриваемые гидротермы не могут быть смесью компонентов разного происхождения, когда сама вода имеет один генез, а ее компоненты — различные другие. Рассматриваемый тип горячих вод — моногенен, и воды возникают как следствие единого глубинного процесса.

(2) Все вещество гидротерм этого типа поступает с глубины, причем изначально — из мантии.

(3) Вещество гидротерм (и газ и раствор) не вступало в химическое взаимодействие с веществом коры, ее воздушными газами и растворами: оно прошло кору до поверхности по изолированному каналу.

(4) Гидротермы рассматриваемого типа по элементному составу почти соответствуют глубинному водному веществу, или флюиду (частично выпадает SiO<sub>2</sub>).

**2. Генетические взаимосвязи термальных вод**

Существование на поверхности глубинного горячего водного вещества еще не отрицает возможности образования термальных вод и через нагрев.

В районах молодого вулканизма изливаются различные гидротермы глубинного формирования, отличающиеся по многим своим параметрам. Особенности связей между ними неизбежно отражаются в их химическом составе. Если гидротермы только нагреваются от горячего источника, то связей по веществу между различными термальными водами не возникнет, так как нагрев идет вне зависимости от состава воды: какая приблизилась к горячему телу — та и нагрелась. Если же вещество гидротерм одновременно является и теплоносителем, то связи по компонентам вещества для различных термальных вод должны быть.

**АРСАНОВА Г.И. ВОДА ГИДРОТЕРМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ: МЕТЕОРНАЯ ИЛИ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ?**

Наличие или отсутствие таких связей само по себе является генетическим признаком существования (или не существования) единого материального теплоносителя, или флюида.

**2.1. Единство источника тепла и вещества гидротерм**

Было опробовано порядка 80 источников и скважин в пределах 24 термопроявлений Камчатки. Для сравнения выбрано по одному наиболее представительному образцу от каждой гидротермальной системы. Анализировались взаимные связи показателей: температура, минерализация, мг-экв % Cl (химический тип воды), содержания Na и K в мг/л, содержания Li, Rb и Cs в мг/л и как % минерализации, а также парные отношения элементов: Cl/Li, Cl/Rb, Cl/Cs, Cl/Na, Cl/K, Na/Li, Na/Rb, Na/Cs, Na/K, K/Li, K/Rb, K/Cs, Rb/Li, Cs/Li, Cs/Rb.

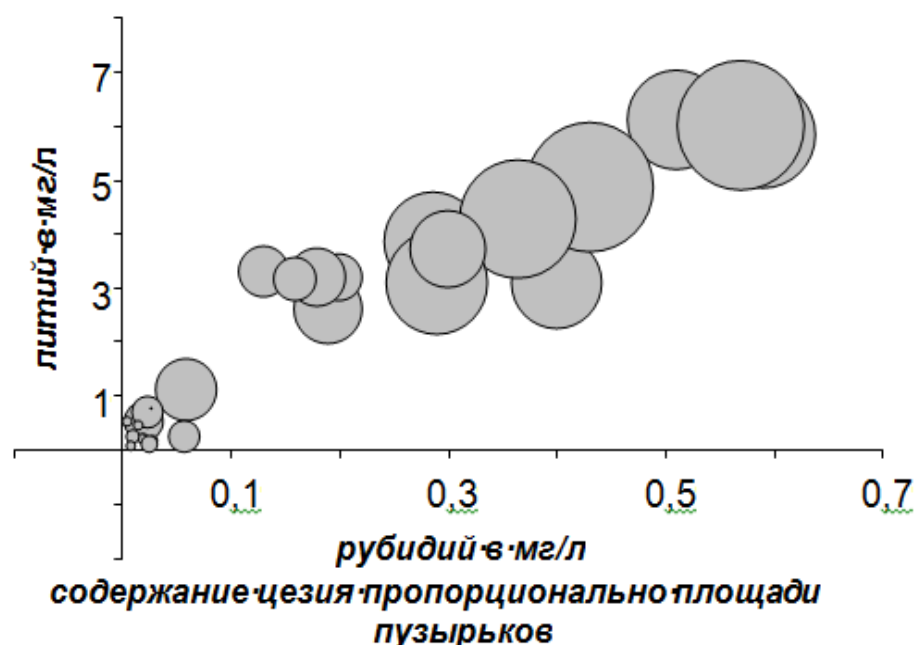
Представляемая **таблица 1** является частью рабочей. Аппроксимация данных проводилась с помощью программ Microsoft Excel. Достоверность корреляции R<sup>2</sup> рассчитывалась автоматически при подборе линии тренда.

**Таблица 1**

**Термальные воды Камчатки**

группы	Источники, ванны, гейзеры, грифоны, скважины	Т°	Мин мг/л	Cl мг-экв %	Na мг/л	K мг/л	Li		Rb		Cs		Li: Rb: Cs Li = 100
							мг/л	%мин	мг/л	% мин	мг/л	% мин	
1 группа	Паужетские ист. скв. 20	100	3300	96	1020	91	3,85	0,117	0,29	0,009	0,430	0,0130	100:07:11
	Узон ист. Цен. В. поля	95	3500	96	1015	62	6,11	0,175	0,51	0,015	0,430	0,0123	100:08:07
	Узон Гл. Гриф. о. Фум.	70	2700	93	890	130	5,83	0,216	0,59	0,022	0,470	0,0174	100:10:08
	Долина Гейзеров. Гейз. Великан	100	1800	85	580	56	3,1	0,172	0,40	0,022	0,370	0,0206	100:13:12
	Киреунские гриф. "Печка"	100	1300	82	414	29	2,6	0,200	0,19	0,015	0,220	0,0169	100:07:08
2 группа	Налычево ист. Коренной	74	4000	74	980	133	4,85	0,121	0,43	0,011	0,680	0,0170	100:09:14
	Налычево ист. р. Желтая	42	3500	67	800	115	4,25	0,121	0,37	0,010	0,575	0,0164	100:09:14
	Налычево ист. р. Горячая	50	3500	71	640	80	3,1	0,089	0,29	0,008	0,440	0,0126	100:09:14
	Налычево ист. Шайбные	17	4400	68	930	80	3,3	0,075	0,13	0,003	0,115	0,0026	100:04:03
	Краеведческие ист.	64	7500	79	1880	241	6	0,080	0,57	0,008	0,710	0,0095	100:10:12
	Таловые ист.	34	5800	60	1140	136	3,7	0,064	0,30	0,005	0,260	0,0045	100:08:07
	Щапинские ист. Цен. ванна	42	4250	68	1235	89	3,2	0,075	0,20	0,005	0,095	0,0022	100:06:03
	Ист. сред. теч. р. Белой	49	4500	87	1170	82	3,2	0,071	0,18	0,004	0,145	0,0032	100:06:05
	Пущинские ист.	40	7700	47	1450	67	3,15	0,041	0,16	0,002	0,084	0,0011	100:05:03
3 группа	Б.-Баннные ист. скв.34	100	1400	20	330	21	1,1	0,079	0,06	0,004	0,175	0,0125	100:05:16
	М.-Баннные ист. Гл. гриф.	79	660	17	155	5	0,53	0,080	0,02	0,003	0,068	0,0103	100:04:13
	Карымчинские ист. скв. ГК-5	74	1000	28	237	7	0,71	0,071	0,02	0,002	0,054	0,0054	100:03:08
	Верх.-Паратунские ист. скв. 40	56	1100	24	212	3	0,53	0,048	0,005	0,0005	0,005	0,0005	100:01:01
	Сред.-Паратунские ист. скв. 9	44	1100	11	237	7	0,21	0,019	0,02	0,0018	0,008	0,0007	100:10:04
	Сред.-Паратунские ист. скв. ГК-2	86	1300	12	228	8	0,2	0,015	0,02	0,001	0,005	0,0004	100:09:03
	Ниж.-Паратунские ист. скв. 49	89	1800	36	180	6,5	0,17	0,009	0,03	0,002	0,008	0,0004	100:17:05
	Малкинские ист.	82	590	36	160	7,5	0,11	0,019	0,03	0,004	0,017	0,0029	100:24:16
	Начикинские ист. скв. 19	75	1230	31	320	14	0,24	0,020	0,06	0,005	0,045	0,0037	100:24:19
	Озерновские ист.	80	1390	33	230	23	0,24	0,017	0,01	0,001	0,009	0,0006	100:04:04
	Сторожевские ист.	52	2180	52	470	64	0,76	0,035	0,03	0,001	0,001	0,00003	100:04:00
	Двухюрточные ист.	75	2300	50	612	20	0,45	0,020	0,015	0,001	0,007	0,0003	100:03:02
	Курильские ист.	40	890	22	100	8	0,08	0,009	0,01	0,001	0,006	0,0006	100:11:07
	Иултский ист.	34	750	1	90	16	0,06	0,008	0,005	0,001	0,0002	0,00003	100:08:00
	*ист. р. Шумная	9	300	1	9,7	1,8	0,005	0,002	0,002	0,001	0,0003	0,0001	100:40:06

Достоверность корреляции редких щелочей между собой — высокая: Li, Rb = 0,91; Rb, Cs = 0,85; Li, Cs = 0,77 (**рис. 1**). Следовательно, закономерности — есть и выявляются с высокой степенью надежности.



**Рис. 1.** Диаграмма пузырькового типа, показывающая взаимосвязь лития, рубидия и цезия в термальных водах Камчатки

АРСАНОВА Г.И. ВОДА ГИДРОТЕРМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ: МЕТЕОРНАЯ ИЛИ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ?

Данный факт подтверждает, что не случайные воды нагреваются в контакте с горячим телом, но существует теплоноситель — флюид — как единый источник вещества и тепла для всех гидротерм. Гидротермы с меньшим содержанием редких щелочей — результат его рассеяния.

То, что высокие содержания редких щелочей в термальных водах не могут быть результатом их накопления в растворе (о чем говорилось выше по признаку сверхвысоких содержаний цезия), но есть результат рассеяния флюида, доказывается еще и характером изменения отношений редких щелочей с изменением их абсолютных содержаний.

Как известно, для понимания генезиса какого-либо минерального образования исключительное значение имеет анализ отношений пар близких элементов. Чем меньше число физико-химических процессов, способных в условиях земной коры нарушить некоторые нормальные отношения для данной пары химических элементов, тем надежней геохимические выводы, построенные на анализе нарушений этих отношений. Ранее было установлено [Арсанова 19746], что цезий природных вод быстрее лития покидает раствор, сорбируясь на различных частичках, и медленнее лития переходит в раствор при выщелачивании из пород. Поэтому раствор, обогащающийся редкими щелочами за счет выщелачивания (если бы такой был найден в природе!), будет одновременно снижать свое отношение Cs/Li (связь содержания Cs и отношения Cs/Li — обратная) и поэтому не сможет приблизиться одновременно по содержаниям и отношениям к реальным гидротермам, где слишком много цезия.

При рассеянии природного раствора с высоким содержанием редких щелочей отношение Cs/Li тоже падает, что видно в зоне растекания термальных вод (рис. 2), но связь содержания Cs и отношения Cs/Li — прямая.

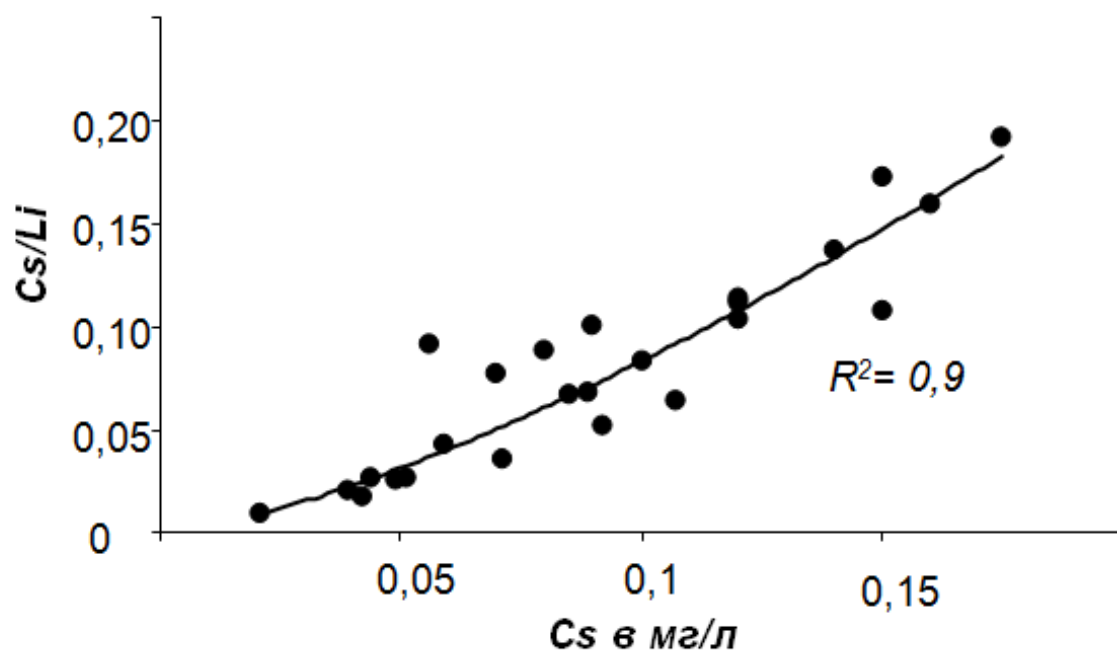


Рис. 2. Вид диаграммы при растекании вод с высоким содержанием редких щелочей на примере Больше-Банного месторождения гидротерм: с падением содержания Cs в воде падает и отношение Cs/Li.

Поэтому по характеру связи для серии природных проб можно определить — идет ли накопление редких щелочей в растворе или идет их рассеяние в гидросфере. Диаграмма, построенная для всех гидротерм Камчатки (рис. 3), показывает соответствие ее виду варианту рассеяния.

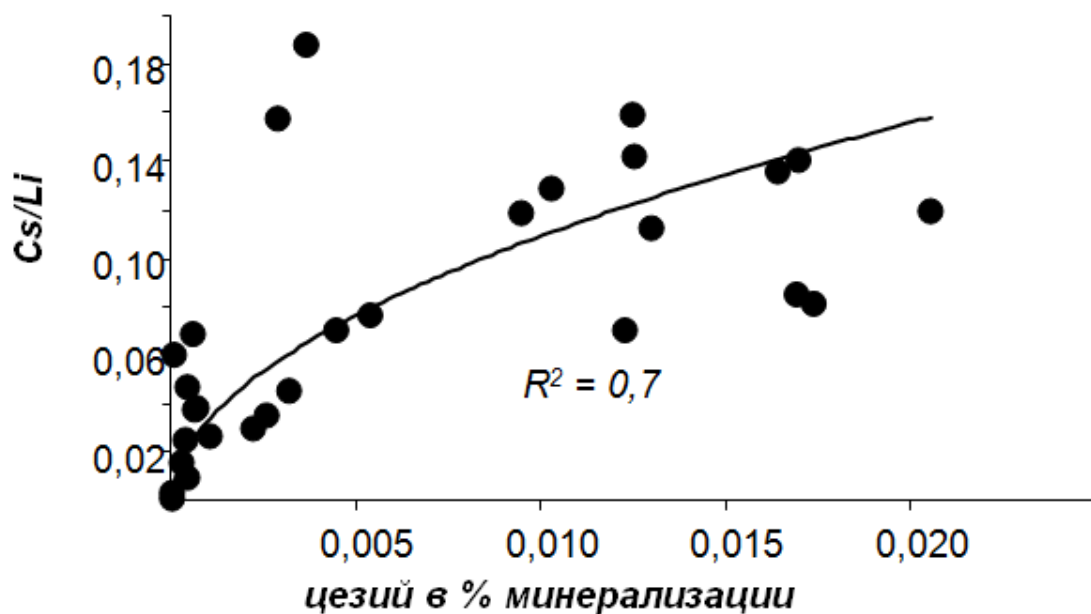


Рис. 3. Связь отношения Cs/Li с количеством Cs в гидротермах Камчатки соответствует виду диаграммы растекания природного раствора с высоким содержанием редких щелочей.

**Вывод:** В земной коре идет рассеяние глубинного флюида, богатого редкими щелочами, и термальные воды — его производные.

## 2.2. Превращение флюида в гидротермы

Чтобы выявить процессы, через которые идут превращения флюида в гидротермы, надо прежде разбить все гидротермы на родственные группы, или кластеры с использованием всех известных их параметров, то есть провести дискриминантный анализ, который считается эффективным началом построения генетической классификации. В данном слу-

АРСАНОВА Г.И. ВОДА ГИДРОТЕРМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ: МЕТЕОРНАЯ ИЛИ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ?

чае число объектов и их признаков относительно невелико — ограничивается десятками, поэтому объединение гидротерм в кластеры можно видеть уже на диаграммах двойных зависимостей, которых было составлено порядка 40. Для примера приведены две диаграммы (рис. 4–5). Точки, соответствующие гидротермам на рабочих диаграммах, в начале исследований имели собственные имена, что позволило увидеть, что из диаграммы в диаграмму гидротермы «своих компаний не меняют» и таких «компаний», или кластеров, оказалось три, причем 1-й и 2-й кластеры следуют один за другим и иногда перекрываются. Кластеры названы 1-й, 2-ой и 3-й группой вод.

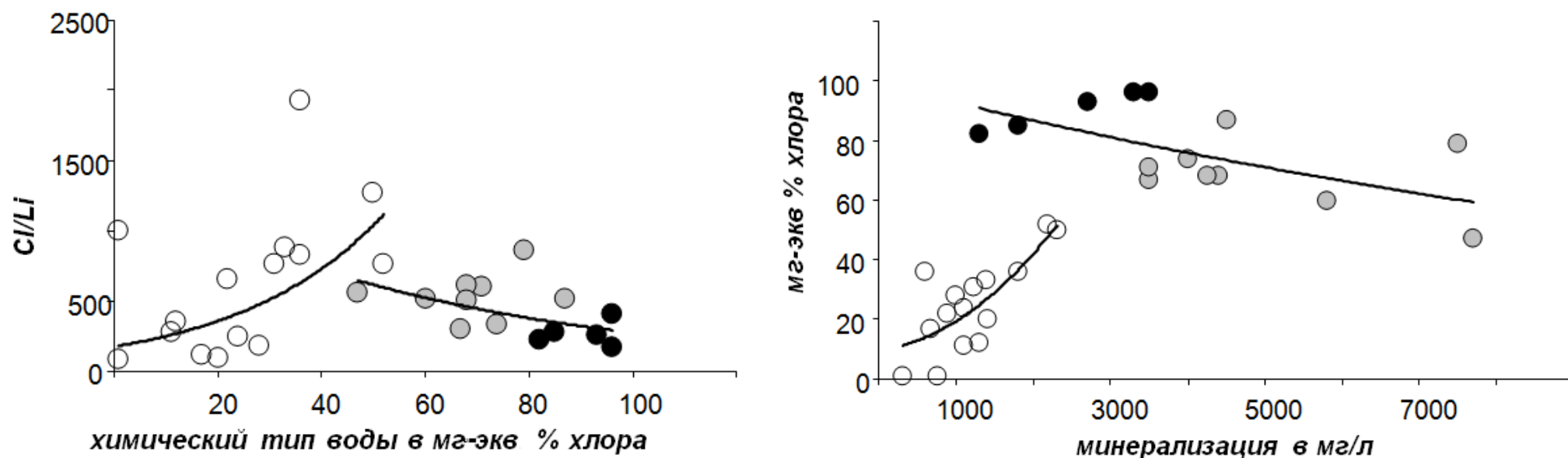


Рис. 4–5. Диаграммы, иллюстрирующие выделение кластеров. Кластеры занимают собственные поля на диаграммах: 1-й кластер (черные точки) и 2-й (серые точки) объединены одним трендом, располагаясь на разных его концах; 3-й кластер (прозрачные точки) часто им противопоставит

Смысл использования кластерного анализа — в объединении вод, имеющих единую геологическую историю. Чтобы понять эту общую геологическую историю, требуется изучить возможно больше характеристик объединенных вод, включая и ненормируемые их особенности. Кардинальное отличие гидротерм, вошедших в 1-ю и 2-ю группы, от гидротерм 3-й группы — в различном содержании таких глубинных мантийных компонентов, как редкие щелочи: в 1-й и 2-й их значительно больше, чем в 3-й. То есть воды 3-й группы позиционируют себя как результат рассеяния в коре богатого редкими щелочами флюида, но сначала разберём сходства и отличия вод 1-й и 2-й групп.

### 2.2.1. Изменение флюида во времени

1-я группа гидротерм — по элементам вещества почти соответствует флюиду, дошедшему до поверхности. Её характеристика дана выше.

2-я группа вод на нее похожа по высокому содержанию редких щелочей — определено мантийных компонентов. Выраженные в мг/л — это самые высокие содержания среди гидротерм. Выраженные в %% от минерализации, они такие же, как в водах 1-й группы, так как их минерализация в 2–4 раза выше, но вынос ими редких щелочей значительно меньше, так как ниже дебит. По макросоставу они, как и воды 1-й группы, преимущественно хлоридные, но появляются гидрокарбонат и сульфат-ионы и ионы щелочноземельных металлов. По различным параметрам они имеют признаки постепенного перехода: их температуры, дебиты, вынос тепла и вещества — значительно ниже, чем у гидротерм 1-й группы. Есть наблюдения падения их температур и дебита во времени. Подмешивания холодных вод в заметных количествах не могло быть, так как очень велико содержание редких щелочей на воду (в мг/л): подмешивающиеся воды их бы уменьшили. На Камчатке это Налычевские, Щапинские и другие. Особенно много вод этого типа в областях недавнего вулканизма и, в частности, — на Кавказе, в Карпатах, на Балканах и т.д. И хотя Камчатка — район молодого вулканизма, эти термы приурочены к участкам, где активный вулканизм был не позднее раннечетвертичного — неогенового времени.

**Вывод:** Совокупность сходств и отличий характеристик вод 1-ой и 2-ой групп показывает, что они отличаются возрастом, вернее — временем активного вулканизма в районе, а точнее — возрастом структуры, выводящей воды с глубины. Воды 1-й группы — «молодые» кипящие гидротермы; воды 2-й группы — «стареющие», остывающие, но собственно вода обеих групп, что видно по уровню редких щелочей, — эндогенная.

### 2.2.2. Рассеяние флюида в пространстве

Содержание редких щелочей в гидротермах 3-й группы ниже, чем в гидротермах двух первых групп при большом диапазоне колебаний. Температуры меняются от кипящих до теплых; дебиты — от 200 до долей л/сек. Состав: преимущественно сульфатные термы низкой минерализации (~1г/л). Представители: Банные, Паратунские, Начикинские и другие.

По количеству редких щелочей гидротермы 3-й группы — производные флюида, но процесс, лежащий в основе рассеяния, — неочевиден. Образование этих вод, становится понятным через анализ взаимных отношений близких по своим свойствам элементов, присутствующих в микроколичествах. Как известно, микроэлементы, не оказывая воздействия

**АРСАНОВА Г.И. ВОДА ГИДРОТЕРМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ: МЕТЕОРНАЯ ИЛИ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ?**

на процессы, происходящие в системе, выступают их чуткими индикаторами, так как вынуждены распределяться между фазами или внутри отдельных фаз в зависимости от физико-химических условий среды, являющейся их носителем [Рябчиков 1965]. Одновременно анализировалась неизбежность газовой-жидких переходов макроэлементов флюида, откликающихся таким образом на изменение условий, в которых оказывается флюид.

Хлор, сера и редкие щелочи показывают, что простого разбавления флюида холодными водами через смешение жидкость-жидкость не могло быть.

Действительно. Гидротермы 3-й группы — воды низкой минерализации и в основном сульфатные с примесью хлоридов и гидрокарбонатов, а исходный флюид — хлоридный с минерализацией в 3—4 г/л, но содержащий в составе газов сероводород и диоксид углерода.

Отношения Cs/Li для всех вод 3-й группы при рассеянии флюида (где Cs/Li ~0,1) должны падать в силу меньшей подвижности цезия по сравнению с литием в природных водах. Наблюдения же показывают, что некоторые из них (например, Больше-Банские) имеют отношение Cs/Li выше, чем воды 1-ой группы — при том, что содержания редких щелочей — ниже. Следовательно, в основе рассеяния лежит не разбавление одной воды другой, а иной процесс, в котором цезий более подвижен, чем литий. Такому поведению элементов отвечает распределение их между фазами при кипении [Арсанова 19746].

Редкие щелочи переходят в пар при кипении природных вод уже при атмосферном давлении, однако содержания их в паре не выше первых тысячных долей мг/л конденсата. Но это тот процесс, в котором цезий ведёт себя активней лития и «проворней» переходит в пар. По интенсивности перехода в пар при атмосферном давлении, редкие щелочи располагаются в ряд: Cs>Rb>Li и K>Na. Причем цезий опережает литий в 4—6 раз. Интенсивность перехода в пар зависит от температуры, и это больше сказывается в случае цезия, чем лития. Чем выше температура — тем больше разница в скорости перехода. Здесь поведение этих элементов значительно отличаются, что можно использовать как метку процесса.

Примером природных образований, показывающих различие в переносе с паром редких щелочей, являются вулканические возгоны. Среди высокотемпературных (800—850°C) возгонов известен очень редкий минерал — авогадрит (K,Cs,Rb)BF<sub>4</sub>. Возгонов лития — не известно. Более холодные (600—650°C) фумарольные струи кратеров активных вулканов содержат литий, но значительно меньше, чем цезия и рубидия. Чаще он не определяется даже с высоким обогащением.

Форма переноса элементов в ходе настоящих исследований не определялась; измерения делались на природных объектах без фильтров, улавливающих капельный перенос. Требовалось оценить характер распределения микроэлементов между жидкой и газовой фазами так, как это происходит в природе, когда газовая фаза «загрязнена» капельками жидкости и не ясна каталитическая роль примесей.

После того, как по поведению микроэлементов, дифференциация через кипение определилось в качестве основного процесса рассеяния флюида, объяснились и химические превращения макроэлементов газов и растворов.

В силу физико-химических особенностей флюида, он готов закипеть не только на поверхности (как на Узоне) или недалеко от поверхности (как на Паужетке), но на любой глубине, где случится декомпрессия. На возможность подземного кипения указывал еще В.И. Вернадский [Вернадский 1933—1936].

По разным причинам горячий флюид может не дойти до поверхности по изолированному каналу, как это случается при образовании вод 1-й группы, например, при его разрушении в результате землетрясения. Потеря целостности канала на глубине в коре среди пород приведет к декомпрессии флюида с неизбежным бурным кипением и фракционированием вещества на минерализованный раствор и парогазовую часть с «туманом» из капелек раствора. Место декомпрессии превращается в горячую реактивную зону с проточным режимом, где пойдут химические реакции между компонентами воздушных газов и глубинными растворами и газами, особенности которых определяются условиями конкретного места и температурой флюида, но общее направление реакций предсказуемо.

Диоксид углерода в условиях температур порядка 200—100° С устремится с паром, а сера сероводорода, как минимум, окислится до элементарной серы, летучей с паром. Подтверждение этого — выходы газопаровых струй на поверхности с отложениями вокруг десублимировавшей кристаллической серы. Пример кипящей на глубине реактивной зоны — вулкан Мутновский, названный по выражению И. Мелекесцева «паразитическим дымоходом» [Кирюхин 2006]. Вероятно такова же природа паровых струй, с серой, на вулкане Менделеева.

При более высокой температуре (порядка 300°C) сера окисляется до сульфатной формы, дающей в водной фазе ион SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, то есть — сульфатные воды. Капельки («туман») газовой фазы внесут хлоридный раствор флюида, чем добавляю в воды немного хлоридов. Понятна их низкая минерализация: они в значительной мере — конденсатные.

Параллельно не может не идти образование хлоридного депарита, который или изольется гипсометрически ниже выходов пара, или захоронится как хлоридный концентрат.

Депариты как горячие рассолы — нечасты, но встречаются, и анализ распределения редких щелочей в них позволяет считать их производными низкоминерализованного флюида. Содержания редких щелочей в горячих рассолах, выраженные в % на минеральное вещество, — ниже, чем в региональных водах 1-ой группы. Например: Ниландский рассол (Солтон-Си) содержит Li — 300 мг/л и Cs — 20 мг/л [White 1965], а в пересчёте на минеральное вещество Li — 0,09% и Cs — 0,007%, что ниже, чем в региональных водах 1-ой группы. Содержания в воде источника Верхний бассейн (Йел-

**АРСАНОВА Г.И. ВОДА ГИДРОТЕРМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ: МЕТЕОРНАЯ ИЛИ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ?**

лоустонский Национальный парк): Li — 0,80% и Cs — 0,023% на минеральное вещество. По сравнению с флюидом — в рассолах изменяется и отношение редких щелочей друг к другу, так как рубидий и цезий по сравнению с литием чуть больше идут с паром и в рассоле их становится относительно меньше. Если среднее значение отношения Li/Cs вод 1-ой группы равно ~10, то для термальных рассолов оно всегда больше 10: до 20 и даже 400 [Арсанова 1974б]. На Камчатке рассолы ещё не встречены, но они будут найдены при бурении и будут содержать много редких щелочей, однако не более чем 0,17% лития и по 0,016% рубидия и цезия на минеральное вещество.

Образуются еще и смесовые сопутствующие воды через растворение в метеорных водах «убежавшего» газового дифференциата, более подвижного, чем раствор. Таковы низкоминерализованные гидрокарбонатные воды (инфильтрационные, метеорные), газифицирующие CO<sub>2</sub>, а так же с другими газами настоящих гидротерм. Нельзя исключить и смешения природных растворов, если разница температур вод — невелика, но более вероятным представляется смешение через растворение горячего пара в холодных водах.

Как отмечено выше (п. 2.2.1), со временем мощность самого флюида падает, и он постепенно теряет способность кипеть и дифференцироваться и также постепенно меняется физико-химический облик его дифференциатов, что добавляет разнообразия водам 3-ей группы.

**Выводы:** Анализ особенностей распределения макро- и микрокомпонентов гидротерм позволяют считать ведущим процессом рассеяния флюида в коре — его фракционирование, являющееся совокупным следствием физико-химического состояния флюида и условий места декомпрессии. Оно сопровождается дифференциацией флюида на газовую (или газовую с капельками жидкости в виде «тумана») и жидкую части, которые далее существуют как отдельные гидротермы:

- (1) паровые струи с диоксидом углерода и отложениями у выходов кристаллической серы;
- (2) низкоминерализованные преимущественно сульфатные воды;
- (3) смесовые низкоминерализованные преимущественно гидрокарбонатные с эндогенными газами;
- (4) депарированные хлоридные воды повышенной и высокой (до рассольной) минерализации.

### **3. О невозможности образования гидротерм через нагрев**

Есть признаки невозможности или очень низкой вероятности формирования гидротерм через нагрев.

(1) Даже если теплоизоляция магматических тел позволяет им отдавать тепло, нельзя снять требований к структуре пород. Она должна соответствовать теплообменнику, устройство которого слишком сложно, чтобы вмещающие породы систематически оказывались в нужных для этого формах. В противном случае направленная циркуляция холодной воды к горячему телу, её нагрев и отток не возникнут;

(2) Противоречит этой модели и минеральный состав гидротерм. Если можно допустить различные способы и источники нагрева, то вещество — конкретно. Превращение холодной гидрокарбонатной (метеорной) воды с помощью нагрева в хлоридную или сульфатную — невозможно. При подземной газификации углей [Кононов 1965] окружающие воды нагреваются и известен их состав. Он не похож на состав природных гидротерм [Арсанова 1974б], что подтверждает разную их природу.

(3) Кристаллическая структура силикатов такова, что они могут отдать в раствор только очень мало растворимых веществ и извлекаются они — сразу. Поступать сотни лет в проточном режиме и формировать фактический состав вод они не могут, как не могут и постоянно поставлять хлор гипотетические седиментационные воды. Чтобы убедиться в этом, достаточно подсчитывать объем выноса веществ во времени. Если бы магматические породы растворялись подобно карбонатным, в них возникали бы полости, похожие на карстовые, что не наблюдается. Связанные химические элементы можно извлечь в раствор, разложив силикатную породу, как это происходит в грязевых котлах, но количество их — конечно и поэтому для случая проточных вод этот механизм не подходит.

(4) Для установления источников отдельных компонентов в водах недостаточно только обнаружить их во вмещающих породах. Даже наоборот: если присутствуют, значит — не извлекаются; если бы извлекались, их бы уже не было. Эксперимент, демонстрирующий переход в раствор элементов при измельчении пород в порошок, — не убедителен, если не исследовано генетическое сходство-отличие элементов в водах и породах, направление их миграции при контакте, возможность длительного поступления в проточном режиме и другие их геохимические особенности.

Например: Москва-река течет среди пород с фоновым содержанием и редкие щелочи в ее воде присутствуют, но их содержания меньше, чем в гидротермах, на несколько порядков: Li — 0,0009, Rb — 0,0011 и Cs — 0,000025 мг/л. Отношение Li:Rb:Cs=100:130:0.3 — условное отношение, в котором Li принимается за 100. Это согласуется с отношениями элементов в породах, где Rb>Li>Cs, и вместе с их низким содержанием указывает на породы как на источник редких щелочей в речной воде.

Гидротермы 1-й группы при очень высоких содержаниях имеют среднее мировое отношение Li:Rb:Cs =100:13:14, а для Камчатских гидротерм как 100:10:9

Воды выщелачивания не схожи с гидротермами ни по содержаниям, ни по отношениям элементов. И главное, — отсутствуют природные механизмы, которые вели бы к схожести — к относительному накоплению в природном растворе выщелачивания цезия по сравнению с литием и рубидием.

Более того, редкие щелочи, хотя и в очень малом количестве, переходят из вод в породы. Гидротермально-измененные

**АРСАНОВА Г.И. ВОДА ГИДРОТЕРМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ: МЕТЕОРНАЯ ИЛИ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ?**

породы скважины № 20 на Паужетке в зоне парообразования имеют чуть повышенные содержания редких щелочей по сравнению с неизменными породами района. Ниже в числителе дается содержание элемента в неизменённых породах района, в знаменателе — среднее в гидротермально-изменённых породах скважины № 20, в скобках — пределы колебаний в гидротермально-изменённых породах. Литий: 0,0012/0,0035 (0,008—0,001); рубидий: 0,0023/0,0029 (0,008—0,0002); цезий: 0,00014/0,00017 (0,00026—0,00007). Добавки в породы поступили из воды за все время жизни гидротермальной системы, когда мимо проследовали тысячи тонн редких щелочей, поэтому их содержания в воде практически не меняются.

Всё это показывает, что редкие щелочи, переходящие в воду из пород, и редкие щелочи термальных вод — это генетически разные редкие щелочи, имеющие разную геологическую историю.

(5) Если бы термальные воды образовывались в результате нагрева, то связей между компонентами их составов возникнуть не могло бы, в то время как по факту — связи по веществу устанавливаются.

(6) Согласно модели нагрева — процесс превращения метеорной воды в гидротерму должен протекать от низкой температуры к высокой, и в этом случае невозможно объяснить накопление газов, о чем говорилось выше. Холодная вода должна опускаться в хорошо проницаемые породы для нагрева, но требуются высокое давление при хорошей изоляции, чтобы «удержать» перегретую пароводяную смесь.

(7) Сходство изотопных составов вод горячих и метеорных — установленный факт, но один этот факт не всегда однозначно свидетельствует о генетическом родстве, возможна конвергенция.

Действительно. Ныне считается, что гравитационное поле Земли — недостаточно для удержания  $^1\text{H}$ , и планета избирательно теряет протий в результате его диссоциации в межпланетное пространство. Предпочтительная потеря протия с поверхности планет земного типа подтверждается непосредственными измерениями в экзосфере Венеры [Bertaux J. et al. 2007]. Замерен даже рост дейтерия в атмосфере Венеры сверху вниз. Ювенильная вода планет, став поверхностной, обогащается дейтерием, то есть — «тяжелеет». Метеорные воды — это более легкая часть поверхностных вод, что приближает их к исходной ювенильной.

Процессы, формирующие изотопные составы глубинных и метеорных вод — разные и причина их сходства — в конвергенции.

#### **4. Зона декомпрессии как место гидротермального минералообразования**

Зона декомпрессии по условиям в ней соответствует мощному геохимическому барьеру, воздействующему физически и химически на окружающие породы и сам флюид, что ведет к новообразованиям во вмещающих породах и изменению составов жидких и газовых фаз. Область кипения, раз возникнув, будет существовать в проточном режиме, пока «живет» гидротерма и будет очень динамичной. Обломки вмещающих пород, вырываясь из стенок, дадут материал для брекчий и конгломератов; вмещающие породы — гидротермально изменяться. Следы похожих зон встречаются в обнажениях. Вероятно, именно в таких местах образуются флюидно-эксплозивные породы, или флюидолиты [Якобсон и др. 2008]. Известны так же загадочные по своему генезису месторождения золота среди вулканических пород Витватерсранд (ЮАР) и в Кураминском хребте (Средняя Азия), где пирит не окислен, но обкатан [Портнов 2000]. Подземное кипение объясняет их генезис.

Было подмечено сходство нефтяных и термальных вод по содержанию и отношению редких щелочей, что позволило предположить их генетическую связь [Арсанова 19746]. Возможно, кипящие зоны являются местами синтеза углеводородов биохимическим или химическим путем. Глубокие зоны кипения, как инкубаторы, подходят на роль мест рождения первой биоты Земли. Не исключено, что под выходами некоторых современных гидротерм 3-й группы идет современное гидротермальное рудообразование, которое можно обнаружить геофизическими методами по шуму реактивной зоны.

**Вывод.** Глубинное гидротермальное рудообразование и образование вод 3-й группы, по-видимому, совпадают по месту, имеют общую причину и связаны единым флюидом.

#### **5. Гидротермы и вода на поверхности планет**

Если гидротермы действительно результат рассеяния в коре мантийного флюида, то они являются следствием дегазации недр планеты и как таковые должны постоянно вносить свою долю в баланс вод Земли. Согласно представлениям о гидротермах, как о нагретых водах коры, они только возобновляются в рециклингах и на общий объем вод Земли не влияют. Поэтому статьи баланса вод планеты и данные по наличию воды на планетах земной группы помогут оценить приемлемость той или иной концепции происхождения гидротерм.

##### **5.1. О балансе вод Земли**

Опираясь на материалы глубоководного бурения, а также на оценку потерь воды нашей планетой, как следствие её фотолитиза в верхних слоях атмосферы, В. Орлёнок [Орленок 1987] пересчитал баланс вод Земли и впервые показал две новые его составляющие: потери воды Землёй в космос и вступление на поверхность внутрпланетарной (термин В. Орлёнка) воды. Ежегодные поступления на поверхность ювенильных (внутрпланетарных) вод ныне составляют 0,6—1,0 мм по уровню океана или 37 куб. км по объему.

Круговорот вод на Земле, таким образом, не замкнут, но открыт в космос. Планета постоянно, пока вода есть на по-



АРСАНОВА Г.И. ВОДА ГИДРОТЕРМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ: МЕТЕОРНАЯ ИЛИ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ?

верхности, теряет ее в космическое пространство, а новая ювенильная вода поступает из недр на поверхность. Появление ее связано с вулканизмом, а наличие на поверхности определяется балансом глубинного выноса и потерей в космос [Орленок 1987, 1998].

## 5.2. Вода и вулканизм планет земного типа

Выводы В. Орленка по балансу вод Земли подтверждают концепцию происхождения термальных вод, как производных глубинного флюида, но соответствуют ли они сами данным по воде и вулканизму на планетах земной группы?

Благодаря полётам космических аппаратов в последние десятилетия наличие воды и вулканизма на планетах перешло из категории предположения в экспериментально зафиксированные данные. Открытая информационная политика руководств порталов NASA и ESA позволяет почти online получать сведения с космических зондов. С использованием в основном этой информации сделан нижеприведенный обзор и анализ.

**Меркурий.** В 1974 г. впервые аппарат NASA Mariner 10 сделал снимки планеты с малого расстояния. Кроме многочисленных кратеров, камеры показали поверхность с характерными складками усыхания «эскарпами» [Zuber 2004]. Зимой 2010 г. к исследованию приступил Messenger NASA и была составлена первая карта. Активного вулканизма — не увидели, но часть кратеров признана вулканическими. Вулканическая активность, была оценена в 3 млрд. лет. Завершилась она около млрд. лет назад [Brown, Campbell 2009; Brown, Buckley 2010]. Спектрометры Messenger не зафиксировали ни воды, ни её компонентов. Возможно, лёд скрыт у полюсов. Меркурий окончательно "высох", но воду ранее имел.

**Венера.** Венера-7 впервые совершила посадку на чужую планету и передала информацию с горячей (~500°C) поверхности. Вода была зафиксирована в атмосфере в количестве не выше 0,5% [Маров 2010]. Позже на основании данных Aspera — детектора космической плазмы и высокоэнергетичных атомов на борту космического зонда Venus Express (ESA) — вода была зафиксирована в экзосфере Венеры в ионизированном виде, причём ионы выдуваются солнечным ветром [Piccioni et al. 2008]. На каждый покидающий Венеру ион кислорода приходится два иона водорода, что говорит об их образовании в ходе диссоциации молекул воды, поступающих из атмосферы. Полагают, что в прошлом, на планете были океаны воды и активный вулканизм [Титов и др. 2009; Berardelli 2010].

**Марс.** Относительно воды на Марсе было много различных предположений, пока космический зонд Mars Express (ESA) не сменил их на факты. Радиолокационный прибор, обнаружил лёд в верхних слоях Марса; прибор для картографирования залежей полезных ископаемых нашел химические соединения, которые могли возникнуть только во влажной среде, а камера аппарата показала геоморфологические следы текучих вод. «Теплый влажный период длился на Марсе всего лишь несколько сотен млн лет и закончился около 4-х тыс. лет назад», — сказал научный руководитель проекта ESA Gerhard Neukum из Независимого Университета (Берлин) [Brown, Buckley 2010]. Марсоходы Spirit, Opportunity и Phoenix, а также аппарат Mars Global Surveyor (NASA), обнаружили скопления льда под поверхностью Марса: жидкая вода была на поверхности в течение геологически существенного времени и исчезла недавно [Fairén 2010]. Видны щитовые вулканы и геоморфологические следы грязевых вулканов [Berardelli 2010]. Современного вулканизма — не выявлено.

**Земля** отличается от трёх планет земной группы наличием большого количества открытой воды и активным вулканизмом, а также мощным дипольным магнитным полем, которое окутывает планету магнитосферой, препятствующей уносу воды, но не полностью его блокирующей. Меркурий имеет слабое дипольное магнитное поле, а Венера с Марсом не имеют и такого. Вода на поверхности Земли благодаря мощной магнитосфере задержалась дольше, чем на других планетах земного типа, но подобно другим планетам, Земля со временем должна свою воду потерять.

**Об источнике воды на планетах Земного типа.** Согласно существующим ныне общим представлениям, вода на поверхности каменной планеты может быть, как эндогенной, так и принесённой извне, и соотношение этих источников — одна из обсуждаемых проблем. Есть предположение, что вода получалась планетами в период их интенсивной бомбардировки, которую планеты пережили на заре формирования Солнечной системы примерно 3,8—3,9 млрд. лет назад. Согласно расчётам М. Марова [Маров 2005] таким путём могло быть перемещено  $\sim 2 \times 10^{24}$  г воды, что в 1,5 раза больше воды современных земных океанов ( $\sim 1,4 \times 10^{24}$  г). Но коль скоро существует солнечный ветер, вода с поверхности одновременно и постоянно теряется в космос. Рассчитать эти потери трудно, но они значительны. Потери воды современной Землей оцениваются в  $2,58 \times 10^{24}$  г [Орленок 1987]. Поэтому, если бы вода, перемещенная около 4 млрд. лет назад, оставалась бы на поверхности планеты, она была бы вся или в значительной мере унесена солнечным ветром.

Постоянно как кометный трансферт вода поступает, но — в малых количествах. Расчёты показали, что для Земли таким путём можно обеспечить не более 0,1-1% её воды [Court, Sephton 2009]. Не в пользу метеоритной доставки свидетельствует и то, что ныне поверхностная вода отсутствует на Марсе, Венере, Меркурии, которые при таком механизме постоянно могли бы её получать.

Остаётся принять, что вода или вещества для её синтеза должны находиться под поверхностью в теле планет уже на раннем этапе их эволюции и далее поступать на поверхность как эндогенные. Иначе трудно объяснить появление и исчезновение воды с поверхности каменных планет земного типа в определённое время их эволюции.

**Связь явлений вулканизма и воды на поверхности планет.** Одновременно с наблюдением следов присутствия воды на планетах земного типа фиксируются и следы недавнего вулканизма; активный же вулканизм, как и поверхностная вода,

**АРСАНОВА Г.И. ВОДА ГИДРОТЕРМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ: МЕТЕОРНАЯ ИЛИ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ?**

из каменных планет есть только на Земле. Согласно расчетам начальной температуры, планета Земля не была полностью расплавленной. Недра стали горячими в процессе ее роста [Рускол 2002]. Вулканизм возникает на определенном этапе эволюции планеты как следствие ее разогрева и является способом выноса на поверхность вещества недр, которое становится мобильным в жидком или газообразном и, следовательно, горячем состоянии. С окончанием вулканизма следы силикатной жидкости долго наблюдаются на поверхности планеты, а другая — водная — со временем испаряется в атмосферу, ионизируется и исчезает. Судить о былом ее присутствии можно по косвенным признакам. «Мы видим четкую связь между вулканическими областями и водными потоками», — говорит Gerhard Neukum о Марсе [Chicarro et al. 2006].

Есть верхняя и нижняя временные границы существования вулканизма на планетах земного типа. На трёх планетах активный вулканизм был, но закончился, и воду на поверхности они имели, но уже потеряли. Ныне только на Земле действуют вулканы, и только Земля покрыта водой.

**Вывод.** Современные данные по балансу вод Земли и наблюдения на планетах земного типа, показывают, что вода поступает на поверхность планет в ходе активного вулканизма пока он существует, а будучи на поверхности, теряется в космос до полного исчезновения.

Это подтверждает концепцию происхождения гидротерм как вещества вулканического.

### **6. Место гидротерм в вулканическом процессе**

По геологическим меркам вода и вулканизм существуют на поверхности каменных планет — одновременно. Часть воды поступает с лавами, часть — в виде гидротерм. Но как флюид достигает поверхности?

Проанализировав возможные источники тепла гидротерм и способы его передачи, В. Аверьев [Аверьев 1966] пришел к выводу, что формирование термоаномалий обусловлено восходящим потоком горячего флюида, а сам флюид есть следствие самостоятельного глубинного процесса. Самостоятельность флюида, по имеющимся материалам, ограничивается рамками вулканической активности, но во всех случаях — узловым элементом проблемы остается способ подъема флюида от мантии. Флюид не может двигаться из глубин Земли ни по трещине, ни по межзерновому пространству (межзерновая диффузия). Трещины на больших глубинах не могут быть открытыми, а скорости диффузии несоизмеримо малы по сравнению с дебитом природных гидротерм. К тому же до поверхности флюид должен двигаться по изолированному каналу. Иначе он начнет фракционировать.

Сгруппируем очевидное:

- (1) Место появления на поверхности самых энергоёмких гидротерм — кальдеры.
- (2) Время их появления — после объемного выброса кислого алюмосиликатного материала.
- (3) Под кальдерами имеется "протищаемый" извержениями канал подъёма магм.
- (4) Кислые магмы, будучи очень вязкими, тем не менее, выбрасываются в огромных объемах, и именно после этих выбросов следует флюид.
- (5) Растворённая вода снижает вязкость лав, а будучи в избытке и при высокой температуре, образует очень подвижную, ликвирующую и взрывную смесь двух жидкостей: силикатной и водной, которая, поднявшись, вспенивается и выбрасывается с взрывом.

Можно предположить способ подъема и время появления флюида на поверхности в вулканическом процессе: **канал для движения флюида прокладывают магмы в ходе многочисленных извержений, а флюид использует его последним, как путь наименьшего сопротивления.**

Выбросу кислого алюмосиликатного материала и появлению флюида на поверхности в качестве гидротерм предшествует его активизация на уровне верхней мантии («самостоятельный глубинный процесс генерации флюид», по В. Аверьеву), откуда он начинает поступать и энергично смешиваться с магмой в глубинном вулканическом очаге. Поступление флюида есть необходимое условие эвакуации вязких кислых магм, так как только избыток «подпирающего» флюида может превратить малоподвижные кислые магмы в мобильную смесь. Но и флюид не может вырваться в верхнюю часть коры, пока магмы не подготовят ему канал. Природа «решила» проблему эвакуации двух веществ, связав их как взаимно необходимые компоненты.

Предполагаемый механизм подтверждается составом выброшенного вулканического материала, включающего компоненты флюида. Избыток летучих в магме известен по составу и структуре пемз и игнимбритов, а высокие концентрации редкого и рассеянного цезия постоянно указываются в вулканических стёклах [Григорьев 2008].

**Вывод:** Гидротермы как геологическое явление есть следствие продолжения вулканической активности долгоживущего вулканического центра извержением водного вещества, или флюида, которое начинается после объемного выброса кислого алюмосиликатного материала, и длится еще несколько десятков или сотен тысяч лет, постепенно сокращаясь.

### **Заключение**

Вода гидротерм — вещество вулканическое, следствие дегазации планетных недр. Она появляется на поверхности планеты в обусловленное внутренним развитием планеты геологическое время и изливается по вулканическим каналам долгоживущих вулканических центров — последней, после кислых магм. Пока канал цел, флюид следует по нему до по-

**АРСАНОВА Г.И. ВОДА ГИДРОТЕРМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ: МЕТЕОРНАЯ ИЛИ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ?**

верхности. Повреждение канала ведет к излиянию флюида среди пород на глубине и, следовательно, к его декомпрессии, сопровождающейся фракционированием. Дифференциаты дают начало самостоятельным гидротермам, а место декомпрессии превращается в зону гидротермального минералообразования и изменения пород.

**Благодарности.** Автор искренне благодарна д.г.-м.н. Н.А. Озеровой и д.г.-м.н. Масуренкову, которые взяли на себя труд ознакомиться с работой в процессе подготовки, и сделали ценные замечания.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

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, 1974а. С. 14—21.
3. Арсанова Г.И. Редкие щелочи в термальных водах вулканических областей. Новосибирск: Наука, 1974б. 111 с. 2-ая ред. 2009. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1181535>
4. 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.
5. Вернадский В.И. История минералов земной коры. Т. 2. История природных вод. М.: «Госхимтехиздат», 1933—1936. 553 с.
6. Григорьев Н.А. Распределение цезия и цезиевых максиминералов в верхней части континентальной коры // Литосфера. 2008. № 6. С. 87—93.
7. Кирюхин А.В. Международный семинар «Взаимосвязь магматической системы вулкана Мутновский и Мутновского геотермального месторождения» // Вестник Краунц. Науки о Земле. 2006. № 2. Вып. 8. С. 215—219.
8. Кононов В.И. Влияние естественных и искусственных очагов тепла на формирование химического состава подземных вод. М.: Наука. 1965. 160 с.
9. Маров М.Я. Малые тела солнечной системы и некоторые проблемы космогонии // УФН. 2005. Т. 175. № 6. С. 668—678 .
10. Маров М.Я. Современные представления о Венере. 2010. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rumlin.narod.ru/files/Venera.pdf>
11. Орленок В.В. К расчёту баланса эндогенных поступлений и фотолитических потерь земной гидросферы // Докл. АН. 1987. Т. 296. № 5. С. 1191—1194.
12. Орленок В.В. История океанизации Земли. Калининград: «Янтарный сказ». 1998. 248 с.
13. Орленок В. В. Глобальный вулканизм и океанизация Земли. Калининград: Изд. РГУ им. И. Канта. 2008. 226 с.
14. Портнов А.М. Глубинные золотоносные «реки» Земли // Наука и жизнь. 2000. № 12. С. 56—59.
15. Рускол Е.Л. Происхождение планет и спутников // Земля и Вселенная. 2002. № 2.
16. Рябчиков И.Д. Термодинамический анализ поведения малых элементов при кристаллизации силикатных расплавов. М.: Наука, 1965. 119 с.
17. Страхов В.Н., Макалкин А.Б., Рогожин Е.А., Рускол Е.Л., Сафронов В.С., Трубицин В.П., Юнга С.Л. Актуальные проблемы геофизики // Эл. н.-и. журн. Вестник ОГГГН РАН. 1999. № 2(8). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.scgis.ru/russian/cp1251/hdgggms/2-99/strakhov.htm#begin>
18. Титов Д.В., Сведкхем Х., Тейлор Ф.У., Барабаш С., Берто Ж.-Л., Дроссар П., Формизано В., Хойслер Б., Кораблев О., Маркевич В.И., Невеянс Д., Петцольд М, Пиччони Д., Собо Ж.-А., Жанг Т.Л., Витасс О., Жерар Ж.-К., Федоров А., Санчес-Лавега А., Хелберт Й., Хофс Р. VENUS EXPRESS: Основные результаты первого этапа миссии // Астрономический вестник. 2009. Май-июнь. Т. 43. № 3. С. 195—217.
1. Aver'ev V.V. (1966). Gidrotermal'nyi protsess v vulkanicheskikh oblastiakh i ego svyaz' s magmaticheskoi deyatel'nost'yu. Sovremenniy vulkanizm. Nauka, Moskva. Pp. 118—128.
2. Arsanova G.I. (1974a). K voprosu o proiskhozhdenii peregretykh khloridno-natrievykh vod molodykh vulkanicheskikh oblastei. In: Gidrotermal'nye mineraloobrazuyushchie rastvory oblastei aktivnogo vulkanizma. Nauka, Novosibirsk. Pp. 14—21.
3. Arsanova G.I. (1974b). Redkie shchelochi v termal'nykh vodakh vulkanicheskikh oblastei. Nauka, Novosibirsk. 111 p. 2-aya red. 2009. URL: <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1181535>
4. Belousov V.I., Grib E.N., Leonov V.L. (1983). Geologicheskie pozitsii geotermal'nykh sistem Doliny geizerov i kal'dery Uzon. Vulkanologiya i seismologiya. N 1. Pp. 65-80.
5. Vernadskii V.I. (1933—1936). Istoriya mineralov zemnoi kory. T. 2. Istoriya prirodnykh vod. «Goskhimtekhnizdat», Moskva. 553 p.
6. Grigor'ev N.A. (2008). Raspredelenie tseziya i tsezievykh maksimineralov v verkhnei chasti kontinental'noi kory. Litosfera. N 6. Pp. 87—93.
7. Kiryukhin A.V. (2006). Mezhdunarodnyi seminar «Vzaimosvyaz' magmaticheskoi sistemy vulkana Mutnovskii i Mutnovskogo geotermal'nogo mestorozhdeniya». Vestnik Kraunts. Nauki o Zemle. N 2. Vyp. 8. Pp. 215—219.
8. Kononov V.I. (1965). Vliyanie estestvennykh i iskusstvennykh ochagov tepla na formirovanie khimicheskogo so-stava podzemnykh vod. Nauka, Moskva. 160 p.
9. Marov M.Ya. (2005). Malye tela solnechnoi sistemy i nekotorye problemy kosmogonii. UFN. T. 175. N 6. Pp. 668—678 .
10. Marov M.Ya. Sovremennye predstavleniya o Venere. 2010. URL: <http://rumlin.narod.ru/files/Venera.pdf>
11. Orlenok V.V. (1987). K raschetu balansa endogennykh postuplenii i fotoliticheskikh poter' zemnoi gidrosfery. Dokl. AN. T. 296. N 5. Pp. 1191—1194.
12. Orlenok V.V. (1998). Istoriya okeanizatsii Zemli. «Yantarnyi skaz», Kaliningrad. 248 p.
13. Orlenok V.V. (2008). Global'nyi vulkanizm i okeanizatsiya Zemli. Izd. RGU im. I. Kanta, Kaliningrad. 226 p.
14. Portnov A.M. (2000). Glubinnye zolotonosnye «reki» Zemli. Nauka i zhizn'. N 12. Pp. 56—59.
15. Ruskol E.L. (2002). Proiskhozhdenie planet i sputnikov. Zemlya i Vselennaya. N 2.
16. Ryabchikov I.D. (1965). Termodinamicheskii analiz povedeniya malykh elementov pri kristallizatsii silikatnykh rasplavov. Nauka, Moskva. 119 p.
17. Strakhov V.N., Makalkin A.B., Rogozhin E.A., Ruskol E.L., Safronov V.S., Trubitsin V.P., Yunga S.L. (1999). Aktual'nye problemy geofiziki. El.n.-i.zhurn. Vestnik OGGGNN RAN. N 2(8). URL: <http://www.scgis.ru/russian/cp1251/hdgggms/2-99/strakhov.htm#begin>
18. Titov D.V., Svedkhem X., Teilor F.U., Barabash S., Berto Zh.-L., Drossar P., Formizano V., Khoisler B., Korablev O., Markevich V.I., Neveyans D., Pettsol'd M, Pichchoni D., Sovo Zh.-A., Zhang T.L., Vitass O., Zherar Zh.-K., Fedorov A., Sanches-Lavega A., Khelbert I., Khofs R. (2009). VENUS EXPRESS: Osnovnye rezul'taty pervogo etapa micsii. Astronomicheskii vestnik. Mai-iyun'. T. 43. N 3. Pp. 195—217.

**АРСАНОВА Г.И. ВОДА ГИДРОТЕРМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ: МЕТЕОРНАЯ ИЛИ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ?**

19. Якобсон К.Э., Казак А.П., Толмачева Е.В., Копылова Н.Н. Флюидно-эксплозивные образования в осадочных комплексах. СПб. 2008. 38 с.
19. Yakobson K.E., Kazak A.P., Tolmacheva E.V., Kopylova N.N. (2008). Flyuidno-eksplozivnye obrazovaniya v osa-dochnykh kompleksakh. SPb. 38 p.
20. Berardelli Ph. Where Did Water Come From? ScienceNews, ScienceShot (April 14. 2010). URL <http://news.sciencemag.org/sciencenow/>
21. Berardelli Ph. Martian Volcano Mud May Have Hosted Life. ScienceNews, ScienceShot (August 20. 2010) URL. <http://news.sciencemag.org/sciencenow>
22. Bertaux J.-L., Vandaele A.-C., Korabely O., Villard E., Fedorova A., Fussen D., Quémerais E., Belyaev D., Mahieux A., Montmessin F., Muller C., Neefs E., Nevejans D., Wilquet V., Dubois J. P., Hauchecorne A., Stepanov A., Vinogradov I., Rodin A. & the SPICAV/SOIR team. A warm layer in Venus' cryosphere and high-altitude measurements of HF, HCl, H<sub>2</sub>O and HDO. Nature. 2007. V. 450 P. 646—649.
23. Brown D, Campbell P. Messenger Spacecraft Reveals. More hidden territory on Mercury. NASA. RELEASE: 09-257, Nov. 3. 2009. URL <http://www.nasa.gov/messenger>
24. Brown D, Buckley M. Messenger Spacecraft Reveals. New Information About Mercury. NASA. RELEASE: 10-170, July 15. 2010. URL <http://www.nasa.gov/messenger>
25. Court R.W., Sephton M.A. Meteorite ablation products and their contribution to the atmospheres of terrestrial planets: An experimental study using pyrolysis-FTIR. Geochimica et Cosmochimica Acta. Monday 1 June 2009. (Print publication)
26. Chicarro A., Neukum G., Bibring J.-P., Picardi G., Plaut J. Mars Express and the story of water on Mars. ESA. News Release. 16 October 2006. URL [www.esa.int/esaMI/Mars\\_Express/index](http://www.esa.int/esaMI/Mars_Express/index). [http://www.esa.int/global\\_imgs/headers/Home\\_news.jpg](http://www.esa.int/global_imgs/headers/Home_news.jpg)
27. Fairén A.G. Refilling the oceans of early Mars. Nature Geoscience. 2010. V. 3. P. 452—453.
28. Piccioni G., Drossart P., Zasova L., Migliorini A., Gérard J.-C., Mills F. P., Shakun A., García Muñoz A., Ignatiev N., Grassi D., Cottini V., Taylor F. W., Erard S., and the VIRTIS-Venus Express Technical Team. First detection of hydroxyl in the atmosphere of Venus. Letter to the Editor. A&A. 2008. V. 483. N.3. L. 29—33.
29. Price M., Suppe J. Mean age of rifting and volcanism on Venus deduced from impact crater densities. Nature (December 29. 1994) V. 372. P. 756—759.
30. White D.E. Symposium Problems of Postmagmatic Ore Deposition. Prague. 1963. Vol. 2. Prague, Czechoslovakia Geol. Survey, 1965. P. 432—443.
31. Zuber M.T. Mercury. World Book Online Reference Center. 2004. World Book, Inc. URL <http://www.worldbookonline.com/wb/Article?id=ar356240>

**THERMAL WATER OF VOLCANIC AREAS:  
METEORIC OR VOLCANIC?**

Galina I. Arsanova, PhD (Geology and Mineralogy), Senior Researcher at the Institute of Volcanology and Seismology, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences  
E-mail: [agi888@list.ru](mailto:agi888@list.ru)

The author explores the characteristics of qualitative and quantitative composition of hydrothermal volcanic regions, using data on heat removal, as well as materials on the water balance of the Earth and scientific information about the water on terrestrial planets. Based on the identified patterns of the author concludes that the thermal waters are either very deep fluids, or the products of its scattering in the crust. Thermal water is a volcanic substance, the result of planetary subsurface degassing. It appears on the surface of the planet due to the internal development of the world's geological time and flows on the volcanic channels of long-lived volcanic centers. The eruption of hydrothermal water encloses the activity of those volcanic centers.

**Keywords:** hydroterm; thermal water; parentage a hydroterm; genesis of thermal waters; geochemistry of rare alkalis; geochemistry of lithium, rubidium, caesium; volcanism.