

ПОВЕДЕНИЕ РТУТИ В АПАПЕЛЬСКИХ ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКАХ (КАМЧАТКА)

Ю.В. Алехин¹, Г.А. Карпов², С.А. Лапицкий¹, Р.В. Мухамадиярова¹, А.Г. Николаева²

¹Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова СО РАН, Москва,
e-mail: alekhin@geol.msu.ru

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,
e-mail: karpovga@kscnet.ru

Апапельские горячие источники расположены в пределах Срединного хребта Камчатки, в правом борту верхней части долины р. Анавгай, поблизости от широко известного Чемпуринского рудопроявления ртути. Источники представляют собой поверхностные проявления высоко-температурной гидротермальной системы – Апапельской [Леонов, 1991].

По данным [Власов, Василевский, 1964] горячие источники приурочены к долгоживущей зоне Центрально-Камчатского глубинного разлома, сопровождающегося в районе Апапеля мощной и протяженной толщей окварцованных и каолинизированных пород. В основании стратиграфического разреза данного термального района залегают плиоценовые вулканогенные породы.

Тепловое питание источников обеспечивается близповерхностным магматическим очагом кислого состава и за счет более сложных процессов тепломассопереноса, происходящих в зонах глубоко проникающих разломов [Леонов, 1991].

Рассматриваемые нами термальные источники состоят из двух групп – Верхне- и Нижне Апапельских. Последние наблюдаются в пойме р. Анавгай, у бровки первой надпойменной террасы, близ устья ручья Апапель и отличаются от верхних терм меньшей температурой и минерализацией.

Под названием Верхне-Апапельских источников подразумеваются издавна известные местным жителям эвенам и корякам группа выходов горячих вод (грифонов) в верховьях круто падающего ручья Апапель (правого притока р. Анавгай). Это слабощелочные термы хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатного, натриевого типа с максимальной температурой воды до 97°C, дебитом около 10 л/с и минерализацией до 1.50 г/л. Характерной химической спецификой для Апапельских терм является наличие в их водных растворах таких компонентов как H_4SiO_4 – 0.2 г/л, H_3BO_3 – 0.1 г/л, As – 0.0023 г/л и повышенных микроколичеств – Sr, Sb, Vg и в том числе Hg (0.004 мг/л) [Иванов, 1958].

Исходя из этих данных обращает на себя внимание не слишком высокий количественный показатель последнего компонента в воде.

Более высокое содержание ртути на выходе Апапельских источников было отмечено [Озерова и др., 1988; Смирнов и др., 1972] в газовой фазе (75000 нг/м³), что на три порядка выше измеренного ими же значения в атмосферном воздухе.

Этот результат находится, с одной стороны, в противоречии с величиной константы Генри, определенной в работе [Сорокин и др., 1988], а с другой стороны, с нашими данными по валовым содержаниям ртути в термальных водах Камчатки [Алехин и др., 2007; Мухамадиярова и др., 2008], варьирующими в интервале 0.14 - 2.3 ppb при явном преобладании окисленных форм ртути.

Для проверки и согласования результатов этих работ осуществлены пробоотбор как термальных вод Апапельских источников, так и прямые измерения содержаний ртути в газопаровой фазе с помощью полевого атомного-абсорбера УКР-1МЦ и в пробе, отобранной в барботер с 3% HNO_3 после предварительной конденсации паровой фазы. Последнее значение (72 нг/м³ газопаровой фазы) хорошо согласуется с содержанием ртути на золотом сорбенте (92 нг/м³) и характеризует нуль-валентную форму переноса. Эти значения находятся в резком контрасте с данными по валовому содержанию в конденсатах паровой фазы по данным [Озерова и др., 1988] и нашим данным (Таблица).

Высокие значения содержаний ртути в конденсатах (3.3 – 124.0 ppb, пересчет объемной концентрации ртути в воздухе на массу конденсата, последняя колонка таблицы 1) находятся в явном противоречии с концентрациями ртути в водной фазе терм и могут быть объяснены значительным переносом в аэрозольной фазе.

Таблица. Содержания ртути в водах источников и конденсатах паровой фазы Апапельские источники «верхние».

Источник	№ пробы	Характеристики источника	Hg в воде, ppb	Hg, нг/м ³ , конденсат водного аэрозоля
APV-05	КМЧ-109/07	T = 84.7 °C; S = 1068 мг/л (по NaCl); pH = 7.8; Eh = 545 mV	0.194	9500
APV-09	КМЧ-113/07	T = 64.1 °C; S = 536 мг/л (по NaCl); pH = 7.9; Eh = 379 mV	0.481	190000
APV-13	КМЧ-110/07	T = 97.6 °C; S = 1189 мг/л (по NaCl); pH = 8.8; Eh = 589 mV	0.189	-
APV-14	КМЧ-111/07	T = 88 °C; S = 1002 мг/л по (NaCl); pH = 7.2; Eh = 367 mV	0.227	311000
APV-19	КМЧ-114/07	T = 55.5 °C; pH = 7.18; Eh = 400 mV	0.242	-

Апапельские источники «нижние»

Источник	№ пробы	Характеристики источника	Hg в воде, ppb	Hg, нг/м ³ , конденсат водного аэрозоля
Источник №1	КМЧ-103/07	T = 41.7 °C; S = 586 мг/л (по NaCl); pH = 7.3; Eh = 310 mV	0.188	-
Источник №2 ванна), 1-ый слив	КМЧ-104/07	T = 41.5 °C; S = 1024 мг/л (по NaCl); pH = 8.4; Eh = 329 mV	0.177	-
Источник №2 ванна), 2-ой слив	КМЧ-105/07	T = 52.2 °C; S = 1041 мг/л (по NaCl); pH = 6.75; Eh = 347 mV	0.296	2680
ванна с грифонами	КМЧ-106/07	T = 25.7 °C; S = 738 мг/л (по NaCl); pH = 6.8; Eh = 366 mV	0.177	-
«Канавные источники»	КМЧ-107/07	T = 81-81.5 °C; S = 1170 мг/л (по NaCl); pH = 7.3; Eh = 445 mV	0.487	7350

В работе [Озерова и др., 1988] отмечены высокие содержания ртути в конденсатах парогазовой фазы современных термальных источников, что свидетельствует, по мнению авторов, о поступлении мантийной ртути по зонам глубинных разломов, продолжающееся и в настоящее время. Так, приводимые авторами данные о содержаниях ртути в газовой фазе термальных источников кальдеры Узон, колеблются от $1.0 \cdot 10^{-6}$ до $2.5 \cdot 10^{-5}$ г/м³ (2.5-60.0 ppb, т.е. 2.5-60.0 мкг/л конденсата водяного пара плотностью 0.4 г/л). Самые высокие содержания ртути отмечены авторами при отборе конденсатов парогазовых струй из кратера вулкана Мутновский, - они составляли $5-7.5 \cdot 10^{-5}$ г/л (50-75 мкг/л, ppb), достигая очень высоких концентраций $2 \cdot 10^{-3}$ г/л конденсата, что авторами связывается с извержением вулкана Горелого. Следует отметить, что такие концентрации (от 2.5 до 5000 ppb) для конденсата 85-100 °C пара на самом деле уникальны и отвечают периодам активизации вулканической и флюидной активности.

Исключение представляет система кальдеры Узон, для которой до настоящего периода высокие концентрации ртути достаточно стабильны не только в газо-паровой фазе, но и в хлоридно-натриевых водах [Набоко, 1974], достигая (по данным ВСЕГИНГЕО) 2.5 - 12.5 ppb.

Но в то же время, по данным [Алехин и др., 2005], для эксплуатационных скважин ГеоТЭС Мутновской геотермальной системы, содержания ртути в конденсатах и сепаратах, обычно находятся в пределах 0.2 - 0.5 ppb. Для других геотермальных систем эти значения зачастую [Карпов и др., 2008] бывают несколько выше, но в норме в водах редко > 1 ppb.

Это находится в согласии с приводимыми здесь результатами последних наших определений содержания ртути в воде Апапельских источников. Помимо этого, хорошо подтверждает раннюю версию по [Сорокин и др., 1988] о доминировании в газопаровой фазе паров атомарной ртути, а также медленном накоплении ее окисленных форм [Сорокин и др., 1978] в растворах и переходе в сульфидные фазы при определенном режиме сероводорода.

Согласовать и примирить эти противоречивые данные по относительно низким концентрациям в жидкой фазе и высоким концентрациям в газопаровой, удастся только относительно версии преобладания катионных форм ртути в аэрозольной фазе.

Для Апапельских термальных вод отдельной задачей является решение проблемы источника ртути. По данным [Власов, 1958] «находку киновари» здесь можно было бы объяснить размывом плиоценовых окварцованных пород, но сходство состава вод Апапельских источников с составом вод калифорнийских, отлагающих и по ныне киноварь, говорит в пользу продолжающегося ее осаждения и в современную эпоху [Щеглов, 1962]. По материалам [Набоко и др., 1977] также имеет геохимическое обоснование версия о продолжающемся в настоящее время унаследованном процессе минерало- рудообразования.

Работа поддержана грантами РФФИ №№ 05-05-64789, 06-05-72550 и 08-05-00581-НЦНИЛ.

Список литературы

Алехин Ю.В., Лапицкий С.А., Пухов В.В., Ткаченко С.Ю. Экспериментальные исследования нуль-валентных форм переноса тяжелых металлов и глобальный цикл ртути // XV Российское совещание по экспериментальной минералогии, Сыктывкар. 2005. С. 141-143.

Алехин Ю.В., Лапицкий С.А., Мухамадиярова Р.В., Пухов В.В. Новые результаты исследования отдельных составляющих геохимического цикла ртути // Электр. научно-информ. журнал “Вестник Отделения наук о Земле РАН”. 2007. № 1 (25). ISSN 1819-6586.

Власов Г. М., Василевский М. М. Гидротермально измененные породы Центральной Камчатки, их рудоносность и закономерности пространственного размещения. М.: Наука, 1964. 320 с.

Иванов В.В. Основные закономерности формирования и распространения термальных вод Камчатки // Молодой вулканизм СССР. Труды Лаборатории вулканологии АН СССР. Вып. 13. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 186-212.

Карпов Г.А., Алехин Ю.В., Лапицкий С.А. Новые данные по микроэлементному составу гидротерм и фумарол Камчатки // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский, 2008. С. 120-131.

Леонов В.Л. О некоторых закономерностях развития гидротермальной и вулканической деятельности на Камчатке // Вулканология и сейсмология, 1991. № 2. С. 28-40.

Мухамадиярова Р.В., Алехин Ю.В., Лапицкий С.А. Результаты определения региональных вариаций содержания ртути в твердой, жидкой и газовой фазах территории России // Материалы III Региональной школы – конференции молодых ученых "Водная среда и природно - территориальные комплексы: исследование, использование, охрана". Петрозаводск, 2008. С. 79-84.

Набоко С.И. Металлоносность кальдеры Узон // Гидротермальные минералообразующие растворы областей активного магматизма. Новосибирск: Наука, 1974. С. 91–93.

Набоко С.И., Карпов Г.А., Главатских С.Ф. Минералого-геохимические особенности Апапельских термальных источников // Бюлл. вулканол. станции, 1977. № 53. С. 102-111.

Озерова Н.А., Шикина Н.Д., Борисов М.В., Широков В.А., Карпов Г.А., Кирсанов И.Т., Груздев М.А., Голованова Т.И. Ртуть в современном гидротермальном процессе // Современные гидротермы и минералообразование. М.: Наука, 1988. С. 34-49.

Смирнов В.И., Кузнецов В.А., Озерова Н.А., Федорчук В.П. Новое в геохимии ртути // Геология рудных месторождений, 1972. № 4. С. 17-30.

Сорокин В.И., Алехин Ю.В., Дадзе Т.П. Растворимость ртути в системах Hg-H₂O, Hg-S-(Cl)-H₂O и формы ее существования в термальных водах Камчатки и о-ва Кунашир // Очерки физико-химической петрологии, 1978. Вып. 8, С. 133-149.

Сорокин В.И., Покровский В.А., Дадзе Т.П. Физико-химические условия образования сурьмяно-ртутного оруденения. М.: Наука, 1988. 144 с.

Щеглов И.И. О современном отложении киновари в источнике Апапель // ДАН СССР, 1962. Т. 145. № 6. С. 1373-1374.