

# СОДЕРЖАНИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ХАЛЬКОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТОЛЕИТОВОЙ СЕРИИ ЛАВ ОФИОЛИТОВОГО МАССИВА ТРООДОС (О. КИПР)

Шишкина Татьяна Александровна

Лаборатория геохимии магматических и метаморфических пород,  
геохимический отдел  
[t.shishkina@geokhi.ru](mailto:t.shishkina@geokhi.ru)

Закономерности поведения халькофильных элементов в магматических процессах слабо изучены вследствие их низких концентраций в магмах, но в последнее время появилась возможность определять достоверные содержания элементов благодаря развитию локального микроэлементного анализа методом LA-ICP-MS.

В работе представлены новые данные о содержаниях халькофильных элементов (Cu, Ag, Au, Zn, As, Sb, Tl, Bi) в стеклах из лав офиолитов массива Троодос (о. Кипр). Анализы проводились в Институте наук о Земле при университете им. Христиана Альбрехта (г. Киль, ФРГ) на приборе Agilent 7500s совмещенном с 193 нм Nd-YAG эксимерным лазером фирмы Cogent в системе GEOLAS Pro. Тщательно подобранные настройки прибора для проведения измерений позволили добиться очень низкого порога обнаружения для многих халькофильных элементов и обеспечить их воспроизводимый анализ на уровне природных концентраций.

В работе были проанализированы 70 образцов закалочных стекол (стекловатые корки подушечных лав, гиалокластиты) из северной части офиолитового массива Троодос, представляющих низко-К серию островодужных толеитов, варьирующих по составу от примитивных высокомагнезиальных базальтов (~9.0 мас.% MgO; ~52 мас.% SiO<sub>2</sub>) до риолитов (~0.5 мас.% MgO; ~72 мас.% SiO<sub>2</sub>). Особенностью стекол Троодоса является толеитовый тренд дифференциации, характеризующийся накоплением железа (и титана) при кристаллизации. Резкое падение концентраций этих элементов наблюдается в расплавах при MgO ~ 3.5 – 4.0 мас.%, что вызвано началом кристаллизации магнетита (рис. 1).

По сравнению с составами стекол базальтов СОХ [1, 2] примитивные стекла массива Троодос (MgO > 6 мас.%) содержат более высокие концентрации мышьяка (250 - 1400 мг/т), сурьмы (18 – 150 мг/т), таллия (15-110 мг/т), висмута (10 – 100 мг/т). Концентрации цинка (55 - 93 г/т) – ниже, чем в базальтах СОХ. Содержания меди (60-112 г/т) и серебра (20-40 мг/т) в целом близки к концентрациям этих элементов в базальтах СОХ (в среднем 87 г/т и 24 мг/т [2]). Концентрации золота в примитивных стеклах Троодоса варьируют в широком диапазоне (0.7 – 4 мг/т) и сходны с типичными значениями содержания золота в базальтах СОХ в области концентраций 0.5 – 1 мг/т (рис.1).

В интервале MgO = 4 – 6 мас.% все халькофильные элементы ведут себя как типичные несовместимые элементы (например, K, Rb, Ba, ЛРЗЭ): наблюдается их значительное накопление, например, меди до значений 160 г/т, серебра – до 50 мг/т, золота – до 5 мг/т, что характерно для островодужных серий пород [3]. При появлении магнетита на ликвидусе расплавов при MgO ~ 3.5 – 4.0 мас.% происходит резкое падение концентраций этих элементов до значений 50 г/т Cu, 16 мг/т Ag, <1 мг/т Au. В ходе последующей дифференциации расплава вплоть до дацитов и риолитов с 0.5 мас.% MgO наблюдается постоянное снижение концентрации меди (до 10-15 г/т) при относительно постоянных содержаниях золота и незначительном накоплении серебра.

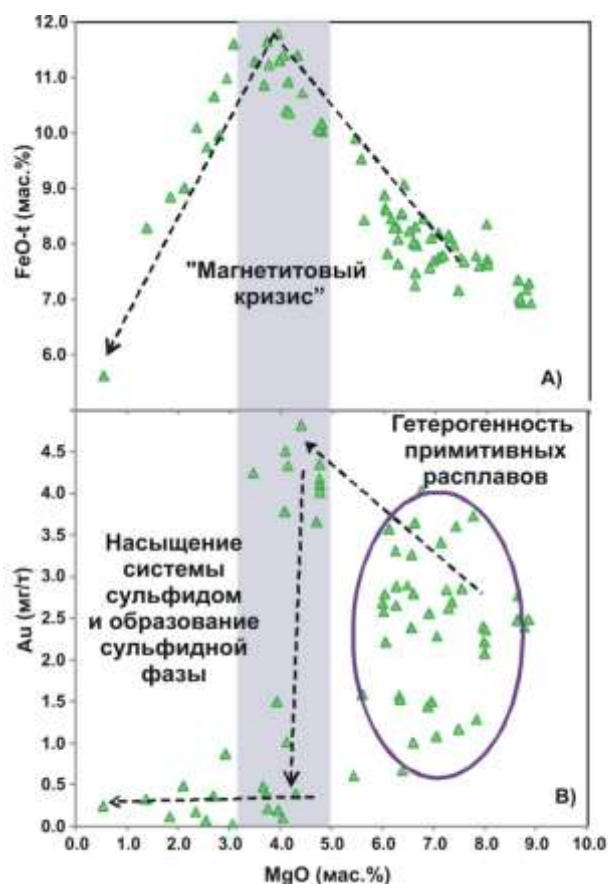


Рис. 1. Вариации содержаний FeO-t и Au в закалочных стеклах из офиолитов Северной части массива Троодос, Кипр.

присутствие ~5% сульфидной фазы, которая бы состояла преимущественно из твердой сульфидной фазы (моносουλфид, MSS) и незначительного количества сульфидной жидкости (SL) (100-90% MSS и 0-10% SL).

#### Список литературы:

[1]Jenner, F. E., O'Neill, H. S. T. C., Arculus, R. J., and Mavrogenes, J. A., 2010, The Magnetite Crisis in the Evolution of Arc-related Magmas and the Initial Concentration of Au, Ag and Cu: *Journal of Petrology*, v. 51, no. 12, p. 2445-2464.

[2]Jenner, F. E., and O'Neill, H. S. C., 2012, Analysis of 60 elements in 616 ocean floor basaltic glasses: *Geochem. Geophys. Geosyst.*, v. 13, p. Lee, C.-T. A., Luffi, P., Chin, E. J., Bouchet, R., Dasgupta, R., Morton, D. M., Le Roux, V., Yin, Q.-z., and Jin, D., 2012, Copper Systematics in Arc Magmas and Implications for Crust-Mantle Differentiation: *Science*, v. 336, no. 6077, p. 64-68.

[3]Li, Y., and Audétat, A., 2012, Partitioning of V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Ag, Sn, Sb, W, Au, Pb, and Bi between sulfide phases and hydrous basaltic melt at upper mantle conditions: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 355, p. 327-340.

[4]Li, Y., and Audétat, A., 2013, Gold solubility and partitioning between sulfide liquid, monosulfide solid solution and hydrous mantle melts: Implications for the formation of Au-rich magmas and crust-mantle differentiation: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 118, p. 247-262.

Резкое падение концентраций Au, Ag и Cu при появлении на ликвидусе магнетита было ранее описано для базальтов задугового бассейна Манус и получило название «магнетитового кризиса» [1]. Суть «магнетитового кризиса» заключается в понижении концентраций железа в расплаве в результате кристаллизации магнетита, что также понижает растворимость серы в расплаве и вызывает появление на ликвидусе сульфида. Au, Ag и Cu обладают наиболее сильным сродством к сульфидной фазе ( $D_{\text{сульфид-расплав}} > 20$ ). При появлении на ликвидусе сульфида эти элементы концентрируются в нем, а их содержание в силикатном расплаве падает.

Моделирование, проведенное на основании экспериментальных данных [3,4], показало, что для воспроизведения наблюдаемых концентраций и трендов эволюции содержаний Au, Ag и Cu в ходе дифференциации расплавов массива Троодос, в момент насыщения расплавов сульфидом необходимо

**Список основных публикаций за последние 3 года:**

1. Shishkina, T.A., Botcharnikov, R.E., Holtz, F., Almeev, R., Jazwa, A., Jakubiak, A. (2014) Compositional and pressure effects on the solubility of H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> in mafic melts. // Chemical Geology. N. 388. P. 112. (DOI: 10.1016/j.chemgeo.2014.09.001).
2. Шишкина Т.А., Портнягин М.В., Гарбе-Шёнберг Д., Миронов Н.Л. Поведение халькофильных элементов при дифференциации островодужных магм на примере толеитовой серии северной части офиолитов Троодос (о. Кипр). / II Всероссийская научная конференция с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит», Владивосток, 2014.
3. Портнягин М.В., Миронов Н.Л., Шишкина Т.А. Роль флюидов и расплавов из океанической плиты в окислении мантийных источников островодужных магм. / II Всероссийская научная конференция с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит», Владивосток, 2014.
4. Шишкина Т.А., Бочарников Р.Е., Хольц Фр., Альмеев Р.Р. Растворимость H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-содержащих флюидов в основных расплавах. / ВЕСЭМПГ. Москва. ГЕОХИ РАН. 2013.
5. Шишкина Т.А., Альмеев Р.Р., Хольц Фр., Бочарников Р.Е., Портнягин М.В. Фазовые равновесия в базальтовом расплаве на примере вулкана Мутновского (Камчатка). / ВЕСЭМПГ. Москва. ГЕОХИ РАН. 2013.
6. Shishkina, T.A., Almeev, R.R., Botcharnikov, R.E. and Holtz, F. and Portnyagin, M.V. Magma storage conditions and degassing processes of low-K and high-Al island-arc tholeiites: Experimental constraints for Mutnovsky volcano, Kamchatka. / IODP/ICDP Kolloquium, Kiel, Germany. 2012.
7. Shishkina, T.A., Botcharnikov, R.E., Holtz, F., Almeev, R.R. and Wilke, M. Compositional and pressure effects on the solubility of H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> in mafic melts. / EMPG XIV, Kiel, Germany. 2012.

**ФИО:** Шишкина Татьяна Александровна.

**Дата рождения:** 12.03.1983.

**Стаж работы в ГЕОХИ РАН:** 2 года.

**Должность:** младший научный сотрудник.

**Область научных интересов:** вулканология, экспериментальная петрология, расплавные включения в минералах.