

ЧАСТЬ 2. МАГМАТИЧЕСКИЕ И ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В СОВРЕМЕННЫХ ОБСТАНОВКАХ

В.А. Симонов

*Институт геологии и минералогии
им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия
kotlyarov@igm.nsc.ru*

Условия минералообразующих процессов в современных океанических областях

V.A. Simonov

*Sobolev Institute of Geology and
Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia*

Conditions of mineral-forming processes in modern oceanic regions

Abstract. Based on the model objects in the Atlantic and Pacific oceans, the conditions of mineral-forming processes are determined. Studies of melt inclusions, basalts and glasses revealed the features of the evolution of different types of magmatic systems (N-MORB, E-MORB, OIB) in Central (15°20' Fracture Zone) and South (Bouvet region) Atlantic. The metamorphic rocks in area of the Vema Fracture Zone (Central Atlantic) formed at high pressures (2.8–6.3 kbar). The analysis of melt inclusions showed that the boninites of the Izu-Bonin island arc formed from a specific boninitic magma. Data on fluid inclusions indicate *PT*-parameters of black smoker hydrothermal ore-forming systems at the 15°20' Fracture Zone (Central Atlantic) and Manus Basin (Pacific Ocean).

Для выяснения условий формирования палеоокеанических комплексов в складчатых поясах необходим сравнительный анализ с данными по эталонным ассоциациям в современных океанах. К настоящему времени опубликован большой объем информации по магматизму и рудам в современных океанических областях и возникают значительные трудности при поисках объектов для сравнения. Наиболее оптимальной основой выбора эталонов могут служить результаты исследований каменного материала, большая часть которого собрана в структурах Атлантического океана непосредственно при участии автора. В случае гидротермальных рудообразующих полей Логачев (Центральная Атлантика) и Венский лес (бассейн Манус, Тихий океан) изучены образцы, предоставленные академиками РАН Н.С. Бортниковым и А.П. Лисицыным. Результаты исследования приведены в совместных публикациях [Симонов и др., 1997; Симонов и др., 2002; Бортников и др., 2011].

Зона разлома 15°20' (Центральная Атлантика) интерпретируется как область тройного сочленения Северо-Американской, Южно-Американской и Африканской плит [Bougault et al., 1988]. Здесь установлена геохимическая аномалия с повышенными содержаниями в магмах литофильных элементов и воды, а также выявлено широкое распространение мантийных гипербазитов. Особый интерес представляют сульфидные руды, первые находки которых были сделаны во время 9-го рейса НИС «Антарес» в 1990 г. [Геологические..., 1991]. В последующие годы здесь было открыто гидротермальное поле Логачев с черными курильщиками, которое привлекало многих исследователей [Cherkashov et al., 2000; Богданов, Сагалевич, 2002; Fouquet et al., 2008; Бортников и др., 2011].

Согласно распределению K_2O в базальтовых стеклах по площади района разлома $15^{\circ}20'$ выделяются два максимума, связанных с проявлениями обогащенного магматизма типа E-MORB. Один из них приурочен к восточному участку сочленения рифтовой долины и разломного трога, а другой – располагается около 14° с.ш. Исследования расплавных включений совместно с данными по базальтовым стеклам и базальтам показали существенные отличия составов двух магматических систем в районе разлома $15^{\circ}20'$: нормальных типа N-MORB и аномально обогащенных типа E-MORB. Среди обогащенных комплексов выделяются группы, отличающиеся путями дифференциации при подъеме магмы к поверхности. В одних случаях глубинные расплавы с широкими вариациями геохимических параметров при подъеме плавно меняли свой состав с падением, прежде всего, содержания MgO до минимума в базальтовых стеклах. Во втором случае дифференциация расплавов с падением содержания MgO происходила в эндогенных условиях, а затем при переходе к поверхности дна океана, где образовывались базальты, и высокие содержания MgO сохранялись на фоне резкого накопления других компонентов.

В сульфидных рудах гидротермального поля Логачев найдены флюидные включения в ангидрите, который, судя по взаимоотношениям с сульфидами, формировался совместно с ними из единого рудообразующего раствора [Симонов и др., 1997; Бортников и др., 2011]. Криометрический анализ включений показал, что выделяется основная группа с соленостью (5.8–7.9 мас. %), значительно превышающей соленость морской воды. Термометрические эксперименты свидетельствуют о трех интервалах истинных температур (с учетом поправок на давление) растворов: 170–200, 210–240 и 250–280 °С. Установлены также и более высокие температуры (до 315–350 °С), близкие к температурам, измеренным для рудоносных флюидов, изливающихся из сульфидных построек гидротермального поля: 359 и 320 °С [Fouquet et al., 2008].

Район разлома Вима (Центральная Атлантика) является уникальным объектом для исследования магматических систем, сформировавших океаническую литосферу. Судя по данным, полученным с помощью глубоководных обитаемых аппаратов «Наутилус» [Auzende et al., 1989], в южном борту разлома наблюдается практически ненарушенный офиолитовый разрез океанической коры и верхней мантии на протяжении более 270 км. Для района разлома Вима характерно широкое развитие новообразованных амфиболсодержащих метаморфических парагенезисов [Пейве и др., 2001]. На основе состава амфиболов рассчитаны высокие давления для формирования метапород (2.8–6.3 кбар), что свидетельствует о возможности образования метаморфических пород типа амфиболитов (встречающихся в древних офиолитах) не в процессах регионального метаморфизма, а еще на начальных стадиях формирования палеоокеанических структур.

Район острова Буве (Южная Атлантика). Изучены образцы, отобранные в 18-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов», впервые проведенном с такой детальностью в районе тройного сочленения Буве [Пейве и др., 1995; Симонов, Колобов, 1995]. По значениям отношений редких (Nb/Zr) и редкоземельных (La/Yb) элементов в базальтах выделяются различные морфоструктуры с контрастными типами магматических систем. Рифтовая зона характеризуется минимальными значениями элементов. Яркий максимум отвечает району непосредственно около о-ва Буве (с магматизмом типа OIB) и продолжается на северо-восток. В его пределах отчетливо проявляется локальный минимум, соответствующий развитию более примитивных магматических систем собственно рифтовой зоны. Обширные минимумы значений Nb/Zr и La/Yb располагаются в центральной части разлома Буве, где отсутствует влияние плюмового магматизма острова Буве.

Идзу-Бонинская островная дуга (Тихий океан) протягивается почти на 900 км с севера на юг от Японских островов. По петрохимическим и геохимическим характеристикам сла-

гающих ее вулканических пород она относится к примитивным энсиматическим островным дугам, формирующимся на океанической литосфере. Именно в Идзу-Бонинской дуге еще в 1891 г. впервые были установлены своеобразные породы, названные бонинитами [Petersen, 1891]. Как показали дальнейшие исследования, бониниты приурочены практически исключительно к структурам примитивных энсиматических островных дуг и, соответственно, они приобрели ключевое значение при анализе палеогеодинамики складчатых поясов.

Наиболее характерной особенностью составов бонинитов является сочетание высокой магнезиальности и повышенного содержания SiO_2 . Наши исследования показали, что по соотношению MgO-SiO_2 составы расплавных включений в ортопироксене из бонинитов Идзу-Бонинской дуги располагаются в поле пород бонинитовых серий из островодужных систем западной части Тихого океана. Анализ включений показал, что бониниты не являются случайным сочетанием магнезиальных вкрапленников пироксена и достаточно кислого расплава, а образуются в результате кристаллизации специфической «бонинитовой» магмы.

Задуговой бассейн Манус (Тихий океан) также привлекает к себе внимание в связи с обнаружением на его дне современных сульфидных рудообразующих систем. Наиболее детально исследовалось поле Венский лес, расположенное на глубине около 2500 м [Лисицын и др., 1992]. Физико-химические параметры гидротермальных рудообразующих процессов в бассейне Манус были определены с помощью анализа флюидных включений в минералах из сульфидных руд [Симонов др., 2002]. Установлено, что барит и ангидрит кристаллизовались из близких по составу ($\text{NaCl} + \text{KCl}$) и содержанию солей (до 7.2–7.6 мас. %) растворов. С учетом поправок на давление температуры образования ангидрита составляют 242–285 °С. Эти данные согласуются с температурой рудоносного флюида (275 °С [Лисицын и др., 1992]), изливающегося из активной трубы на дне бассейна Манус, что является дополнительным критерием достоверности параметров, получаемых с помощью флюидных включений.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН (№ 122041400057-2).

Литература

- Богданов Ю.А., Сагалевиц А.М. Геологические исследования с глубоководных обитаемых аппаратов «Мир» М.: Научный мир, 2002. 304 с.
- Бортников Н.С., Симонов В.А., Амплиева Е.Е. и др. Физико-химические условия гидротермальных рудообразующих систем «черных курильщиков», ассоциирующих с мантийными гипербазитами в Центральной Атлантике // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 11. С. 1790–1801.
- Геологические исследования в Центральной Атлантике / Под ред. В.Н. Шаропова, В.А. Симонова. Новосибирск: ОИГТМ СО АН СССР, 1991. 192 с.
- Лисицын А.П., Крук К., Богданов Ю.А. и др. Гидротермальное поле рифтовой зоны бассейна Манус // Известия РАН. Серия геологическая. 1992. № 10. С. 34–55.
- Пейве А.А., Перфильев А.С., Пуцаровский Ю.М. и др. Строение района южного окончания Срединно-Атлантического хребта (тройное сочленение Буве) // Геотектоника. 1995. № 1. С. 51–68.
- Пейве А.А., Савельева Г.Н., Сколотнев С.Г., Симонов В.А. Строение и деформации пограничной зоны кора – мантия в разломе Вима, Центральная Атлантика // Геотектоника. 2001. № 1. С. 16–35.
- Симонов В.А., Бортников Н.С., Лисицын А.П. и др. Физико-химические условия минералообразования в современной гидротермальной постройке «Венский лес» (задуговой бассейн Манус, Тихий океан) // Металлогения древних и современных океанов-2002. Миасс: ИМин УрО РАН, 2002. С. 61–68.
- Симонов В.А., Колобов В.Ю. Особенности магматических и гидротермальных систем в районе тройного сочленения срединно-океанических хребтов в Южной Атлантике // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 5. С. 48–54.
- Симонов В.А., Лисицын А.П., Богданов Ю.А., Муравьев К.Г. Физико-химические условия современных гидротермальных рудообразующих систем (черные курильщики) в Центральной Атлантике // Геология морей и океанов. Т. 2. М.: ИО РАН, 1997. С. 182.

Auzende J.M., Bideau D., Bonatti E. et al. Direct observation of a section through slow-spreading oceanic crust // *Nature*. 1989. Vol. 337. N. 6209. P. 726–729.

Bougault H., Dmitriev L., Schilling J.-G. et al. Mantle heterogeneity from trace elements: MAR triple junction near 14°N // *Earth and Planetary Science Letters*. 1988. Vol. 88. P. 27–36.

Cherkashov G.A., Ashadze A.M., Gerbruk A.V. New fields with manifestation of hydrothermal activity in the Logatchev area (14°N, Mid-Atlantic Ridge) // *InterRidge News*. 2000. V. 9. P. 26–27.

Fouquet Y., Cherkashov G., Charlou J.L. et al. Serpentine cruise – ultramafic hosted hydrothermal deposits on the Mid-Atlantic Ridge: First submersible studies on Ashadze 1 and 2, Logatchev 2 and Krasnov vent fields // *InterRidge News*. 2008. V. 17. P. 15–19.

Petersen J. Beitrage zur Petrographic Sulphur Island, Peel Island, Hachijo und Mijakeshimja // *Jahrb. Hamburg, Wiss. Anst.*, 1891. Bd 8. S. 25.

И.Ю. Мелекесцева

*Южно-Уральский федеральный научный центр
минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс, Россия
melekestseva-irina@yandex.ru*

Гидротермальные сульфидные поля, ассоциирующие с внутренними океаническими комплексами: связаны ли они все с ультрамафитами?

I.Yu. Melekestseva

*South Urals Federal Research Center of Mineralogy and
Geoecology UB RAS, Miass, Russia*

Hydrothermal sulfide fields associated with oceanic core complexes: are they all ultramafic-related?

Abstract. The mineralogical-geochemical peculiarities of massive sulfides from hydrothermal sulfide fields related to oceanic core complexes of the Mid-Atlantic Ridge are analyzed. In spite of spatial association of hydrothermal fields with oceanic core complexes, many fields exhibit no genetic link with mantle rocks. Some peculiarities reflect the magmatic contribution or could also be related to the involvement of E-MORBs and felsic rocks from deep parts of the oceanic core complex to the recycling process.

Введение. В настоящее время известно два типа гидротермальных сульфидных полей, приуроченных к медленным и ультрамедленно-спрединговым хребтам: поля, ассоциирующие с базальтами (ТАГ, Брокен Спур, Снейк Пит, Краснов и др.) и ультрамафитами (Логачев, Рейнбоу, Ашадзе и др.) [Fouquet et al., 2010]. Выходы ультрамафитов маркируют присутствие внутренних океанических комплексов (ВОК), которые выводят на морское дно мантийные породы по разломам типа детачмент [Escartín et al., 2008]. Их сложное геологическое строение приводит к тому, что гидротермальные поля, связанные с выходами ВОК, отличаются друг от друга в пределах одного ВОК, а также от сульфидных полей других ВОК. В данной работе эта проблема рассмотрена на примере гидротермального узла Семенов.

Краткая характеристика объектов. Гидротермальный сульфидный узел Семенов (13°30' с.ш.) в Срединно-Атлантическом хребте (САХ) открыт в 2007 г. в 30-м рейсе НИС «Профессор Логачев» [Beltenev et al., 2007]. Узел находится между разломами Зеленого мыса и Марафон в западном борту рифтовой долины на глубинах от 2400 до 2950 м и приурочен к выходу ВОК, вытянутому по широте примерно на 10 км при ширине около 4.5 км [MacLeod et al., 2009]. Узел состоит из пяти субширотно расположенных гидротермальных полей [Beltenev et al., 2007, 2009]. С поверхности ВОК драгированы серпентинизированные