

*С. Ф. Бабаева<sup>1</sup>, А. А. Суханова<sup>2</sup>, А. В. Фирстова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> – ФГУП ВНИИОкеангеология им. И. С. Грамберга, г. Санкт-Петербурге  
*babaevasvet@yandex.ru*

<sup>2</sup> – Национальный Минерально-Сырьевой Университет «Горный»,  
г. Санкт-Петербург

## **Элементы-примеси различных геохимических типов руд гидротермального поля Ашадзе-1, Срединно-Атлантический хребет**

**Введение.** В конце 70-х годов на океанском дне были открыты гидротермальные поля в рифтовых зонах, и с тех пор продолжается изучение процессов рудообразования, связанных с гидротермальной деятельностью. Поиск месторождений массивных сульфидных залежей руд на дне океана осуществляется не только по научным соображениям, но имеет большую экономическую перспективу. Массы гидротермальных залежей в рудных полях, достигающие десятков миллионов тонн, обогащены Cu, Zn, Pb, Ag, Au, а также рядом редких химических элементов. На сегодняшний день в Северной Атлантике выявлено более 20 крупных гидротермальных полей.

Рудное поле Ашадзе-1 было открыто в результате работ НИС «Профессор Логачев» (рейсы №№ 20 и 22) в 2003 году ПМГРЭ. Дальнейшее изучение этого поля проводилось в рейсах №№ 24 (2004 г.) и 26 (2005 г.). Несмотря на многочисленные исследования руд поля Ашадзе-1 (работы С. И. Андреева, Г. А. Черкашева, Н. Н. Мозговой и др.), все еще остаются вопросы взаимоотношения элементов-примесей с главными компонентами, между собой и их взаимосвязь с различными геохимическими типами руд.

Цель данной работы состоит в выявлении геохимических особенностей сульфидных руд гидротермального поля Ашадзе-1. Задачи – изучение элементного состава руд; выделение геохимических типов руд; выявление взаимосвязей качества и количества примесных элементов в разных геохимических типах с помощью корреляционного и факторного анализов.

**Фактический материал** для исследований был отобран в рейсах №№ 20–26 сотрудниками ФГУП ВНИИОкеангеология Т. В. Степановой и Т. А. Семковой. Из тысячи образцов в презентативной выборке представлена 231 проба. Содержания Fe, Pb, Au, Co, Ni, Cu, Zn, Ag определены атомной абсорбцией в лаборатории ФГУП ВНИИОкеангеология и статистически обработаны, что позволило выявить закономерности распределения рудообразующих элементов и элементов-примесей.

Гидротермальное поле Ашадзе-1 (с координатами центра 12°58'4" с.ш. и 44°51'8" з.д.) расположено на западном борту рифтовой долины САХ в 20 км к северу от трансформного разлома Марафон. Рифтовая долина в этом районе имеет ширину 25–30 км при ширине днища 2–2.5 км и глубину вреза более 2000 м. Поле характеризуется глубинами 2100 и 4450 м и имеет сложное строение – сочетание крутых склонов и тектонических ступеней террас.

Рудовмещающими породами являются серпентинизированные перидотиты. Образцы представлены сульфидными рудами. Главные минералы – пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит. Состав и соотношение главных и второстепенных рудных минералов может значительно изменяться в каждом образце. В зональных построй-

ках ясно видна последовательность минералообразования: сфалерит → сфалерит ( $\pm$  халькопирит) → халькопирит ( $\pm$  сфалерит) → пирротин [Андреев С. И., 2006].

**Результаты и обсуждение.** В результате анализа химического состава по содержаниям и соотношениям основных рудообразующих элементов (Cu, Zn, Fe) [Андреев, 2006] руды гидротермального поля Ашадзе-1 были разделены на несколько геохимических типов: колчеданный (Fe-S), медно-колчеданный (Cu-Fe), медно-цинково-колчеданный (Cu-Zn), цинково-медно-колчеданный (Zn-Cu), цинково-колчеданный (Zn-Fe). В основном в пределах поля преобладает Fe-S тип, наиболее редко встречается Zn-Fe, остальные занимают промежуточное положение.

Взаимосвязь между геохимическими типами руд и их минеральными разновидностями выявлена в общем виде. Например, Fe-S тип сложен пиритовыми и пирротиновыми рудами, Cu-Fe – халькопиритовыми, Zn-Fe – сфалеритовыми, и т.д. Взаимосвязь между типами и разновидностями руд для Cu-Zn, Zn-Fe, Zn-Cu геохимических типов достаточно сложна и будет уточнена в последующих работах после статистического анализа и презентативной выборки.

Практический интерес представляют сопутствующие элементы, такие как Ni, Co, Au, Ag, Cd. Содержания этих элементов-примесей в рудах поля Ашадзе-1, приуроченного к ультраосновным породам [Суханова, 2013], сопоставимы и являются повышенными по сравнению со значениями элементов в подобных полях, таких как Логачев-1 и Рейнбоу [Fouquet et al., 2010].

Наиболее высокие содержания Ni (315–317 г/т) обнаружены в Fe-S и Cu-Fe типах руд. Повышенные содержания Co (2697–2071 г/т) обнаружены в Cu-Fe и Cu-Zn типе руд (рис. 1). Высокие значения Cd (541 г/т) выявлены в Zn-Cu типе руд, а в Zn-Fe типе, сложенном в основном сфалеритом и вюртцитом, его содержание меньше в 3 раза. Для каменной характерна четкая положительная корреляция с цинком ( $r$  0.6–0.9) и отрицательная с железом ( $r$  –0.65 до –0.72).

Содержания Ag в Zn-Fe и Zn-Cu типах руд (132–140 г/т) являются максимальными для рудного поля Ашадзе-1 и сравнимы с одними из самых высоких значений, встреченных на поле Рейнбоу – 188 г/т [Fouquet et al., 2010]. Распределение серебра в рудах аналогично распределению серебра в рудах других полей САХ. На рисунке 2

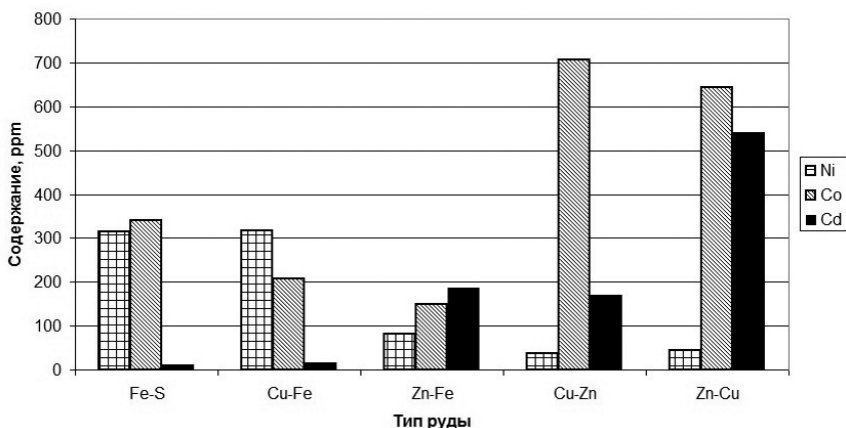


Рис. 1. Содержания Ni, Co, Cd в рудах разных геохимических типов гидротермального поля Ашадзе-1.

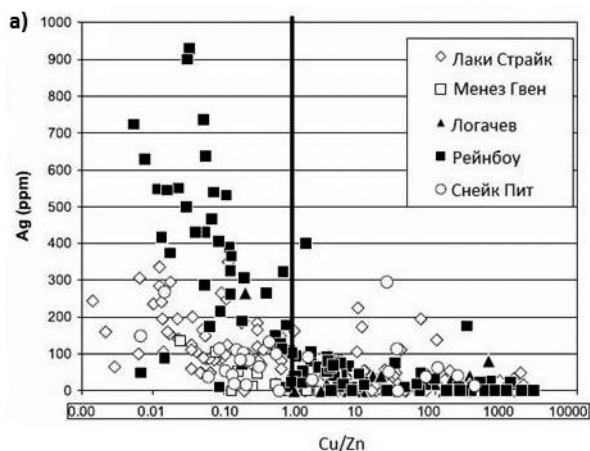
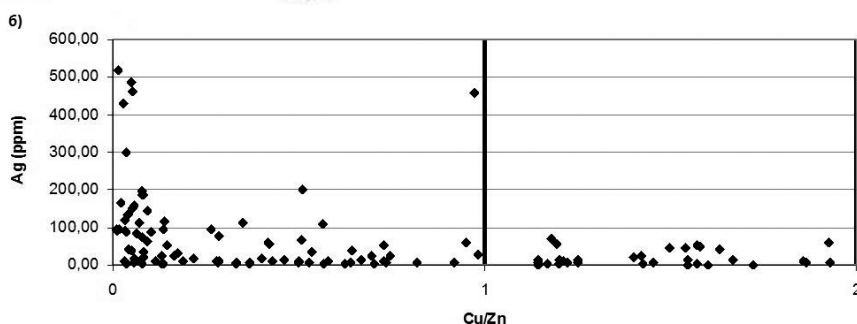


Рис. 2. Распределение серебра в гидротермальных полях САХ (а) (по Fouquet et al., 2010) и в рудном поле Ашадзе-1 (б).



показано распределение Ag в рудах гидротермальных полей Лаки Страйк, Мenez Гвен, Логачев, Рейнбоу, Снейк Пит (рис. 2а) и исследованных образцах руд гидротермального поля Ашадзе-1 (рис. 2б).

Наиболее высокие содержания Au (3–4 г/т) обнаружены в Cu-Fe и Cu-Zn типе руд. Большое значение, по-видимому, имеет состав вмещающих пород. Так для руд, вмещающими породами которых являются ультрабазиты, характерно бимодальное распределение золота, которое проявляется, с одной стороны, в корреляции золота с цинком и свинцом, что объясняется обогащением золотом полихронных гидротермальных построек. Во всех остальных случаях прослеживается четкая корреляция между золотом и медью. Такая зависимость подтверждается наличием многочисленных зерен золота в сульфидах меди.

**Выводы.** Проведенный анализ выявил геохимические особенности поля Ашадзе-1. Бимодальность распределения Au является характерным признаком в Cu-Fe и Cu-Zn типах руд. Отмечаются высокие содержания Ag в цинковых рудах. Максимальные содержания серебра в Zn-Cu и Zn-Fe типах руд являются сопоставимыми с максимальными значениями, встречаемыми в других рудных полях САХ. Имеется связь серебра с Cu/Zn отношением. Если  $Cu/Zn < 1$ , то содержание серебра в рудах Ашадзе-1 варьирует от 0 до 200 г/т, иногда появляются максимальные значения в 300, 400 и даже 500 г/т. Если  $Cu/Zn > 1$ , то содержание серебра не превышает 100 г/т.

Наиболее важные попутные цветные элементы (Ni, Co, Cd) имеют одни из самых высоких содержаний в сравнении с другими рудными полями. Наибольшие содержания Ni характерны для Fe-S и Cu-Fe руд; Co – Cu-Zn и Zn-Cu; Cd – Zn-Cu типа руд. Для Fe-S и Cu-Fe руд характерна взаимосвязь Ni и Co в повышенных концентрациях при минимальных концентрациях Cd. В рудах Cu-Zn и Zn-Cu при минимальных концентрациях Ni имеются высокие концентрации как Co, так и Cd. Любопытно, что эти элементы одновременно представлены в Zn-Fe типе руды, однако содержания их в этом типе средние.

Таким образом, руды поля Ашадзе-1 значительно обогащены Co, Ni, Cd, Ag, в меньшей степени – Au. По промышленным характеристикам руды поля Ашадзе-1 являются весьма богатыми рудами на цинк, медь, кобальт и никель; бедными (почти рядовыми) на золото.

Изучение геохимических особенностей рудного поля Ашадзе-1, в частности изучение распределения и взаимосвязей между элементами, минеральными разновидностями и их геохимическими типами руд, является актуальной своевременной проблемой, связанной с перспективами освоения сульфидных руд океана.

## Литература

*Андреев С. И., Егоров И. В., Наркевский Е. В. и др.* Результаты 26 рейса НИС «Профессор Логачев» в район 13° с.ш. Срединно-Атлантического хребта // Экспедиционные исследования ВНИИОкеангеология в Арктике, Антарктике и Мировом океане. СПб, 2006. С. 101–108.

*Суханова А. А., Бабаева С. Ф., Артемьева А. А.* Геохимия элементов-примесей в гидротермальных сульфидах рудного поля «Ашадзе-1» // Геология морей и океанов: Мат. XX Междунар. научной конф. (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2013. Т. II. С. 206–209.

*Черкашев Г. А.* Экспедиционные исследования ВНИИОкеангеология в Арктике, Антарктике и Мировом океане в 2005 году // Ежегодный обзор. СПб: ВНИИОкеангеология, 2006. 122 с.

*Fouquet Y., Cambon P., Etoubleau J. et al.* Geodiversity of hydrothermal processes along the Mid-Atlantic Ridge and ultramafic-hosted mineralization: a new type of oceanic Cu-Zn-Co-Au volcanogenic massive sulfide deposit // In: Rona P. A., Devey C. W., Dymant J., Murton B.J. (Eds.) Diversity of hydrothermal systems on slow spreading ocean ridges. AGU Geophysical Monograph Series. 2010. № 188. P. 321–367.