УДК 550.4:553.2.065:551.234(261-17)

С.М.СУДАРИКОВ, *д-р геол.-минерал. наук, профессор, sergei.sudarikov@mail.ru*
М.В.КРИВИЦКАЯ, *аспирантка, mv.krivitskaya@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

S.M.SUDARIKOV, *Dr. in geol.-min. sc., professor, sergei.sudarikov@mail.ru*
M.V.KRIVITSKAYA, *post-graduate student, mv.krivitskaya@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (*Technical University*)

ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ РАСТВОРОВ В ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ МАССИВАХ УЛЬТРАОСНОВНЫХ ПОРОД СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКОГО ХРЕБТА

Рассмотрены различия гидротермальных полей Срединно-Атлантического хребта по структурной позиции и влияние рудопроявлений, приуроченных к разным типам пород, на геохимическую характеристику руд. Результаты корреляционного анализа состава конечных гидротермальных растворов гидротермальных полей северной части САХ показали отрицательную связь содержаний H_2S с CH_4 и H_2.

Ключевые слова: гидротермальные растворы, ультрамафиты, корреляционный анализ.

FORMING OF THE COMPOSITION OF HYDROTERMAL SOLUTIONS IN HYDROGEOLOGICAL MASSIFS OF ULTRABASIC ROCKES OF THE MID-ATLANTIC RIDGE

Difference in structural position and influence of ores from different types of sediments on the geochemical characteristic of ores are observed. Results of end member composition correlation analysis show negative link of H_2S with CH_4 и H_2.

Key words: hydrothermal solutions, ultramafic rocks**,** correlation analysis.

Геолого-структурные условия. Известные гидротермальные поля северной части Срединно-Атлантического хребта (0-40^o с.ш.) по структурной позиции разделяются на три типа – осевые, краевые и склоновые [3].

Поля осевого типа непосредственно связаны с проявлениями осевого вулканизма и приурочены к вулканическим сооружениям линейного и центрального типа. К ним относятся гидротермальные поля Менез-Гвен, Лаки-Страйк, Брокен-Спур, Снейк-Пит и Пюи де Фоль. Гидротермальная активность здесь пространственно связана не с основными эпизодами вулканизма, а с вторичными небольшими извержениями горячих расплавов. Исключение составляет гидротермальное поле Рейнбоу, которое пространственно относится к осевому типу, но приурочено к осевому поднятию, представляющему собой поднятый блок глубинных пород. Узлы пересечения осевых субмеридиональных разломов с поперечными зонами повышенной проницаемости контролируют гидротермальную циркуляцию.

К гидротермальному полю «краевого» типа из известных в настоящее время относится поле ТАГ. Оно расположено на приподнятой ступени днища долины, примыкающей к восточному борту, и связано с режимом некомпенсированного тектонического растяжения при ослабленной роли магматических процессов. Прямая связь гидротермальной циркуляции с поверхностными проявлениями вулканизма отсутству-

ет. Здесь же прослеживается вдоль осевой краевой разлом глубокого заложения. Вблизи этого поля фиксируется крупный блок глубинных пород, поднятый по этому разлому, который может инициировать поступление горячих расплавов. Гидротермальная активность контролируется поперечными нарушениями, пересекающими краевой глубинный разлом, в узлах пересечения которых проницаемость коры резко возрастает.

Рудный узел Логачев и рудопроявление 24°30′ «склонового типа» занимают особое положение, которое отличает их от полей «краевого» типа. Морфологически они расположены на тектонических ступенях на 600-1000 м выше днища долины и пространственно связаны с ультраосновными породами. Положение гидротермального поля и рудопроявлений этого типа определяется узлом пересечения продольных и поперечных разломных структур, хотя признаков вулканической активности здесь отмечено не было. Однако, условия повышенной проницаемости субстрата, обеспечивающие гидротермальную циркуляцию, в этом районе присутствуют.

Рудная специализация. Все изученные рудопроявления северной части САХ относят [3] к колчеданно-полиметаллическому формационному типу и, в целом, достаточно однообразны по составу, спектру сопутствующих оруденению полезных компонентов, морфологическим особенностям построек и структурно-текстурным особенностям руд. Однако существует ряд факторов, влияющих на состав руд, масштабность рудопроявлений и даже морфологическую характеристику проявлений ГПС.

Согласно петрохимическому районированию большая часть изученных рудопроявлений – Пюи де Фолль, Снейк-Пит, ТАГ, Брокен-Спур – пространственно связаны с толеитовыми базальтами спрединговой ассоциации и только рудопроявления Азорской зоны – Менез-Гвен, Лаки-Страйк, сегмент 38°20′с.ш. – находятся в области развития обогащенных базальтов плюмовой ассоциации. Рудопроявления Логачев-1, Логачев-2, Рейнбоу локализуются в области развития ультраосновных пород.

Пространственная приуроченность рудопроявлений к разным типам пород оказывает влияние на геохимическую характеристику руд. В рудах, локализованных в поле базальтов, медная специализация проявлена в значительно меньшей степени. Исследователи [3] отмечают, что для них характерна тесная связь элементов вида Zn -Au-Ag-Si (для осевого типа) и Au-Zn-Ag (для краевого типа), наблюдается обогащение Cd, кремнеземом, золото – серебряная (существенно серебряная) минерализация, где основной примесью в самородном золоте является серебро. Возможно, что различия поведения связей элементов определяется их дифференциацией в породах – основных и ультраосновных. Накопление цинка и серебра в основных (наземных) породах превалирует над таковыми по сравнению с ультрабазитами. Для последних, в свою очередь, чрезвычайно характерно накопление золота.

Руды, локализованные в поле ультраосновных пород, имеют выраженную медную специализацию. Для них характерна тесная связь элементов типа Cu-Au-Ag-Zn и накопление Ni и Co; здесь фиксируется золото – серебряная (существенно золотая) минерализация, где основной примесью в самородном золоте является медь. Главными сульфидными минералами являются пирит, халькопирит, борнит, кубанит и сфалерит. В рудопроявлениях этих полей развивается мелкая вкрапленность Ni-Co минералов – миллерита и пентландита. В составе отложений определены аномально высокие (несколько процентов) содержания кобальта. Отличительной особенностью отложений является слабое пространственное разделение медь- и цинк – содержащих сульфидов, отлагающихся в различных термических условиях. Кроме того, в сульфидных залежах часто встречаются находки мелких обособлений магнетита и гетита. Обнаруженные в гидротермальных отложениях углеводороды по составу отличаются от тех, которые исследованы на других известных подводных гидротермальных полях. Значительная их часть имеет абиогенный генезис.

Гидротермальные растворы. Специфика состава гидротермальных растворов и

Таблица 1

Состав гидротермальных растворов полей САХ, г/л

	Cl	Si	Fe	Mn	Cu	Zn	H_2S	NH_4	CO_2	H_2	CH_4	N_2
Рейнбоу	27,4	0,7	1,3	0,12	0,01	0,012	0,041	–	0,7	0,032	0,04	0,05
Логачев	18,6	0,8	0,12	0,018	0,003	0,002	0,027	–	0,44	0,024	0,034	0,084
ТАГ	24,0	21,1	0,09	0,055	0,009	0,003	0,23	–	0,15	0,0007	0,024	0,025
Брокен-Спур	16,6	–	0,12	0,014	0,004	0,006	0,4	0,02	0,3	0,002	0,002	–

Таблица 2

Корреляционная матрица химического состава гидротермальных растворов полей Логачев, Рейнбоу, ТАГ и Брокен-Спур

	Cl	Si	Fe	Mn	Cu	Zn	H_2S	NH_4	CO_2	H_2	CH_4	N_2
Cl	1,00	0,28	0,75	0,93	0,89	0,55	–0,44	0,09	0,33	0,37	0,32	–0,08
Si	0,28	1,00	–0,31	0,08	0,29	–0,30	0,16	–0,26	–0,47	–0,38	–0,38	–0,28
Fe	0,75	–0,31	1,00	0,92	0,53	0,91	–0,52	–0,09	0,80	0,71	0,66	0,16
Mn	0,93	0,08	0,92	1,00	0,73	0,80	–0,48	–0,12	0,61	0,57	0,51	0,03
Cu	0,89	0,29	0,53	0,73	1,00	0,35	–0,08	0,46	–0,06	–0,05	–0,11	–0,46
Zn	0,55	–0,30	0,91	0,80	0,35	1,00	–0,21	–0,30	0,78	0,56	0,49	–0,03
H_2S	–0,44	0,16	–0,52	–0,48	–0,08	–0,21	1,00	0,18	–0,66	–0,89	–0,90	–0,85
NH_4	0,09	–0,26	–0,09	–0,12	0,46	–0,30	0,18	1,00	–0,49	–0,40	–0,41	–0,40
CO_2	0,33	–0,47	0,80	0,61	–0,06	0,78	–0,66	–0,49	1,00	0,93	0,91	0,60
H_2	0,37	–0,38	0,71	0,57	–0,05	0,56	–0,89	–0,40	0,93	1,00	1,00	0,80
CH_4	0,32	–0,38	0,66	0,51	–0,11	0,49	–0,90	–0,41	0,91	1,00	1,00	0,84
N_2	–0,08	–0,28	0,16	0,03	–0,46	–0,03	–0,85	–0,40	0,60	0,80	0,84	1,00

залежей связана как с аномальным составом первичного гидротермального раствора, формирующегося при взаимодействии воды с ультрабазитами нижней части коры – верхней части мантии, так и с его существенной трансформацией при подъеме к поверхности дна (фазовой сепарацией). Из-за фазовой сепарации гидротермальные растворы характеризуются непостоянными быстро изменяющимися температурой и соленостью. Это обуславливает сильноизменчивую плотность и плавучесть гидротермальных флюидов, поступающих в океан, что приводит к формированию необычного многослойного гидротермального плюма с нейтральной плавучестью, распространяющегося от дна до нескольких сотен метров над ним. Многослойный плюм, по мнению [1], является поисковым критерием гидротермальных полей, связанных с серпентинитами. Формирующиеся на поверхности дна гидротермальные отложения сохраняют информацию как о составе первичного гидротермального раствора, так и о трансформации последнего при подъеме к поверхности океанского дна.

В последние годы во внутреннем рифте Срединно-Атлантического хребта обнаружены гидротермальные рудопроявления, вмещающими породами для которых являются серпентиниты и серпентинизированные ультрабазиты. Комплексные исследования гидротермальных полей, на которых залегают эти рудопроявления, показали, что они характеризуются целым рядом параметров, не свойственных полям других отрезков Мировой рифтовой системы.

В районе гидротермального поля Рейнбоу отсутствует современная вулканическая деятельность и, следовательно, отсутствует внутрикоровая магматическая камера. Океанская вода проникает по системе открытых трещин в породы низов океанской коры – верхов мантии и участвует в процессе серпентинизации ультрабазитов, трансформируясь при этом в высокотемпературный гидротермальный флюид подобно тому, как это предполагается для поля Логачев [2].

Средний химический состав конечных гидротермальных растворов САХ гидротермальных полей Логачев, Рейнбоу, ТАГ и Брокен-Спур приведен нами в работе [4].

Концентрации Fe в расчетном конечном гидротермальном растворе (КГР) поля Рейнбоу на порядок выше концентраций этого элемента в КГР других гидротермальных полей САХ. Во флюиде поля Рейнбоу концентрация H_2S ниже, чем в КГР таких полей как ТАГ, Брокен-Спур. Сравнительно низкую концентрацию H_2S можно связать с меньшим содержанием серы в ультрабазитах по сравнению с базальтами MORB и долеритами. По данным среднего химического состава конечных гидротермальных растворов гидротермальных полей северной части САХ (табл.1) построена корреляционная матрица (табл.2).

Обращает на себя внимание обратная корреляция содержаний сероводорода с метаном и водородом в гидротермах САХ, существование которой мы предположили в работе [4]. Этот факт может послужить предпосылкой обоснования нового поискового признака гидротерм ультрамафитовых пород САХ. То же можно сказать и о высокой корреляции железа и диоксида углерода с метаном и водородом.

Проведенный анализ свидетельствует о влиянии процессов серпентинизации ультрабазитов на формирование состава флюидов по реакции:

$$6(\underset{\text{оливин}}{(Mg_{1,5}Fe_{0,5})SiO_4}) + 7H_2O =$$

$$= 3(\underset{\text{серпентин}}{Mg_3Si_2O_5(OH)_4}) + \underset{\text{магнетит}}{Fe_3O_4} + H_2$$

с последующим образованием CH_4 при взаимодействии водорода и диоксида углерода гидротермальных растворов: $CO_2+4H_2 = CH_4+2H_2O$.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Богданов Ю.А.* Гидротермальные рудопроявления полей Логачева и Рейнбоу (Срединно-Атлантический хребет) – новый тип гидротермальных отложений океанских рифтов / Ю.А.Богданов, Е.Г.Гурвич, А.Ю.Леин и др. // Российский журнал наук о Земле. 2000. Т. 2. № 4. 275 с.

2. *Леин А.Ю.* Новый тип гидротермальных растворов, обогащенных водородом и метаном, в рифтовой зоне Срединно-Атлантического хребта / А.Ю.Леин, Д.В.Гричук, Е.Г.Гурвич, Ю.А.Богданов. ДАН. 2000. Т.375. № 3. С.381-382.

3. *Лазарева Л.И.* Сравнительная характеристика проявлений ГПС сегмента 11-30° с.ш. осевой зоны САХ по вещественному составу руд и геологическим условиям. ГППМГРЭ. 2002. С.13-14.

4. Судариков С.М. Геохимия субмаринных рудообразующих гидротерм Северной Атлантики по данным дистанционных наблюдений и опробования с подводных обитаемых аппаратов / С.М.Судариков, М.В.Кривицкая, Д.В.Каминский // Записки Горного института. 2008. Т.176. С.28-30.

REFERENCES

1. *Bogdanov U.A.* The Logatchev and Rainbow hydrothermal sites (Mid-Atlantic Ridge) are new tipes hydrothermal adjournment of ocean ridges. / E.G.Gurvich, A.U.Lein, A.M.Sagalevich, G.V.Novikov, V.I.Peresipkin // Russian journal of sciences about the Earth. 2000. V.2. N.4. 275 p.

2. *Lein A.U.* New tipe hydrothermal fields enriched with hydrogen and methane, are situated at Mid-Atlantic Ridge / A.U.Lein, D.V.Grichuk, E.G.Gurvich, U.A.Bogdanov. DAN. 2000. V.375. N.3. P.381-382.

3. *Lazareva L.I.* The comparative characteristic of displays DPS to material structure of ores and geological conditions are taken part at 11°-30° N of axial zone of the MAR. GPPMGRE. 2002. P.13-14.

4. *Sudarikov S.M.* Geochemistry submarine ore-forming termal solutions on the Mid-Atlantic Ridge according to remote supervisions and approbations from underwater manned devices/ M.V.Krivitskaya, D.V.Kaminskiy // The Mining institute Proceedings. 2008. V.176. P.28-30.