УДК 556.368:551.465(261-17)

С.М.СУДАРИКОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*), *Россия*

ТИПЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ РАЙОНОВ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

Рассмотрены типы субмаринных гидрогеологических структур, к которым приурочена современная гидротермальная деятельность в Северной Атлантике. Большинство известных гидротермальных полей расположено в пределах Срединно-Атлантического хребта (САХ). Существуют внутренние и внешние (относительно основных структурных элементов САХ) субокеанские гидрогеологические структуры. Выделены осевые, склоновые и привершинные гидрогеологические массивы. За пределами САХ по геохимическим аномалиям в придонных водах прогнозируются вулканогенные массивы с периодическими проявлениями гидротермальной деятельности.

Types of submarine hydrogeological structures with modern hydrothermal activity in the North Atlantic are observed. Most part of noted hydrothermal fields are situated within the limits of the Mid-Atlantic Ridge (MAR). There are inner and outer (relative to main MAR structural elements) suboceanic hydrogeological structures. Axis, hillside and summit hydrogeological massifs are distinguished. Outside MAR volcanogenic massifs with periodical hydrothermal activity are forecasted due to geochemical anomalies in bottom waters.

Исследования гидротермально активных районов в Северной Атлантике, начиная с 80-х годов прошлого века, были сосредоточены в пределах Срединно-Атлантического хребта в связи с открытием высокотемпературных гидротермальных источников – черных курильщиков в рифтовых долинах срединно-океанических хребтов (СОХ). Все известные на сегодняшний день гидротермальные структуры Северной Атлантики (см. рисунок) сосредоточены в пределах выделенной мной ранее [5, 6] мировой *провинции СОХ* и относятся к типу вулканогенных терм центров спрединга, свободных от осадков.

Геохимические и гидрооптические наблюдения последнего десятилетия выявили высокую плотность гидротермальных источников в пределах двух наиболее изученных участков мировой системы СОХ – Восточно-Тихоокеанского поднятия (ВТП) и САХ, где их обнаруживают в среднем через каждые 20-50 км [4, 5]. Наряду с активными зонами разгрузки современных рудообразующих растворов в рифтовой долине САХ обнаружено значительное количество неактивных рудных залежей, являющихся реликтами минувшей гидротермальной деятельности [1, 7, 13].

Благодаря наличию зон восходящего движения горячих гидротермальных растворов, отличающихся по ряду геохимических признаков от вмещающих вод океана [3, 5, 6], гидрогеологические структуры, с которыми

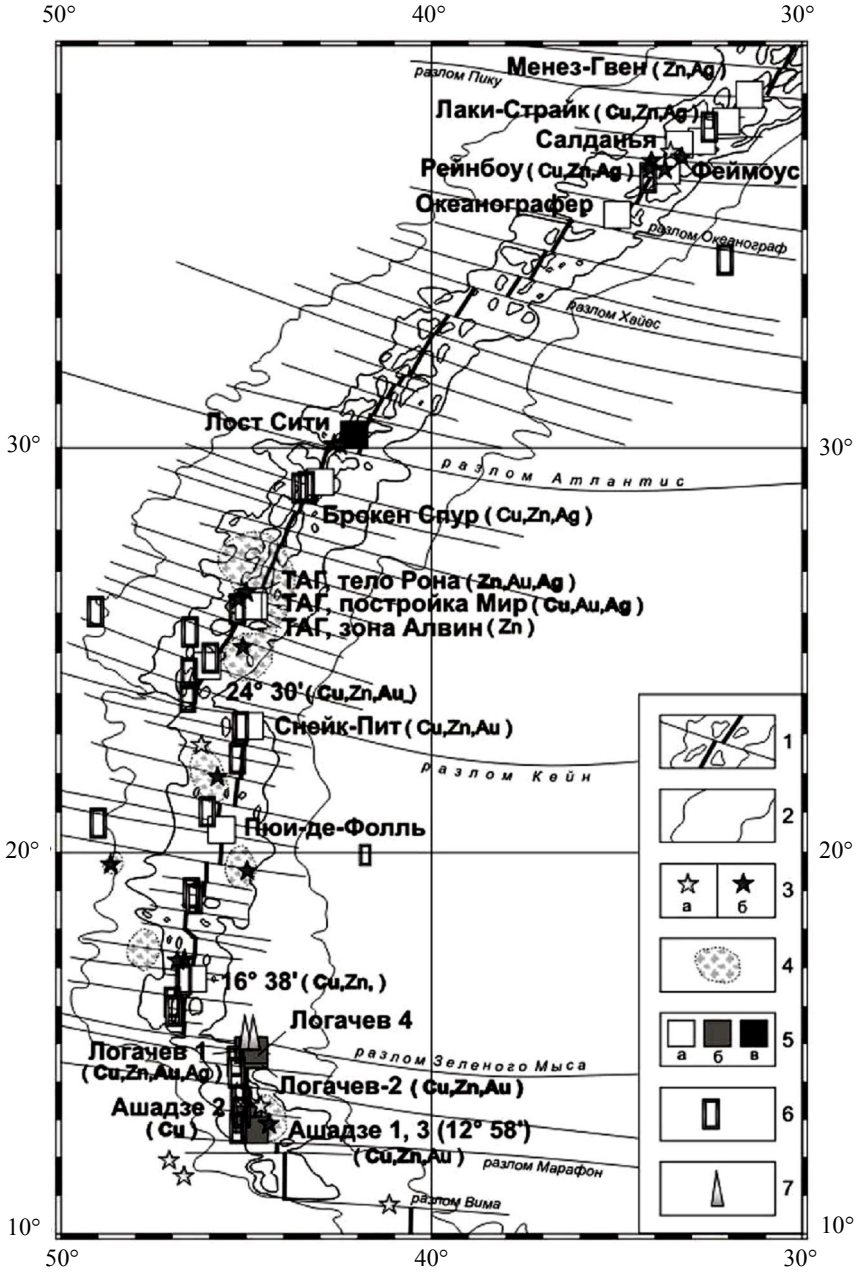


Рис.1. Гидрогеологические структуры гидротермальных полей Срединно-Атлантического хребта

1 – гребневая зона с осевым рифтом, трансформным разломом и вдольосевыми поднятиями; 2 – границы внешнего склона хребта; 3 – поверхностная плотность теплового потока (*а* – 150-200 мВт/м^2; *б* – 200 мВт/м^2 и выше); 4 – ореолы (180 мВт/м^2 и выше); 5 – гидрогеологические массивы, в скобках металлогеническая специализация гидротермальных сульфидных руд (*а* – осевые; *б* – склоновые; *в* – привершинные); 6 – гидрохимические и гидрофизические аномалии в водной толще; 7 – газовые аномалии

связаны проявления этого природного феномена, приобретают своеобразные черты, позволяющие выделить их в особые структуры активного гидротермализма. С другой стороны, реликтовые скопления гидротермальных сульфидов, активно взаимодействуя с окружающими водами, также оказывают заметное влияние на геохимию растворов, циркулирующих в недрах гидрогеологических структур, особенно иловых вод.

Так, в поровых водах района 24°30' с.ш. нами обнаружена зона пониженных концентраций металлов и сульфат-иона, сопровождающихся высокими содержаниями P_2O_5 [14]. Подобные зоны минимальных концентраций металлов наблюдались нами на периферии гидротермальных полей на юге Восточно-Тихоокеанского поднятия, где они связаны с активизацией микробиологической деятельности в гидротермальных ореолах рассеяния [9].

Открытые к настоящему времени гидротермальные поля по пространственному положению относительно основных структурных элементов САХ можно отнести к внутренним и внешним субокеанским гидрогеологическим структурам:

1. *Внутренние структуры САХ* приурочены к нижним частям склонов и днищу рифтовой долины с зонами разгрузки высокотемпературных (до 400 °С) рудообразующих (с сульфидным составом трубных комплексов) гидротермальных растворов. Выделяются два типа структур – осевые и склоновые.

А. *Осевые* вулканогенные массивы с циклической гидротермальной деятельностью преимущественно трещинных и трещинно-жильных, реже пластово-трещинных вод приурочены либо к «неовулканическим поднятиям» – положительным формам рельефа ложа рифтовой долины, вытянутым вдоль оси САХ: молодые гидротермальные поля Брокен Спур, Снейк Пит (1-4 тыс. лет соответственно), – либо к осевым вулканическим сводам – «зрелое» (более 50 тыс. лет) поле трансатлантического геотраверса (ТАГ). Водовмещающими породами в первом случае являются главным образом базальты. Выходы гидротермальных рудоносных флюидов наблюдаются в области нераздробленного базальтового фундамента. Подводящими каналами служили разломы, возникшие при формировании осевых трогов. Во втором случае зоны гидротермальной разгрузки образуются либо на поверхности интенсивно раздробленного фундамента, либо в пределах осыпи, сложенной обломками вулканитов. Вулканизм имеет рассеянный характер, приводящий к образованию небольших вулканических куполов. Водовмещающими породами, наряду с базальтами, являются породы осыпей, сложенных грубообломочным материалом преимущественно вулканогенного происхождения, а также долериты дайковой серии.

Возраст наиболее древних осадков на поверхности базальтового фундамента в пределах самого крупного из известных гидротермального поля ТАГ составляет 26 тыс. лет [1]. Высокотемпературная гидротермальная активность впервые проявилась 40-50 тыс. лет назад. При этом формирование массивных сульфидов происходило циклично, каждые 5-6 тыс. лет [10].

В пределах гидротермального поля ТАГ обнаружено три пространственно разобщенных типа гидротермальных построек. В рифтовой долине располагается наиболее крупный активный гидротермальный холм с высокотемпературными (до 366 °С) растворами и цепочка реликтовых сульфидных построек вдоль подошвы восточного склона. На восточном краевом уступе, возникшем в результате вертикального подъема крупного блока океанской коры, причиной которого может быть, как полагают [15], разуплотнение вещества при серпентинизации ультраосновных пород нижней части коры – верхней мантии, встречены низкотемпературные, местами активные (температура источников менее 20 °С) образования. Минимальный возраст этих отложений 125 тыс. лет.

Формирование современных высокотемпературных гидротермальных флюидов, как и палеогидротерм, образовавших реликтовые скопления сульфидов, связано с осевыми гидротермальными системами, в которых рудообразующие растворы формируются при взаимодействии океанских вод с излившимися базальтами или долеритами дайковой серии в кровле магматической камеры (или нескольких сходных камер) на глубине 1,5-3,5 от поверхности дна [1].

Существенно отличными должны быть условия формирования долгоживущей гидротермальной системы на восточном склоне рифта, которая маркируется зонами разгрузки низкотемпературных растворов. Ю.А.Богда-

нов (1997) связывает эти проявления с процессами серпентинизации и формированием глубинной гидротермальной циркуляции. Поэтому краевой блок рифтовой долины, примыкающий к зоне ТАГ с востока, относится к следующему типу гидрогеологических структур.

Б. *Склоновые* субокеанические массивы с непрерывной (до 125 тыс. лет и более) гидротермальной деятельностью, сопряженной с процессами метаморфизма мантийных гипербазитов, приурочены к блокам ультраосновных пород низов коры – верхов мантии, формирующим террасы (уступы) внутренних склонов рифтовой долины (восточный фланг поля ТАГ, гидротермальные поля Логачев, возможно, Рэинбоу и 24°30' с.ш. [2]). Водовмещающими породами являются в различной степени серпентинизированные габбро, диориты. Наряду с трещинно-жильными водами на поверхности уступов всегда формируются горизонты пластово-поровых вод в осадках и щебнисто-глыбовых коллювиальных отложениях склонов рифтовой долины.

Характерной чертой этих систем является длительная и непрерывная гидротермальная деятельность. Так, возраст гидротермальных отложений поля Логачев радиоизотопными методами [11] определен равным около 60 тыс. лет, при этом цикличности рудоотложения, в отличие от осевых гидрогеологических массивов, не зафиксировано. Как уже отмечено, возраст гидротермальных отложений восточного фланга ТАГ 125 тыс. лет и более.

Глубина проникновения океанской воды по разломам, окаймляющим дно рифтовой долины, определяется глубиной источника формирования гидротермальной системы – осевой магматической камеры. В то же время за пределами влияния осевой магматической камеры возможно проникновение океанских вод на значительно большую глубину по тектоническим нарушениям, определяющим блоковое строение рифта. При этом, по мнению ряда исследователей, океанская вода может достигать верхней мантии и обеспечивать серпентинизацию ультрабазитов. Остаточная вода трансформируется в высокотемпературный флюид. Процесс серпентинизации (метаморфизация перидотита при взаимодействии с океанской водой) возможен при температуре 400-500 °С и давлении 1 кбар [12]. Такие условия могут возникнуть при глубине залегания кровли магматической камеры 4,5-6 км от поверхности дна. При этом температура в камере 1200 °С, а глубина океана 3-4 тыс.м, что вполне реально для САХ [13].

2. *Внешние структуры САХ* приурочены к внешним частям склонов и вершине хребта. В настоящее время известно одно гидротермальное поле (Лост Сити), характеризующееся своеобразной низкотемпературной (до 75 °С) гидротермальной деятельностью на глубине около 700 м и карбонатным составом формирующихся трубных комплексов, самых крупных из известных до настоящего времени в океане – до 60 м высотой и более 10 м в диаметре у вершины. Водовмещающими породами для гидротермальной системы являются мантийные перидотиты и перекрывающие карбонатные отложения. Состав формирующихся растворов, особенно газовый, по-видимому, во многом определяется процессами серпентинизации.

Данный тип структур условно можно отнести к *привершинным* гидрогеологическим массивам трещинно-жильных вод интрузивных и вулканогенных пород вблизи вершины САХ. Вполне вероятно, что более глубокое изучение геолого-гидрогеологических условий этого объекта приведет к пониманию того, что подобные структуры являются лишь разновидностью *склоновых* массивов. В пределах внешних склонов САХ известно достаточно большое количество гидрофизических и геохимических аномалий (см. рисунок).

Таким образом, нельзя исключить возможность разгрузки гидротермальных растворов на флангах САХ, пока еще мало изученных. По расчетам теплового баланса в пределах океанских рифтов осевые гидротермальные системы составляют не более 30 % от общего числа зон гидротермальной разгрузки. Остальные приурочены к фланговым структурам.

Систематизированные мною сведения о термохалинных аномалиях придонных вод в Северной Атлантике за пределами САХ [4] позволяют говорить еще об одном типе океанских гидротермально-активных гидрогеологических структур – вулканогенных массивах, связанных с *провинцией внутриплитных вулканов* (*горячих точек*). Собраны многочисленные гидрофизические и гидрогеохимические свидетельства проявлений внутриплитного вулканизма в пределах, вблизи и на продолжениях трансформных и других субширотных разломов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Богданов Ю.А.* Гидротермальные рудопроявления рифтов Срединно-Атлантического хребта. М.: Научный мир, 1997. 167 с.

2. Гидротермальная деятельность и рудообразование в рифтовой зоне Срединно-Атлантического хребта (новые данные) / С.М.Сударикова, А.М.Ашадзе, Т.В.Степанова и др. // ДАН СССР. 1990. Т.311. № 2. С.440-445.

3. *Краснов С.Г.* Химический состав и происхождение океанских рудообразующих гидротерм / С.Г.Краснов, С.М.Сударикова // Вулканология и сейсмология. 1990. № 5. С.37-50.

4. *Сударикова С.М.* Гидрогеохимические и гидрофизические признаки гидротермальной деятельности в северной части Срединно-Атлантического хребта // Морфостуктура, магматизм, геодинамика и рудогенез Срединно-Атлантического хребта / Под ред. С.И.Андреева; ВНИИОкеангеология. СПб, 2003. С.111-127.

5. *Сударикова С.М.* Гидроминеральные проявления в Океане // Геодинамика и рудогенез Мирового океана / Под ред. И.С.Грамберга; ВНИИОкеангеология. СПб, 1999. С.62-72.

6. *Сударикова С.М.* Океанские гидротермы и их формирование / С.М.Сударикова, С.Г.Краснов, Д.В.Гричук // Гидротермальные сульфидные руды и металлоносные осадки океана / Под ред. И.С.Грамберга, А.И.Айнемера. СПб: Недра, 1992. С.39-74.

7. *Bel'tenev V., et al.* A new hydrothermal field at 16°38,4' N, 46°28,5' W on the Mid-Atlantic Ridge // InterRidge News, 2004. 13. P.5-6.

8. *Cherkashev G.A.* New fields with manifestation of hydrothermal activity in the Logatchev area (14° N, Mid-Atlantic Ridge) / G.A.Cherkashev, A.M.Ashadze, A.V.Gebruk // InterRidge News, 2000.9(2). P.26-27.

9. Distribution and transformation of Fe and Mn in hydrothermal plumes and sediments and the potential function of microbiocoenoses / S.M.Sudarikov, M.P.Davydov, V.L.Bazelyan, V.G.Tarasov // Hydrothermal Vents and Processes: Geological Society Special Publication. 1995. № 87. P.249-255.

10. Hydrothermal activity on a 10^5-year scale at a slow-spreading ridge, TAG hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge 26° N / C.Lalou, J.L.Reyss, E.Brichet, P.A.Rona, G.Thompson // Journ. of Geoph. Res. 1995. V.100. № B9. P.17855-17862.

11. Initial chronology of a recently discovered hydrothermal field at 14°45' N, Mid-Atlantic Ridge / C.Lalou, J.L.Reyss, E.Brichet, S.Krasnov, T.Stepanova, G.Cherkashev, V.Markov // Earth and Planet. Sci. Lett. 1996, V.144. P.483-490.

12. *Macdonald A.H.* Role of serpentinization in seafloor environment / A.H.Macdonald, W.S.Fife // Tectonophysics. 1985. V.116. P.113-135.

13. RAMESSES finds a magma chamber beneath a slow-spreading ridge / S.Constable, M.Sinha, L.MacGregor et al. // InterRidge News, 1997. V.6(1). P.18-22.

14. *Sudarikov S.M.* Geochemistry of interstitial waters from hydrothermal sediments, North Mid-Atlantic Ridge / S.M.Sudarikov, A.B.Roumiantsev // 31-st International Geological Congress. Rio de Janeiro-Brasil, Book of Abstracts. 2000. V.3. P.1245.

15. Tectonics of the Mid-Atlantic rift valley between the TAG and MARK areas (26-24° N): evidence for vertical tectonism / L.P.Zonenshain, M.J.Kuzmin, A.P.Lisitzin, J.A.Bogdanov, B.P.Baranov // Tectonophysics. 1989. V.159. P.1-23.