УДК 550.4:553.2.065:551.234(261-17)

С.М. СУДАРИКОВ, *д-р геол.-минерал. наук*, *профессор*, *sergei_sudarikov@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», *Санкт-Петербург*

S.M.SUDARIKOV, *Dr. in geol. & min. sc.*, *professor*, *sergei_sudarikov@mail.ru*
National Mineral Resources University (*Mining University*), *Saint Petersburg*

ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ В ЗОНАХ РАЗГРУЗКИ ТЕРМАЛЬНЫХ РАСТВОРОВ НА СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКОМ ХРЕБТЕ

Рассматриваются особенности формирования субмаринной разгрузки гидротермальных растворов и геохимических аномалий в придонных водах Срединно-Атлантического хребта. В типичном разрезе гидротермального ореола рассеяния можно выделить две основные зоны: гравитационно неустойчивые структуры, формируемые восходящим потоком, и более стабильные образования на горизонте латерального растекания. Обсуждаются дискретность строения гидротермальных ореолов рассеяния и геохимическая дифференциация вещества в плюмах. На поле Логачев разные типы разгрузки флюида образуют три вида гидротермальных плюмов: положительной, нейтральной и отрицательной плавучести.

***Ключевые слова*:** гидротермальный раствор, субмаринная разгрузка, ореол рассеяния.

FORMING OF HYDROGEOCHEMICAL DISPERSION HALOS IN DISCHARGE ZONES OF THERMAL SOLUTIONS ON THE MID-ATLANTIC RIDGE

Features of submarine hydrothermal discharge and geochemical anomalies in bottom waters of Mid-Atlantic Ridge are observed. In the typical section of hydrothermal halos two major zones could be distinguished: forming by the rising stream gravitationally non-stable structures and more stable formations on the horizon of lateral flow. Discrete structure of hydrothermal plumes and matter differentiation are discussed. Different types of fluid discharge are revealed on the Logatchev field. As a result three kinds of hydrothermal plumes are forming: of positive, neutral and negative buoyancy.

***Key words*:** hydrothermal solution, submarine discharge, dispersion halos.

Гидрогеохимические комплексные ореолы рассеяния (плюмы) над срединно-атлантическими гидротермальными центрами современного рудообразования являются самоорганизующимися нелинейными, энергетически насыщенными системами, которые находятся в термодинамически неравновесном состоянии.

Рудообразующие гидротермы, поступающие на поверхность океанического дна, образуют в придонных слоях комплексные ореолы рассеяния (плюмы), которые характеризуются аномальными температурой и мутностью, колебаниями плотности, Eh, pH, концентрациями растворенных и взвешенных элементов и микробиологическими аномалиями [1-4]. Характер процессов, происходящих при поступлении высокотемпературных растворов в придонные воды, определяется различиями в их температуре и составе. Горячий турбулентный поток жидкости, обладая положительной плавучестью, поднимается над источником на 100-300 м, энергично смешиваясь с морской водой. По дос-

тижении равновесия по плотности с вмещающими водами смесь формирует плюм нейтральной плавучести (латеральный).

Макрокомпоненты выделенной нами «большой шестерки» (Na, Ca, Cl, Fe, Mn, Zn), определяющие состав гидротермальных растворов, прежде всего Na и Cl, участвуют в формировании положительных и отрицательных аномалий солености в придонных водах. Среди растворенных форм металлов превалирует Mn, в составе взвесей обычна ассоциация сульфидов Fe, Cu, Zn с оксидами Fe, силикатами (тальк, железистый тальк) и элементарной серой. Имеются сведения о растворенных формах H_2, CO_2, H_2S, CH_4 и других углеводородов, ^3He, NO_2, Ar, ^{222}Rn, SiO_2, Cd, Al, Ge, Ba, Ag, Ni, V, Li, Se, редкоземельных элементов и др. [1,2].

Над гидротермальными источниками формируется гидрофизическая аномалия оптической прозрачности (мутности) придонных вод (рис.1). Увеличение поглощения света в морской воде относительно фона определяется концентрацией в ней взвешенных частиц, преимущественно гидроксидов железа во всплывающей струе и марганца – в плюме нейтральной плавучести.

Строение гидротермальных ореолов рассеяния во многом зависит от характера высокотемпературного взаимодействия первичных растворов с вмещающими породами в недрах системы, структуры придонных вод, геохимических барьеров, формирующихся в сложной системе: гидротермальный раствор – придонные воды – взвесь – осадок – живое вещество [4]. Так, фоновые характеристики придонной водной толщи Срединно-Атлантического хребта (САХ) отличаются от таковых в Тихом океане [2]. В рифтовой долине САХ наблюдается устойчивый отрицательный градиент солености в глубинных и придонных водах. При попадании гидротерм в такую водную толщу образуется опресненная смесь гидротерм и донных вод с положительной плавучестью.

При латеральном рассеянии в аномальном горизонте образуется зона пониженной солености и температуры (рис.2). С другой стороны, на примере гидротермального поля Логачев можно говорить о крайне неравномерном распределении очагов поступления термальных вод с температурами от 4-10, 60-90 до 348 °С (по данным наших определений с борта подводного обитаемого аппарата «Элвин»). «Мозаичный» характер разгрузки находит отражение в характере «сигналов», фиксирующихся в придонных водах при CTD-зондировании.

В различных районах быстрого и сверхбыстрого спрединга (до 18 см/год) на Восточно-Тихоокеанском поднятии (ВТП) формируются так называемые мегаплюмы – ореолы, достигающие 700 м по мощности и 20 км в диаметре. В строении мегаплюмов фиксируются два дискретных уровня. Более высокотемпературный верхний (собственно мегаплюм) обладает большей газонасыщенностью (CH_4, CO_2), повышенным содержанием растворенного SiO_2 и взвешенного железа. На нижнем уровне больше растворенного марганца и взвешенных частиц серы. Железо в мегаплюме переходит во взвесь одновременно с уходом из ореола CO_2 – естественного буфера, удерживающего Fe в растворе.

Формирование мегаплюма происходит в течение нескольких дней, причем объем поступления флюида эквивалентен годовому расходу 200-2000 обычных высокотемпературных источников [1].

Подсчитано, что образование одного мегаплюма в год, скажем, в пределах хр. Хуан-де-Фука, увеличивает годовое поступление флюида в 2 раза. Таким образом, в типичном разрезе плюма можно выделить две основные зоны: 1) гравитационно неустойчивый восходящий поток; 2) латеральный плюм на горизонте, отвечающем по плотности параметрам смеси. Отклонения от этой модели наблюдаются: 1) в приповерхностных плюмах мелководных бассейнов типа Матупи Харбор [2], бухта Кратерная, залив Пленти, когда верхней границей горизонта растекания является поверхность моря; 2) при экранировании зоны разгрузки рассолами (Атлантис-II, Красное море); 3) при формировании мегаплюмов.

Особенностью строения гидротермальных плюмов является их дискретность, отражающая прерывистый (квантовый)

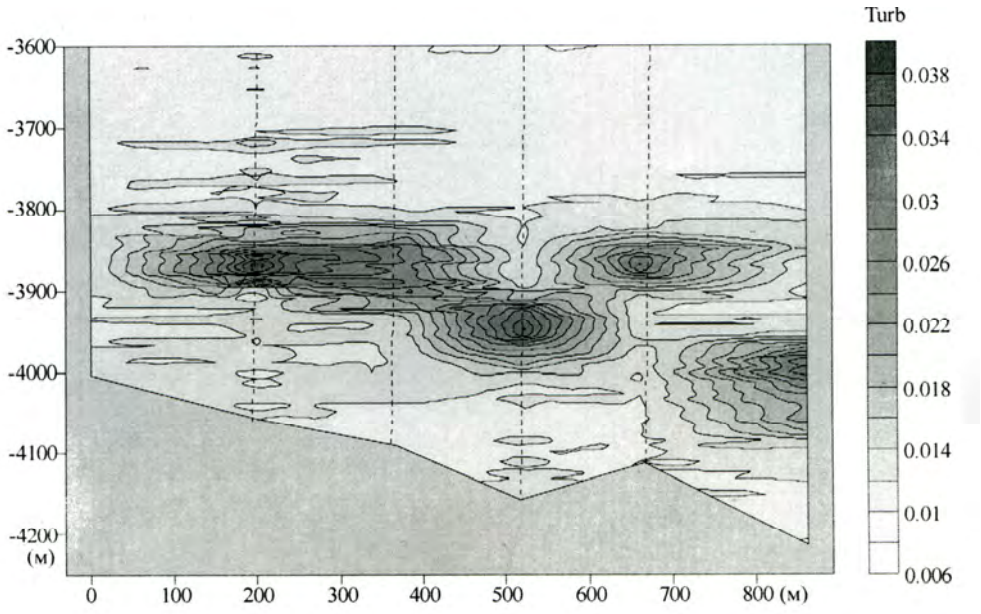


Рис.1. Профиль мутности вдоль рудного поля на 13° с.ш. САХ

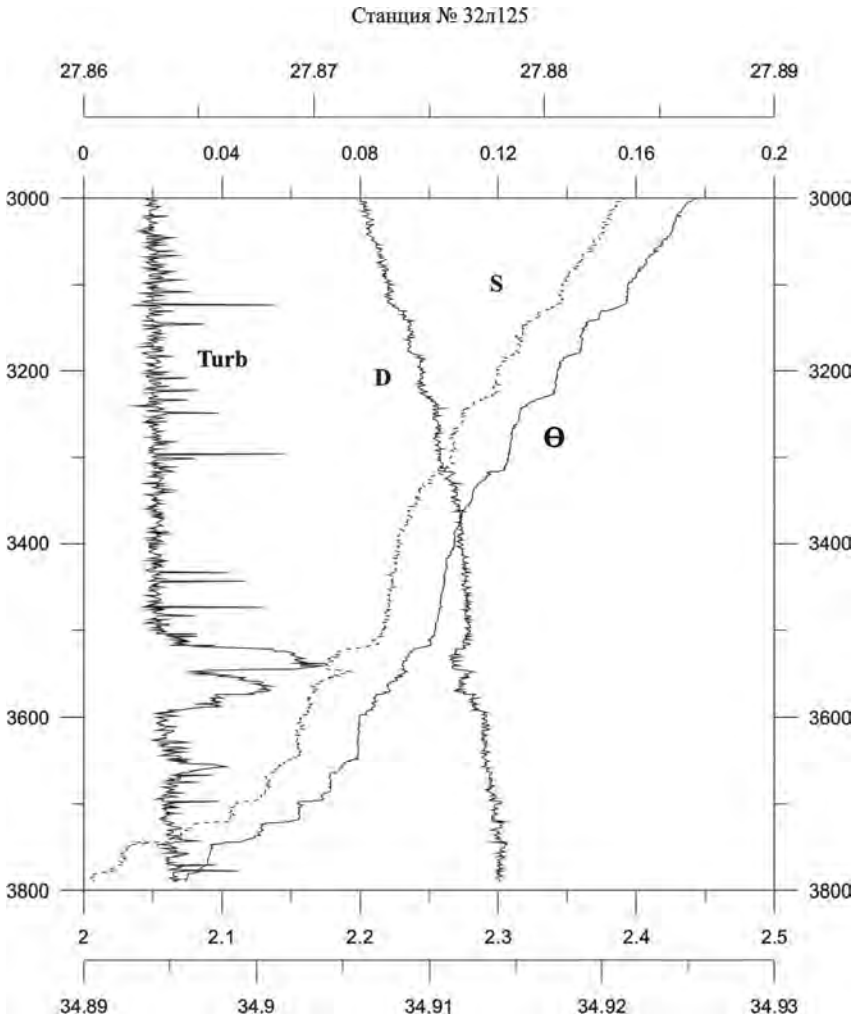


Рис.2. Вертикальные профили гидрофизических параметров на 11,5° с.ш. САХ
Θ – потенциальная температура, °С; Turb – мутность, FTU; S – соленость, PSU; D – потенциальная плотность, кг/м^3

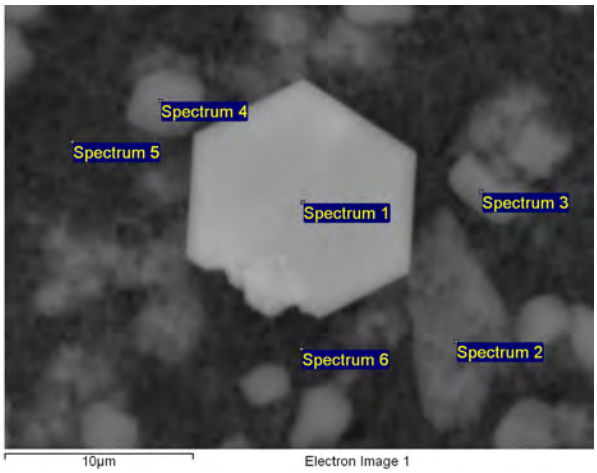


Рис.3. Пирротин во взвеси вблизи устья источника Ирина-2 на 14°45′ САХ, микрозондовый анализ

характер гидротермальной деятельности (см. рис.1). Неоднородность плюма проявляется в нарушении структуры водной толщи, вариациях термохалинных характеристик в районе действующих источников, особенно при формировании мегаплюмов.

Одной из главных причин дискретности плюмов является геохимическая дифференциация вещества, диктуемая как составом первичных растворов, так и преобразованиями в процессе рассеяния, проявляющимися на границе взвесь – раствор [3, 4]. Горизонтальные размеры ореолов и формы миграции элементов могут зависеть от состава гидротерм. При низких отношениях Fe/S в растворах большая часть железа связывается в сульфидных взвесях, отлагающихся у источников (рис.3).

При высоких значениях модуля, когда не хватает серы для связывания железа в сульфидах, Fe выносится в растворе и переходит во взвесь в виде гидроксидов на некотором расстоянии от источника. При этом дальность миграции Fe возрастает.

В гидротермальных плюмах Mn обнаруживается в основном в растворенной восстановленной форме Mn(II). Время пребывания Mn в плюме оценивается в 50 лет. Фракционирование Fe и Mn обязано различиям в их растворимости. Осаждение Mn связывается с деятельностью микроорганизмов и соосаждением с Fe. Оксиды Mn очень редко накапливаются в значительных количествах в пределах или вблизи гидротермальных полей. В то же время Fe концентрируется как в оксидной форме, так и в сульфидной. Оксиды Mn быстро восстанавливаются H_2S, а поскольку сульфиды Mn весьма растворимы, они не образуют стабильных отложений. Воздействие H_2S на оксиды Fe приводит к образованию устойчивых сульфидов Fe. На отрезке рифтовой долины ВТП (13° с.ш.), в разрезе гидротермального плюма нами обнаружена пространственная дифференциация взвешенных и растворенных форм Fe и Mn. Корреляционный анализ указывает на существование наиболее тесных связей между растворенными формами Mn и Fe, Cu с Zn, а также взвешенными Mn, Fe, Zn [2]. Последняя ассоциация соответствует триаде металлов «большой шестерки» в гидротермальных растворах, что свидетельствует об унаследованности состава главных рудообразующих компонентов гидротермальных растворов в композиции взвесей гидротермального плюма.

В зоне медленного спрединга САХ на поле Логачев разные типы разгрузки флюида привели к образованию трех видов гидротермальных плюмов: положительной, нейтральной и отрицательной плавучести. Следующие типы источников оказывают влияние на структуру придонной воды: 1) комбинации «дымящих» кратеров и коротких труб черных курильщиков 0,2-1,0 м высотой, окружающих кратеры; 2) несколько высоких труб в зонах Ирина-2 и «А» до 4 м высотой и 0,5-0,8 м в диаметре у основания; 3) зоны диффузионной разгрузки прозрачных «мерцающих» растворов. По гидрооптическим данным (CTD-профилирования), вблизи активных источников формируются три аномальных горизонта: на расстоянии 30-60, 10-145 м над дном и на горизонте 2630-2640 м (250-350 м над дном). Различия в плавучести флюида могут быть следствием эффекта сепарации газ – жидкость под океаническим дном. В результате хлорность раствора может вырасти втрое. Разгружаясь, рассол формирует плюмы отрицательной плавучести, растекающиеся по дну [1, 4].

Придонная аномалия формируется под влиянием первого типа источников. Здесь образуются реверс-плюмы, связанные с разгрузкой гидротерм повышенной плотности. Максимум мутности на горизонте латерального рассеяния сопровождается отрицательной аномалией температуры и солености. Последняя формируется подтягиванием холодной и менее соленой воды из впадин рифтовой долины, в соответствии с атлантической моделью формирования гидротермальных плюмов [1, 4].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Судариков С.М.* Особенности геохимии придонных вод в зонах разгрузки гидротермальных растворов срединно-океанических хребтов. / С.М.Судариков, Д.В.Каминский // Геохимия. 2010. № 3. С.317-321.

2. *Судариков С.М.* Строение гидротермальных ореолов рассеяния Тихого и Атлантического океанов / С.М.Судариков, Г.А.Черкашев // ДАН. 1993. Т.330, № 6. С.757-759.

3. *Rudnicki M.D.* Particle formation, fallout and cycling within the buoyant and non- buoyant plume above the TAG vent field // Hydrothermal Vents and Processes, Geological Society Special Publication. 1995. № 87. С.387-396.

4. *Sudarikov S.M.* Structure of hydrothermal plumes at the Logatchev vent field, 14°45'N, Mid-Atlantic Ridge: evidence from geochemical and geophysical data / S.M.Sudarikov, A.B.Roumiantsev // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2000. 101. P.245-252.

REFERENCES

1. *Sudarikov S.M.*, *Kaminsky D.V.* Features of bottom waters geochemistry in discharge zones of hydrothermal solutions of mid-ocean ridges // Geochimia. 2010. N.3. P.317-321.

2. *Sudarikov S.M.*, *Cherkashov G.A.* Structure of hydrothermal plumes of the Pacific and Atlantic oceans // Doklady of the Academy of Sciences. 1993. V.330, N.6. P.757-759.

3. *Rudnicki M.D.* Particle formation, fallout and cycling within the buoyant and non- buoyant plume above the TAG vent field // Hydrothermal Vents and Processes, Geological Society Special Publication. 1995. N.87. P.387-396.

4. *Sudarikov S.M.*, *Roumiantsev A.B.* Structure of hydrothermal plumes at the Logatchev vent field, 14°45'N, Mid-Atlantic Ridge: evidence from geochemical and geophysical data // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2000. 101. P.245-252.