УДК 556.638:551.465 (261-17)

С.М.СУДАРИКОВ, *д-р геол.-минерал. наук, профессор, sergei_sudarikov@mail.ru*
П.А.МАРШАК, *магистрант, paulmarshak@gmail.com*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

S.M.SUDARIKOV, *Dr. in geol. & min. sc., professor, sergei_sudarikov@mail.ru*
P.A.MARSHAK, *undergraduate student, paulmarshak@gmail.com*
Saint Petersburg State Mining University

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ПОЛЯ АШАДЗЕ (СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКИЙ ХРЕБЕТ)

Рассматриваются основные геологические и термодинамические условия образования и деятельности гидротермальных источников. Производится расчет дебитов источников гидротермального поля Ашадзе по модели Е.С.Ромма. Проводится сравнение модельных данных с данными, полученными в русско-французской экспедиции «SERPENTINE».

Ключевые слова: условия образования и деятельности гидротермальных источников, дебиты источников, модель Ромма.

INVESTIGATION OF HYDRODYNAMIC CONDITIONS ASHADZE VENT FIELDS (MID-ATLANTIC RIDGE)

The main geological and thermodynamic conditions of hydrothermal vents formation and activity. Calculation of hydrothermal field vents flow have been made after E.S.Romm model. A comparison of model data with data obtained in the Russian-French expedition «SERPENTINE».

Keywords: conditions of hydrothermal vents formation and activity, water flows, Romm model.

С 80-х гг. прошлого века продолжается изучение металлоносных терм, осадков и сульфидов, образованных в результате конвекционной деятельности, расположенных в областях спрединга дна Мирового океана [1, 2, 4, 6, 7]. Этот интерес обусловлен двумя основными причинами: 1) детальное изучение современных гидротерм помогает реконструировать древние геологические процессы в земной коре; 2) растворы, осадки и сульфиды, образующиеся в субмаринных гидротермальных системах, обогащены такими компонентами, как Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Co, Ag, Au, и представляют собой рудопроявления, которые могут стать объектами интенсивной разработки.

Оценка объемов растворов и содержащихся в них полезных компонентов и тепла в недрах гидротермальных систем, а также величины разгрузки в пределах активных гидротермальных полей, позволяют точнее оценить экономический потенциал этих геологических объектов. Пока единственным методом, позволяющим решить эту актуальную проблему, является математическое моделирование [2, 3, 5].

Гидротермальная система представляет собой сложный природный комплекс, складывающийся под влиянием гидродинамических и физико-химических процессов, происходящих в верхней части океанской коры и в придонных водах океана в условиях спрединга.

Субмаринная гидротермальная система обязана своим существованием наличию следующих факторов:

1. Причиной локального разогрева нижней части океанской коры в центре спрединга

является магматическая камера, находящаяся на некоторой глубине под гидротермальным источником.

2. Трещиноватость вмещающих пород обусловливает ее проницаемость для морской воды.

3. В системе фильтрующаяся вода – порода происходит выщелачивание рудообразующих компонентов и вынос их в область разгрузки гидротермальной системы. В зоне разгрузки при смене термодинамических условий эти компоненты образуют плюмы взвешенного вещества в придонных водах и скопления сульфидных руд и металлоносных осадков вблизи гидротермального источника [2].

Нами предложена физическая модель гидротермальной циркуляционной системы (рис.1), которая характеризуется следующими основными чертами: нагретый теплом магматической камеры раствор, обладая меньшей плотностью, устремляется вверх к устью жерла «курильщика», создавая воронку депрессии вокруг ствола гидротермального источника.

За счет разницы напоров холодная морская вода устремляется в трещины ультраосновного массива, выходящие на поверхность дна океана на периферии системы, и, нагреваясь в ее центральной части, поднимается вверх. Для приближенной оценки динамики действия осесимметричной гидротермальной системы рассматривается ее упрощенная схема (рис.2), характеризующаяся наличием лишь плоского радиального потока.

Основу модели составляет уравнение неразрывности для диффундирующего компонента, переносимого фильтрационным потоком в элементе трещиноватого массива [5]:

$$b\sigma\left(\frac{\partial}{\partial t}C\right) + \mathrm{div}\,q_{®} - 2\sigma q_{т} = 0,$$

$$q_{®} = CV - K_{d®}\,\mathrm{grad}\,C,$$

где b – раскрытие трещин; σ – плотность трещиноватости; $q_т$ – диффузионный поток из блоков в трещины; $C(x, y, z, t)$ – концентрация диффундирующего компонента в трещинах; $V(x, y, z)$ – векторное поле скоростей фильтрации в трещиноватом массиве; $K_{d®}$ – коэффициент диффузии компонента в растворе, насыщающем трещины массива.

В результате математических преобразований получена следующая формула для расчета дебита:

$$Q = \frac{\pi K g \Delta\rho h^2}{\mu \ln\left(\frac{r_к}{r_с}\right)},$$

где K – проницаемость среды; μ – вязкость жидкости; $\Delta\rho$ – разность плотностей холод-

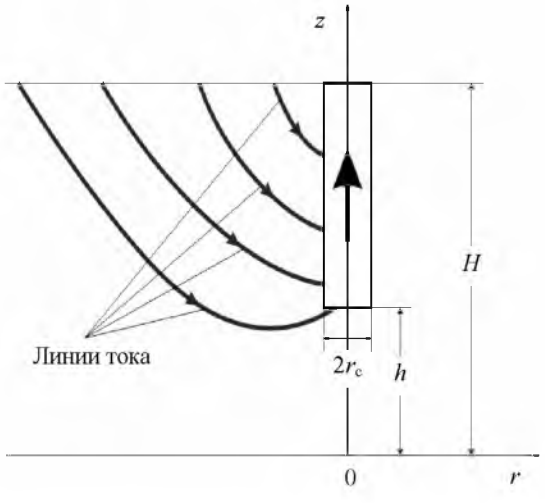


Рис.1. Физическая модель гидротермальной системы
$r_с$ – радиус отверстия сульфидной трубы; H – мощность вмещающих пород (базальты, гипербазиты, габбро); h – мощность сплошной зоны

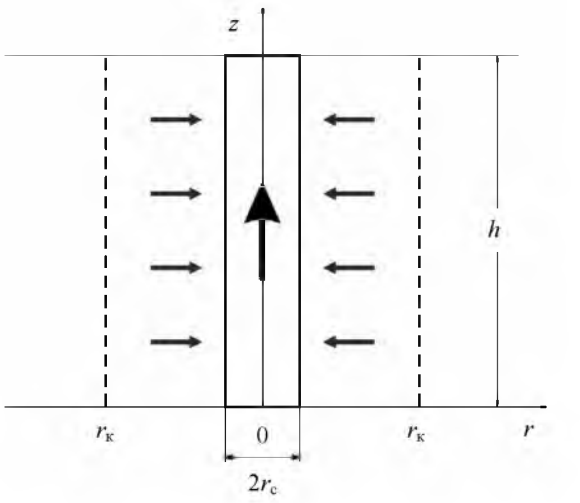


Рис.2. Схема осесимметричной гидротермальной системы с плоским радиальным потоком
$r_с$ – радиус отверстия сульфидной трубы; $r_к$ – радиус контура питания; h – мощность области фильтрации

Таблица 1

Результаты, полученные при построении модели

Тип источника	h, м	$r_к$, м	$r_с$, м	K, м^2	$\rho_г$, кг/м^3	$\rho_х$, кг/м^3	$\Delta\rho$, кг/м^3	μ, Па·с	T, °С	Q, м^3/с
«Трубы»	5000	500	0,5	$3\cdot10^{-15}$	657	1020	363	0,00075474	350	0,16
Частично закольматированные «трубы»	5000	500	0,05	$3\cdot10^{-15}$	657	1020	363	0,00075474	350	0,12
Зоны просачивания сквозь осадки	5000	5000	50	$3\cdot10^{-15}$	1000	1020	20	0.00185	25	0,00542

Таблица 2

Данные с борта «Пуркуа Па?»

Тип источника	Количество источников	Радиус жерла источника, м^2	Скорость раствора, м/с	Дебит, м^3/с
«Трубы»	6	0,03	0,5	0,094
Частично закольматированные «трубы»	30	0,0003	0,1	0,00045
Зоны просачивания сквозь осадки	10	1	0,01	0,1

Таблица 3

Сравнение натурных и модельных данных

Тип источника	Дебит, м^3/с	
	Модель	С борта «Пуркуа Па?»
«Трубы»	0,16	0,094
Частично закольматированные «трубы»	0,12	0,00045
Зоны просачивания сквозь осадки	0,00542	0,1

ного и горячего растворов; h – мощность базальтов; $r_к$ и $r_с$ – радиусы зоны питания и жерла источника соответственно.

Расчет производится для трех типов гидротермальных источников гидротермального поля Ашадзе: высокотемпературные открытые сульфидные «трубы»; средне- и высокотемпературные частично закольматированные сульфидные «трубы»; зоны диффузионного просачивания термальных растворов с пониженными температурами сквозь толщу донных осадков (табл.1).

По данным, полученным в ходе экспедиции «Профессор Логачев» (2005 г.) и русско-французской экспедиции «Серпентин» (2007 г.), была построена гидрогеологическая, физическая, математическая модели. На основе полученных данных произведена верификация модели с объектом (табл.2).

Сравнение данных, полученных расчетным и натурным путем, представлено в табл.3.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что модель применима для второго типа источников («трубы»), для 3-го типа источников наблюдается некоторое расхождение. На это следует обратить внимание, поскольку возможны две основные причины расхождения натурных данных с модельными:

1) на участке гидротермального поля Ашадзе имеется некоторое количество не выявленных частично закольматированных труб;

2) данная модель неприменима к данному типу источников, так как в них происходит фильтрация сквозь сульфидные минералы, что в данной модели не учитывается; в этом случае необходимо усовер-

шенствовать модель специально для данного типа источников.

ЛИТЕРАТУРА

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

2. Гидротермальные сульфидные руды и металлоносные осадки океана / Под ред. И.С.Грамберга и А.И.Айнемера. СПб, 1992. С.192-204.

3. *Гричук Д.В.* Термодинамические модели субмаринных гидротермальных систем. М., 2000. 205 с.

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

5. *Ромм Е.С.* Структурные модели порового пространства горных пород. СПб, 1989. С.257.

6. *Судариков С.М.* Гидрогеологические структуры гидротермально-активных районов Северной Атлантики // Записки Горного института. 2008. Т.176. С.26-30.

7. *Судариков С.М.* Гидротермальные растворы Срединно-Атлантического хребта: первые результаты русско-французской экспедиции 2007 г. // Гидрогеохимия осадочных бассейнов. Томск, 2007. С.59-65.

REFERENCES

1. *Bogdanov Y.A.* Hydrothermal ores of the Mid-Atlantic ridge rift zones. Moscow, 1997. 167 p.

2. Hydrothermal sulfide ores and metalliferous sediments of the ocean / Ed. by. I.S.Gramberg and A.I.Aynemer. Saint Petersburg, 1992. P.192-204.

3. *Grichuk D.V.* Thermodynamic model of submarine hydrothermal systems. Moscow, 2000. 205 p.

4. *Krasnov S.G., Sudarikov S.M.* Chemical composition and origin of oceanic hydrothermal ore-forming solutions // Volcanology and Seismology. 1990. N 5. P.37-50.

5. *Romm E.S.* Structural models of the pore space of rocks. Saint Petersburg, 1989. 257 p.

6. *Sudarikov S.M.* Hydrogeological structure of hydrothermally active regions of the North Atlantic // State Mining Institute. 2008. Vol.176. P.26-30.

7. *Sudarikov S.M.* Hydrothermal solutions Mid-Atlantic Ridge: initial results of Russian-French expedition of 2007 // Hydrogeochemistry sedimentary basins. Tomsk, 2007. P.59-65.