

**Минералорудообразование в основании толщи глин Восточно-Паужетского термального поля Паужетской гидротермальной системы (Южная Камчатка)**  
*С.Н. Рычагов<sup>1</sup>, Т.М. Философова<sup>1</sup>, М.С. Чернов<sup>2</sup>, Е.С. Житова<sup>1</sup>, О.В. Кравченко<sup>1</sup>, А.В. Сергеева<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский; 683006; e-mail: rychn@kscnet.ru

<sup>2</sup>Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

В основании толщи гидротермальных глин Восточно-Паужетского термального поля под однородным слоем пластичных глин, являющихся тепловым экраном и теплоизолирующим слоем, выделена минеральная рудная зона. Зона образована вследствие разгрузки щелочных металлоносных термальных вод, поступающих из нижних горизонтов Паужетской гидротермальной системы или из недр Камбального вулканического хребта.

### Введение

Паужетской гидротермальной системе и одноименному геотермальному месторождению посвящено большое количество исследований [1, 2, 5]. Но остаются открытыми многие вопросы. Решение проблемы о влиянии глубинного металлоносного флюида на зону гипергенеза гидротермальной системы возможно с помощью комплексного изучения термальных полей и распространенной на их поверхности толщи гидротермальных глин [4]. Так, при изучении гидротермальных глин Восточно-Паужетского термального поля (т/п) были выделены две зоны с минеральными рудными ассоциациями [3]. Зоны приурочены к «синим глинам» (насыщенным пиритом и другими сульфидами) и расположены под горизонтом мягко-тугопластичных глин. Горизонт распространен на площади всего т/п и служит водупором и тепловым изолятором, а к «синим глинам» приурочен комплексный геохимический барьер [4]. Эти данные определили повышенный интерес авторского коллектива к дальнейшему изучению гидротермальных глин Восточно-Паужетского т/п с помощью проходки скважин колонкового бурения. В западной части поля скважиной вскрыта рудная зона сложного химического и минерального составов. Характеристике этой зоны посвящена настоящая работа.

### Литологический разрез толщи гидротермальных глин

Восточно-Паужетское т/п расположено на восточном фланге гидротермальной системы и приурочено к приподнятому тектоно-магматическому блоку [5]. Его описание подробно сделано ранее, поэтому обратимся к характеристике толщи глин. На т/п пройдено 13 скважин колонкового бурения (рис. 1) глубиной от 2,8 до 8,9 м,



Рис. 1. Восточно-Паужетское т/п: а – общий вид и расположение скважин, б – план с местоположением скважин и их номерами.

вскрыты все горизонты и слои интенсивно аргиллизированных пород. Рудная зона прослежена тремя скважинами и двумя шурфами (шурфы расположены в точке ВПП-

1/15). Разрез в точке бурения ВПП-2/16 представлен следующими основными горизонтами (сверху – вниз): 1) сернокислотного выщелачивания; 2) мягко-тугопластичными глинами; 3) «синими глинами»; 4) пиритизированными интенсивно аргиллизированными брекчиевидными андезитами. В «синих глинах» выделяется пологопадающая зона мощностью 0,6 м с резкими границами. Основная матрица отложений этой зоны сложена глинисто-карбонатно-сульфидным материалом, включающим большое количество (до 1-2 об.%) агрегатов округлой формы (глобулей).

### Строение и состав глобулей

Глобули отличаются размерами и формой в трех условно выделенных слоях (рис. 2). В верхнем слое глобули чаще всего уплощенные и образуют сростки-агрегаты размером до 25 мм. В среднем – отмечаются более округлые формы (в т.ч. отдельные «шарики») и соответствующие агрегаты размером от 2-3 до 10 мм. В нижнем – существенно более мелкие округлые, комковатые, сферические глобули. Агрегаты



Рис. 2. Глобули из верхнего (А), среднего (Б) и нижнего (В) слоев рудной зоны.

плотные, массивные. В их состав входят: карбонаты, глинистые минералы, пирит, кварц (и другие минералы кремнезема), оксиды железа (магнетит, титаномагнетит) и титана (ильменит), пластинчатые черные полупрозрачные на тонких сколах минералы, и др. Глобули отличаются от выделенных ранее (в разрезе ВПП-1/15 [3]) более темным серо-зеленым цветом, что свидетельствует в пользу значительного разнообразия их химического и минерального составов (присутствия «цветных минералов», что и подтверждается на основании электронно-микроскопических исследований, см. ниже). Кроме того, визуально отмечается высокое содержание пирита в составе агрегатов – до 25 об.% и наблюдается рост концентраций  $FeS_2$  к нижнему слою зоны. По данным ИК-спектроскопии к основным (по объемному содержанию) минералам кроме пирита относятся: магнезиальный кальцит и смектит; каолинит - в подчиненном положении. Глобули характеризуются разнообразным микростроением и составом (рис. 3).

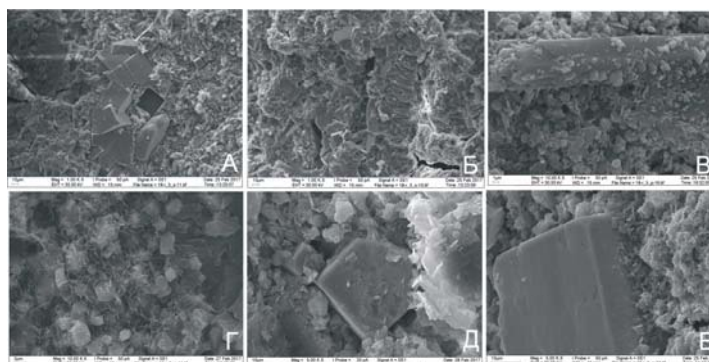


Рис. 3. Строение глобулей по данным сканирующей электронной микроскопии (СЭМ LEO 1450VP, геологический факультет МГУ). А – агрегаты кристаллов пирита в карбонатно-глинистой матрице, внизу – крупный кристалл ильменита; Б – основная матрица глобулей, сложенная карбонатами, смектитом и пиритом; В – кристалл апатита и глобулярная микроструктура основной массы; Г – микрокристаллы пирита в тонкодисперсной матрице смектита; Д – кристалл пирита с минеральными образованиями на его поверхности; Е – микрослой на поверхности кристалла пирита.

Многие участки представлены сростками кристаллов пирита идеально правильной кубической формы, образующими каркас матрицы (рис. 3А). Матрица сложена карбонатами (слоистые микроструктуры на рис. 3Б) и смектитом, образующим ажурные и глобулярные формы. Выделяются хорошо окристаллизованные удлиненные кристаллы фосфатов (вероятно, апатита) в ассоциации с смектитом и карбонатами (рис. 3В). Характерно также высокое содержание других фосфатов, а также микрокристаллов пирита в массе глинистых минералов (рис. 3Г). Выявляется микроглобулярная структура поверхности кристаллов пирита за счет образования других минеральных фаз (слоистые силикаты ?, рис. 3Д), а также слоистость поверхности пирита (рис. 3Е).

Микронзондовые исследования в ИВиС ДВО РАН выявили еще большее разнообразие структур и состава глобулей. Отдельные частицы имеют брекчиевидную структуру основной массы (рис. 4А). Цемент представлен карбонатами (или алюмосиликатами); обломки-фрагменты - глинистыми минералами, кварцем, опалом,

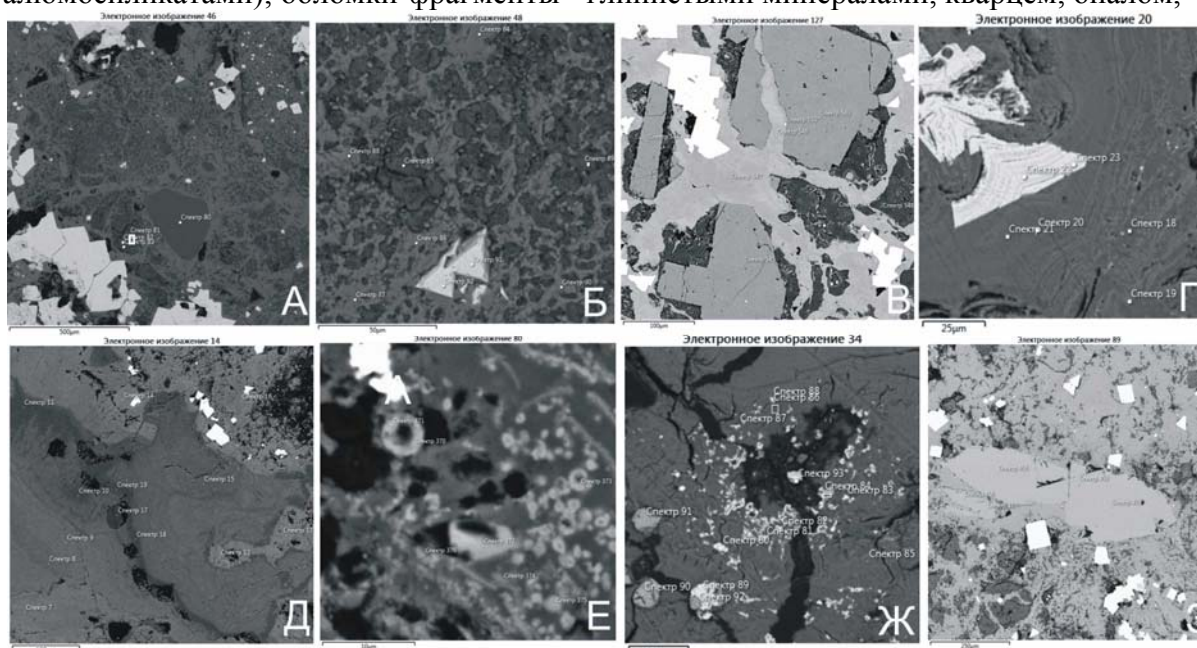


Рис. 4. Микростроение глобулей по данным микронзондовых исследований в ИВиС ДВО РАН.

оксидами железа, фосфатами, и др. Наиболее типична относительно однородная структура глобулей, определяемая преобладанием в основной массе карбонатов, включающих кристаллы других минералов или поры, выполненные смектитом, фосфатами, оксидами и др. (рис. 4Б). Развита система микротрещин в кристаллах и основной матрице (рис. 4В). Характерна также зональность в пирите, обусловленная минеральными фазами титана; зональность основной массы определяется распределением фосфатов (водных фосфатов Al, Fe, Ca, Na и др.) (рис. 4Г); зональность в карбонатах – повышенным содержанием Mn (до 12-15 %) в отдельных микрослоях (рис. 4Д). Фосфаты образуют микро-наноглобулярные структуры (рис. 4Е). Обнаружена редкоземельная минерализация – в виде мелких (до 5 мкм) кристаллов, концентрирующихся вокруг пор и микротрещин (рис. 4Ж). Подтверждается наличие крупных кристаллов (до 1.5 – 2.0 мм) амфибола (рис. 4З) – пластинчатого черного минерала, отмеченного выше. Амфибол диагностирован как эденит на основании порошковой рентгеновской дифракции и электронно-зондового микроанализа, выполненных в ресурсных центрах СПбГУ. Минеральный состав приведен в таблице.

**Таблица. Минеральный состав глобулей рудной зоны Восточно-Паужетского т/п по данным микронзондовых исследований (ИВиС ДВО РАН), а также рентгеноструктурных исследований (СПБГУ) и ИК-спектроскопии (ИВиС)**

№ п.п.	Название	Состав (общая формула)
1	Кальцит	$\text{CaCO}_3$
2	Магнезиальный кальцит	$\text{Ca}(\text{Mg})\text{CO}_3$
3	Манганокальцит	$(\text{Ca}, \text{Mn})\text{CO}_3$
4	Смектит	$\text{Na}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{Al}, \text{Mg})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$
5	Каолинит	$\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$
6	Кварц, опал	$\text{SiO}_2$
7	Эпидот	$\text{Ca}_2\text{FeAl}_2[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$
8	Калиевый полевой шпат	$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
9	Амфибол (эденит)	$\text{NaCa}_2\text{Mg}_5[\text{AlSi}_7\text{O}_{22}](\text{OH}, \text{F})_2$ $(\text{Na}_{0.46}\text{K}_{0.04})(\text{Ca}_{1.71}\text{Mn}_{0.05})(\text{Mg}_{2.99}\text{Fe}_{1.77}\text{Ti}_{0.21})(\text{Si}_{6.74}\text{Al}_{1.26})\text{O}_{21.1}(\text{OH})_{2.9}$
10	Апатит	$\text{Ca}_2\text{Ca}_3[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{OH})_2$
11	Пирит	$\text{FeS}_2$
12	Сфалерит	$\text{ZnS}$
13	Халькопирит	$\text{CuFeS}_2$
14	Ильменит	$\text{FeTiO}_3$
15	Рутил	$\text{TiO}_2$
16	Титанит	$\text{CaTi}[\text{SiO}_4]$
17	Магнетит (титаномагнетит)	$\text{FeFe}_2\text{O}_4(\text{Fe}_2\text{TiO}_4)$
18	Циркон	$\text{Zr}[\text{SiO}_4]$
19	Водные фосфаты (наиболее вероятны фосфаты Al, Na, Ca, Fe, Mn: варисцит, метаварисцит, минералы группы виксита, и др.)	

### **Заключение**

В основании толщи глин Восточно-Паужетского термального поля выделена пологопадающая рудная зона сложного состава. Зона образована в результате разгрузки щелочных металлонесных термальных вод. Движение растворов из глубины связано с магматическими телами, а в приповерхностных горизонтах термального поля приурочено к апикальным частям субинтрузивного тела среднего-основного состава.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (16-05-00007а) и ДВО РАН (15-I-2-065). Исследования проведены с использованием оборудования, полученного в рамках реализации Программы развития МГУ имени М.В. Ломоносова.

### **Список литературы**

1. Белоусов В.И. Геология геотермальных полей. М.: Наука, 1978. 176 с.
2. Паужетские горячие воды на Камчатке. М.: Наука, 1965. 208 с
3. Рычагов С.Н., Сергеева А.В., Чернов М.С., Философова Т.М. Глобули различного состава в толще гидротермальных глин Восточно-Паужетского термального поля (Южная Камчатка) // Материалы XVIII ежегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 30-31 марта 2015, г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2015. С. 282-285.
4. Рычагов С.Н., Соколов В.Н., Чернов М.С. Гидротермальные глины геотермальных полей Южной Камчатки: новый подход и результаты исследований // Геохимия. 2012. № 4. С. 378-392.
5. Структура гидротермальной системы. М.: Наука, 1993. 298 с.