

## **Минеральный состав гидротермальных глин, сформированных под действием разгрузок различного типа**

**А. В. Сергеева**

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский*

*e-mail: [valraf2009@yandex.ru](mailto:valraf2009@yandex.ru)*

В работе исследуется связь состава минеральных ассоциаций гидротермальных глин и типов термопроявлений, в которых они сформировались. Смесь новообразованных каолинита и Na, Ca-сметита формируется в грязевых котлах, на участках прогретого грунта доминирует каолинит, часто в ассоциации с минералами группы алунита. Стенки парогазовых струй могут содержать как каолинит-алунитовую, так и каолинит-сметитовую ассоциации, иногда их смесь, часто присутствует опал.

### **Введение**

Глинистые толщи современных термоаномалий характеризуются локальной неоднородностью минерального (фазового) состава, как в направлении, нормальном по отношению к дневной поверхности, так и в тангенциальном [1].

Своим формированием глинистые толщи обязаны разгрузкам термальных вод и парогазовых струй на поверхности или вблизи нее. Формирующиеся глинистые плащи в дальнейшем начинают играть активную роль в режиме функционирования термоаномалии, а именно: роль теплового экрана, сорбента ряда элементов (т. н. геохимический барьер), роль реакционного пространства и т.д. Локальные различия в характере термопроявлений (грязе-водные котлы, парогазовые струи, участки прогретых грунтов) обуславливают дальнейшие локальные различия минерального (фазового) состава глин. Вертикальная же зональность обусловлена преимущественно распределением температуры и состава поровых растворов.

Исследуемые термальные поля расположены в Паужетско-Камбально-Кошелевском районе (Южная Камчатка). Этот район располагается на сочленении трех вулканических поясов и отождествляется с длительноживущим вулканическим центром [2]. Район характеризуется наличием термоаномалий, послуживших источником исследуемых образцов: Восточно-Паужетское, Верхне-Паужетское, Нижне-Кошелевское, Верхне-Кошелевское, Северо-Камбальные паровые струи, Южно-Камбальное Дальнее поле и др.

Условно можно выделить несколько разновидностей, или режимов функционирования разгрузок, в той или иной степени присутствующих на исследованных термальных полях. Во-первых, грязе-водные котлы, которые характеризуются непрерывным барботированием глинистой взвеси в термальном растворе, температура большинства котлов около 100 °С. Во-вторых, парогазовые струи, представляющие собой поток пара, поступающий на дневную поверхность по системе трещин. Температура струи при выходе ее на поверхность так же около 100 °С. В-третьих, отдельно можно рассматривать участки прогретых грунтов. Здесь перенос тепла осуществляется путем инфильтрации потока нагретого флюида, либо по системе мелких трещин. Температура прогретых участков грунта, как правило, ниже 100 °С. Термоаномалии весьма динамичны, разные типы разгрузок могут переходить друг в друга, например, нередко можно наблюдать взаимный переход парогазовая струя ↔ грязе-водный котел.

### Методика эксперимента

Образцы глинистых минералов были отобраны в период 2011 – 2016 г. на термальных полях Паужетско-Камбально-Кошелевского района. Были опробованы различные по характеру термопроявления: грязевые и грязе-водные котлы, парогазовые струи, участки прогретого грунта. Перед инструментальными исследованиями образцы были подвергнуты стандартным процедурам выделения глинистой, тяжелой и легкой фракций. В дальнейшем выделенные фракции исследовали методами инфракрасной спектроскопии и рентгеновской дифрактометрии.

Инфракрасные спектры были записаны с помощью ИК спектрофотометра с Фурье-преобразованием IR Affinity (Shimadzu) в диапазоне волновых чисел  $400 - 4000 \text{ см}^{-1}$ , с разрешением  $4 \text{ см}^{-1}$  и числом сканов 80. Образцы для исследования растирали в агатовой ступке с бромидом калия и прессовали в таблетки. Дифрактограммы были записаны на рентгеновском дифрактометре XRD 7000 (Shimadzu) в диапазоне  $4 - 50^\circ 2\theta$ , с шагом  $0,05^\circ 2\theta$ . Был использован режим непрерывного сканирования со скоростью  $0,5 \text{ град/мин}$ , что соответствует выдержке в точке 6 с, скорость вращения образца составляла 30 об/мин. Для образцов, содержащих смектит, дифрактограммы были записаны как в воздушно-сухом, так и в насыщенном глицерином состояниях. Дешифровка дифрактограмм была проведена с помощью программы PowderCell 2.4 путем наложения экспериментальных и теоретически рассчитанных кривых.

### Обсуждение результатов

Исследование глинистой пульпы грязе-водных котлов показало, что в большинстве случаев глинистая фракция состоит из смектита и каолинита, плохо закристаллизованных, новообразованных. На рис. 1 показаны типичные инфракрасные спектры глинистой фракции грязе-водных котлов с рН выше 3,5.

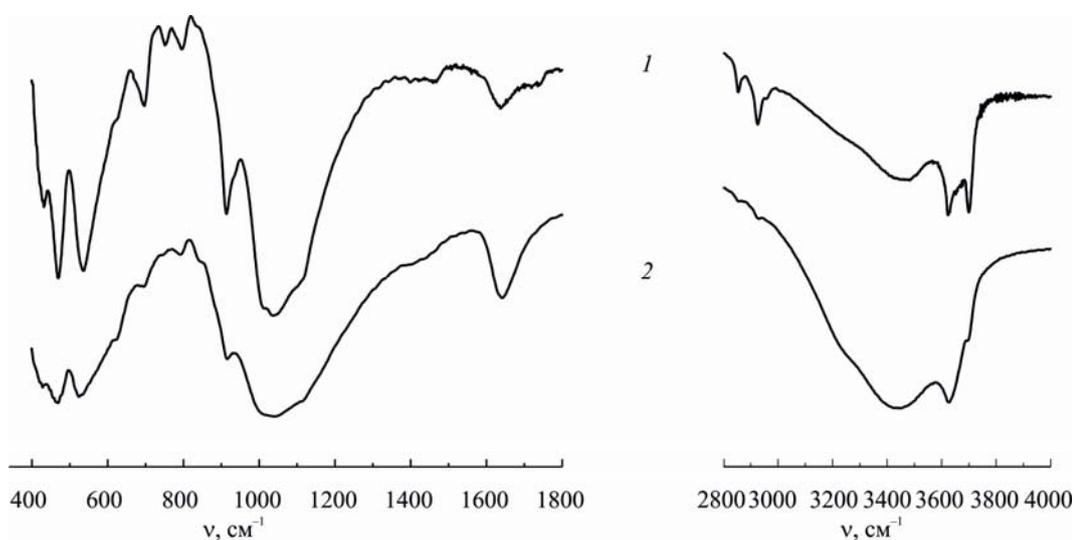


Рис. 1. Инфракрасные спектры пропускания глинистых фракций грязе-водных котлов, кривые 1 и 2 отличаются содержанием каолинита во фракциях: кривая 1 отвечает большему содержанию каолинита

На спектрах пропускания полосы каолинита расположены при  $3700$  и  $3620 \text{ см}^{-1}$ , так же на присутствие каолинита указывает характерная полоса, проявляющаяся в виде плеча около  $940 \text{ см}^{-1}$ , рядом с узкой полосой  $915 \text{ см}^{-1}$ . Большинство полос каолинита и смектита перекрываются, ввиду того, что эти минералы обладают общими структурными фрагментами.

В составе глинистой фракции грязе-водных котлов прослеживается зависимость от pH раствора. В растворах, pH которых выше 3,5, близок к нейтральному, преобладает смесь каолинита со смектитом (монтмориллонитом), при pH около 2 – 3 доминирует каолинит, опал, иногда встречаются минералы группы алунита, смектит не образуется ввиду его высокой растворимости.

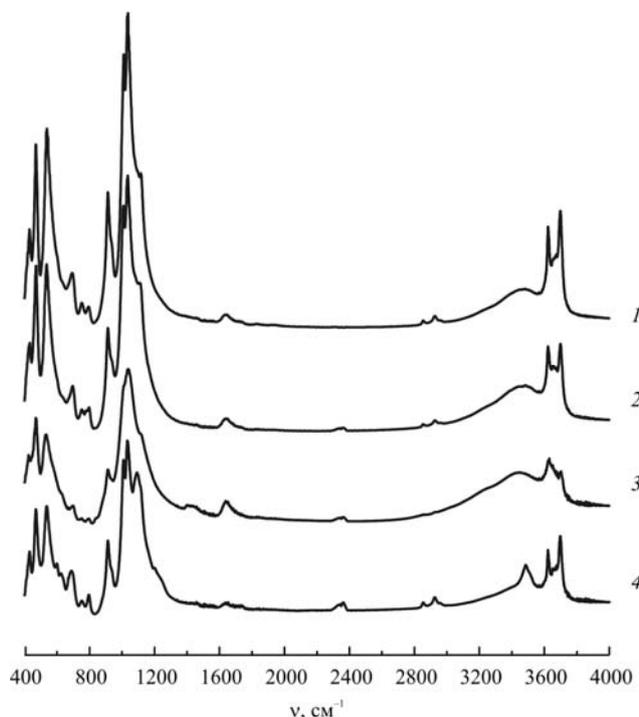


Рис. 2. Спектры поглощения глинистой фракции парогазовых струй, 1, 2 – каолинит различной степени структурного совершенства, 3 – новообразованный каолинит в смеси со смектитом, 4 – каолинит в смеси с алунитом

На теплых грунтах и в стенках парогазовых струй чаще всего доминирует каолинит (рис. 2, кривые 1, 2), нередко его ассоциации с минералами группы алунита (рис. 2, кривая 4), причем из алунитовых минералов чаще всего встречаются натроалунит и аммонийорозит. Смесь новообразованного каолинита со смектитом (рис. 2, кривая 3), встречающаяся на некоторых участках, указывает на то, что в недавнем прошлом данное термопроявление функционировало как грязе-водный котел.

Тяжелая фракция гидротермальных глин представлена чаще всего пиритом, марказитом (рис. 3), гематитом, магнетитом, баритом и некоторыми другими минералами. В грязе-водных котлах формируется пирит, примеси марказита редки и его количество незначительно. Напротив, в стенках парогазовых струй ассоциация пирита и марказита весьма распространена, причем количества пирита и марказита сопоставимы. Так же в стенках парогазовых струй и на прогретых участках грунта можно встретить гематит, магнетит, гетит и некоторые другие минералы. Последнее обстоятельство объясняется окислением железа, находящегося в термальном растворе, кислородом воздуха.

Пирит, как и смектит, образуется при участии растворов с не слишком низким pH, поэтому пирит-смектитовая ассоциация довольно распространена и указывает на наличие в прошлом грязе-водного котла с pH, близким к нейтральному. Смесь пирита, марказита и каолинита, нередко с примесью опала и  $\alpha$ -кварца, часто определяемая как «синие глины», формируется с участием парогазовых струй. Возможно, именно по этой причине горизонт «синих глин» является барьером ряда элементов [3].

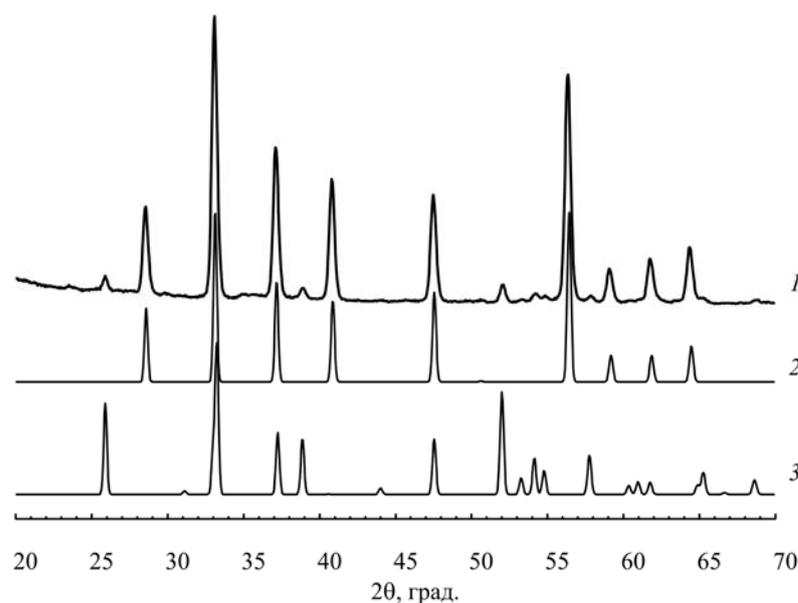


Рис. 3. Дифрактограмма тяжелой фракции глин, слагающих стенки парогазовой струи, 1 – экспериментальная дифрактограмма, 2, 3 – теоретические дифрактограммы пирита и марказита соответственно

### Заключение

Пространственная неоднородность в распределении разгрузок на термальных полях обуславливает неоднородность минерального (фазового) состава гидротермальных глин. В грязе-водных котлах с не слишком низким pH формируется ассоциация смектита (чаще всего монтмориллонита), каолинита и пирита, иногда с примесью марказита, гетита, гематита. Новообразованные филлосиликаты обладают низким структурным совершенством. На участках прогретого грунта доминирует каолинит, часто в смеси с минералами группы алунита. Стенки парогазовых струй, длительное время функционирующие в указанном режиме, состоят, как правило, из каолинита, опала с примесью минералов группы алунита. Если же парогазовая струя в недавнем прошлом функционировала как грязе-водный котел, то ее стенки будут сложены смесью новообразованного каолинита, смектита и пирита. Если pH термального раствора ниже ~3,5, то смектит и пирит не формируются, вместо них присутствует смесь каолинита, опала,  $\alpha$ -кварца, минералов группы алунита. Алунит и минералы его группы в заметных количествах образуются на сухих участках прогретых грунтов, в грязе-водных котлах их количество мало, либо они вовсе отсутствуют.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 16-05-00007, ДВО РАН 15-I-2-065.

### Список литературы

1. Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. М.: Наука, 1980. 172 с.
2. Рычагов С.Н., Давлетбаев Р.Г., Ковина О.В. Гидротермальные глины и пирит геотермальных полей: значение в геохимии современных эндогенных процессов (Южная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2009. № 2. С. 39 – 55.
3. Рычагов С.Н., Давлетбаев Р.Г., Ковина О.В. и др. Миграция катионов в гидротермальных глинах: к вопросу металлонности газо-гидротермальных флюидов геотермальных месторождений Южной Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2012. № 4. С. 23 – 36.