

Разгрузка щелочных растворов в основании толщи глин Восточно-Паужетского термального поля (Южная Камчатка)

С.Н. Рычагов¹, Е.И. Сандиминова¹, М.С. Чернов², А.В. Сергеева¹

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

²*Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова*

В аргиллизированных андезитах основания толщи глин Восточно-Паужетского термального поля установлен широкий ряд вторичных минералов: опал, халцедон, кварц, карбонаты, смектиты, хлориты, цеолиты, апатит, сульфиды, титано- и цирконосиликаты и др. Показано, что образование этой сложной минерализации обусловлено разгрузкой щелочных металлоносных растворов в подошве толщи глин.

Введение

Авторский коллектив рассматривает различные аспекты формирования толщи гидротермальных глин на термальных полях (т/п) Камчатки [3]. Изучены химический и минеральный составы, макро- и микростроение, физические и физико-механические свойства глин; получены критерии выделения зон серно- и углекислотного выщелачивания, «синих глин» (интенсивно сульфидизированных); и др. [2, 6]. На примере Восточно-Паужетского т/п (ВПП), впервые в мировой научной практике, в основании толщи глин вскрыты зоны с минеральными рудными ассоциациями [5]. Эти данные стимулируют продолжение бурения скважин на ВПП с целью изучения более глубоких горизонтов основания толщи гидротермальных глин.

Толща гидротермальных глин ВПП имеет зональное строение, детально описанное ранее [4]. В 2017 г. дополнительными скважинами и с помощью добуривания скважин 2015-2016 гг. в основании толщи вскрыты аргиллизированные интенсивно трещиноватые андезиты и метасоматические брекчии андезитов. При полевом описании установлено, что цемент брекчий, а также трещины и гидротермально-метасоматические зоны (достигающие мощности 20 см) сложены минералами кремнезема (опалом, халцедоном, кварцем), карбонатами, смектитами, хлорит-смектитами, пиритом, оксидами железа. Аналитическими исследованиями определен значительно более сложный минеральный состав.

Минеральный состав основания толщи глин ВПП

Анализировалась основная матрица измененных андезитов, а также материал прожилков и жезд. С помощью ИК-спектроскопии и дифрактометрии определены: монтмориллонит, кварц, цеолиты, кальцит и магнезиальный кальцит, пирит, клинохлор (один из наиболее распространенных в природе хлоритов). В составе цеолитов диагностированы ломонтит, стильбит, гейландит и клиноптилолит. Таким образом, преобладают кальциевые и Na-Ca средне- и высококремнистые цеолиты. Эти данные согласуются с детальными электронно-микроскопическими исследованиями минерального состава пород основания толщи глин ВПП.

Первичномагматические минералы распространены в основной матрице пород и представлены авгитом, плагиоклазами ряда андезин-лабрадор, магнетитом и титаномангнетитом, Mn-содержащим ильменитом; отмечаются зерна Mg-Al-Cr-содержащей шпинели (рис. 1а). Встречается рутил. Пирротин установлен в виде мелких включений в пирите. В сростании с ильменитом и в виде отдельных мелких зерен (менее 3 мкм) диагностированы титан-циркониевые минералы, содержащие редкие и редкоземельные элементы (Sc, Nb, Hf, Y, Ce, Nd, Sm, Gd, Er, Th, U). Отмечаются другие фазы сложного (переменного) состава, например, титанаты и титаносиликаты (рис. 1б). Они отнесены нами к первичномагматическим с определенной долей

условности, поскольку могут быть и метаморфического происхождения. Вероятно, именно в результате метаморфического изменения Ti-содержащих минералов образуются кремнисто-титанистые смеси и сфен, содержащие примеси ряда металлов.

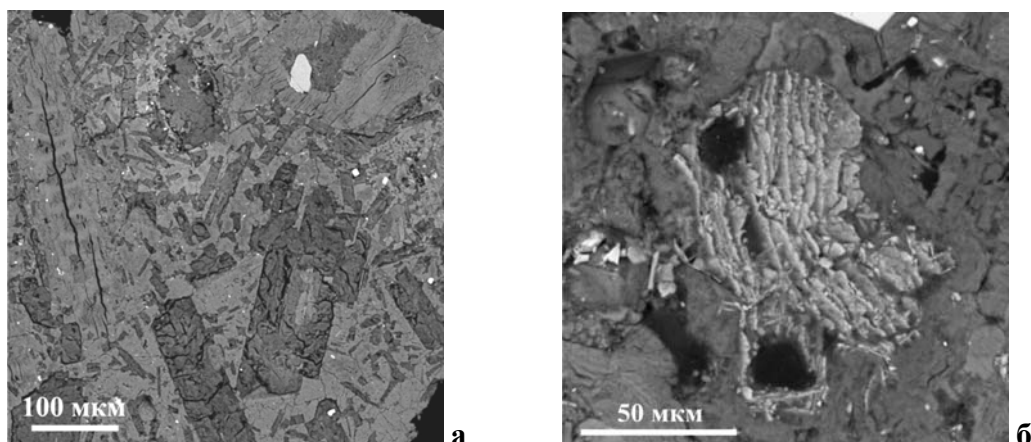


Рис. 1. Изменение первичномагматических минералов: а - интенсивно аргиллизированный андезит (плаггиоклазы замещены смектитами, основная масса состоит из смеси смектитов, КПШ и Mg-Fe хлорита, светлые зерна – пирит), б – титаносиликат, развивающийся по титаномagnetиту (?). Анализы выполнены в ИВиС ДВО РАН (аналитик В.М. Чубаров) с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) VEGA 3, оснащенного энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) X-MAX 80 с фирменным программным обеспечением AZtec.

Вторичные минералы, определенные электронно-микроскопическими исследованиями, включают следующий ряд: цеолиты, апатит, смектиты, калиевый полевой шпат (КПШ), Mg-Fe-хлориты, скрытокристаллический кварц (халцедон), кальцит, барит, гипс, пирит, марказит, халькопирит, сфалерит. Обращает на себя внимание очень широкое распространение цеолитов (рис. 2а,б): в матрице андезитов они образуют рассеянные мелкие кристаллы и скопления неправильной формы, замещают плаггиоклазы; выполняют пустоты с образованием жезд и довольно крупных прожилков (до 5-7 мм мощности). Помимо мономинеральных выделений, цеолиты

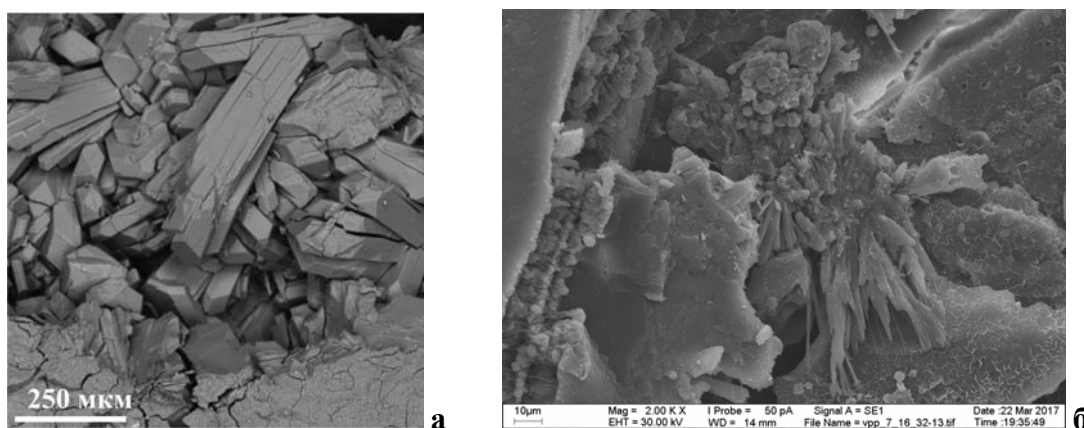


Рис. 2. Цеолиты в основании толщи глин ВПП: а – кристаллы стильбита, выполняющие пору в глинистой массе (РЭМ VEGA 3, оснащенный ЭДС X-MAX 80, ИВиС ДВО РАН); б – радиально-лучистые агрегаты цеолитов в ассоциации с опалом (халцедоном) и смектитами (РЭМ LEO 1450VP, оснащенный ЭДС INCA 300, Геологический факультет МГУ). срстаются с халцедоном, КПШ, хлоритом, кальцитом, пиритом. Иногда заметны следы

растворения кристаллов, типично замещение их смектитами и халцедоном, возможно – КПШ. Проявлена зональность в структуре кристаллов некоторых цеолитов, обусловленная колебаниями в составе зон Ва. Определено три вида средне- и

высококремнистых цеолитов: гейландит-Са, стильбит-Са и ломонтит; наиболее распространен стильбит-Са. Широкое распространение стильбита-Са, вероятно, объясняется тем, что высококремнистые цеолиты являются одними из самых поздних образований, которые формируются при снижении P-T параметров растворов [1]. Также одним из наиболее распространенных минералов является апатит (рис. 3). Определено два вида, различающихся химическим составом, морфологией кристаллов и (вероятно) происхождением. Фторапатит (как правило, содержит и хлор) образует бочонковидные, веретеноподобные и овальные зерна размером до 0,1 мм – часто на месте выщелоченных кристаллов пироксенов или в трещиноватых кристаллах плагиоклазов. Гидроксилапатит в виде щеток столбчатых кристаллов размером до 0,05 мм выстилает поры и трещины, образует прожилки - мономинеральные или в ассоциации с пиритом.

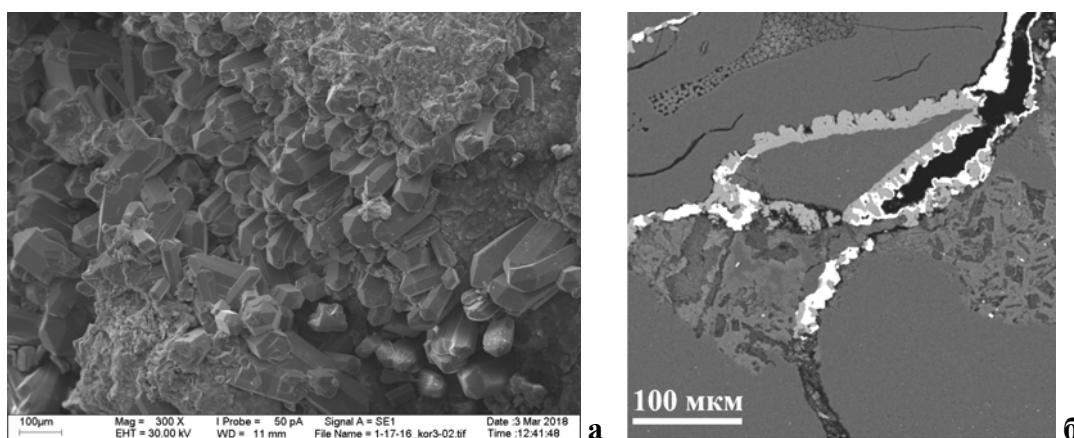


Рис. 3. Апатит, выполняющий поры в аргиллизированном андезите (а); и гидроксилапатит (серое) в ассоциации с пиритом (белое) в прожилках (б). Результаты получены с помощью: а – РЭМ LEO 1450VP, оснащенного ЭДС INCA 300 (Геологический факультет МГУ); б – РЭМ VEGA 3, оснащенного ЭДС X-MAX 80 (ИВиС ДВО РАН).

Вероятно, фторапатит имеет позднемагматическое (метаморфическое ?) происхождение. Гидроксилапатит отражает современный процесс гидротермально-метасоматического перерождения андезитов, движения растворов по трещинам и формирования толщи гидротермальных глин. Другими широко распространенными новообразованными минералами андезитов основания толщи глин являются КПШ, хлориты и хлорит-сметиты (рис. 4а), кварц и халцедон, кальцит (магнезиальный кальцит) (рис. 4б), сульфиды.

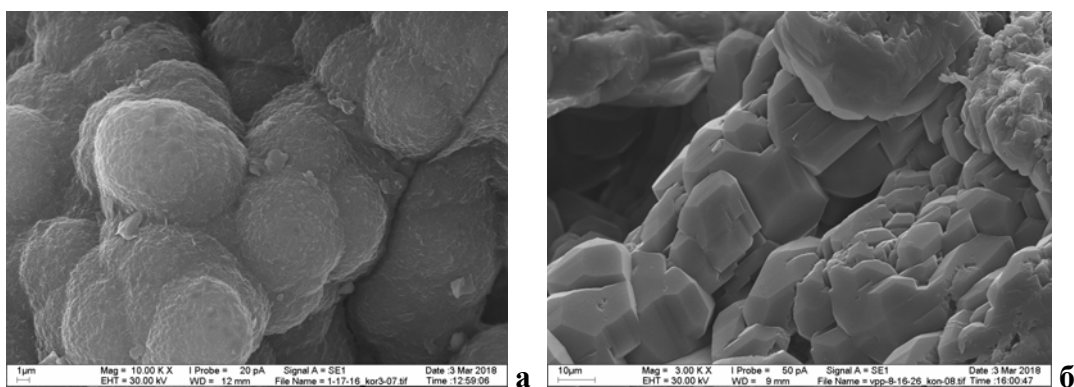


Рис. 4. Микростроение скола поверхности образца метасоматической брекчии андезитов: а – глобулярные агрегаты хлорита в ассоциации с опалом; б – скопления кристаллов магнезиального кальцита в глинистой матрице. Результаты получены с помощью РЭМ LEO 1450VP, оснащенного ЭДС INCA 300 (Геологический факультет МГУ).

Заключение

В основании толщи гидротермальных глин Восточно-Паужетского термального поля скважинами колонкового бурения вскрыты интенсивно аргиллизированные трещиноватые и брекчированные андезиты. Порфировые вкрапленники и основная масса андезитов почти полностью замещены вторичными минералами: смектитами, средне- и высококремнистыми Са-На-цеолитами, Са-Mg-карбонатами, опалом, халцедоном, кварцем, пиритом и др. Цеолиты, карбонаты, минералы кремнезема, апатит, хлориты и др. выполняют трещины, пустоты и крупные зоны (до 20 см мощности). Первичные рудные минералы преобразованы в сложные смеси (например, в титаносиликаты) и служат источником редких и редкоземельных элементов. Сложные минеральные смеси (хлорит-смектиты и т.п.) в значительной степени формируются под влиянием поровых растворов. Поровые растворы, выделенные из гидротермальных глин и минерализованных зон, имеют гидрокарбонатный (до 1500 мг/л HCO_3^-) или гидрокарбонатно-сульфатный (500-1600 мг/л SO_4^{2-}) состав. В катионном составе преобладают Ca^{2+} (200-300 мг/л), Mg^{2+} (100-260 мг/л) и Na^+ (110-195 мг/л), но концентрации K^+ (83-106 мг/л) и NH_4^+ (110-155 мг/л) также высокие. Общая минерализация поровых растворов колеблется от 2,7 до 4,0 г/л. Минералообразование, вероятно, проходило в несколько стадий. На современном этапе продолжается активный катионный обмен между смектитами и хлоритами, цеолитами - карбонатами - КПШ; и др. фазами. Полученные данные свидетельствуют о щелочной среде минералообразования в породах основания толщи гидротермальных глин ВПП. Такая обстановка в типичной зоне кислотного выщелачивания может быть создана вследствие интенсивной разгрузки глубинных щелочных, высокоминерализованных (металлоносных), гидротермальных растворов.

Благодарности

Авторы глубоко признательны коллегам по Южнокамчатско-Курильской экспедиции ИВиС ДВО РАН за помощь в бурении скважин и первичной пробоподготовке; сотрудникам Аналитического Центра ИВиС ДВО РАН за активное содействие аналитическим исследованиям и большой объем данных; В.М. Чубарову за высококвалифицированную методическую помощь в изучении минерального состава пород и новообразований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 16-05-00007 и 16-05-00971) и программы «Дальний Восток» (проект 18-2-003). Исследования проведены с использованием оборудования, полученного в рамках реализации Программы развития Московского университета.

Список литературы

1. *Костов И.* Минералогия. М.: Мир, 1971. 584 с.
2. *Кравченко О.В., Рычагов С.Н.* Строение и литогенез толщи гидротермальных глин Нижне-Кошелевской геотермальной аномалии (Южная Камчатка) // Литосфера. 2017. № 2. С. 95-114.
3. *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. 39-56.
4. *Рычагов С.Н., Сергеева А.В., Чернов М.С.* Минеральные ассоциации основания толщи глин как индикаторы флюидного режима Паужетской гидротермальной системы (Камчатка) // Тихоокеанская геология. 2017. Том 36. № 6. С. 90-106.
5. *Рычагов С.Н., Сергеева А.В., Чернов М.С.* Специфические минеральные ассоциации гидротермальных глин (Южная Камчатка) // Доклады Академии Наук. 2017. Том 477. № 1. С. 81-86.
6. *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.