

Агаты современных термальных полей Камчатки

И.Е. Большаков¹, Ю.В. Фролова¹, Е.С. Житова², С.Н. Рычагов², М.С. Чернов¹

¹ *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, 119991; e-mail: bolshakov.ilya.210@yandex.ru*

² *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский*

На современных термальных полях Камчатки обнаружены агаты, которые можно рассматривать как новый генетический тип. Предположительно, они образуются в приповерхностной зоне вулканогенных пород, измененных в условиях сернокислотного выщелачивания; пространственно и генетически они связаны с гидротермальной фацией опалитов.

Введение

Согласно определению, данному в Геологическом словаре (2010) [1], агат – это скрытокристаллическая, тонковолокнистая разновидность халцедона с полосчатой или пятнистой текстурой, а также с различными декоративными включениями. Однако, дискуссия о том, что именно следует называть агатами, ведется до сих пор, а также отсутствует однозначное понимание механизмов и условий их образования [2, 4-6]. Считается, что большинство агатовых месторождений приурочено к толщам метавулканитов с возрастом от миоцена до раннего протерозоя. Формирование агатов связывают с региональным низкоградным метаморфизмом цеолитовой фации ($T=90-220$ °С, $P=1-5$ кб), причем источником кремнезема являются окружающие горные породы [3]. В современных вулканитах, в том числе, и на гидротермальных месторождениях, агаты ранее не отмечались.

В процессе полевых работ в 2019-2020 гг. на ряде современных термальных полей полуострова Камчатка были обнаружены агаты, возраст которых, предположительно, не превышает 1 млн. лет.

Характеристика объекта исследования

Образцы агатов были отобраны на термальных полях Камбального вулканического хребта (Южно-Камбальном Центральном и Восточно-Паужетском), вулкана Бурлящий (Верхнем поле, Парящей Долине и Западном поле) и вулкана Мутновский (Дачные термальные источники) (рис. 1). Все перечисленные термальные поля образованы на вулканогенных породах четвертичного возраста, и большая часть из них характеризуется разгрузкой кислых термальных вод. На термальных полях Камбального вулканического хребта, вулкана Бурлящий и района Мутновского вулкана разгружаются кислые термальные воды, рН которых достигает 1.5, а средние значения колеблются в пределах от 2.5 до 6. Некоторым особняком среди рассматриваемых термальных полей стоит Восточно-Паужетское поле, для которого характерны близонейтральные и слабокислые растворы, а зона кислотного выщелачивания развита лишь в приповерхностном горизонте гидротермальных глин.

Все образцы агатов (кроме агатов с Дачных термальных источников) были отобраны в виде отдельных обломков на склонах термальных полей. Образцы с Дачных термальных источников были отобраны непосредственно из обнажения в левом борту ручья, протекающего по термальному полю в верхней его части. Также, на Южно-Камбальном Центральном термальном поле наблюдалась четкая привязка мест сосредоточения агатов и просто агрегатов SiO_2 к серным буграм.

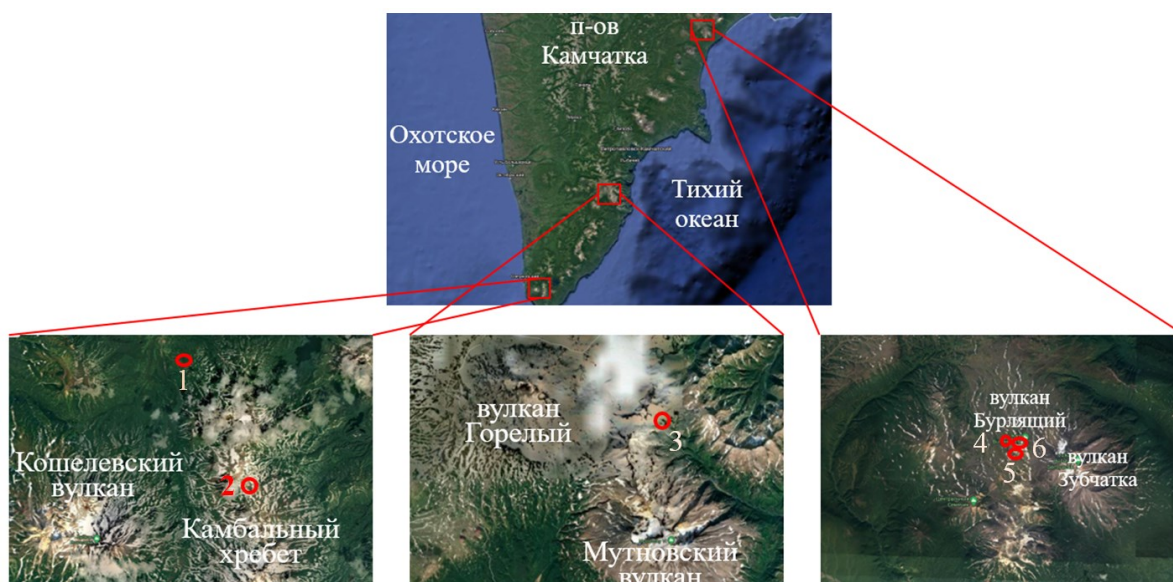


Рис. 1. Расположение исследованных термальных полей. ○ – термальные поля: 1 – Восточно-Паужетское; 2 – Южно-Камбальное Центральное; Мутновский вулканический массив: 3 – Дачные термальные источники; Вулканический массив Большой Семьячик: 4 – Западное поле Бурлящего; 5 – Парящая долина; 6 – Верхнее поле Бурлящего.

Условия формирования агатов

На термальных полях с разгрузками кислых вод зачастую за счет протекания процесса сернокислотного выщелачивания происходит опализация, заключающаяся в выносе из исходной породы всех компонентов, кроме SiO_2 и TiO_2 . Под действием сернокислотного выщелачивания, исходные вулканогенные породы, слагающие основания термальных полей (преимущественно, андезиты и андезибазальты), изменяются и превращаются в пористые опалиты. Одновременно с этим на термальных полях может образовываться гель кремнекислоты, способный перемещаться и заполнять трещины в породе. Впоследствии из этого геля могут формироваться плотные опаловые образования в форме линзовидных и жильных скоплений (рис. 2) в гидротермальных глинах и пористых опалитах [3].



Рис. 2. Ряд изменения вулканитов под действием сернокислотного выщелачивания (Верхнее поле вулкана Бурлящий). Слева – неизмененные андезиты; в центре – пористые опалиты; справа – опалиты, разбитые трещинами, заполненными вторичными минералами кремнезёма.

Образование такого геля описано С.И. Набоко на вулкане Головнина, расположенном на острове Кунашир. При охлаждении такой гель становится твердым, при обезвоживании превращается в опал, а в процессе старения опала – в кварц и кристобалит. Небольшие жилы и пустоты, заполненные опалом в опалитах и гидротермальных глинах, наблюдаются на многих термальных полях и описаны в литературе [3]. Предположительно, кристаллизующийся в порах измененных пород кремнезем при определенных условиях может образовывать агаты.

Строение и состав агатов

Агаты термальных полей практически полностью лишены окраски – как правило, наблюдается чередование белых и прозрачных слоев. Некоторые агаты имеют едва заметный голубоватый оттенок (рис. 3Б); иногда они частично окрашены в черный цвет за счет примеси тонкорассеянного пирита (рис. 3Г).

По характеру слоистости среди исследованных агатов встречаются две разновидности – с облекающим концентрически-зональным рисунком и с параллельно-слоистым (ониксовым) рисунком. В некоторых агатах присутствуют оба типа слоистости (рис. 3А). Также имеет место различие в «четкости» слоев: в ряде образцов слоистость четко выражена и имеет резкие границы (рис. 3Б, 4), в других же образцах наблюдается более «хаотичная» слоистость с размытыми границами между отдельными слоями (рис. 3В). Данные различия в строении агатов могут быть связаны с высокой динамичностью и изменчивостью условий протекания гидротермальных процессов во времени.

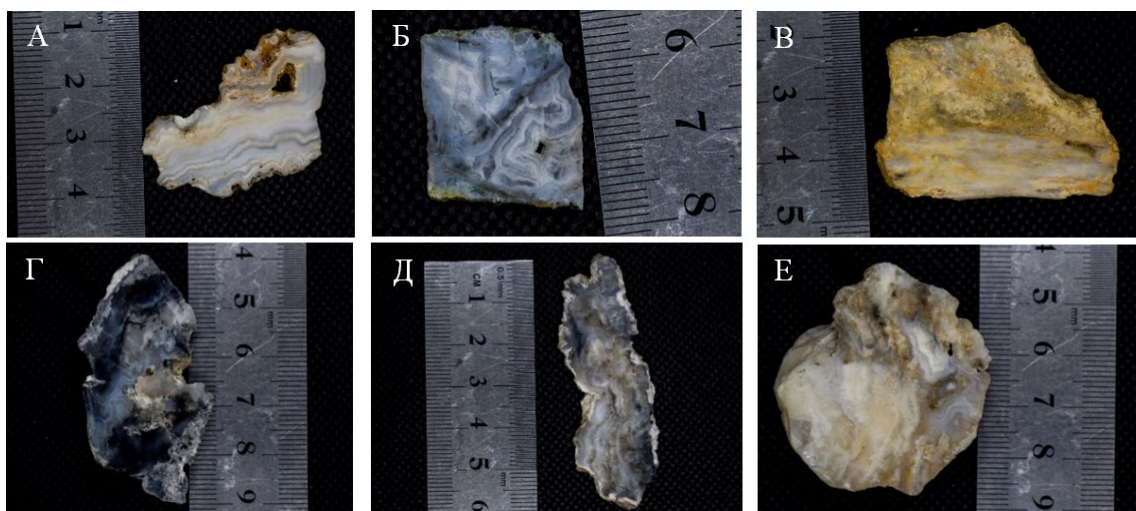


Рис. 3. Образцы агатов с различных термальных полей. А – Восточно-Паужетское, Б – Южно-Камбальное Центральное, В – Дачные термальные источники, Г – Верхнее поле вулкана Бурлящий, Д – «Парящая долина», Е – Западное поле вулкана Бурлящий.

Для изучения микростроения и элементного состава агатов были проведены исследования прозрачно-полированных шлифов на оптическом (Olympus BX41) и электронном микроскопах (ZEISS LEO 1450VP (с энерго-дисперсионным спектрометром INCA Energy 300)). Слоистая структура агатов отчетливо прослеживается под микроскопом как при одном, так и при двух николях (рис. 4). Прослой халцедона имеют толщину от 50 до 500 мкм и периодически чередуются с кварцевыми прослоями, состоящими из зерен, достигающих размера 500 мкм в поперечнике. Соотношение халцедоновых и кварцевых прослоев в разных образцах различно.

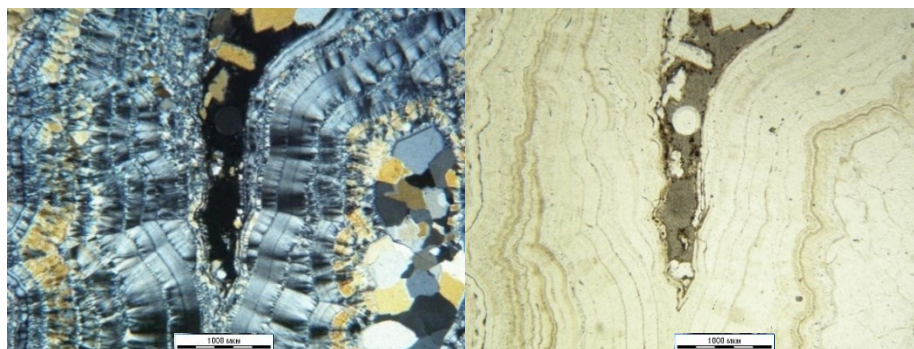


Рис. 4. Агат Южно-Камбального Центрального термального поля в шлифе. Слева – в скрещенных николях (n+), справа – в одном николе (n-).

Микрозондовые исследования агатов показали, что все слои (рис. 5) представлены агрегатами SiO₂. Так, на рис. 4, на всех 12 отснятых спектрах элементный состав представлен лишь кремнием и кислородом. В качестве аксессуаров во всех образцах преобладает пирит и в отдельных образцах присутствует барит. Особенно интересными в отношении элементного состава являются агаты Южно-Камбального Центрального термального поля, в которых в отдельных точках исследования были обнаружены такие элементы как неодим, иттербий и гадолиний, однако их количество не превышало 2 % по массе ни в одной из точек. В большем количестве был обнаружен иттрий, количество которого в отдельных точках достигало 28 % по массе.

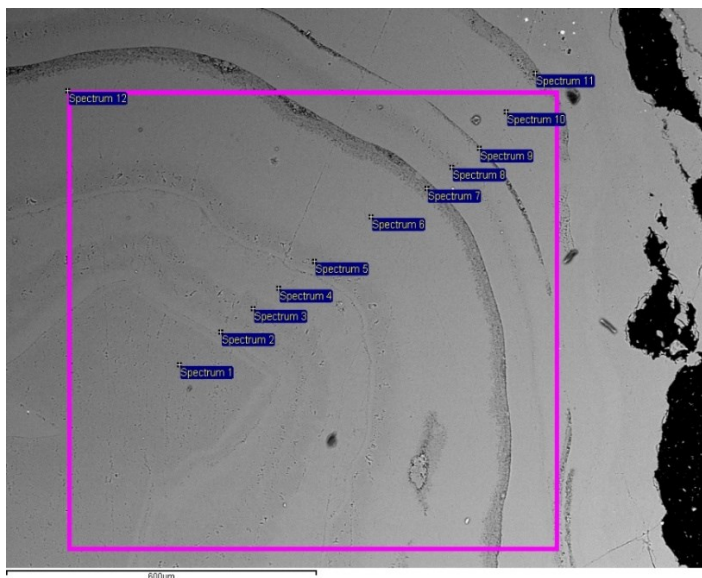


Рис. 5. СЭМ-изображение агата с Южно-Камбального Центрального термального поля с точками микрозондового анализа.

Заключение

Таким образом, обнаружен новый генетический тип агатов, образующихся в настоящее время на современных термальных полях из кислых гидротермальных растворов. Предположительно, термальные растворы в процессе преобразования и выщелачивания вулканогенных пород насыщаются кремнекислотой, которая впоследствии отлагается и кристаллизуется в пустотах в виде халцедона и кварца, образуя агаты. Агаты имеют как зонально-концентрическое, так и горизонтально-слоистое ониксовое строение. В качестве аксессуаров в них присутствует пирит и изредка барит. Также, в агатах Южно-Камбального Центрального поля обнаружен иттрий и примеси ряда других редкоземельных элементов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 20-35-70008 и № 19-05-00102). Работа выполнена с использованием оборудования, приобретенного в рамках реализации Программы развития Московского университета.

Список литературы

1. Геологический словарь. В трех томах / Гл. ред. О.В. Петров. Т. 1. А–Й. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. 432 с.
2. Годовиков А.А., Моторин С.Г., Рупинен О.И. Агаты. М.: Недра, 1987. 368 с.
3. Набоко С.И. Гидротермальный метаморфизм пород в вулканических областях. М.: АН СССР, 1963. 172 с.
4. Спиридонов Э.М., Ладыгин В.М., Янакиева Д.Я. и др. Агаты в метавулканиках. М.: МОЛНЕТ. Специальный выпуск журнала «Вестник РФФИ», 2014. 72 с.
5. Liesegang R.E. Die Achate, Steinkopf: Dresden-Leipzig, 1915. 118 p.
6. Zenz J. Agates II. – Haltern, Germany: BODE, 2009. 656 p.