

Апатит как индикатор флюидного режима Паужетской гидротермально-магматической системы (Южная Камчатка)

Сандимирова Е.И., Рычагов С.Н., Философова Т.М.

Apatite as an indicator of the Pauzhetka hydrothermal-magmatic systems fluid regime (South Kamchatka)

Sandimirova E.I., Rychagov S.N., Filosofova T.M.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: sand@kscnet.ru

Изучены морфология и химический состав апатита измененных пород Восточно-Паужетского термального поля. Выделены магматический и гидротермальный апатиты, отличающиеся содержанием Ca, Fe, Mn и Cl. Различия в составе апатитов отражают изменение Паужетской флюидной системы – от магматической к современной гидротермальной.

Введение

Апатит – распространенный в природе минерал класса фосфатов с общей формулой $Ca_5[PO_4]_3(F, Cl, OH)$. Его структура допускает многообразные изоморфные замещения как в катионной (Mn, Sr, Ba, PЗЭ, U и др.), так и в анионной части (CO_2 , SO_3 , SiO_2 , OH, F, Cl и др.). Замещения происходят при определенных параметрах среды, что позволяет по составу минерала судить об условиях образования большинства магматических, метаморфических и гидротермальных пород, а также о генезисе фосфорных руд и других полезных ископаемых [6]. Концентрация F, Cl и других элементов в апатите является эффективным индикатором флюидного режима различных типов эндогенного оруденения, основанных на поведении галогенов, а также серы и связанных с ними химическим сродством рудных элементов [5 и др.].

Более ранними исследованиями установлено, что в структуре Паужетской гидротермально-магматической системы апатит широко развит на глубине 30-800 м в зоне цеолитизации и фельдшпатизации пропилитизированных пород. Его образование связывают с гидротермальными процессами [2]. О химическом составе этого апатита ничего не известно.

В аргиллизированных андезитах Восточно-Паужетского термального поля – приповерхностной зоны Паужетской гидротермально-магматической системы (глубина разрезов до 10 м) – нами были выявлены два вида апатита, которые различаются по химическому составу и генезису. Химический состав этих апатитов был определен впервые с помощью электронного микроскопа.

Краткая характеристика объекта исследований

Отложения Восточно-Паужетского термального поля представлены слоистой толщей гидротермальных глин мощностью до 4 м и подстилающими пропилитизированными и аргиллизированными андезитами. Литология и общий минеральный состав глинистых отложений термального поля детально охарактеризованы в целом ряде работ, где не раз отмечалось, что толща глин служит водоупором, тепловым экраном и геохимическим барьером для циркулирующих в недрах гидротермальной системы глубинных щелочных флюидов [3, 4 и др.].

В различной степени измененные андезиты представляют собой брекчиеподобные отложения, обломки которых сцементированы кварц-цеолит-карбонатным цементом в ассоциации с другими гидротермальными минералами. Плаггиоклазы в андезитах частично или полностью замещены смектитом (монтмориллонитом). Стекловатая основная масса пород калишпатизирована и окварцована. Темноцветные минералы полностью замещены хлоритом. В интенсивно аргиллизированных андезитах иногда сохраняются такие относительно устойчивые минералы, как титаномагнетит, ильменит, рутил, сфен и апатит. Породы пиритизированы.

Морфология, химический состав и генезис апатита

Апатит I является характерным акцессорным минералом андезитов. Известно, что акцессорный апатит может образовываться на протяжении всего магматического процесса. Количество апатита I в изученных нами андезитах не превышает 0.5 % от объема породы. Он встречается в виде включений в плагиоклазе (андезине), в тесном сростании с рутилом, ильменитом и титаномагнетитом, а также с хлоритом и сфеном (рис. 1а-в). Кристаллы апатита I имеют вытянутую призматическую или близкую к изометричной бочонковидную форму. Их размер не превышает 1.7 мм по длинной оси. Внутри некоторых кристаллов присутствует эмульсионная вкрапленность титаномагнетита. По химическому составу апатит I относится к фторапатиту (таблица, ан. 1-9). Содержание F колеблется в пределах 2.39-3.59 мас. %, в подчиненном количестве присутствуют Cl – от 0.16 до 1.28 и SO₃ в пределах 0.25-0.75 мас. %. Отношение Cl/F составляет 0.05-0.54. В составе апатита I также отмечаются примеси SiO₂ (0.25-0.72 мас. %), FeO (0.53-1.20 мас. %) и MnO (0-0.23 мас. %). Отношение MnO/FeO – 0-0.43. Нахождение магматического (акцессорного) фторапатита в породах, претерпевающих интенсивные гидротермальные изменения, свидетельствует о его устойчивости в этих условиях.

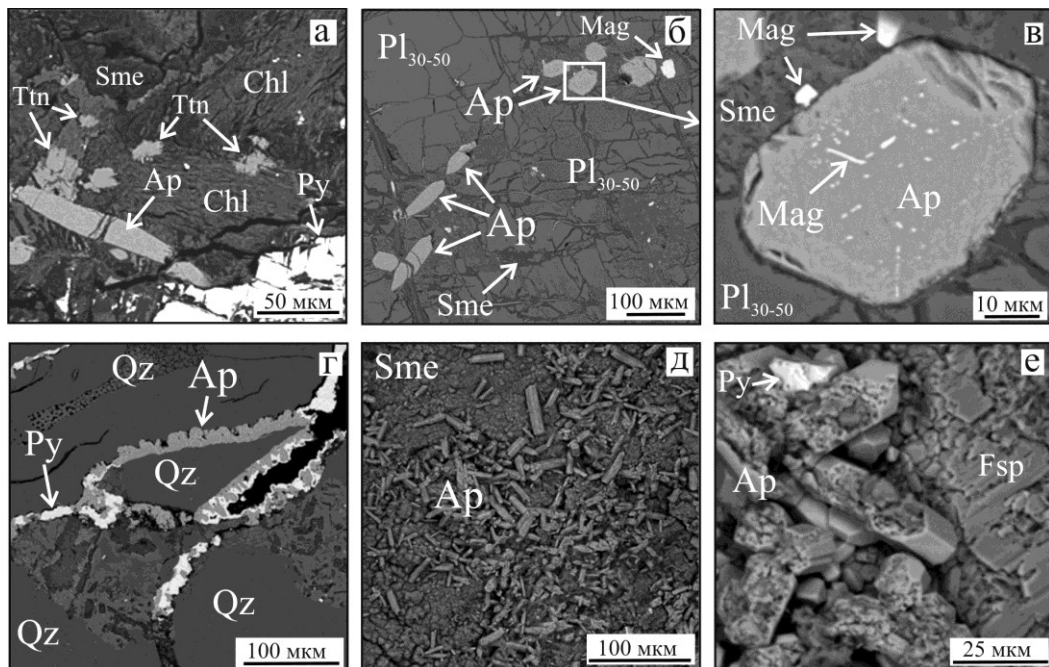


Рис. 1. Апатит из гидротермально измененных андезитов Восточно-Паужетского термального поля (проба 1/17-13, глубина 240-260 см): а-в – акцессорный апатит I; г-е – апатит II в прожилках и на стенках полостей. Ap – апатит; Chl – хлорит; Fsp – калиевый полевой шпат; Mag – магнетит; Pl – плагиоклаз; Py – пирит; Qz – кварц; Sme – смектит; Ttn – титанит (сфен). Рельефные и полированные поверхности с углеродным напылением. Снимки BSE.

Апатит II встречается на прогретых (70-100 °С) участках Восточно-Паужетского термального поля в интенсивно окварцованных и аргиллизированных андезитах. На границе перехода аргиллизированных андезитов в гидротермальные глины он образует обильную россыпь мелких (до 1 мм) столбчатых кристаллов зеленоватого цвета на стенках полостей и вдоль трещин, выполняет тонкие прожилки (рис. 1г-е). В прожилках между кристаллами апатита II отлагается пирит. В некоторых кристаллах апатита II можно наблюдать зональный рост. В местах активной циркуляции гидротермальных растворов, вероятно, более кислых, на поверхности кристаллов появляются следы растворения (рис. 1е).

Таблица. Химический состав апатита из гидротермально измененных андезитов Восточно-Паужетского термального поля по данным энергодисперсионной спектроскопии (мас. %)

Анализ	CaO	P ₂ O ₅	SiO ₂	MnO	FeO	F	Cl	SO ₃	Сумма
1	53.11	41.79	0.30	0.13	0.85	3.40	0.25	0.39	100.23
2	52.92	41.51	0.47	0.07	0.77	3.29	0.34	0.23	99.61
3	53.02	41.09	0.27	0.18	0.94	2.46	0.83	0.22	99.01
4	53.17	41.00	0.43	0.04	0.54	3.23	0.51	0.22	99.13
5	52.67	41.10	0.54	0.07	0.64	3.00	0.53	0.37	98.93
6	52.65	41.21	0.39	0.09	0.79	2.39	1.28	0.46	99.27
7	52.76	41.32	0.56	0.20	0.93	2.69	1.20	0.56	100.21
8	52.46	41.74	0.68	0.16	0.82	3.38	0.61	0.00	99.83
9	52.26	41.55	0.72	0.12	1.00	3.57	0.51	0.17	99.92
10	49.37	41.49	0.38	1.90	3.29	2.63	0.00	0.87	99.93
11	49.65	42.10	0.51	1.80	2.69	3.00	0.02	0.00	99.78
12	48.46	41.45	0.35	2.05	4.04	2.89	0.00	0.15	99.38
13	51.19	41.57	0.35	1.43	1.58	3.04	0.00	0.79	99.94
14	51.46	41.18	0.23	1.00	1.55	3.12	0.05	0.79	99.39
15	48.45	41.56	0.38	2.23	4.20	3.17	0.00	0.06	100.03
16	50.69	42.32	0.69	1.34	1.77	2.74	0.10	0.31	99.96
17	49.66	41.56	0.13	2.13	2.92	3.00	0.03	0.05	99.48
18	49.59	41.68	0.34	1.90	3.58	2.65	0.03	0.10	99.87

Примечание. 1-9 – кристаллы акцессорного апатита I; 10-18 – апатит II из прожилков (проба 1/17-13, глубина 240-260 см). Анализы выполнены в ИВиС ДВО РАН с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA 3, оснащенного энергодисперсионным спектрометром X-MAX80 с фирменным программным обеспечением AZtec (аналитики В.М. Чубаров и Т.М. Философова, оператор Е.И. Сандмирова).

По химическому составу этот апатит тоже относится к фторапатиту (таблица, ан. 10-18, рис. 2). Содержание F колеблется в пределах 2.26-3.46 мас. %. При этом хлор содержится в очень незначительном количестве – от 0 до 0.1 мас. %. SO₃ присутствует в количестве от 0 до 1.26 мас. %. Отношение Cl/F составляет 0-0.04. Из существенных примесей в апатите II присутствуют SiO₂ (0.13-0.69 мас. %), FeO (1.42-4.51 мас. %), а также MnO (0.85-2.38 мас. %). Отношение MnO/FeO в апатите II значительно выше, чем в апатите I, и колеблется в пределах 0.45-0.91.

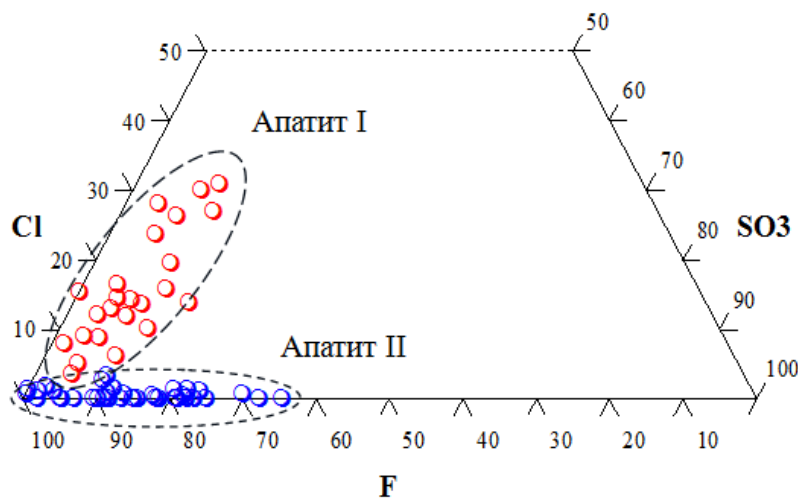


Рис. 2. Соотношение F, Cl и SO₃ (мас. %) в апатитах из гидротермально измененных андезитов Восточно-Паужетского термального поля.

Заключение

В гидротермально измененных андезитах Восточно-Паужетского термального поля встречаются два вида апатита, которые различаются по генезису и химическому составу – магматический (аксессуарный) и гидротермальный. Основными индикаторными элементами в апатитах являются Ca, Fe, Mn и Cl. Магматический апатит I обогащен кальцием, фтором и хлором. Гидротермальный апатит II, по сравнению с ним, менее кальциевый, с повышенным содержанием марганца и железа, в нем очень мало хлора. Источником поступления вещества для образования гидротермального апатита служат глубинные щелочные флюиды и исходные породы с фторапатитом. Дефицит кальция и хлора в апатите II, вероятно, связан с тем, что в процессе гидротермальной переработки пород эти элементы предпочтительнее переходят в растворы, о чем свидетельствуют их высокие концентрации в термальной воде и поровых растворах [1, 3]. При этом дефицит кальция в гидротермальном апатите II компенсируется железом и марганцем (рис. 3).

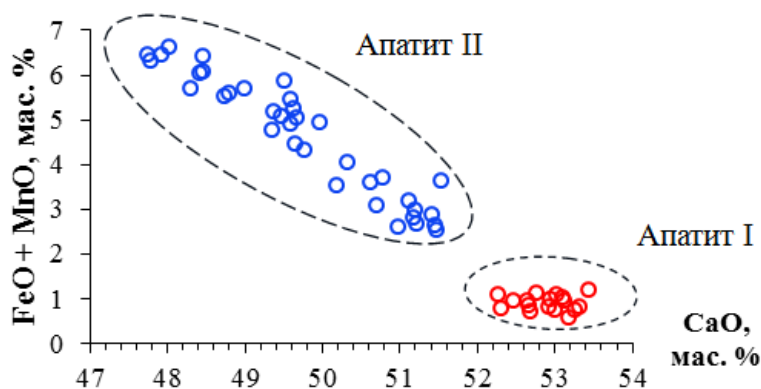


Рис. 3. Отношение FeO + MnO к CaO в апатитах из гидротермально измененных андезитов Восточно-Паужетского термального поля.

Таким образом, можно сказать, что апатит из гидротермально измененных андезитов Восточно-Паужетского термального поля – это один из минералов, состав которого характеризует изменения условий среды минералообразования и, соответственно, флюидного режима Паужетской гидротермально-магматической системы.

Работа выполнена в рамках темы НИР ИВиС ДВО РАН № FWME-2024-0005.

Список литературы

1. *Набоко С.И.* Гидротермальный метаморфизм пород в вулканических областях / Отв. ред. В.В. Аверьев. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 172 с.
2. *Набоко С.И., Карпов Г.А., Розникова А.П.* Гидротермальный метаморфизм пород и минералообразование / Паужетские горячие воды на Камчатке / Отв. ред. Б.И. Пийп. М.: Наука, 1965. С. 76-118.
3. *Рычагов С.Н., Сергеева А.В., Кравченко О.В., Кузьмина А.А.* Макрокомпонентный состав и генезис поровых растворов гидротермальных глин Паужетского геотермального месторождения (Южная Камчатка) // Геология и геофизика. 2024. <https://doi.org/10.15372/GiG2024172>
4. *Сандимирова Е.И., Рычагов С.Н., Сергеева А.В., Чубаров В.М.* Цеолитовая минерализация в аргиллизитах Восточно-Паужетского термального поля как индикатор разгрузки щелочного флюида в современной гидротермальной системе (Южная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2022. № 6. С. 42-62. <https://doi.org/10.31857/S0203030622060086>
5. *Холоднов В.В., Серавкин И.Б., Косарев А.М. и др.* Распределение галогенов и серы в апатитах медно-порфировых месторождений Южного Урала (новые данные) // Минералогия. 2016. № 1. С. 54-65.
6. *Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Рыбина Н.В.* Состав апатита как универсальный индикатор геологических процессов. Новосибирск: Свиньин и сыновья, 2022. 140 с.