УДК 549.641.1(470.55)

НОВОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ ПЕРОВСКИТА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

В.А. Попов¹, С.К. Носов², А.М. Кузнецов³ ¹Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс ²г. Верхний Уфалей ³г. Челябинск

A NEW DEPOSIT OF PEROVSKITE IN THE SOUTHERN URALS

V.A. Popov¹, S.K. Nosov², A.M. Kuznetsov³ ¹Institute of Mineralogy, UB RAS, Miass ²Verkhniy Ufaley; ³Chelyabinsk

Перовскит нового проявления в районе Верхнего Уфалея находится в парагенезисе с андрадитом, магнетитом, хлоритом и гидроксилапатитом. Габитусными формами перовскита являются куб и ромбододекаэдр. Кристаллы его зональны и секториальны. По микрозондовым данным, состав перовскита меняется от $Ca_{0.99}Fe_{0.01}Ce_{0.003}Ti_{0.99}O_3$ до $Ca_{0.91}Fe_{0.05}Na_{0.02}La_{0.02}$ $Ce_{0.05}Ta_{0.005}Ti_{0.95}O_3$. Минералогические данные указывают на возможное наличие карбонатитоскарновой системы в этом районе.

Илл. 7. Табл. 1. Библ. 1.

Ключевые слова: перовскит, скарн, Верхний Уфалей, Южный Урал.

Perovskite from new deposit in the Verkhniy Ufaley region occurs in assemblage with andradite, magnetite, chlorite and hydroxyapatite. The habitus forms of perovskite are hexahedron and rhombic dodecahedron. Its crystals are zonal and sectorial. According to the microprobe data, the composition of perovskite varies from $Ca_{0.99}Fe_{0.01}Ce_{0.003}Ti_{0.99}O_3$ to $Ca_{0.91}Fe_{0.05}Na_{0.02}La_{0.02}Ce_{0.05}Ta_{0.005}Ti_{0.95}O_3$. Mineralogical data indicate the possible presence of the carbonatite-skarn system in this area.

Figures 7. Tables 1. References 1.

Key words: perovskite, skarn, Verkhniy Ufaley, Southern Urals.

Введение

Перовскит на Южном Урале известен в скарнах, карбонатитах и карбонатит-пегматитах Шишимских-Назямских гор, находящихся западнее города Златоуста. Здесь в Ахматовской копи он впервые описан как новый минерал Г. Розе в 1839 году. Позднее перовскит был найден в Шишимской, Прасковье-Евгеньевской, Перовскитовой, Николае-Максимилиановской, Зеленцовской и других копях этого же района. В ультрамафитах и хлоритовых породах перовскит отмечался Б.П. Кротовым в Миасском районе, А.Ю. Кисиным – на Полдневском проявлении демантоида, А.Е. Арцруни – в хромитовом руднике Тёплые Ключи около г. Касли, Б.В. Чесноковым – в горелых отвалах Коркинского угольного разреза (Иванов, 2000). В июле 2017 года при осмотре старых горных выработок в 3.5 км восточнее Волчьей горы около города Верхний Уфалей (56°03'29" с.ш. и 60°19' 06" в.д.; рис. 1) С.К. Носовым наблюдались скарновые образования. В некоторых образцах им определены гранат, магнетит, предположительно апатит и перовскит. А.М. Кузнецовым подобрана коллекция образцов хлоритолитов и скарнов с друзовидными корочками граната в полостях и щелях. Кроме граната, на некоторых щётках видны изометричные кристаллики бесцветного апатита, столбчатые тригональные кристаллы клинохлора и чёрные блестящие кристаллы перовскита. Это новое проявление перовскита на Южном Урале.

Коллекция А.М. Кузнецова, дополненная С.Г. Епанчинцевым, изучена в Институте минералогии УрО РАН. Кристаллы минералов измерены

Верхний Уфалей Иткуль <u>1 км</u>

Рис. 1. Местонахождение проявления перовскита (Google, 2017).

Fig. 1. Location of the perovskite deposit (Google, 2017).

на столике Фёдорова в качестве гониометра и вычерчены в программе SHAPE-7.1 В.А. Поповым. Микрозондовый анализ минералов выполнен на микроскопе SEM TESCAN Vega3 И.А. Блиновым. Рентгеноструктурные данные для уточнения диагностики слоистых силикатов получены на дифрактометре ДРОН-2.0 и идентифицированы по базе ASTM П.В. Хворовым. Состав минералов приведён в виде эмпирических формул, рассчитанных В.А. Поповым по данным микрозондового анализа.

Минералы и парагенезисы

Образцы коллекции представлены тяжёлыми плотными породами, состоящими из тёмных маг-

нетитовых хлоритолитов и коричневых гранатовых скарнов. В хлоритолитах встречаются жилы и сложные по форме тела параллельно-шестоватых агрегатов второго типа (рис. 2), возникающих при медленном (толчковом) раскрытии трещин в процессе хрупко-пластической деформации блоков горных пород. В разных телах параллельно-шестоватые агрегаты сложены разными минералами: серпентином, хлоритом, магнетитом, гранатом, диопсидом и комбинаторными парагенезисами. В параллельно-шестоватых агрегатах второго типа минералы шестиков синхронны, что позволяет предполагать аналогичные парагенезисы и во вмещающих породах.

Перовскит в виде кристаллов величиной до 4 мм (рис. 3) наблюдался в щелях и полостях совместно с гранатом и хлоритом, с поздними зонами роста которых он имеет индукционные поверхности сокристаллизации. В разных полостях форма кристаллов перовскита разная – кубическая и ромбододекаэдрическая (рис. $4\partial_{e}$). Цвет кристаллов чёрный, черта светлая, сероватая. Состав перовскита несколько варьирует (табл.). В одной из друз ромбододекаэдры перовскита выросли до ромбододекаэдров граната и без хлорита и апатита. Этот перовскит (рис. 5) обогащён редкими землями и танталом с формулой Ca_{0.91}Fe_{0.05}Na_{0.02}La_{0.02}Ce_{0.05}Ta_{0.005} Ті₀₉₅О₃ (табл., ан. 3–5) по сравнению с кубическим перовскитом $Ca_{0.99}Fe_{0.01}Ce_{0.003}Ti_{0.99}O_3$ (см. табл., ан. 1-2) из другой полости.

Гранат слагает гранатовый скарн – метасоматический и в трещинах (полостях) заполнения. Есть он и в хлоритолитах совместно с магнетитом (рис. 6*a*), и в жилах параллельно-шестоватых



Рис. 2. Параллельно-шестоватые агрегаты второго типа в хлоритолитах.

а – магнетит-диопсид-серпентиновый агрегат с просечками (отрывами) вмещающих хлоритолитов; *б* – гранатсерпентиновый агрегат. *Фото*: В.А. Попов.

Fig. 2. Parallel-columnar aggregates of the second type in cloritolites.

a – magnetite-diopside-serpentine aggregate with veinlets of host chloritolites; δ – arnet-serpentine aggregate. *Photo*: V.A. Popov.

Рис. 3. Перовскит в парагенезисах с гранатом (*a*) и с магнетитом (б). Фото: С.К. Носов.

Fig. 3. Perovskite in assemblage with garnet (a) and magnetite (δ). Photo: S.K. Nosov.

> агрегатов второго типа (см. рис. 2б). Обычно цвет граната коричневый или тёмно-коричневый, форма кристаллов – ромбододекаэдр, иногда комбинация ромбододекаэдра с тетрагонтриоктаэдром (см. рис. 4а,б). Величина кристаллов в полостях до 3 мм. Совместно с гранатом и частично одновременно с ним кристаллизовались хлорит, магнетит, перовскит и апатит (см. рис. 6б). По составу андрадиты неоднородные, зональные. Анализ в случайных точках разных парагенезисов дал следующие формульные составы титанистого андрадита:

> $(Ca_{2.93}Mg_{0.07})(Fe_{1.5}Al_{0.2}Ti_{0.25}Mn_{0.05})Si_3O_{12}$ – из хлоритолита (см. рис. 6а);

> $(Ca_{2.96}Mg_{0.04})(Fe_{1.82}Ti_{0.18})Si_{3}O_{12}-$ вросток в апатите (см. рис. 6б);

 $Ca_{3}(Fe_{1.8}Al_{0.2})Si_{3}O_{12}$ – из полости с магнетитом; $Ca_{3}(Fe_{1.6}Al_{0.05}Ti_{0.28}Mg_{0.06}Mn_{0.01})Si_{3}O_{12}$ – включение в магнетите.

Магнетит образует хлорит-магнетитовые скарны, магнетит-хлоритовые породы, а также встречается в виде прожилков заполнения и в параллельно-шестоватых агрегатах второго типа. В полостях



скита в сечении по кубу.

bic cross section.

Photo: I.A. Blinov.

це. BSE-фото: И.А. Блинов.



1 MM

Рис. 5. Неоднородности состава кристаллов перов-

а – часть кубического кристалла; *б* – ромбододеказдрический кристалл. Цифры – номера анализов в табли-

Fig. 5. Heterogeneity of the perovskite crystals in the cu-

a – part of the cubic crystal; δ – rhombododecaedral

crystal. The numbers correspond to the analyses in table.



Таблица

Химический состав (мас. %) перовскита (Верхний Уфалей, Южный Урал)

		_		_				
Комп.	CaO	TiO ₂	FeO	Ce_2O_3	La ₂ O ₃	Ta ₂ O ₅	ThO ₂	Сумма
1	39.9	57.8	1.07	1.22	—	—	_	99.99
2	40.81	58.23	0.5	0.44	_	_	_	99.98
3	35.62	53.38	2.38	5.8	1.97	0.26	_	99.96
4	37.55	55.28	1.89	3.64	1.31	0.32	_	99.99
5	37.93	55.56	1.61	3.21	1.14	0.26	0.24	99.95

Chemical composition (wt. %) of perovskite (Verkhniy Ufaley, Southern Urals)

Примечание. 1–2 – зоны в кубическом кристалле; 3–5 – неоднородность в ромбододекаэдрическом кристалле. Прочерк – не обнаружено. SEM TESCAN Vega3, аналитик И.А. Блинов.

Note. 1–2 – zone in a cubic crystal; 3–5 – heterogeneity in rhombododecahedral crystal. Dash – below detection limit. SEM TESCAN Vega3, analyst I.A. Blinov.



Рис. 6. Парагенезисы андрадита (1) с клинохлором (2) (*a*) и андрадита (3) с гидроксилапатитом (4) (δ). BSE*фото*: И.А. Блинов.

Fig. 6. Paragenesis of andradite (1) with clinochlore (2) (*a*) and andradite (3) with hydroxyapatite (4) (δ). BSE-*photo*: I.A. Blinov.

прожилков заполнения наблюдаются друзовые агрегаты, состоящие из кристаллов магнетита с резкой сменой формы в конце роста $\{110\} \rightarrow \{111\}$ (см. рис. 4*г*). Эти кристаллы достигают величины 3 мм. Они имеют раковистый излом (нет отдельности по $\{111\}$, характерной для титаномагнетитов). Их эмпирическая формула – (Fe_{0.85}Mg_{0.12}Mn_{0.03}) Fe₂O₄. Аналогичный магнетит обнаружен в хлоритолите – (Fe_{0.87}Mg_{0.10}Mn_{0.03})Fe₂O₄. Отсутствие титана в магнетите выглядит необычно при наличии в парагенезисе с ним перовскита и титанистого андрадита.

Апатит-(CaOH) образовал отдельные изометричные кристаллы в друзах с гранатом, магнетитом, перовскитом и хлоритом (рис. 7). В некоторых фрагментах жилок апатит является преобладающим по количеству минералом. Кристаллы апатита бесцветны и прозрачны, величина их достигает 5 мм, в огранении участвуют простые формы



Рис. 7. Гидроксилапатит в агрегате клинохлора. *Фото*: С.К. Носов.

Fig. 7. Hydroxyapatite in the clinochlore aggregate. *Photo:* S.K. Nosov.

{0001}, {1010}, {1121}. Апатит изометричного облика (см. рис. 4*ж*) рос синхронно с андрадитом, имеющим в огранении {110} и {211} (см. рис. 4*a*). Микрозондовый анализ не выявил в минерале ни хлора, ни фтора, а соотношения Ca:P = 5:3, поэтому предположительная формула его Ca₅(PO₄)₃(OH). «Чистый» гидроксилапатит, по-видимому, редко встречается в скарнах.

Хлорит слагает хлоритолиты, хлорит-магнетитовые скарны, полиминеральные жилы заполнения и параллельно-шестоватые агрегаты второго типа. В хлоритолитах он зеленовато-серый, таблитчатый, по составу относится к клинохлору: $Mg_5Fe_{0.22}Al_{0.78}(Al_{0.72}Si_{3.28}O_{10})(OH)_8$. В полостях с андрадитом установлен близкий по составу столбчатый клинохлор $Mg_5Fe_{0.26}Al_{0.74}(Al_{0.74}Si_{3.26}O_{10})(OH)_8$. Этот клинохлор имеет тригональную ростовую симметрию (см. рис. 43), простые формы {0001} {40 41}, выраженный дихроизм — голубовато-зе-



лёный вдоль оси [0001] и розовато-сероватый перпендикулярно ей (см. рис. 7). Столбчатый клинохлор вырос синхронно с кубическим перовскитом и ромбододекаэдрическим андрадитом. В одной из полостей клинохлор непрозрачен, пинакоид его тонко расщеплён, что вызвало утолщение кристаллов от основания к головке и округлость поверхности базопинакоида.

Серпентин образует плотные белые массы (серпофит) в друзовых полостях и в некоторых жилах параллельно-шестоватых агрегатов второго типа (см. рис. 2). Серпофит имеет слабое разрешение рентгенограммы. В параллельно-шестоватом агрегате совместно с диопсидом серпентин рассчитывается на эмпирическую формулу: $Mg_{5.3}Fe_{0.34}Al_{0.36}$ ($Al_{0.36}Si_{3.64}O_{10}$)(OH)₈.

Диопсид в полостях не наблюдался (в изученной коллекции). Его редкие малозаметные индивиды обнаружены среди серпентина в параллельношестоватых агрегатах второго типа. Эмпирическая формула диопсида CaMg_{0.98}Fe_{0.02}(Si₂O₆).

Золото отмечено в единственном выделении величиной 2 мм на друзовидной апатит-гранатовой корочке (рис. 8). Форма выделения золота сложная с изометричными ямками, частично заполненными коричневой глиной, предположительно заместившей карбонатные зёрна. По определению М.А. Рассомахина на РФА-спектрометре M1 MISTRAL, в составе минерала определены (мас. %): Au 88.83, Ag 10.82, Cu 0.35.

Заключение

Новое проявление перовскита, найденное С.К. Носовым в районе верхнеуфалейских никелевых месторождений, по предложению автора находки, может быть названо Южночернореченским по близлежащей речке Чёрной. Перовскит в разных полостях различается по форме и анатомической картине. Впервые на BSE-снимке выявлена зональность и секториальность по составу в кристаллах перовскита. Замечательно отсутствие титана в магнетите, выросшего синхронно с перовскитом и титанистым андрадитом. Интересен гидроксилапатит в высокотемпературном парагенезисе с перовскитом, андрадитом, магнетитом и тригональным по форме хлоритом. Судя по разнообразию минералов небольшой коллекции А.М. Кузнецова, здесь можно ожидать более крупные проявления хлорит-магнетитовых тел, хлоритолитов и гранатовых скарнов с друзовыми агрегатами андрадита, магнетита, гидроксилапатита и перовскита. В разных последовательных жилах возможно существенное обогащение тем или иным минералом. Набор горных пород позволяет предполагать здесь наличие карбонатито-скарновой системы минеральных тел.

Исследования выполнены в рамках Программ госбюджетной темы № АААА-А17-1/7020250032-1 и УрО РАН № 15-11-5-23 (Институт минералогии УрО РАН).

Авторы весьма благодарны И.А. Блинову, П.В. Хворову, М.А. Рассомахину и С.Г. Епанчинцеву за помощь в исследовании минералов.

Литература

Иванов О.К. (2000) Перовскит / Минералогия Урала. Оксиды и гидроксиды. Часть 1. Миасс–Екатеринбург, 202–207.

References

Ivanov O.K. (2000) [Perovskite]. In: *Mineralogiya* Urala. Oksidyi i gidroksidyi. Part 1 [Mineralogy of the Urals. Oxides and hydroxides. Part 1]. Miass–Ekaterinburg, 202–207. (in Russian)

Поступила в редакцию 3 сентября 2017 г.