

Инфракрасный спектр пирофиллита рудопроявления Сухариковские Гребни (Камчатка, Россия)

Сергеева А.В., Скильская Е.Д., Бойко А.У., Карташева Е.В., Назарова М.А., Кузьмина А.А.

Infrared spectrum of pyrophyllite from the Sukharykovskie Grebni ore deposit (Kamchatka, Russia)

Sergeeva A.V., Skilskaya E.D., Boyko A.U., Kartasheva E.V., Nazarova M.A., Kuzmina A.A.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;
e-mail: anastavalers@gmail.com*

В работе рассмотрен инфракрасный спектр пирофиллита, обнаруженный на участке Акантитовый золоторудного месторождения Сухариковские Гребни. Проведено отнесение характеристических полос поглощения, затронуты вопросы генезиса.

Введение

Пирофиллит $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ является филлосиликатом тальк-пирофиллитовой группы, с пакетом типа 2:1, где октаэдрическая металлокислородная сетка зажата между двумя тетраэдрическими кремнекислородными сетками (рис. 1). Сцепление между слоями обусловлено Ван-дер-Ваальсовым взаимодействием, сетка металлокислородных октаэдров является диоктаэдрической [4]. Пирофиллит является ценным сырьем для производства огнеупоров, в качестве поделочного материала, в ряде других областей современной промышленности и хозяйственной деятельности. В работе рассмотрен пирофиллит месторождения Сухариковские Гребни, расположенного на Камчатке.

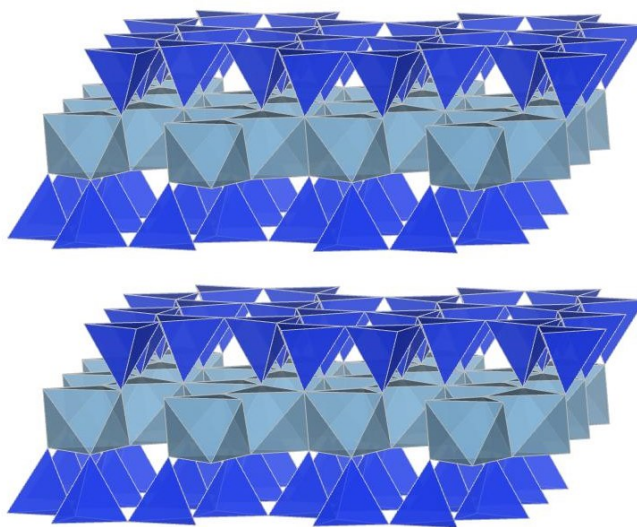


Рис. 1. Структурный фрагмент пирофиллита [4], $[\text{SiO}_4]$ – синие тетраэдры, $[\text{AlO}_6]$ – голубые октаэдры.

Пирофиллит – весьма термостойкий минерал для слоистого силиката, на ДТА-кривых фиксируется эндотермический эффект около 500°C или выше, связанный с дегидратацией [2]. Образование пирофиллита связывают с несколькими процессами, в частности, во вторичных кварцитах он образуется в результате гидротермальных процессов. Проводя аналогию с образованием других филлосиликатов, типа каолинита, диккита, накрита, монтмориллонита, можно предположить, что пирофиллит образуется в условиях повышенных температур из растворов с близонейтральным или слабокислым pH. Оценить рудоносный потенциал тех флюидов, с помощью которых сформировался пирофиллит вторичных кварцитов, можно лишь приблизительно, и так как растворы

были слабокислые или кислые, а в анионном составе, скорее всего, преобладал хлорид-ион, то термальные растворы были рудоносны, причем со склонностью к переносу золота, серебра и иных металлов, образующих прочные хлоридные комплексы. В случае преобладания в анионном составе сульфат-ионов, в составе минеральных ассоциаций были бы заметные количества алунитовых минералов. Поэтому пиррофиллит вторичных кварцитов указывает на условия, которые характерны для формирования месторождений драгметаллов. Поэтому он встречается в золоторудных месторождениях геотермального генезиса.

Жильные зоны месторождения Сухариковские Гребни, представленные стволовыми жилами, а также сериями жил и прожилков с апофизами и перемычками, локализованы в пределах поля развития миоцен-плиоценовых андезитов, игнимбритов и туфов риодацитового состава, подвергшихся региональной слабой пропилитизации и локальной аргиллизации вдоль ослабленных тектонических зон. Вещественный состав жил – кварцевый, кварц-карбонатный и адуляр-кварцевый. Рудная минерализация представлена пиритом, самородным золотом, аргентитом, самородным серебром, теллуридами золота, гесситом, алтаитом, полибазитом, пирсеитом, тетраэдритом, тенантитом, халькопиритом, сфалеритом и галенитом [1].

Материалы и методы

Образцы вторичных кварцитов получены в ходе геологоразведочных работ. Инфракрасные спектры записаны с помощью ИК спектрофотометра с преобразованием Фурье IRAffinity-1 (Shimadzu), в диапазоне волновых чисел $400-4000\text{ см}^{-1}$, с разрешением 4 см^{-1} , число сканов 100. Образец для записи спектров растирали в агатовой ступке с бромидом калия и прессовали в прозрачные таблетки.

Результаты

На рис. 2 показан спектр одного из образцов пиррофиллита, обнаруженных во вторичных кварцитах. Образец хорошо окристаллизован, полосы на спектре очень четкие. Основная полоса состоит из триплета от расщепленного колебания $\nu_3[\text{SiO}_4]$ и деформационного колебания от водородносвязанного фрагмента $\text{Al-OH}\cdots\text{O}$ около 950 см^{-1} . Серия мелких полос в диапазоне $690-950\text{ см}^{-1}$ относится, скорее всего, к различным модам колебания фрагмента $\text{Al-OH}\cdots\text{O}$. Два интенсивных пика около 470 и 540 см^{-1} в целом характерны для диоктаэдрических слоистых силикатов. Полосы поглощения пиррофиллита показаны в таблице.

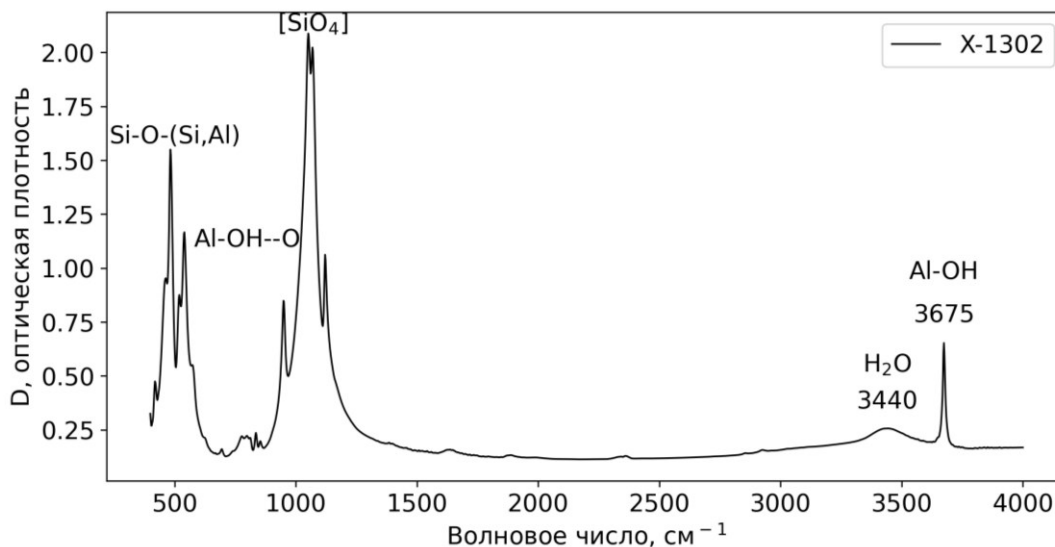


Рис. 2. Спектр пиррофиллита с месторождения или рудопроявления Сухаревские Гребни, север Камчатки.

Таблица. Полосы поглощения пирофиллита и их отнесение

Полоса поглощения, см ⁻¹	Отнесение полос поглощения
3675	$\nu(\text{OH}\cdots\text{O})$
3440	$\nu(\text{H}_2\text{O})_l$
1120	$\nu_3(\text{SiO}_4)$, $2\delta(\text{OH}\cdots\text{O})$ обертоп(?)
1070	$\nu_3(\text{SiO}_4)$
1052	
950	$\nu(\text{Al-OH}\cdots\text{O})$, $\nu_1(\text{SiO}_4)(?)$
854	$\delta(\text{Al-OH}\cdots\text{O})$
835	
812	
798	
777	
738	
694	
540	
520	
480	$\nu_4(\text{SiO}_4)$

Примечание. *l* – наблюдается спектральное подобие с жидкой водой.

Обсуждение

Пирофиллит является низкосимметричным минералом, атомы алюминия и кремния находятся в позиции с тривиальной симметрией, поэтому вырожденные колебательные моды кремнекислородного тетраэдра и алюмокислородного октаэдра расщепляются и активируются в инфракрасном спектре. Обращает на себя внимание пик гидроксила в высокочастотной области спектра. Для каолинита и минералов его группы характерны два узких пика, один из которых отвечает гидроксилу, вовлеченному в систему водородных связей, а другая OH-группа свободна от системы водородных связей. С образованием водородной связи снижается частота валентного колебания, но возрастает интенсивность. На спектре пирофиллита один пик, отвечающий OH-группе, которая участвует в системе водородных связей, с максимумом 3675 см⁻¹. Наличие водородносвязанного фрагмента [Me-OH \cdots O] в кристаллической решетке, как правило, порождает серию мелких пиков от деформационных колебаний в области 500-950 см⁻¹, что наблюдается и в силикатах, и в сульфатах, и в других соединениях. На спектре пирофиллита фиксируется указанная серия мелких полос поглощения, по всей видимости, система водородных связей в пирофиллите довольно сложна и прочна, поэтому пирофиллит – довольно термостойкий минерал. Появление полосы воды около 3440 см⁻¹ отвечает, скорее всего, адсорбированной воде [5].

Заключение

Пирофиллит во вторичных кварцитах является индикаторным минералом, указывающим на условия формирования месторождений, в том числе золотосеребряных. Он формируется в условиях повышенных температур из слабокислых или кислых растворов с повышенным рудоносным потенциалом [3], который определяется рН раствора и его анионным составом. На инфракрасных спектрах образцов пирофиллита обнаруживаются четкие пики OH-группы, в том числе серия пиков от деформационных колебаний водородносвязанного фрагмента Al-OH \cdots O. Вырожденные колебания кремнекислородных тетраэдров расщепляются вследствие понижения симметрии структурных фрагментов, и на инфракрасном спектре видны полосы ν_3 , ν_4 [SiO₄].

Работа выполнена в рамках темы НИР «Роль гидротермальных систем Курило-Камчатской вулканической дуги в перераспределении мантийного и корового вещества, в процессах минерало-рудогенеза» (FWME-2024-0006), с использованием ресурсов ЦКП ИВиС ДВО РАН «Камчатский центр элементного, минерального, изотопного анализа».

Список литературы

1. Каталог месторождений, проявлений, пунктов минерализаций и ореолов рассеяния полезных ископаемых. Карта полезных ископаемых Камчатской области масштаба 1:500 000 / Гл. ред. А.Ф. Литвинов, М.Г. Патока (Камчатгеолком), Б.А. Марковский (ВСЕГЕИ). Петропавловск-Камчатский: СП КФ ВСЕГЕИ, 1999. 560 с.
2. *Jelić D., Todorovic J., Saletovic M. et al.* Thermal stability and antimicrobial properties of pure and modified pyrophyllite (PYRO/Ag) clay // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2023. V. 148. Is. 4. P. 1669-1678.
3. *Skilskaya E.D., Sergeeva A.V., Zobenko O.A., Chernev I.I.* Geochemical Characteristics and the Ore Potential of the Mutnovsky Geothermal Field, Southern Kamchatka // *Journal of Volcanology and Seismology*. 2025. V. 19. Is. 5. P. 435-450.
4. *Wardle R., Brindley G.W.* The crystal structures of pyrophyllite, 1Tc, and of its dehydroxylate // *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials*. 1972. V. 57. Is. 5-6. P. 732-750.
5. *Wu H., He M., Wu S. et al.* Near-infrared spectroscopy study of OH stretching modes in pyrophyllite and talc // *Crystals*. 2022. V. 12. Is. 12. Art. 1759.