

А. М. Юминов, И. В. Синяковская, В. В. Зайков

ПИРОФИЛЛИТОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ЖИЛАХ БЕРЕЗОВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ (УРАЛ) И ЕЁ АНАЛОГИ

A. M. YUMINOV, I. V. SINYAKOVSKAYA, V. V. ZAYKOV.
PYROPHYLLITE MINERALIZATION IN THE VEINS OF
THE BEREZOVSKOE GOLD-ORE FIELD (THE URALS)

The brief history of study of pyrophyllite in the Berezovskoe ore field, where for the first time this mineral was opened, is adduced. It is considered the geological structure of Kremlevskii mine (north-western part of Berezovsk ore field) where 3 occurrences with pyrophyllite mineralization has been established. Pyrophyllite-quartz, pyrophyllite-tourmaline-quartz, tourmaline-carbonate-quartz, and carbonate-pyrophyllitic veins are described. For each vein types, morphology of segregations, colour and composition of pyrophyllite aggregates are characterized. X-Ray characteristics are adduced and the polytypic modifications 2M and 1Tc are established. The review of similar pyrophyllite mineralization in veins of ore fields of Europe, Asia, Africa, America is given.

Введение

Пирофиллитсодержащие жилы Березовского золоторудного поля представляют интерес как объекты, в которых впервые был открыт этот минерал. История его открытия и начальная стадия изучения рассмотрена О.К. Ивановым [10]. Минерал в начале XIX века был обнаружен горщиками в кварцевых жилах и первоначально был принят за «лучистый тальк». Известный немецкий минералог Р. Герман исследовал минерал и установил, что он является водным алюмосиликатом с примесью «горькозема» и окиси железа (1829). Перед паяльной трубкой минерал

вспучивался и расщеплялся на листочки, вследствие чего Р. Герман и дал ему название *пирофиллит* (греческое пир — огонь, филлон — лист).

Затем пирофиллитом Березовска заинтересовался классик российской геологии Ф. Ю. Левинсон-Лессинг [16]. Он установил, что лучистые агрегаты состоят из смеси собственно пирофиллита и высокоглиноземистого «псевдопирофиллита». Химические анализы, подтверждающие это заключение, выполнены Н. С. Курнаковым и В. В. Черных [12]. Спустя полвека Н. Г. Делицын и др. [8] опубликовали статью, в которой дано объяснение данному факту: показано присутствие в пирофиллитовых агрегатах ди-триоктаэдрического хлорита.

Первая типизация жил Березовского рудного поля дана П. И. Кутюхиным [13, 14]. Рудные жилы он разделил на древние шеелитоносные турмалин-кварцевые и более молодые золотоносные (кварц-сульфидные, кварц-карбонат-сульфидные). Среди безрудных жил им выделены кварц-турмалиновые, кварц-турмалин-пирофиллитовые, кварц-эпидотовые, кварц-альбитовые.

Близкая классификация приведена Н. И. и М. В. Бородаевскими [2]. Жилы вольфрамоносной формации они считают высокотемпературными, а золотоносной — среднетемпературными, обусловленными лиственитизацией. Пирофиллит, по их мнению, связан со второй и третьей стадиями этого процесса. По морфологии и геологическому положению, а также на основании опыта добычных работ авторы книги указывают жилы лестничные и красичные (полосовые). Первые приурочены к березитизированным дайкам, вторые — к вмещающим лиственитизированным породам. Ориентировка большинства жил субширотная. Содержание золота и сульфидов в красичных жилах более низкое, чем в полосовых, и распределение их более неравномерное. Кроме того, красичные жилы содержат больше карбонатов; иногда анкерит или доломит преобладают над кварцем.

Механизм формирования кварцевых жил рудного поля рассмотрен Б. В. Чесноковым [22]. По его мнению, большинство жил образовалось в трещинах отрыва, поскольку имеют такие признаки: четкие контакты, антисимметричность противоположных контактов, угловатая форма ксенолитов, наличие зон геометрического отбора инди-

видов жильного кварца в приконтактных частях жил, наличие остаточных друзовых полостей.

Иной подход к типизации жил применил В. А. Попов [19]. Он выделил кварцевые жилы альпийского типа и гидротермальные, возникшие на начальном, рудном и заключительном этапах единого процесса. Пирофиллитовая минерализация, по его мнению, связана с начальным этапом, причем в парагенезисе с пирофиллитом находятся кварц, карбонат и турмалин.

Сведения о положении пирофиллитовой минерализации на Березовском золоторудном поле даны в производственных отчетах: А. А. Смирнова (1928), П. И. Кутюхина (1934), А. В. Кальченко (1935). Геологическое строение рудного поля освещено в отчете В. М. Алешина и др. (1972) о геологической съемке района в масштабе 1:50000. Последняя обобщающая работа, касающаяся Кремлевского рудника, составлена О. П. Пелешко и В. А. Тумановым с соавторами (1988).

Материал, положенный в основу данной статьи, получен авторами при полевых исследованиях 1994—1995 г. Главными задачами являлись изучение пространственного распределения пирофиллитовой минерализации; характеристика геологического строения участка, где впервые был выявлен пирофиллит; выделение типов пирофиллитосодержащих жил.

Пунктом первоначальной находки пирофиллита считается участок у старой дороги Березовский-Реж, в 1,2 км к северу от моста через р. Пышму на продолжении двух золотоносных зон: Буньковской и № I (рис. 1). Вскрытие жил с пирофиллитом коллекционерами и сотрудниками различных музеев в последние годы проводилось на участке поперечником около 50 м в восточном борту дороги. Для выяснения условий залегания жил нами были пройдены шурфы по сети 10x10 м и составлена геологическая схема (рис. 2). Важная информация о распространении и особенностях пирофиллитовой минерализации на двух новых участках получена авторами при документации керна (к сожалению, сокращенного) поисковых скважин. Местоположение скважин показано на рис. 1.

В процессе проведения полевых работ авторам помогли А. Ф. Бушмакин, Ю. С. Кобяшев, П. В. Хворов. Большое содействие нам оказали главный геолог Березовского золоторудного комбината Н.Д. Петрова, специалисты Пром-

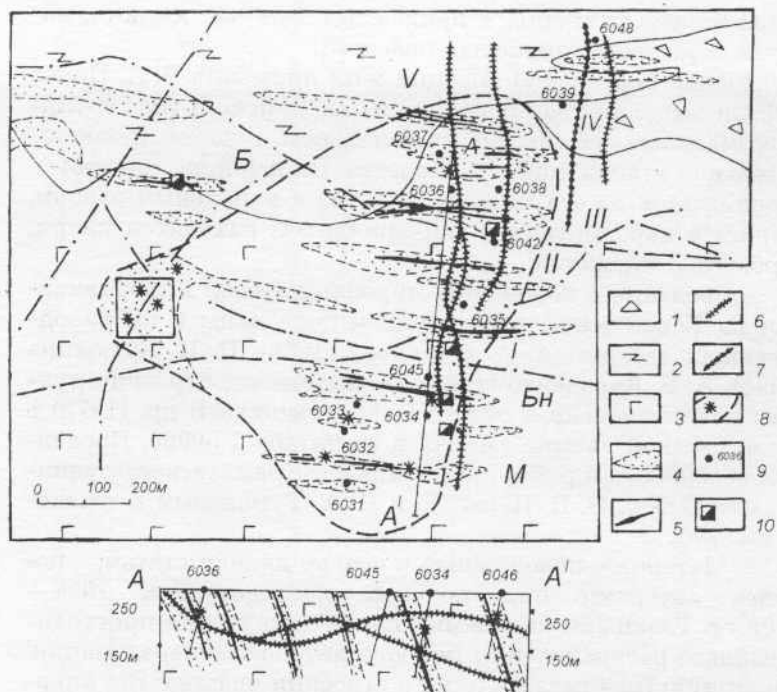


Рис. 1. Схема геологического строения района Кремлевско-го рудника (по О. П. Пелешко, В. А. Туманову и др. с дополнениями).

1 — вулканомиктовые отложения смешанного состава (S_1); 2 — диабазы и пироксен-плаггиоклазовые андезитов-базальты (S_1); 3 — габбро ($D_{2-3}?$); 4 — зоны развития лиственитов и березитов; 5 — золотоносные зоны (Б — Борисовская, М — Марининская, Бн — Буньковская, №№ I—V); 6—7 — дайки ($Pz_3?$): 6 — плагиогранит-порфиров, 7 — диоритовых порфиров; 8 — область распространения пиррофиллитовой минерализации; 9 — местоположение и номер задокументированных скважин; 10 — шахты.

разведки А. С. Баталин, В. А. Туманов. При обработке материалов авторы пользовались консультациями и помощью В. А. Попова, С. П. Масленниковой, В. Н. Удачина (Институт минералогии УрО РАН).

Исследование свойств пиррофиллита выполнено в лаборатории комплексных методов исследования минерального сырья Института минералогии и Естественно-научном музее Ильменского заповедника. При исследовании политипии минерала помощь была оказана В. А. Котляровым и Р. Г. Ахмеровой. Большая коллекция пиррофиллитов из

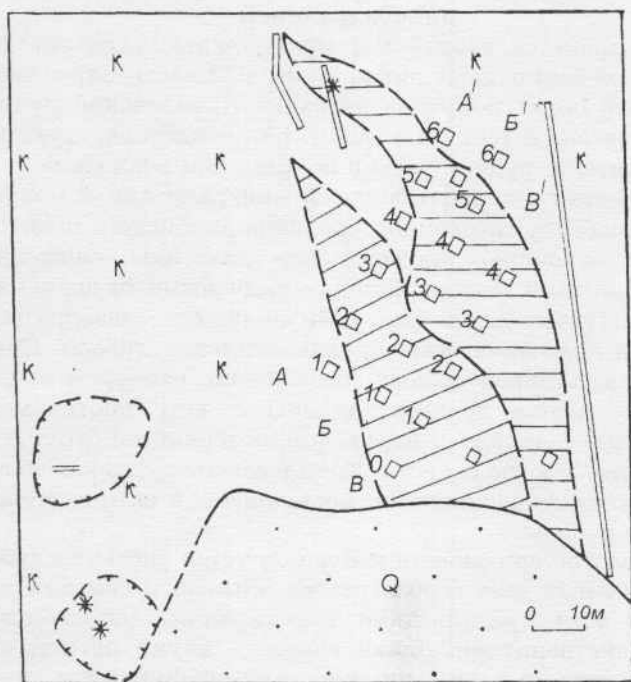


Рис. 2. Схема строения Западного участка пирофиллитовой минерализации (составили В. В. Зайков, И. В. Синяковская, А. М. Юминов).

1 — выветренные, лимонитизированные листовениты (красики); 2—4 — пирофиллитовая минерализация: 2 — зона турмалин-пирофиллит-кварцевых «крупноблочных» жил, 3 — зона турмалин-пирофиллит-кварцевых «мелкоблочных» жил, 4 — единичные обломки пирофиллит-кварцевых жил; 5 — турмалин-кварцевая жила; 6 — делювиальный шлейф; 7 — контуры придорожных бульдозерных расчисток; 8 — каналы; 9 — шурфы.

зарубежных месторождений для проведения сравнительного анализа передана нам А. М. Кларком и С. Сомоги из Музея Естественной Истории (Лондон), Д. Ю. Белаковским из Минералогического Музея РАН (Москва). Авторы выражают искреннюю благодарность всем перечисленным специалистам.

Характеристика участков с пиррофиллитовой минерализацией

В процессе разработки месторождения территория, на которой был открыт пиррофиллит (СЗ часть Березовского рудного поля), получила название Кремлевский рудник. Он действовал с 1882 г. по 1898 г. Как свидетельствуют местные жители, рудник назван по фамилии владельца.

Участки с пиррофиллитовой минерализацией приурочены к массиву габброидов среднепалеозойского возраста, который разделяет тектонические пластины, сложенные серпентинитами и вулканогенно-осадочными отложениями (см. рис. 1). Фоновыми породами являются мезократовые пироксен-плагиоклазовые среднезернистые габбро. Среди них в виде шпироподобных обособлений, размером от первых сантиметров до десятков метров, встречаются меланократовые габбро неравномернозернистой структуры. Габброиды в южной части Кремлевского рудника, вблизи контакта с серпентинитами, превращены в актинолит-альбитовые породы.

Золотое оруденение контролируется системой субмеридиональных даек с полосовыми жилами и свитами красных жил субширотного простираия, сопровождающихся лиственитами. Дайки сложены двумя петрографическими типами пород: плагиогранит-порфирами и диоритовыми порфиритами. Система даек плагиогранит-порфиров состоит из 5 плитообразных и ветвящихся тел, протяженностью 400—800 м, мощностью 5—10 м, с падением на запад под углом 70—80°. Породы сложены альбитом, кварцем, микроклином, биотитом. Березиты, развитые по дайкам плагиогранит-порфиров, представлены светло-серыми мелко- и среднезернистыми образованиями массивной текстуры. Состав: мусковит, кварц, пирит, анкерит. Дайки диоритовых порфиритов маломощны и имеют подчиненное распространение.

Золотоносные жилы, сопровождающиеся лиственитами, образуют 8 свит, находящихся на расстоянии 150—200 м друг от друга. Расстояние между отдельными жилами варьирует от 3—10 до 20—40 м, простираие субширотное, падение южное под углом 70—80°.

Зоны лиственитизации образуют узкие (10—15 м) полосы субширотного простираия длиной 200—700 м, которые иногда соединяются друг с другом, образуя округлые в плане тела поперечником 150—200 м. Листвениты,

вскрытые скважинами, имеют зеленовато-серый цвет, мелко- и среднекристаллическую структуру, массивную и пятнистую текстуру. Они сложены анкеритом, серицитом, иллитом, хлоритом, кварцем, пиритом. Классические листовениты с яркими зелеными чешуйками фуксита встречаются только на контактах с крупными кварцевыми жилами. Подчиненное значение имеет парагонит. В поверхностной части листовениты превращены в пористую оранжевую породу, называемую красики. По данным рентгеноструктурного анализа они состоят из смеси гидроксидов железа, кварца, анкерита, серицита, иллита, хлорита, местами парагонита и др.

В таблице 1 приведены данные о химическом составе вмещающих пород.

Как видно, в результате гидротермальных процессов из габброидов происходил интенсивный вынос двухвалентного железа и, особенно, магния. Листвениты обогащались алюминием и щелочами. Возникли даже зонки «искристых» пород, насыщенных крупночешуйчатыми агрегатами парагонита. Им обусловлено повышенное содержание натрия.

Пирофиллитовая минерализация установлена на площади поперечником около 1 км. В ее пределах выделено три участка: Западный, Южный и Северо-Восточный.

Западный участок (рис. 2) приурочен к полю алогоабровых листовенитов. Канавами и бульдозерными расчистками здесь вскрыты красики. Пирофиллитовая минерализация установлена в 13 шурфах глубиной 1—2 м, пройденных до элювия, и четырех шурфах глубиной 3—5 м, вскрывших коренные породы.

Из этих шурфов нами было извлечено около 200 обломков жил, имеющих пирофиллит-турмалин-кварцевый, пирофиллит-кварцевый, пирофиллит-турмалиновый, пирофиллитовый состав. Размер наиболее крупных достигает 0.7 м. Простираение жил, судя по распространению обломков в элювии, субмеридиональное, а в одной из бульдозерных расчисток наблюдалась субширотная кварц-турмалиновая жилка. Можно высказать предположение, что концентрация пирофиллита на участке обусловлена сочетанием систем жил двух направлений. В пользу этого свидетельствует обилие обломков коленчатых жилок, обычно свойственных узлам пересечения трещинных систем.

Таблица 1
Химический состав вмещающих пород и пиррофиллитсодержащих жил Кремлевского рудника

№№ проб	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	6036/ 62.2	6036/ 63.0 в	6036/ 112.0	6036/ 53.3	6036/ 56.2	6036/ 55.2	6036/ 114.5	6036/ 57.2	6036/ 110.6	6036/ 61.0	6036/ 63.0 а	6036/ 57.7
SiO ₂	38.60	36.88	40.59	36.70	36.45	36.21	35.56	31.93	34.86	68.43	54.53	28.75
TiO ₂	0.19	<0.05	<0.05	0.08	0.08	0.12	0.08	0.09	0.21	0.24	<0.05	0.06
Al ₂ O ₃	24.83	25.60	23.23	21.37	25.42	22.75	16.62	25.18	17.24	14.63	20.74	22.70
Fe ₂ O ₃	0.37	0.61	0.31	0.87	0.53	1.28	1.77	0.58	0.67	0.83	0.43	0.72
FeO	1.33	1.30	1.52	1.20	1.32	2.91	4.58	1.73	2.32	0.88	0.18	2.05
MnO	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.10	<0.05	0.07	<0.05	<0.05	<0.05
MgO	4.77	4.52	4.80	5.33	5.44	9.77	20.03	8.21	7.43	1.65	1.18	7.98
CaO	9.06	9.53	9.22	11.79	9.29	7.89	6.51	9.53	11.58	3.04	9.91	12.34
Na ₂ O	3.88	3.98	3.88	2.79	4.21	2.16	<0.20	3.11	2.29	2.03	<0.20	3.30
K ₂ O	0.86	0.38	0.38	1.39	0.65	1.04	<0.20	0.50	1.36	1.18	<0.20	0.42
H ₂ O-	0.17	0.39	0.18	0.17	0.30	<0.10	0.45	0.12	0.46	0.21	0.11	0.23
пл.п.	15.41	16.13	15.52	17.82	16.34	15.31	13.75	18.44	20.88	6.25	12.19	20.93
P ₂ O ₅	0.05	<0.05	<0.05	0.06	0.05	0.06	<0.05	0.05	<0.05	0.12	0.05	0.06
Σ	99.52	99.32	99.63	99.57	100.08	99.50	99.45	99.47	99.37	99.49	99.32	99.54

Примечание: Породы и жилы: 1—9 — лиственты, 10 — березит, 11 — пиррофиллит-карбонатная жила, 12 — листвент «искривший» (с крупночешуйчатым парагонитом). Химический анализ выполнен в лаборатории ГМИИ Имён УрО РАН. Аналитик Маларенок М. Н.

Описанные жилы залегают на продолжении золотоносных зон, но не содержат сульфидной минерализации и имеют очень низкие содержания благородных металлов. В большинстве проб пробирным анализом фиксируются только следы Au и Ag, хотя на отдельных участках кварцевых и турмалин-кварцевых жил с пиррофиллитовой минерализацией содержание серебра и золота достигает 0.5—2.0 г/т (табл. 2).

В составе шлихов из рыхлых отложений установлены следующие рудные минералы. Золото в виде зерен изометричной формы размером 0.1—0.2 мм с округлыми очертаниями и гладкой поверхностью. Рутил образует продолговатые 0.3 мм зерна, реже призматические кристаллы. Магнетит, гематит и ильменит встречаются в небольших количествах в виде округлых или уплощенных зерен и значительно реже образуют кристаллы с округлыми гранями. Циркон представлен идиоморфными кристалликами, лимонит образует псевдоморфозы по кристаллам пирита кубического габитуса.

Южный участок, как и Западный, приурочен к полю апогаббровых лиственитов (см. рис. 1). Он расположен в пределах Мариинской и Буньковской свит кварцевых жил. Пиррофиллитовая минерализация жильного типа установлена в поисковых скважинах 6031, 6032, 6034 и 6042, на глубинах 30—70 м от дневной поверхности. Жилы крутопадающие, мощностью от нескольких мм до первых см. Состав карбонат-турмалин-кварцевый и пиррофиллит-кварцевый. Пиррофиллит встречается в виде полупрозрачных чешуйчатых агрегатов размером 1—2 мм, либо образует мелкие радиально-лучистые агрегаты зеленого цвета. Пиррофиллитовая минерализация приурочена к рудоносным зонам.

Северо-восточный участок расположен около границы габбрового массива с раннесилурийскими пироксен-плагиоклазовыми андезито-базальтами и диабазами. Пиррофиллитовая минерализация установлена в жилах IV свиты, в керне скважины № 6036 на инт. 54.0—63.0 м. В большинстве случаев, как и на Западном участке, пиррофиллит присутствует в турмалин-кварцевых, турмалин-карбонат-кварцевых и кварцевых жилах, образуя сферолитовые и чешуйчатые агрегаты. Одной из особенностей Северо-восточного участка является присутствие маломощных карбонат-пиррофиллитовых прожилков, в которых пиррофиллит

Таблица 2

Результаты пробирного анализа вмещающих пород и пиррофиллитсодержащих жил Кремлевского рудника

№ обр.	Описание породы	Содержание, г/т	
		Au	Ag
A-3-1	красик с прожилком pf	сл.	1.4
A-3-4	tu-q прожилок с pf	сл.	1.0
A-3-6	pf-q жила	сл.	сл.
A-3-7	красик	сл.	2.0
A-3-8	q-pf жила	0.5	сл.
A-3-9	tu-q-pf прожилок	сл.	сл.
A-3-10	крупноблочный q с зернистым tu	сл.	сл.
A-3-13	tu-q-pf прожилок	сл.	сл.
Б-3-1	q-tu прожилок	сл.	0.4
Г-1-5	крупноблочный q с лучистым tu	сл.	0,6
6036/57.6	q жила со сферолитом pf	сл.	сл.
6036/61.0	березит	0.1	1.0

Примечание: Обозначения минералов: pf — пиррофиллит, q — кварц, tu — турмалин. Пробирный анализ выполнен в химической лаборатории рудника им. С. М. Кирова. Места отбора проб показаны на рис. 2.

образует сростки лапчатой формы размером 0.3—0.5 мм зеленовато-серого цвета.

Характеристика пиррофиллитсодержащих жил

На основании полученных данных установлено, что исследуемая минерализация сосредоточена в четырех минеральных типах жил и прожилков: пиррофиллит-кварцевых, пиррофиллит-турмалин-кварцевых, пиррофиллит-турмалин-карбонат-кварцевых, карбонат-пиррофиллитовых.

Жилы первого и второго типа имеют относительно большую мощность (0.2—1.0 м) и зональное строение. Преобладающей формой выделения пиррофиллита в них являются сферолиты диаметром от первых мм до 3—4 см. Они распространены, главным образом, на Западном и, в меньшей степени, на Северо-восточном участках. Прожилки третьего типа установлены на всех участках, характеризуются как зональным, так и незональным строением. Пиррофиллит присутствует в виде чешуйчатых и досчатых агрегатов размером 1—3 мм. Четвертый тип прожилков к на-

стоящему времени выявлен только на территории Северо-восточного участка.

Пирофиллит-кварцевые жилы имеют резкие и неровные контакты с вмещающими породами, в зальбандах содержат обломки зеленого лиственита. Кварц светло-серого и белого цвета, на периферии жил мелко- и среднезернистый, в центральной зоне крупноблочный. По пустотам образует друзы и отдельные молочно-белые кристаллы с просвечивающей головкой. Как правило, в центральной части жил присутствуют зеленоватые сферолиты, состоящие из пирофиллита, смеси пирофиллита и хлорита, либо полностью из хлорита. Сферолиты расположены крайне неравномерно, слагая жилки и гнезда. Объем сростков сферолитов в отдельных обломках достигает до 50 % объема. В составе жил отмечены повышенные концентрации хрома 10—20, никеля 70—100 ($n \times 10^{-3} \%$).

В пирофиллит-турмалин-кварцевых жилах сосредоточен основной объем пирофиллитовой минерализации. Жилы, как правило, имеют зональное строение, выражаемое в чередовании кварцевых, турмалиновых и пирофиллитовых полос различной мощности. Количество подобных зон не постоянно, в результате чего возникает симметричное или асимметричное строение жил.

Кварц образует краевые зоны, хотя известны и обломки жил, зальбанды которых сложены турмалином. Наряду с кварцем сливного облика присутствуют блочные агрегаты. Кварцевые зоны иногда содержат зеленый турмалин, серповидные агрегаты и чешуи зеленого и блекло-зеленого пирофиллита, зерна кальцита. Турмалин образует узкие полосы, реже отдельные линзовидные обособления параллельно контактам жил. Он представлен плотной мелкозернистой массой серовато-зеленого, бледно-зеленого цвета, с матовым, реже стеклянным блеском, содержащей тонкие сростки кварца.

Пирофиллит совместно с хлоритом образует отдельные сферолиты, или прожилки, сгруппированные либо в центре жилы, либо у зальбандов и приуроченные исключительно к кварцевым зонам. Сферолиты сложены агрегатами радиально-лучистой формы сине-зеленого, зеленого, блекло-зеленого и блекло-серого цветов, диаметром от первых мм до 2—4 см.

В жилах с симметричной зональностью кварц слагает центральную зону. Турмалин сосредоточен в зальбандах

и представлен шестоватыми, реже игольчатыми и радиально-лучистыми агрегатами темно-зеленого и зеленовато-серого цвета. В этих зонах присутствуют единичные зерна сине-зеленого пирофиллита клиновидной формы, а также незначительное количество светло-серого мелкозернистого карбоната.

В пирофиллит-турмалин-кварц-карбонатных прожилках периферийная зона мощностью 3—7 мм сложена кальцитом с обособленными изометричными зернами кварца светло-серого цвета величиной до 2—3 мм. Иногда кварц образует нечеткие друзовидные агрегаты, с размером кристаллов до 3 мм. К ним приурочены радиально-лучистые и досчатые агрегаты пирофиллита серебристо-белого цвета размером 1—1.5 мм. В центральной части прожилков иногда присутствуют полосы, сложенные зеленовато-серым турмалином в сростании с кварцем, карбонатом и пирофиллитом. Последний образует серебристо-белые чешуйчатые агрегаты размером до 1.5—2 мм на контактах турмалина с кварцевыми зернами. Отмечены также пластинки зеленовато-серебристого пирофиллита в молочно-белом кварце.

Карбонат-пирофиллитовые прожилки, содержащие в незначительном количестве кварц и хлорит, распространены в ограниченном количестве на Северо-восточном участке.

По данным рентгенофазового анализа карбонат представлен доломитом, анкеритом, кальцитом. Периферийная часть прожилков сложена мелкими (до 1 мм) зернами доломита и анкерита изометричной формы. Хлорит образует нитевидные обособления мелкочешуйчатых агрегатов зеленовато-серого цвета в осевой части жилки. Пирофиллит рассредоточен по всему объему жил, но основная его масса концентрируется в центральной их части. Агрегаты этого минерала представлены зеленовато-серыми сростками лапчатой формы размером 0.3—1.0 мм, реже — плотной шелковистой мелкочешуйчатой массой. Содержание пирофиллита в прожилках достигает 70 %. Карбонат-пирофиллитовые жилы по данным спектрального анализа характеризуются низкими содержаниями никеля 7—20, хрома 7—10, но обогащены серебром до 0.1, свинцом 5—50 и марганцем 50—70 ($n \cdot 10^{-3}\%$).

Характеристика пирофиллита

Пирофиллит описанных жил различается по морфологии агрегатов, цвету и составу примесей.

Среди коллекционеров широко известен эффектный «березовский пирофиллит» в форме четко выраженных крупных сферолитов. Они сложены клиновидными, сноповидными, серповидными агрегатами до 2—3 мм в поперечнике голубовато-зеленого, зеленого и блекло-зеленоватого цветов. Окраска сферолитов в образцах из коры выветривания бледнее, чем образцов из глубины. Отмечено нарастание мелких сферолитов на ранее выделившиеся более крупные агрегаты, а также на кристаллы кварца.

Б. В. Чесноков [22] связывает зеленую окраску березовского пирофиллита, как и турмалина, с наличием в них примеси хрома. Содержание Cr_2O_3 в данных минералах достигает 1—2 % и более, их спектры поглощения аналогичны таковым для веществ, окрашенных за счет ионов Cr^{3+} .

В сферолитах присутствуют мелкие зерна молочно-белого кварца с хорошо различимыми поверхностями совместного роста с пирофиллитом. Крупные сферолиты иногда пронизаны зеленым игольчатым турмалином. Поверхности отдельных клиновидных агрегатов покрыты тонкой корочкой светло-коричневого кальцита.

Н. Г. Делицин [8] на основании электронографических исследований сферолитов, сделал вывод о псевдоморфном замещении березовского пирофиллита хлоритом, nasledующим от пирофиллита трехэтажные слои одной и той же азимутальной ориентировки, измененные только изоморфными замещениями Si на Al в тетраэдрах, и дополнительно приобретающим промежуточные октаэдрические слои, формируемые за счет привноса Mg из растворов.

Фрагменты дифрактограмм пирофиллита, смеси пирофиллита с хлоритом и хлорита приведены на рисунке 3. Пирофиллит из сферолитов характеризуется наиболее интенсивными отражениями d/n : 9.19—9.25 (002); 4.60—4.62 (004); 3.05—3.06 (006); 2.290—2.301 (008)Å. Хлорит четко отбивается по пикам 14.24—14.10 (001); 7.08—7.14 (002); 4.74—4.78 (003); 3.54—3.58 (004); 2.83 (005)Å. Как видно из рисунка, минеральный состав сферолитов непостоянен и может сильно варьировать даже в пределах одного образца. Рентгено-структурный анализ показал, что в большинстве

сферолитов вместе с пирофиллитом присутствует и хлорит, причем основное его количество приурочено к периферии сферолита.

В результате электронографических исследований минералов (метод косых текстур) установлено, что березовский пирофиллит представлен двумя политипными модификациями.

К первой относится пирофиллит с упорядоченной 2М структурой (моноклинная двухслойная модификация из одинаково азимутально ориентированных слоев). Он обнаружен в пирофиллит-кварцевых жилах. Вторая представлена смесью разупорядоченной 2М структуры, упорядоченной 2М и триклинной 1Тс (триклинная однослойная структура). Данная смесь более характерна для пирофиллит-кварц-турмалиновых жил. Появление политипа 1Тс можно связать с воздействием на исходный пирофиллит 2М гидротермальных растворов, которое вызвало переход от менее устойчивой формы (2М) к более устойчивой (1Тс) [9].

В карбонатсодержащих жилах (карбонат-кварцевых, карбонат-кварц-турмалиновых, карбонат-турмалин-кварцевых) сферолиты почти отсутствуют. Подавляющая часть пирофиллита представлена другой морфологической разновидностью. Здесь пирофиллит образует мелкие (до 1—1.5 мм) досчатые, серповидные агрегаты серебристо-белого цвета. Реже пирофиллит встречается в виде невзрачных чешуйчатых зеленовато-серых агрегатов величиной до 3—4 мм, с сильным жирным блеском. Чешуйки не ориентированы и расположены исключительно в кварцевой массе. Они выполняют промежутки между зернами и полости открытых трещин. По данным рентгенофазового анализа (табл. 3) примесь хлорита в образцах этого типа жил отсутствует либо незначительна. Рентгенограммы чешуек пирофиллита обычно обнаруживают явления сплошного рассеяния и не дают четких отражений, что говорит о высокой степени разупорядоченности в кристаллической структуре.

Пирофиллит из карбонат-пирофиллитовых жил серебристо-серого цвета, прозрачный и полупрозрачный с сильным жирным блеском, образует 1—1.5 мм сростки лапчатой формы. На рентгенограмме данного пирофиллита зафиксированы повышенные в сравнении с другими образцами значения межплоскостных расстояний (табл. 3).

Таблица 3

Результаты расчета рентгенограмм пирофиллита
Кремлевского рудника

Пирофиллит, эталон [18]			6036/ 55.2(2) в		6036/ 55.2(3)		6036/63.0 в	
hkl	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I
004β	5.08	1	4.912	2	4.977	3	5.044	7
004	4.59	6	4.688	2	4.538	5	4.593	7
020	4.44	5	4.449	10				
	4.17	3	4.187	7	4.187	5	4.218	8
					3.955*	4	3.996*	3
006β	3.36	4	3.394	4	3.345	4	3.364	4
006	3.045	10	3.055	9	3.039	10	3.055	6
200β	2.801	3	2.813	4	2.813	4		
	2.664	2	2.673	3	2.661	3		
200	2.523	7	2.542	8	2.553	8	2.570	10
	2.403	8	2.425	9	2.415	7	2.425	7
008	2.287	2	2.296	1	2.283	3		
	2.146	5	2.159	4	2.148	4		
204	2.077	4	2.087	3	2.077	4		
	2.048	4	2.059	4	2.053	4	2.036	5
	1.887	2	1.888	1	1.911	4	1.916	4
0.0.10	1.828	5	1.835	2	1.830	4	1.825	1
	1.687	4	1.692	3	1.684	3	1.688	2
060β	1.639	6	1.647	5	1.637	5	1.639	3
	1.618	2	1.629	2	1.622	3		
	1.572	2	1.579	1			1.588	2 (ш)
	1.524	3	1.532	1	1.522	3		
060	1.489	9	1.492	7	1.491	6	1.494	7
	1.467	3	1.473	3	1.471	2	1.454	3
	1.418	2	1.425	1			1.405	2
	1.381	9	1.385	4	1.380	4		
	1.365	9	1.371	5	1.363	5		
	1.347	2	1.352	2	1.344	3		
	1.331	4	1.338	1	1.331	1		
0.0.14	1.311	4	1.314	2	1.301	3		
	1.284	5	1.288	3	1.279	2		
400	1.264	6	1.269	4	1.262	4		
420	1.239	7	1.245	4	1.237	4		
	1.187	3	1.190	1	1.183	1		

Примечание: Пробы анализировались на установке УРС-2.
Условия съемки: г—0.10 мм, шарик, 30 kV, 20 mA, 6 h, Fe—
анткатод, без фильтра. Аналитик Кашигина Н. И.
* —отражения хлорита (примесь).

Аналоги пиррофиллитовой минерализации Березовского рудного поля

Пиррофиллитовая минерализация, подобная описанной в жилах Березовского месторождения, известна на других рудных полях Урала и в других регионах мира.

Охарактеризуем некоторые объекты, на которых были выявлены радиально-лучистые и сферолитовые агрегаты исследуемого минерала. Основанием для обзора явились опубликованные данные и результаты знакомства с минералогическими экспозициями музеев России, Японии, США и Англии. Большую коллекцию образцов пиррофиллита авторы получили от доктора А. М. Кларка из Музея Естественной Истории (Лондон) и от Д. Ю. Белаковского из Минералогического музея РАН (Москва).

На Урале пиррофиллитовая минерализация в кварцевых жилах выявлена в нескольких пунктах.

В кристаллах горного хрусталя с месторождения Кварцито-Шор (Приполярный Урал) радиально-пластинчатые агрегаты пиррофиллита описаны Г. Н. Вертушковым [4]. Агрегаты белого цвета имеют поперечник от 5—6 мм до 1 см, толщину пластинок до 1 мм. Один из образцов представлен в витрине Геологического музея Уральской горно-геологической академии (дар Трунова И. И.). Он представляет собой кристалл горного хрусталя длиной 3,5 см, внутри которого содержится несколько кучно расположенных сферолитов диаметром около 0,5 см снежно-белого цвета с искристым блеском.

Кроме того, на Приполярном Урале отмечалось присутствие пиррофиллитовых жилок мощностью до 2 мм среди высокоглиноземистых «искристых сланцев» [3]. Выделения единичных радиально-чешуйчатых агрегатов до 4—5 см в диаметре описаны авторами в образцах из этого региона (руч. Грубепендиты), предоставленных В. А. Поповым. Чешуйки широкие, яблочно-зеленого, а по краям сербристо-белого цвета, часто искривленные, с жирным и стеклянньм блеском. По данным рентгенофазового анализа, они представлены смесью пиррофиллита и хлорита и расположены в гематитизированной сланцеватой матрице.

На Среднем Урале в метасоматитах колчеданных месторождений силурийского возраста установлено наличие секущих маломощных прожилков, сложенных лучистыми образованиями с длиной индивидов до 4 мм (Красноураль-

ская группа месторождений) [7, 11] или сферолитами до 3 мм диаметром (Кабанское месторождение) [17].

Подобная минерализация описана и на Южном Урале на колчеданном рудопроявлении Кумус-Тюбе в Оренбургской области [23]. Здесь среди серицит-пирофиллит-кварцевых метасоматитов установлены жилы мощностью 20—40 см с радиально-лучистым пирофиллитом. Индивиды светлоокрашены, с серым, желтым, зеленоватым оттенками, радиус агрегатов до 5 мм.

В Азии пирофиллит выявлен в жилах рудных полей Казахстана и Индии. На колчеданном месторождении Алпыс (Центральный Казахстан) околорудные метасоматиты представлены кварц-серицитовыми, кварц-пирофиллитовыми и монокварцевыми породами. Среди последних отмечаются прожилки пирофиллита, в которых он тесно ассоциирует с топазом [20].

В Южном Казахстане на западном побережье озера Балхаш расположен Мынаральский рудный узел, где флюоритовая и пирофиллитовая жильная минерализация приурочена к контакту вулканитов нижнего-среднего девона с конгломератами среднего девона. Вмещающие породы в поверхностной зоне превращены в мягкие бело-желтые породы с большим количеством прожилков и гнезд пирофиллита [5].

К гидротермальным кварцевым жилам приурочены диаспор-пирофиллитовые месторождения Центральной Индии [21, 30]. Общее число месторождений в штатах Уттар-Прадеш и Мадхья-Прадеш около 30. Руды представлены мусковит-пирофиллитовыми, диаспор-пирофиллитовыми, каолинит-пирофиллит-мусковитовыми и пирофиллитовыми агрегатами, расположенными в зальбандах крупных кварцевых жил, которые секут архейские граниты, мигматиты и гнейсы.

В Европе пирофиллит в разнообразных жилах известен на нескольких рудных полях. Отмечено присутствие пирофиллита в гидротермальных жилах Боккау (Саксонские Рудные горы), Банска Штьявница (Чехия), Сэкэрымб (Румыния) [24].

Эффектная фотография серебристо-белого радиально-лучистого пирофиллита из Церматта (Швейцария) с диаметром сфер 1—4 см приведена в книге «Минералы мира» [28]. Там же отмечено присутствие пирофиллита в жилах рудных районов Эйфель и Охсенкопф в Герма-

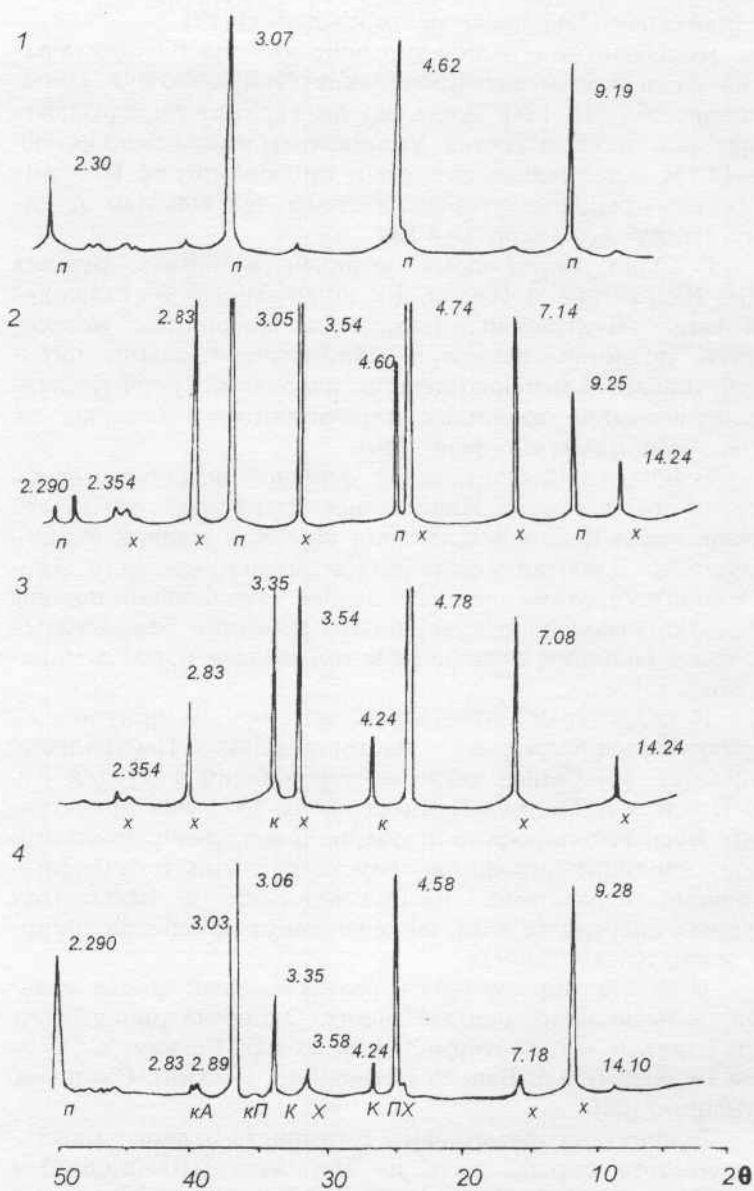


Рис. 3. Фрагменты дифрактограмм пирофиллитсодержащих образцов с Кремлевского рудника. 1—3 — минеральный состав отдельных частей сферолитов: 1—центральная часть сферолита, цвет сине-зеленый (обр. М-а); 2—периферия сферолита,

цвет зеленый (обр. М-б); 3— краевая часть сферолита, цвет блекло-зеленый (обр. М-в); 4—карбонат-пирофилитовый прожилок (обр. 6036/63.0). Буквами на рисунке обозначены линии: пирофиллита — П, хлорита — Х, кварца — К, кальцита — к.

нии, Оттре в Бельгии, Хирвиваара в Финляндии, Сюзеланд в Великобритании.

Распространение пирофиллита в Швеции связано с докембрийскими кианит-содержащими кварцитами [32]. В районах Вастана и Варmland минерал распространен в жеодах и жилах в осадочных гематитовых железных рудах и кварцитах. Максимальная мощность жил достигает 10 см. В коллекции Музея Естественной Истории (Лондон) образец из Вастаны (ВМ 51385) представлен сноповидно-лучистыми агрегатами, с размером отдельных индивидов от 3 до 12 мм. По спайности блеск перламутровый, в агрегатах — шелковисто-восковой, цвет белый с нежно-зеленоватым оттенком.

Кроме того, европейская часть этой коллекции содержит образцы: ВМ 95206 из Корнуолла (Великобритания) в виде радиально-лучистых агрегатов от 4 до 8 мм радиусом, состоящих из плоских «лучиков» с перламутровым блеском светло-серого цвета с зеленоватым оттенком, с поверхности — пепельного цвета; ВМ 1978, 583 из Пьемонта (Италия), радиально-лучистые агрегаты 4—5 мм радиусом, сложены плоскими узкими вплоть до игольчатых индивидами, цвет от зеленовато-серого до серовато-зеленого, блеск шелковистый. Окраска неоднородная — смесь микрозернистого минерала в периферийных частях сферолитов окрашивает их в темно-серый цвет; М1 7984 из Оттреза (Люксембург) радиально-лучистые агрегаты от 4 до 10 мм радиусом, состоят из плоских чешуек с восковидным блеском, кремового цвета; ВМ 19100 из Вервиерса (Бельгия) сложен пластинчато-лучистыми агрегатами, серебристого цвета 5—10 мм, с желтоватым оттенком и перламутровым блеском по спайности.

В Африке пирофиллит широко распространен на золотых рудниках месторождения Витватерсранд (ЮАР) и занимает различные геологические позиции. Он установлен совместно с хлоритоидом в массивных горизонтах конгломератов; в сильно деформированных метапелитах; в зонах скальвания внутри мощных пачек кварцитов; в виде матрикса в кварцитах и конгломератах; в виде мономинеральных пирофиллитовых жил [29].

В Южной Америке жильный пиррофиллит детально описан на месторождении Ибитиара в Бразилии [25]. Лучшие образцы представлены сноповидными агрегатами длиной до 12 см и розетками поперечником до нескольких см. С пиррофиллитом ассоциируют молочно-белые и прозрачные кристаллы кварца с включениями лазулита, чешуйки гематита, андалузит. В поверхностной зоне агрегаты пиррофиллита имеют бежевый, светло-коричневый или красноватый цвет, образцы из более глубоких горизонтов имеют жемчужно-белый и кремово-белый цвета. Привлекательный облик пиррофиллитовых агрегатов позволяет считать эти проявления источником коллекционного сырья.

В Северной Америке наиболее известным объектом с пиррофиллитовой минерализацией являются рудные поля Северной Каролины [1]. Они связаны с позднекембрийскими метавулканитами, однако, более поздние гидротермальные процессы привели к образованию жил с пиррофиллитовой минерализацией. Пиррофиллит отмечен в прожилках среди андалузит-топаз-кварцевых пород, кварцитов и сланцев. Радиально-лучистый пиррофиллит редко деформирован, а тонкозернистые агрегаты иногда представляют собой перекрученные слои [31].

Образцы из месторождений Северной Каролины (регионы Оранж и Кроудерс) в коллекции Лондонского музея представлены радиально-лучистыми агрегатами от 1 до 15 мм радиусом, от серебристо-белого до кремового цвета, со слегка оранжевым оттенком и перламутровым блеском (ВМ 50253, ВМ 48664, 72400, ВМ 84145), а также пластинчато-лучистыми агрегатами, серебристого цвета с перламутровым блеском, размер пластинок до 15 мм, с сиренево- и вишнево-коричневой каймой и примазками гематита по спайности.

В этой же коллекции содержатся образцы: ВМ 32524 из Честерфилда (Южная Каролина), красновато-коричневые радиально-лучистые агрегаты с размером «лучиков» 3—8 мм и перламутровым блеском по плоскостям спайности; ВМ 1987, 121 из Три Батс и ВМ 1960, 390 из Марипоза (Калифорния) в виде радиально-лучистых агрегатов от 5 до 15 мм радиусом, сложенных плоскими индивидами с перламутровым блеском по спайности, от светло-серого до желтовато-кремового цвета с охристым оттенком.

В штате Джорджия на кианитовом месторождении Грэвс-Маунтин с 1859 года известны необычные образцы пирофиллита [27]. Основная часть пирофиллита представляет собой звездообразные агрегаты коричневых, желтовато-коричневых или белых призматических кристаллов. Отдельные агрегаты имеют диаметр от 5 мм до 3 см. На одном из рудников были обнаружены привлекательные агрегаты пирофиллита белого цвета на матрице из оксидов железа темно-коричневого до черного цвета. Крупнозернистые агрегаты пирофиллита также часто встречаются в зальбандах кварцевых жил, где ассоциируют с небольшими блестящими кристаллами рутила. Изредка встречаются брекчированные кварцевые жилы с отдельными кварцевыми фрагментами, заключенными в цемент из звездообразного пирофиллита.

Пирофиллит этого месторождения из Лондонской коллекции представлен образцами MI 1276, MI 2645, VM 32005, которые сложены радиально-лучистыми агрегатами от 4 до 8 мм радиусом, состоящими из плоских узких, вплоть до игольчатых, чешуек светло-серого с оттенками кремового, желтоватого, иногда слегка зеленоватого цвета. Блеск преимущественно восковой, реже — перламутровый. В одном образце содержатся включения «сажистых» оксидов железа. В образце VM 72399, в отличие от вышеописанных, радиус сферолитов не превышает 3 мм, блеск перламутровый, а цвет сиреневато-фиолетовый.

Таким образом, жильная пирофиллитовая минерализация характерна для многих регионов мира. Агрегаты пирофиллита из разных точек жильной минерализации близки по морфологии, разнообразию цвета и размера радиально-лучистых агрегатов зависят от состава механических и структурных примесей.

Выводы

Пирофиллитовая минерализация на Березовском рудном поле выявлена в 4 минеральных типах жил:

- 1) пирофиллит-кварцевых
- 2) пирофиллит-турмалин-кварцевых
- 3) пирофиллит-турмалин-кварц-карбонатных
- 4) карбонат-пирофиллитовых.

Значительные количества (до 40—60 %) пирофиллита отмечены в первых двух типах жил.

В пиррофиллит-кварцевых и пиррофиллит-турмалин-кварцевых жилах он сложен сферолитами, в карбонатсодержащих жилах образует чешуйчатые, пластинчатые агрегаты, и сростки лапчатой формы. Жилы, как правило, обладают зональностью, обусловленной чередованием минеральных зон различной мощности.

Пиррофиллитовая минерализация, аналогичная Березовской, установлена на рудных полях золоторудных (Витватерсранд, Африка), кианитовых (Грэвс-Маунтин, США), флюоритовых (Мынарал, Ю. Казахстан) и колчеданных (Кабанское, Красногвардейское, С. Урал; Кумус-Тюбе, Ю. Урал; С. Каролина, США) месторождений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 93-05-9181), Международного научного фонда (НОН000, НОН300).

Литература

1. *Бейтс Р.* Геология неметаллических полезных ископаемых. М.: Мир, 1965. 546 с.
2. *Бородаевский Н. И., Бородаевская М. Б.* Березовское рудное поле. М.: Metallургиздат, 1947. 264 с.
3. *Бушуева Е. Б., Цыганко В. С., Юдович Я. Э.* Пиррофиллит и хлоритоид в девонских сланцах Печорского Урала // Труды Коми фил. АН СССР, 1975, вып. 21. С. 59—65.
4. *Вертушков Г. Н.* Пиррофиллит с Приполярного Урала // Зап. Уральск. геол. об-ва, 1948. Вып. 2. С. 31—32.
5. *Волобуев В. И.* Мынаральская плагиокошпатово-пиррофиллитовая зона // Геологическое строение и полезные ископаемые Южного Казахстана. Алма-Ата: КазИМС, 1986. С. 122—127.
6. Геология, минералогия и технология пиррофиллитового сырья // Под ред. *В. В. Зайкова, В. Н. Удачина.* Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 216 с.
7. *Горох А. В.* О высокоглиноземистой минерализации в боксовых породах Красногвардейского колчеданного месторождения // Физико-химические проблемы формирования горных пород и руд. М.: Наука, 1963. С. 103—116.
8. *Делицын Н. Г., Звягин Ю. В., Сидоренко О. В.* Преобразование пиррофиллита в ди-триоктаэдрический хлорит // Докл. АН СССР, 1981. Т. 258. № 3. С. 738—740.

9. Делицин Н. Г., Звягин Ю. В., Мищенко К. С. и др. О превращениях политипов пирофиллита в условиях выветривания // Докл. АН СССР, 1983. Т. 271. № 1. С. 187 — 189.
10. Иванов О. К. Пирофиллит на Урале // Минералогия техногенеза и минерально-сырьевые комплексы Урала. Свердловск : УрО АН СССР, 1988. С. 107—113.
11. Курицына Г. А. Пирофиллит из некоторых колчеданных месторождений Красноуральского района // Тр. горно-геол. ин-та Урал. фил. АН СССР, 1960. Вып. 35. С. 123—127.
12. Курнаков Н. С., Черных В. В. Некоторые результаты физико-химических исследований пирофиллита и талька // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1928. Ч. 57. Вып. 1. С. 125—139.
13. Кутюхин П. И. Условия локализации золотых руд в жилах Березовского месторождения // 200 лет золотой промышленности Урала. Свердловск: изд. Горн.-геол. ин-та УФАН СССР. 1948. С. 249—275.
14. Кутюхин П. И. Березовское золоторудное месторождение // Минералогия Урала. Т-1. М.: из-во АН СССР. 1954. С. 304—329.
15. Лазаренко Е. К. О донбассите из Березовска на Урале // Докл. АН СССР, 1952. Т. 84. №4. С. 781—784.
16. Левинсон-Лессинг Ф. Ю. О пирофиллите из Пышминска (Березовска) на Урале // Зап. минерал. о-ва. 1895. Ч. 33. Вып. 2, С. 283—286.
17. Логинов В. П. Алюмосилициты Кабанского колчеданного месторождения // Тр. ИГИН АН СССР, вып. 135, сер. рудн. м-ний, № 15, М., 1952. С. 72—79.
18. Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. М.: Госгортехиздат. 1957. 739 с.
19. Попов В. А. Онтогения кварца Березовского золоторудного месторождения на Урале // Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Хабаровск. 1971.
20. Ракова Л. Н., Козинцев В. Я. и др. Два типа метасоматических изменений на колчеданных месторождениях Восточной части Центрального Казахстана и их поисковое значение // Критерии и методы поисков медных месторождений Казахстана. Алма-Ата: КазИМС, 1988. С. 48—55.
21. Финько В. И., Аракелянц М. М. и др. Возраст диапорпирофиллитовых месторождений Центральной Индии //

- Геология и полезные ископаемые древних платформ. М.: Наука, 1984. С. 138—143.
22. Чесноков Б. В. Минералогическое картирование рудного района с гидротермальной минерализацией (на примере Березовского рудного района на Урале)// Автореф. дисс. ... докт. геол.-мин. наук. 1980.
 23. Шелепов Д. А. Минералого-петрографическая характеристика пирофиллитсодержащих метасоматитов колчеданного проявления Кумус-Тюбе (Оренбургская область) // Металлогения древних и современных океанов. Миасс: ИМин УрО РАН, 1995. С. 111—113.
 24. Штрюбель Г., Циммер З. Х. Минералогический словарь. М.: Недра, 1987. 495 с.
 25. *Cassedanne J.P.* Pyrophyllite from Ibitiara, Brazil//The Mineralogical Record. V. 20. 1989. P. 465—467.
 26. *Clark A. M.* (ed). New's mineral index. Minerals species, varieties and synonyms. London: Natural History Museum. 1993. 852 p.
 27. *Cook R. B.* The mineralogy of Graves Mountain, Lincoln county, Georgia// The Mineralogical Record. V. 16. 1985. P. 443—452.
 28. *Duda R., Reil L.* Minerals of the World. Artia, 1986. 520 p.
 29. *Phillips G. N.* Metamorphism of the Witwatersrand gold fields: conditions during peak metamorphism// J. metamorphic Geol. V. 5. 1987. P. 307—322.
 30. *Sharma R. P.* Mineralogy of the pyrophyllite-diaspore samples from Bundelkhand, central India // Indian Mineral. V. 20. 1979. P. 1—5.
 31. *Sykes M.L., Moody J.B.* Pyrophyllite and metamorphism in the Carolina slate belt//American Mineralogist. V. 63. 1978. P. 96—108.
 32. *Henriques A.* Swedish pyrophyllite deposits and the optical properties of pyrophyllite //Arkiv for mineralogi och geologi. B. 2, nr. 14. 1957. P. 279—282.