

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ им. А.Е. ФЕРСМАНА

**ВЫПУСК 42**

# **Новые данные о минералах**

ИЗДАНИЕ ОСНОВАНО В 1907 г.

МОСКВА  
2007



**Новые данные о минералах.** Выпуск 42. Москва, ООО «Альгум», 2007. 168 стр., 137 фото, схем и рисунков. Под редакцией доктора геол.-мин.наук, профессора М.И. Новгородовой. Издание Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН.

Журнал включает статьи по новым минеральным видам, среди них гимараэсит – минерал группы рошери-та, обнаруженный в Бразилии, и ферроскуттерудит – арсенид железа и кобальта из Норильского рудного поля. Описаны новые находки недавно открытых минералов – перцевита и мегациклита, уточнена кристаллическая структура последнего. Приведены новые данные о минеральных ассоциациях с битуминозными веществами в пегматитах Хибинского массива, о нахождении благородных металлов в рудах и зоне окисления онежских месторождений Ю. Карелии и другие. Представлены результаты изучения гроссуляра, везувиана и ахтарандита из Талнахского проявления, исследованы особенности преобразований минеральных парагезисов в океанических медных сульфидных рудах. На основе химического состава диарсенидов группы леллингита предложена их номенклатура.

Статья руководителей подкомитета по неназванным минералам комиссии по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации, опубликованная ранее в журнале "Canadian Mineralogist", включена в журнал по просьбе комиссии; в ней изложена новая система кодов для неназванных минеральных видов.

В разделе «*Минералогические музеи и коллекции*» описаны уральские камнерезные изделия, коллекции минералов «Государя Наследника Цесаревича» и генерала Г.П. Черника в собрании Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана, изложена история одного из его необычных экспонатов – пластины черного базальта с золотой монограммой. Кроме того, раздел включает краткую характеристику минералогической коллекции Гео-Музея Кельнского университета в Германии.

В разделе «*Персоналии*» рассказывается о выставке «Юбилей и юбиляры 2006 – 2007», посвященной 290-летию собрания Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана и юбилеям его сотрудников. Две другие статьи приурочены к юбилеям профессоров А.А. Годовикова и Г.П. Барсанова, руководивших Минералогическим музеем на протяжении ряда лет.

«*Минералогические заметки*» содержат работу по карбонатам в метакимберлитах трубки Зарница в Якутии и статью, где описана редкая нитевидная форма выделений магнезиального кальцита, встреченного в породах Русской платформы.

Журнал представляет интерес для минералогов, геохимиков, геологов, а также работников естественно-исторических музеев, коллекционеров и любителей камня.

Главный редактор	доктор геолого-минералогических наук, профессор М.И. Новгородова
Ответственный редактор выпуска	кандидат геолого-минералогических наук Е.А. Борисова
Редакционная коллегия	доктор геол.-минерал. наук Е.И. Семенов, канд. геол.-минерал. наук С.Н. Ненашева, канд. геол.-минерал. наук Е.Н. Матвиенко, канд. геол.-минерал. наук М.Б. Чистякова М.Б. Лейбов
Фото	
Руководитель издательской группы	М.Б. Лейбов
Выпускающий редактор	Л.А. Чешко
Художественный редактор	Н.О. Парлашкевич
Редактор	А.А. Прокубовский, А.Л. Чешко
Дизайн (идея)	Д. Ершов
Верстка	И.А. Глазов, Л.А. Чешко

Утверждено к печати Минералогическим музеем им. А.Е. Ферсмана РАН

© текст, фото, иллюстрации, Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, 2007

© дизайн, ООО «Альгум», 2007

*Подготовлен к печати*

Минералогический музей им А.Е. Ферсмана  
Российской Академии Наук  
119071 Москва, Ленинский пр. д. 18, корпус 2  
тел. (495) 952 – 0067; факс (495) 952 – 4850  
e-mail: mineral@fmm.ru www.fmm.ru

ООО «Альгум»  
117556 Москва, а/я 71  
тел./факс (495) 629-4812  
e-mail: minbooks@online.ru  
www.minbook.com

Заказать текущий выпуск или подписаться на журнал можно на сайте [www.minbook.com](http://www.minbook.com) или по электронной почте [minbooks@online.ru](mailto:minbooks@online.ru)

Цена подписки: 150 руб.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Новые минералы и их разновидности, новые находки редких минералов, минеральные парагенезисы

Агаханов А.А., Паутов Л.А., Уварова Ю.А., Соколова Е.В., Хавторн Ф., Карпенко В.Ю., Гафуров Ф.Г.  
Файзиевит  $K_2Na(Ca_6Na)Ti_4Li_6Si_{24}O_{66}F_2$  — новый минерал ..... 5  
Чуканов Н.В., Атенцио Д., Загов А.Е., Менезис Л.А.Д., Фильо, Кутиньо Ж.М.В.  
Гимараэсит — новый Zn-доминантный  
моноклинный минерал группы рошерита из Итинги (Минас Жераис, Бразилия) ..... 11  
Спиригонов Э.М., Гриценко Ю.Д.  
Ферроскуттерудит, никельскуттерудит и скуттерудит Норильского рудного поля ..... 16  
Шрайер В., Бернхард Х.Ю., Мегенбах О., Руднев В.В., Перцев Н.Н. Новые находки перцевита ..... 28  
Ермолаева В.Н., Чуканов Н.В., Пеков И.В., Шлюкова З.В.  
Минеральные ассоциации  
с битуминозными веществами в пегматитах Хибинского массива: новые данные ..... 33  
Черников А.А., Дубинчук В.Т., Ожогин Д.О., Чистякова Н.И.  
Особенности нахождения и распределения благородных металлов  
в рудах и в зоне окисления онежских уран-ванадиевых месторождений Ю. Карелии ..... 43  
Алферова М.С. Минералогия Талнахского проявления гроссуляра, везувиана и ахтараңдита ..... 50  
Мозгова Н.Н., Бородаев Ю.С., Габлина И.Ф., Степанова Т.В., Черкашев Г.А., Успенская Т.Ю.  
Особенности преобразований минеральных парагенезисов в медных  
сульфидных рудах гидротермального поля Краснов (16°38' с.ш. Срединно-Атлантического хребта) .... 62  
Смит Д.Г.В., Никель Э.Х. Кодификация названных минералов ..... 77

### Кристаллохимия, минералы как прототипы новых материалов, физические и химические свойства минералов

Зубкова Н.В., Пеков И.В., Чуканов Н.В., Лисицин Д.В., Рабаганов М.Х., Пушаровский Д.Ю.  
Новые данные о мегациклите ..... 81  
Виноградова Р.А. О составе и номенклатуре диарсенидов группы леллингита ..... 93

### Минералогические музеи и коллекции

Чистякова М.Б. Камнерезное дело Урала.  
Изделия Екатеринбургских мастеров в Минералогическом музее имени А.Е. Ферсмана РАН ..... 97  
Борисова Е.А., Холлербах Р.  
Минералогическая коллекция ГеоМузея Кельнского университета (Германия) ..... 114  
Мохова Н.А., Генералов М.Е.  
Генерал и его коллекция. Собрание минералов Г.П. Черника в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН ..... 120  
Чистякова М.Б. Вензель на базальте. История одного экспоната музея ..... 129  
Генералов М.Е. Царское ли это дело? О коллекции минералов Государя Наследника Цесаревича ..... 132

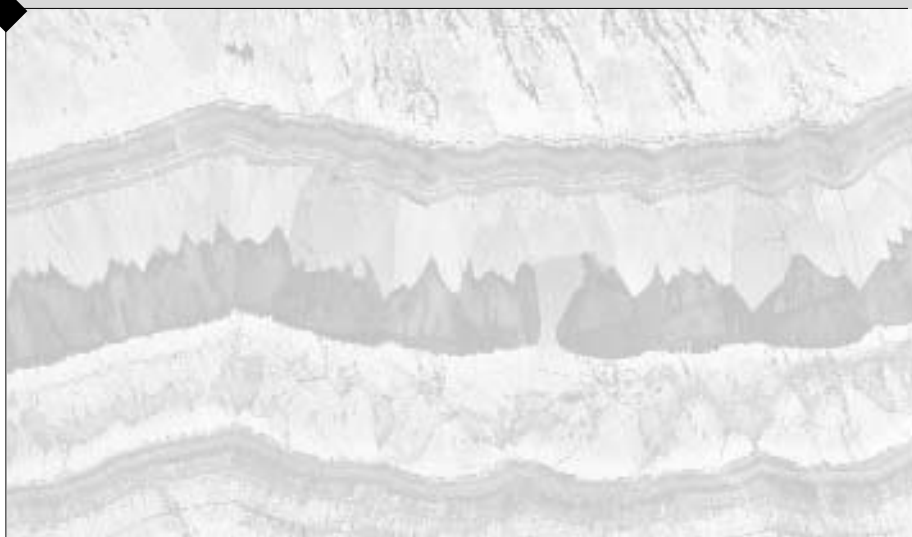
### Персоналии

Борисова Е.А., Павлова Т.М. Юбилей и юбиляры 2006 — 2007 ..... 139  
Ненашева С.Н. А.А. Годовиков. Годы жизни и деятельность ..... 146  
Профессор Георгий Павлович Барсанов и минералого-геохимическая школа В.И. Вернадского и А.Е. Ферсмана ..... 154

### Минералогические заметки

Соколова Е.А., Спиригонов Э.М.  
Са-содержащий стронцианит, барит, доломит и кальцит в метакимберлитах трубки Зарница, Якутия ..... 158  
Абрамова Т.Т., Панасьян Л.Л., Соколов В.Н., Чернов М.С., Ладыгин В.М., Гусарова О.И., Спиригонов Э.М.  
Скрученный нитевидный магнезиальный кальцит в карбонатных породах Русской платформы ..... 163  
«Ферсманиада-2008» ..... 168

**Новые минералы  
и их разновидности,  
новые находки  
редких минералов,  
минеральные  
парагенезисы**



# ФАЙЗИЕВИТ $K_2Na(Ca_6Na)Ti_4Li_6Si_{24}O_{66}F_2$ – НОВЫЙ МИНЕРАЛ<sup>1</sup>

А.А. Агаханов

Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана, Москва, atali99@mail.ru

Л.А. Паутов

Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана, Москва, pla58@mail.ru

Ю.А. Уварова

Геологический факультет Университета Манитоба, Виннипег, Канада

Е.В. Соколова

Геологический факультет Университета Манитоба, Виннипег, Канада

Ф. Хавторн

Геологический факультет Университета Манитоба, Виннипег, Канада

В.Ю. Карпенко

Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана, Москва

Ф.Г. Гафуров

Таджикский государственный национальный Университет, Душанбе

Файзиевит — новый природный представитель натрий-калий-кальций-литиевых титаносиликатов — обнаружен в глыбе кварца в ассоциации с пектолитом, баратовитом, эгирином, полилитионитом, лейкоксфенитом, флюоритом и др. на морене ледника Дарай-Пиёз (Таджикистан). Минерал бесцветный, с сильным стекляннным блеском, образует таблитчатые пластинки без признаков огранки размером до 0.3 см. Твердость по Моосу — 4–4.5.  $D_{изм.} = 2.83(2) \text{ г/см}^3$ ,  $D_{виз.} = 2.819 \text{ г/см}^3$ . Оптически положительный, двуосный,  $n_p = 1.651(2)$ ,  $n_m = 1.655(2)$ ,  $n_g = 1.657(2)$ ,  $2V_{изм.} = -72(2)^\circ$ ,  $2V_{виз.} = -70.4^\circ$ . Кристаллическая структура решена с  $R = 7.5\%$ . Сингония триклинная, пр. гр.  $P-1$ ,  $a = 9.8156(9)\text{Å}$ ;  $b = 9.8249(9)\text{Å}$ ;  $c = 17.3087(16)\text{Å}$ ;  $\alpha = 99.209(2)^\circ$ ,  $\beta = 94.670(2)^\circ$ ,  $\gamma = 119.839(1)^\circ$ ,  $V = 1403.7(4)\text{Å}^3$ ,  $Z = 1$ . Главные линии рентгеновской порошкограммы [d, Å, (I, %), (hkl)]: 5.60 (9) (0 0 3), 4.25 (60) (0 -2 1), 3.35 (100) (0 0 5), 3.14 (20) (1 -3 2), 3.06 (90) (-1 -2 3), 2.885 (55) (-2 1 5), 2.870 (10) (-2 3 2), 1.868 (17) (-1 4 4). ИК-спектр (сильные линии поглощения): 1211, 1178, 1130, 1022, 940, 783, 683, 651, 557, 534, 460  $\text{см}^{-1}$ . Химический состав (микрозонд,  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Rb}_2\text{O}$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{SrO}$  — ИСП OES, масс. %, ):  $\text{SiO}_2$  — 60.65,  $\text{CaO}$  — 14.52,  $\text{TiO}_2$  — 13.44,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  — 0.11,  $\text{SrO}$  — 0.72,  $\text{BaO}$  — 0.24,  $\text{K}_2\text{O}$  — 3.93,  $\text{Na}_2\text{O}$  — 1.99,  $\text{Li}_2\text{O}$  — 3.76,  $\text{Rb}_2\text{O}$  — 0.13, F — 1.30,  $-\text{O}=\text{F}_2$  — -0.55, сумма — 100.24. Эмпирическая формула файзиевита  $(K_{1.98}Rb_{0.03})_{2.01}(Na_{0.90}\square_{0.10})_{1.00}(Ca_{6.16}Na_{0.63}Sr_{0.17}Ba_{0.04})_{7.00}(Ti_{4.00}Nb_{0.02})_{4.02}Li_{5.98}Si_{24}O_{66.00}(F_{1.63}O_{0.36})_{1.99}$ . Упрощенная формула  $K_2Na(Ca_6Na)Ti_4Li_6Si_{24}O_{66}F_2$ . Минерал назван в честь профессора, члена-корреспондента Академии наук Республики Таджикистан Абдулхак Ражабовича Файзиева (1938 года рождения) известного минералога, автора многочисленных работ по минералогии и геологии Средней Азии. Образец с файзиевитом хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН (г. Москва).

В статье 3 таблицы, 5 рисунков, список литературы из 8 статей.

## Место находки и ассоциация

Файзиевит встречен в образцах пород, собранных на морене ледника Дарай-Пиёз (Таджикистан). Ледник расположен в верховьях одноименной реки и прорезает верхний Дарай-Пиёзский щелочной массив, широко известный своей уникальной минерализацией. Минералогии и геологии щелочного массива посвящено множество публикаций (Дусматов, 1968, 1971, Belakovskiy, 1991 и др.). Для Дарай-Пиёзского массива, как и для многих других щелочных массивов, заметна возрастающая роль элементов-«заместителей» алюминия в минералах, а именно титана, циркония, ниобия, бериллия, бора. Здесь это прояв-

ляется в первую очередь в ярко выраженной борной специализации. Характерной геохимической особенностью массива является так же видовое разнообразие минералов титана. По нашим подсчетам, для одной пятой части всех минеральных видов Дарай-Пиёза титан является видообразующим элементом. Особенный интерес здесь представляют кольцевые титаносиликаты. Наряду с цирконосиликатами, эта группа на Дарай-Пиёзе является собой весьма необычную и уникальную ассоциацию. Многие из этих минералов впервые были открыты на Дарай-Пиёзе, причем практически все они являются эндемиками. А такие минералы как **баратовит**,  $KCa_7(Ti, Zr)_2Li_3Si_{12}O_{36}F_2$  и **согдианит** — титансодержа-

<sup>1</sup> Рассмотрен и рекомендован к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов РМО и утвержден Комиссией по новым минералам и названиям минералов ММА 4 декабря 2006 г.

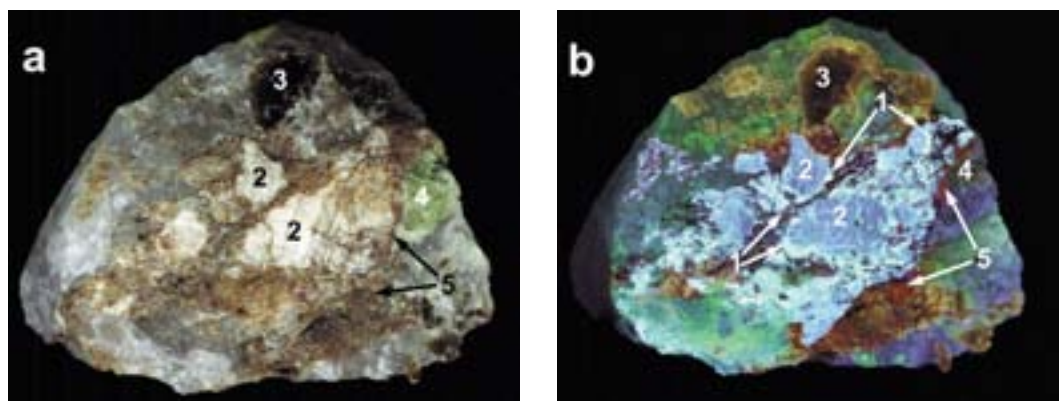


Рис. 1. Общий вид породы в которой обнаружен фэйзиевит в видимом (а) и в коротком ультрафиолетовом свете (b).

1 – фэйзиевит,  
2 – баратовит,  
3 – полиштонит,  
4 – лейкосфенит,  
5 – пектолит.

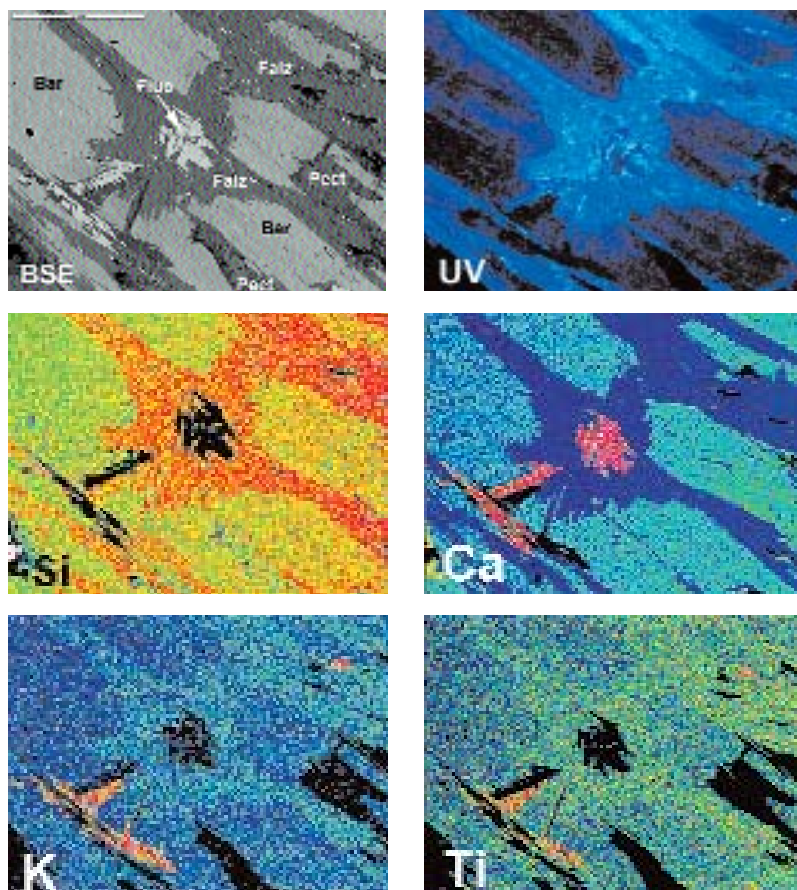


Рис. 2. Срастание фэйзиевита (Faiz) с баратовитом (Bar), флюоритом (Fluo), пектолитом (Pect). Изображение в режиме BSE, в коротковолновом ультрафиолетовом свете (UV) и в характеристическом рентгеновском излучении указанных элементов. Размер маркера равен 200 μm.

ший цирконосиликат  $K(\square, Na)_2(Zr, Ti, Fe^{3+})_2Li_3Si_{12}O_{30}$  очень часто являются порообразующими минералами. Из кольцевых титаносиликатов следует отметить так же баотит, **березанскит**, **тяньшанит**, титантарамеллит, и так же **фэйзиевит** структура которого, как будет показано ниже, является производной от структур баратовита и березанскита (жир-

ным шрифтом выделены минералы, впервые открытые на Дараи-Пиёзе).

Сам щелочной массив Дараи-Пиёз трудно доступен из-за сложного горного рельефа, выражающегося в отвесных стенах ледниковой троговой долины. Моренные отложения представлены как материалом разрушения массива, так и породами рамы. Часть глыб в

морене довольно уверенно отождествляется с породами, которые наблюдаются в коренных выходах, небольшая часть обломков пород может быть привязана к коренным выходам предположительно, а для части найденных в морене пород до сих пор происхождение не может быть установлено сколь-нибудь достоверно. Именно к последней группе относятся обломки существенно кварцевых пород с богатой редкоземельной и редкометальной минерализации, в которых был обнаружен файзиевит. Эта порода состоит в основном из гранулированного и средне-крупнозернистого кварца льдистого облика, в которой вкраплены крупные пластины полилитиионита (до 20 см), кристаллы микроклина (до 3 см), гнезда (до 12 см) ридмерджнерита, идиоморфные кристаллы эгирина (до 5 см), редкие красно-коричневые, хорошо образованные чечевицеобразные кристаллы стиллуэллита-(Се) (до 2 см), травяно-зеленые кристаллы лейкосфенита (до 3 см), фиолетово-розовые пластины согдианита и сугилита (до 20 см), темно-зеленые длиннопризматические кристаллы высокоуранового гидратированного туркестанита (до 2 см), гнезда полиминерального агрегата, сложенного в основном пектолитом (до 20 см). Реже в этой породе отмечаются баратовит, галенит, кальцит, капицаит-(Y), нептунит, пироклор, минералы группы эвдиалита, гиалотекит, таджикит, висмут, сфалерит, флюорит, фторапатит и фторапофиллит, соколоваит, пековит, сенкевичит. Данные породы встречаются на морене в виде глыб разной степени окатанности, размерами от 0.2 до 2 м в поперечнике. Эта порода не встречена в коренном залегании и, к сожалению, ни разу не встречено контактов ее с какой-либо породой. Как уже было сказано ранее, генезис этих образований до сих пор не нашел удов-

летворительного объяснения. Поэтому, чтобы в название породы не вносить генетическую нагрузку, мы называем их условно «кварцевыми глыбами».

Файзиевит встречается в кварцевых глыбах (рис. 1) в виде пластинчатых зерен без признаков огранки, размером до 3 мм в наибольшем измерении и толщиной до 0.2 мм, в тесном сростании с баратовитом, флюоритом в кварц-пектолитовом агрегате (Рис. 2). Чаще всего файзиевит обрастает баратовитом, образуя тонкую кайму между кварцем и баратовитом.

### Физические свойства

Файзиевит – бесцветный прозрачный минерал с сильным стеклянным блеском. В коротковолновом ультрафиолетовом свете люминесцирует ярким белым светом, в длинноволновом ультрафиолетовом свете не люминесцирует. Твердость по шкале Мооса – 4–4.5. Твердость микровдавливания 445 кгс/мм<sup>2</sup> (среднее значение по 20 измерениям при разбросе единичных замеров от 424 до 474 кгс/мм<sup>2</sup>). Микротвердость измерена на приборе ПМТ-3 при нагрузке 50 г, градуированном по NaCl. Минерал хрупкий. Плотность минерала определялась уравниванием зерен в растворе Клеричи. Измеренная плотность минерала – 2.83(2) г/см<sup>3</sup>, вычисленная – 2.819 г/см<sup>3</sup>. Файзиевит – оптически положительный, двуосный минерал. По результатам измерений на федоровском столике угол  $2V = -72(2)^\circ$ . Вычисленный угол  $2V = -70.4^\circ$ . Показатели преломления минерала измерены иммерсионным методом (при 589 nm):  $n_p = 1.651(2)$ ,  $n_m = 1.655(2)$ ,  $n_g = 1.657(2)$ . Дисперсия средняя,  $r < v$ . Минерал не растворим в воде и в HCl (1:1). Инфракрасный спектр файзиевита полученный на ИК-фурье спектрометре Avatar (Thermo Nicolet), характеризуется полосами поглощения: 1211, 1178, 1130, 1022, 940, 783, 683, 651, 557, 534, 460 см<sup>-1</sup>. ИК-спектр файзиевита индивидуален и не соответствует ИК-спектрам известных минералов (рис. 3).

### Химический состав

Химический состав файзиевита изучался на электронном микрозонде JCXA-50A фирмы JEOL и методом ISP OES (табл. 1). Анализы на электронном микроанализаторе проводились при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 2 нА при анализе на энергодисперсионном спектрометре и ускоряющем напряжением 15 кВ и токе зонда 25 нА при анализе

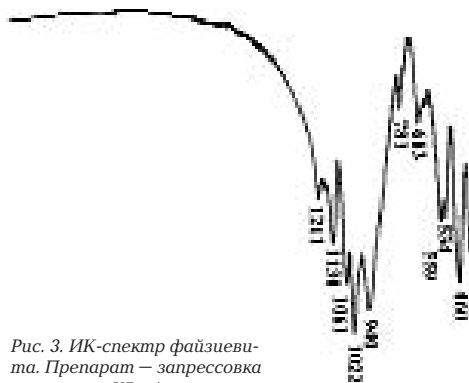


Рис. 3. ИК-спектр файзиевита. Препарат – запрессовка минерала в KBr. Аналитик А.А. Агаханов

Таблица 1. Химический состав файзиевита (мас. %)

Компоненты	Содержание из 20 точек в 6 зернах	
	Среднее	Пределы вариаций
SiO <sub>2</sub>	60.65	58.77–62.15
CaO	14.52	13.58–15.39
TiO <sub>2</sub>	13.44	12.94–13.84
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.00–0.34
SrO*	0.72	
BaO*	0.24	
K <sub>2</sub> O	3.93	3.68–3.97
Na <sub>2</sub> O	1.99	1.81–2.07
Li <sub>2</sub> O*	3.76	
Rb <sub>2</sub> O*	0.13	
F	1.30	1.20–1.39
-O=F <sub>2</sub>	-0.55	
Сумма	100.24	

Примечание: \* данные получены методом ICP OES. Аналитики А.А. Агаханов, Л.А. Паутов.

на волновых спектрометрах. На энергодисперсионном спектрометре анализировались Si, K, Na, Ca, Ti, Nb; на волновом спектрометре измерялся фтор. В качестве стандартов использовались микроклин USNM143966 (Si, K), омфациит USNM 110607 (Na), анортит USNM 137041 (Ca), ильменит USMN 96189 (Ti), синтетический LiNbO<sub>3</sub> (Nb), MgF<sub>2</sub> (F). Зерна нового минерала гомогенны и свободны от вростков других минералов. Расчет концентраций проводился по программе ZAF-коррекции. Концентрации Li, Ba, Sr, Ba в минерале были получены методом ICP OES. Проба минерала разлагалась в полипропиленовом флаконе в концентрированной HF с добавлением HNO<sub>3</sub> и упаривалась до влажных солей. Далее к пробе добавлялась HNO<sub>3</sub> и упаривалась до сухого остатка для полного удаления всех фторидов. Полученный сухой остаток разводился в 2% HNO<sub>3</sub> и полученный раствор анализировалась на приборе VISTA Pro фирмы Varian. Усредненный состав проанализированных зерен (табл. 1) пересчитывается при Si = 24 на эмпирическую формулу (K<sub>1.98</sub>Rb<sub>0.03</sub>)<sub>2.01</sub>(Na<sub>0.90</sub>□<sub>0.10</sub>)<sub>1.00</sub>(Ca<sub>6.16</sub>Na<sub>0.63</sub>Sr<sub>0.17</sub>Ba<sub>0.04</sub>)<sub>7.00</sub>(Ti<sub>4.00</sub>Nb<sub>0.02</sub>)<sub>4.02</sub>Li<sub>5.98</sub>Si<sub>24</sub>O<sub>66.00</sub>(F<sub>1.63</sub>O<sub>0.36</sub>)<sub>1.99</sub>. Упрощенная формула файзиевита K<sub>2</sub>Na(Ca<sub>6</sub>Na)Ti<sub>4</sub>Li<sub>6</sub>Si<sub>24</sub>O<sub>66</sub>F<sub>2</sub>. Индекс сходности свойств (1-K<sub>p</sub>/K<sub>c</sub>) = 0.005, что соответствует его высшей степени.

## Рентгеновские данные

Рентгеновская порошковая диаграмма файзиевита (табл. 2) была получена на приборе ДРОН-2. Для устранения возможного тексту-

Таблица 2. Результаты расчета рентгенограммы файзиевита

Дебайе-грамма	D	Дифрактограмма		теоретическая		hkl
		I	D	I	D	
				6	8.47	4 8.488 -1 1 0
						8 8.390 0 0 2
				9	5.60	10 5.594 0 0 3
7	4.27	60	4.25	50	4.261	0 -2 1
				42	4.249	-2 2 0
				50	4.244	0 0 4
				4	4.16	13 4.181 2 0 0
						22 4.162 -1 -1 3
1	4.06	5	4.08	29	4.080	2 -1 2
						34 3.998 1 -2 3
				5	3.72	1 3.718 -2 2 2
						3 3.699 -2 0 3
				3	3.59	13 3.614 -1 -1 4
				4	3.46	14 3.460 2 -2 3
10	3.36	100	3.35	100	3.356	0 0 5
5h	3.14	20	3.14	12	3.164	1 -3 2
				13	3.157	-1 3 0
				15	3.136	2 1 0
				14	3.131	3 -2 1
				36	3.123	-1 -1 5
9	3.08	90	3.06	48	3.066	-1 -2 3
				51	3.064	-2 3 1
				52	3.063	3 -1 1
				43	3.061	2 -1 4
2	3.01	9	3.00	23	2.999	-1 3 1
				42	2.996	1 -2 5
8h	2.886	55	2.885	35	2.881	-2 1 5
		10	2.870	39	2.865	-2 3 2
				39	2.865	-1 -2 4
				9	2.803	3 -1 2
1	2.722	8	2.721	17	2.716	-1 -1 6
				10	2.708	-3 1 4
				5	2.400	3 -1 4
				1	2.298	-3 3 4
				2	2.178	3 -1 5
				7	2.177	-1 -2 7
				1	2.120	2 2.119 1 -4 5
				3	2.119	-1 4 2
				1	2.062	6 2.062 -4 1 5
				1	2.014	1 2.015 4 -4 3
				2	1.983	7 1.983 3 1 3
				5	1.983	-1 -2 8
				4	1.983	3 -1 6
				17	1.868	5 1.868 -1 4 4

Примечание: Фотометод – РКУ 114М, Fe – анод, Мп-фильтр, УРС-50ИМ. Дифрактометр ДРОН-2, Fe – анод, графитовый монохроматор, скорость счетчика 1 град/мин., внутренний стандарт – кварц. Аналитик А.А. Агаханов

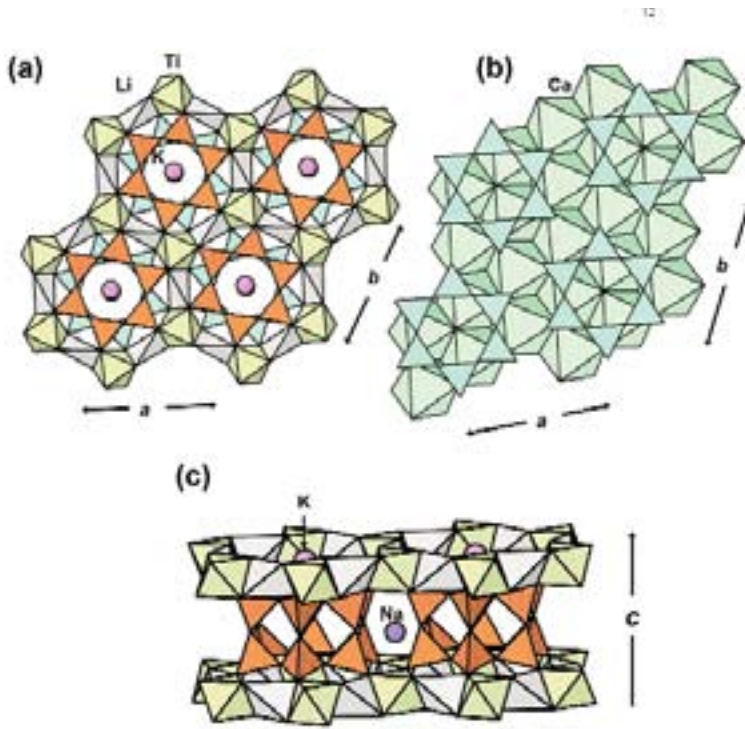


Рис. 4. Кристаллическая структура файзита: (а) фрагмент структуры, на котором показаны сдвоенные миларитовые кольца  $[Si_{12}O_{30}]$ , одиночные кольца  $[Si_6O_{18}]$ , тетраэдры  $[LiO_4]$  и октаэдры  $[TiO_6]$  – вид вдоль  $[001]$ ; (б) одиночные кольца  $[Si_6O_{18}]$ , связанные с Ca-доминантными октаэдрами  $M(1,2,3,4)$  – вид вдоль  $[001]$ ; (в) связанные между собой кольца  $[Si_{12}O_{30}]$  и октаэдры  $[LiO_4]$  и  $[TiO_6]$  – вид вдоль  $[100]$ .  $[SiO_4]$  – тетраэдры, выполняющие миларитовые и берилловые кольца, соответственно оранжевые и голубые,  $[LiO_4]$ -тетраэдры – серые,  $[TiO_6]$ -октаэдры – могово-жёлтые;  $M(1,2,3,4)$ -октаэдры – зелёные, позиции атомов  $A(1)$  ( $=Na$ ) и  $A(2)$  ( $=K$ ) окрашены фиолетовым и розовым, соответственно.

рирования препарата файзита при съёмке на дифрактометре была снята дебаграмма в камере РКУ 114М. Порошковая диаграмма файзита индивидуальна и не совпадает ни с одним известным минералом или синтетическим соединением. В качестве внутреннего стандарта применялся кварц.

Кристаллическая структура файзита с идеализированной формулой,  $K_2Na(Ca_6Na)Ti_4Li_6Si_{24}O_{66}F_2$  (триклинной сингонией,  $a = 9.8156(9)$ ,  $b = 9.8249(9)$ ,  $c = 17.3087(16)$  Å,  $\alpha = 99.209(2)$ ,  $\beta = 94.670(2)$ ,  $\gamma = 119.839(1)$ ,  $V = 1403.7(4)$  Å<sup>3</sup>, пр.гр.  $P-1$ ,  $Z = 1$ ), была уточнена с R фактором = 7.5% по 5044 [ $F_o > 4\sigma|F|$ ] независимым рефлексам, на дифрактометре Bruker P4, снабжённым Smart 4K CCD-детектором, MoK $\alpha$  – излучение (Uvarova *et al.*, 2008). Параметры ячейки были уточнены по порошковой диаграмме:  $a = 9.8129(4)$  Å;  $b = 9.8220(4)$  Å;  $c = 17.3205(9)$  Å;  $\alpha = 99.220(1)^\circ$ ,  $\beta = 94.698(1)^\circ$ ,  $\gamma = 119.795(1)^\circ$ ,  $V = 1404.34(4)$  Å<sup>3</sup>.

В структуре файзита имеется пятнадцать позиций Т тетраэдрической координации, двенадцать из которых заселены исключительно Si (расстояние  $\langle Si-O \rangle = 1.613$  Å), остальные же три тетраэдрические позиции заселены одним Li (расстояние  $\langle Li-O \rangle = 1.928$ ). Так же имеется шесть позиций с октаэдрической координацией, из которых две заняты Ti и четыре – Ca с небольшой долей

Na и Sr. Заселенность этих позиций и межслоевые расстояния следующие:  $D(1) = Ti_{2.00}$  ( $\langle D(1)-O \rangle = 1.937$  Å),  $D(2) = Ti_{2.00}$  ( $\langle D(2)-O \rangle = 1.934$  Å),  $M(1) = Ca_{2.00}$  ( $\langle M(1)-O \rangle = 2.441$  Å),  $M(2) = (Ca_{1.87} Sr_{0.13})$  ( $\langle M(2)-O \rangle = 2.424$  Å),  $M(3) = (Ca_{1.55} Na_{0.37} Sr_{0.04} Ba_{0.04})$  ( $\langle M(3)-O \rangle = 2.415$  Å),  $M(4) = (Ca_{0.74} Na_{0.26})$  ( $\langle M(4)-O \rangle = 2.418$  Å). В структуре минерала имеются две межслоевые позиции A:  $A(1) = (K_{1.98} Rb_{0.03})$  с [12]-координацией ( $\langle A(1)-O \rangle = 3.092$  Å) и  $A(2) = (Na_{0.90} \square_{0.10})$  с [9]-координацией ( $\langle A(2)-O \rangle = 2.718$  Å).

В структуре файзита Si-тетраэдры объединены общими вершинами в [6]-членные кольца, из которых часть является однарными,  $[Si_6O_{18}]$ , а часть – сдвоенными,  $[Si_{12}O_{30}]$ . Оба типа [6]-членных колец соединены общими вершинами слагающих их тетраэдров с вершинами  $[LiO_4]$ -тетраэдров и  $[TiO_6]$ -октаэдров (рис.4а), образуя при этом гетерополиэдрические слои перпендикулярно оси с. Октаэдры  $M(1,2,3,4)$  объединены общими вершинами и образуют октаэдрические слои перпендикулярно оси с (рис.4б). Гетерополиэдрические слои, состоящие из тетраэдров  $[SiO_4]$ ,  $[LiO_4]$  и октаэдров  $[TiO_6]$  чередуются с октаэдрическими слоями, сложенных октаэдрами  $M(1,2,3,4)$  (рис. 5). Интерстиции между слоями заполняют [6]-членные сдвоенные и одиночные

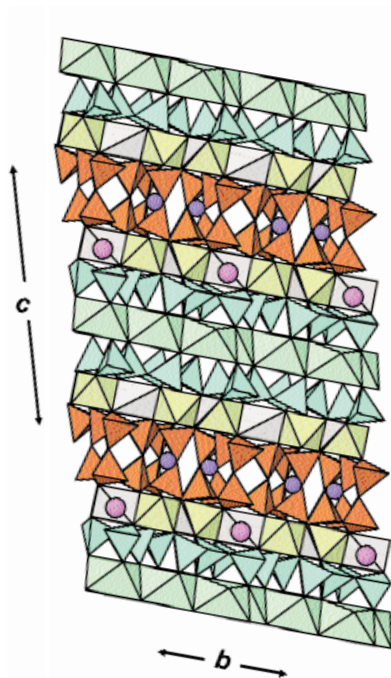


Рис. 5. Проекция структуры фэйзиевита на (011).  $[SiO_4]$  – тетраэдры, выполняющие миларитовые и берилловые кольца, соответственно оранжевые и голубые,  $[LiO_4]$  – тетраэдры – серые,  $[TiO_6]$  – октаэдры – медово-жёлтые;  $M(1,2,3,4)$  – октаэдры – зелёные, позиции атомов  $A(1)$  ( $=Na$ ) и  $A(2)$  ( $=K$ ) окрашены фиолетовым и розовым, соответственно

Таблица 3. Сравнительная характеристика фэйзиевита, баратовита и березанскита

	фэйзиевит	баратовит	березанскит
Химическая формула	$K_2Na(Ca_6Na)Ti_4Li_6Si_{24}O_{66}F_2$	$KCa_7(Ti,Zr)_2Li_3Si_{12}O_{36}F_2$	$KLi_3Ti_2Si_{12}O_{30}$
Сингония	Триклинная	Моноклиная	Гексагональная
Пространственная группа	$P-1$	$C2/c$ или $Cc$	$R\bar{6}/mcs$
$a, \text{Å}$	9.8156(9)	16.941(3)	9.903 (1)
$b, \text{Å}$	9.8249(9)	9.746(2)	14.276(2)
$c, \text{Å}$	17.3087(16)	20.907(3)	
$\alpha, ^\circ$	99.209(2)		
$\beta, ^\circ$	94.670(2)	112.5(1)	
$\gamma, ^\circ$	119.839(1)		
$V, \text{Å}^3$	1403.7(4)	3189.1	1212.4(4)
$Z$	1	4	2
Сильные линии рентгеновской порошковой дифракции: $d_{\text{изм.}}(\text{Å})$			
	5.60 (9)	4.18(3)	7.15(40)
	4.25 (60)	3.54(4)	5.81(12)
	3.35 (100)	3.22(100)	4.29(50)
	3.14(20)	3.02(5)	4.07(85)
	3.06(90)	2.41(20)	3.57(80)
	2.885(55)	1.92(17)	3.16(100)
	2.870(10)	1.83(3)	2.952(50)
	1.868(17)		2.895(95)
			2.742(30)
Плотность, $g/cm^3$ (изм)	2.83	2.89	2.66
	двуосный (+)	двуосный (+)	одноосный (-)
$n_p$	1.651	1.672	1.630
$n_m$	1.655	1.672	
$n_g$	1.657	1.673	1.635
Угол $2V, ^\circ$	-72	+60	

кольца. В этих интерстициях находятся атомы К (рис. 4а,с). Атомы Na расположены между sdвоенными [6]-членными кольцами (рис. 4с).

Структура фэйзиевита (Uvarova *et al.*, 2008) включает в себя чередование структурных слоев баратовита  $KLi_3Ca_7Ti_2[Si_6O_{18}](OH,F)$  (Сандомирский и др. 1976, Menchetti, Sabelli 1979) и березанскита  $KLi_3Ti_2[Si_{12}O_{30}]$ . Примечательно то, что все три минерала – фэйзиевит, баратовит (Дусматов и др. 1975), березанскит (Паутов, Агаханов 1997) – впервые были описаны с щелочного массива Дарай-Пиёз. Сравнительная характеристика этих минералов приведена в таблице (табл. 3).

Образец с фэйзиевитом хранится в Минералогическом музее имени А.Е. Ферсмана РАН (г. Москва).

### Благодарности

Авторы благодарят Р.У. Сабирову за помощь в проведении полевых работ на массиве Дарай-Пиёз и И.В. Пекова, Д.И. Белаковского за ценные советы и помощь в написании данной работы

### Литература

- Дусматов В.Д. К минералогии одного из массивов щелочных пород // В сб.: Щелочные породы Киргизии и Казахстана. Фрунзе. 1968. С. 134–135.
- Дусматов В.Д. Минералогия щелочного массива Дарай-Пиёз (Южный Тянь-Шань). Автореферат диссертации. М. 1971. 18 с.
- Дусматов В.Д., Семенов Е.И., Хомяков А.П., Быкова А.В., Джафаров Н.Х. Баратовит – новый минерал //ЗВМО, 1975. вып. 5. С. 580–582.
- Паутов Л.А., Агаханов А.А. Березанскит  $KLi_3Ti_2Si_{12}O_{30}$  – новый минерал //ЗВМО, 1997. №4, С. 75-80.
- Сандомирский П.А., Симонов М.А., Белов Н.В. Кристаллическая структура баратовита,  $KLi_3Ca_7Ti_2[Si_6O_{18}]_2F_2$ , Докл. АН СССР. 1976. Т. 231. С. 615–618.
- Belakovskiy D.I. Die seltene Mineralien von Dara-i-Pioz im Hochgebirge Tadshikistans // Lapis. 1991. Jg. 16. 12. P. 42–48.
- Menchetti S., Sabelli C. The crystal structure of baratovite //Am.Miner. 1979. v. 64. №3-4. 383–389.
- Uvarova Y.A., Sokolova E.V., Hawthorne F.C., Agakhanov A. A., Leonid A. Pautov L. A. The crystal structure of faizievite  $K_2Na(Ca_6Na)Ti_4Li_6Si_{24}O_{66}F_2$ , a novel structure based on intercalated blocks of the baratovite and

## ГИМАРАЗСИТ – НОВЫЙ Zn-ДОМИНАНТНЫЙ МОНОКЛИННЫЙ МИНЕРАЛ ГРУППЫ РОШЕРИТА ИЗ ИТИНГИ (МИНАС ЖЕРАИС, БРАЗИЛИЯ)

Н.В. Чуканов

*Институт проблем химической физики, Черноголовка, chukanov@icp.ac.ru*

Д. Атенцио

*Институт геологических наук, Университет Сан Пауло, Сан Пауло, Бразилия, datencio@usp.br*

А.Е. Задов

*НПО «Регенератор», Москва*

Л.А.Д. Менезес Фильо

*Праго, Бело Оризонте, Бразилия*

Ж.М.В. Кутиньо

*Институт геологических наук, Университет Сан Пауло, Сан Пауло, Бразилия*

Новый моноклинный Zn-доминантный минерал группы рошерита гимараэсит<sup>1</sup>,  $\text{Ca}_2(\text{Zn}, \text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Be}_4(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , найден в составе поздних прожилков в гранитном пегматите близ р. Пиауи (округ Итинга, Минас Жераис, Бразилия) в ассоциации с альбитом, микроклином, кварцем, опалом, эльбаитом, шерлом, лепидолитом, зосфоритом, мораэзитом, салеитом, занацциитом и Fe-доминантным минералом группы рошерита. Гимараэсит эпитактически нарастает на кристаллы других минералов группы рошерита, образуя на них периферические зоны шириной до 0.1 мм. Новый минерал прозрачный, его цвет светло-коричневый, черта белая, блеск стеклянный. Вычисленная плотность 2.963 г/см<sup>3</sup>. Гимараэсит под микроскопом бесцветный, оптически двуосный, отрицательный;  $n_p = 1.596(2)$ ,  $n_m = 1.600(2)$ ,  $n_g = 1.602(2)$ ,  $2V_{\text{изм.}} = 55-75$ ,  $2V_{\text{выч.}} = 70$ . Оптическая ось X совпадает с удлинением. Дисперсия не наблюдается. Химический состав (микросонд, мас.%; пределы содержания даны в скобках): CaO 9.72 (9.61–9.79); MgO 4.00 (3.61–4.74); MnO 2.18 (0.89–3.26); FeO 2.65 (1.40–4.45); ZnO 19.06 (16.33–20.50); Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.70 (1.53–1.92); BeO (вычислено) 8.975; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 38.20 (37.61–38.78); H<sub>2</sub>O (вычислено по разности) 13.515, сумма 100.00. Эмпирическая формула, рассчитанная на шесть групп PO<sub>4</sub>, имеет вид:  $\text{Ca}_{1.93}(\text{Zn}_{2.61}\text{Mg}_{1.11}\text{Fe}_{0.41}^{2+}\text{Al}_{0.37}\text{Mn}_{0.34}\Sigma_{4.84}\text{Be}_{4.00}(\text{PO}_4)_{6.00}(\text{OH})_{3.90}\cdot 6.41\text{H}_2\text{O}$ . Сильные линии дебаеграммы [ $d$ , Å ( $I$ , %) ( $hkl$ ): 9.98 (90) (110), 5.98 (100) (020), 4.82 (80) (310), 3.152 (90) (-202), 3.052 (70) (-421), 2.961 (70) (040, 202), 2.841 (70) (-312), 2.708 (80) (041)]. Найденные из порошкограммы параметры моноклинной (пр. гр. C2/c) ячейки равны:  $a = 15.98(1)$  Å,  $b = 11.84(2)$  Å,  $c = 6.63(1)$  Å,  $\beta = 95.15(15)^\circ$ ,  $V = 1249.4(34)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 2$ . Минерал назван в честь Джалмы Гимараэса (1895–1973), внесшего значительный вклад в изучение минералогии и геологии Бразилии. Голотипный образец гимараэсита хранится в Музее геологических наук Университета Сан Пауло, Бразилия; инвентарный номер DR 591.

В статье 3 таблицы, 3 рисунка и список литературы из 16 названий.

### Введение

Как показали исследования последних лет (Atencio *et al.*, 2005; Чуканов и др., 2006), водные бериллофосфаты группы рошерита являются характерными минералами поздних парагенезисов, связанных с богатыми фосфором редкометалльными гранитными пегматитами. Эти минералы характеризуются широкими вариациями химического состава, отражающими разнообразие локальных условий минералообразования. Известны Mn-, Mg-, Fe<sup>2+</sup>- и Fe<sup>3+</sup>-доминантные моноклинные минералы группы рошерита (соответственно рошерит, занацциит, грайфенштейнит и руифранкоит), а также два триклинных члена этой группы (атенсиоит и футмайнит). Описываемый в настоящей публикации новый Zn-доминантный

моноклинный член группы рошерита гимараэсит,  $\text{Ca}_2(\text{Zn}, \text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Be}_4(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , назван в память о бразильском минералоге Джалме Гимараэсе (1895–1973), известном как автор многих статей и книг по геологии, петрологии, минералогии и геохимии. В частности, им был впервые изучен минерал арроядит и описан ряд недостаточно изученных минералов («эшвегеит», «джианнетит» и «пеннаит»). В честь Дж. Гимараэса был назван минерал «джалмаит», позже переименованный в уранмикролит. Более 50 лет назад (Gagarin, Suoto, 1949) название «гимараэсит» было применено к сомнительному минералу, недостаточно полно описанному Дж. Гимараэсом (Guimaraes, 1926).

Голотипный образец гимараэсита (инвентарный номер DR 591) хранится в Музее

<sup>1</sup> Утверждено Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации (КНМНК ММА) 1 сентября 2006 г., № 2006-028



Рис. 1. Место находки гимараэсита

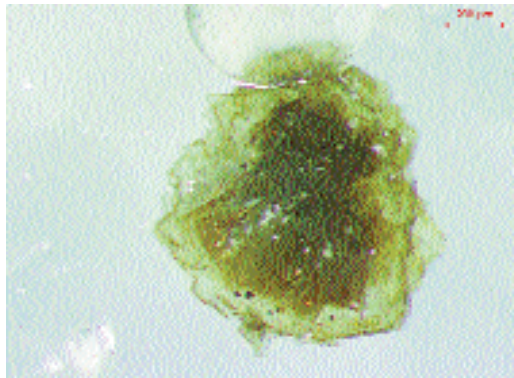


Рис. 2. Кристаллы минералов группы рошерита с периферическими зонами гимараэсита

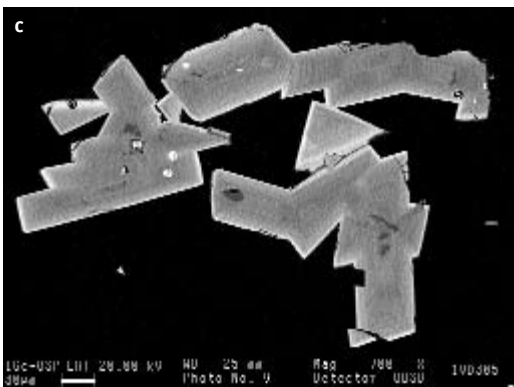
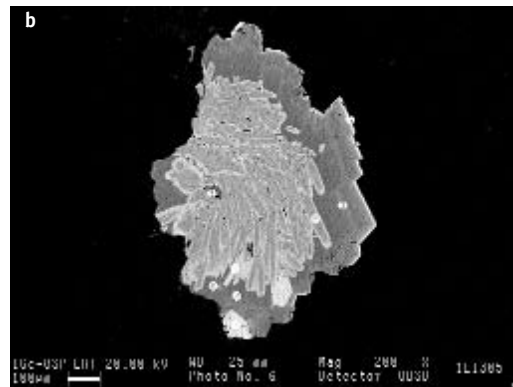
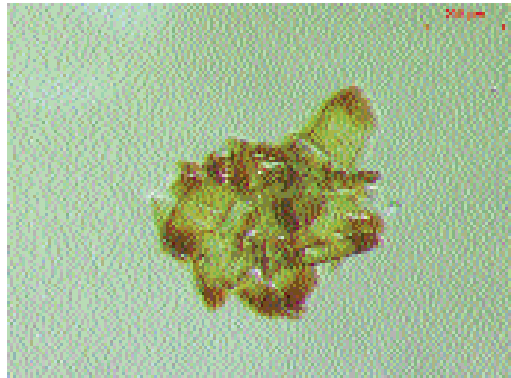


Рис. 3. Анишфы минералов группы рошерита с периферическими зонами гимараэсита. СЭМ-фото. Точки анализов 3 (на рис. 3а), 6 (на рис. 3б) и 4 (на рис. 3с) соответствуют гимараэситу

Таблица 1. Химический состав гимараэсита

Компонент	Содержание, мас. %	Диапазон	Эталон
CaO	9.72	9.61–9.79	Волластонит
MgO	4.00	3.61–4.74	Диопсид
MnO	2.18	0.89–3.26	MnTiO <sub>3</sub>
FeO	2.65	1.40–4.45	Fe
ZnO	19.06	16.33–20.50	Zn
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.70	1.53–1.92	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	38.20	37.61–38.78	LaPO <sub>4</sub>
BeO*	(8.975)		
H <sub>2</sub> O*	(13.515)		
<b>Сумма</b>	<b>(100.00)</b>		

Примечание: \*Вычислено, см. комментарии в тексте

геологических наук при Институте геологических наук Университета Сан Пауло (Бразилия).

### Место нахождения и физические свойства

Новый минерал найден в составе поздних прожилков в богатом фосфатами гранитном пегматите близ реки Пиауи (префектура Итинга, штат Минас Жераис, Бразилия); географические координаты места находки — 16°36'47" с. ш., 41°45'55" з. д. (рис. 1). Минерал находится в ассоциации с альбитом, микроклином, кварцем, опалом, эльбаитом, шерлом, лепидолитом, мораззитом, салеитом, занацицитом и Fe-доминантным минералом группы рошерита.

Гимараэсит эпитаксически нарастает на кристаллы других минералов группы рошерита, образуя на них периферические зоны шириной до 0.1 мм (рис. 2, 3). Состав внутренних зон кристаллов отвечает занацициту (Mg-доминантные), грайфенштейниту или руифранкоиту (Fe-доминантные). Новый минерал прозрачный, его цвет светло-коричневый, черта белая, блеск стеклянный. Не люминесцирует в УФ-лучах. Твёрдость не определялась; предположительно она составляет около 4<sup>1/2</sup> (по аналогии с другими минералами группы рошерита). Плотность также не удалось измерить из-за тонкой зональности кристаллов. Вычисленная плотность равна 2.963 г/см<sup>3</sup>. Спайность совершенная по {100} и менее совершенная по {010}. Излом неровный. Кристаллы с зонами гимараэсита плохо образованы. Они призматические, уплощены по (100) и имеют габитусные формы {100}, {001} и {010}. Двойникование не наблюдается.

Гимараэсит под микроскопом бесцветный, оптически двуосный, отрицательный;  $n_p = 1.596(2)$ ,  $n_m = 1.600(2)$ ,  $n_g = 1.602(2)$ ,

Таблица 2. Порошковая диаграмма гимараэсита

$I_{\text{изм.}}$	$d_{\text{изм.}}$	$d_{\text{выч.}}$	$hkl$
90	9.48	9.50	110
10	7.93	7.96	200
100	5.98	5.92	020
20	5.30	5.29	111
80	4.82	4.84	310
30	4.41	4.41	021
60	3.358	3.345	-131
90	3.152	3.151	-202
70	3.052	3.046	-421
70	2.961	2.960	040
		2.957	202
70	2.841	2.838	-312
60	2.798	2.797	331
80	2.708	2.701	041
20	2.528	2.530	241
		2.528	-132
40	2.423	2.427	-422
		2.421	620
50	2.360	2.354	-512
60	2.272	2.274	-441
		2.268	531
70	2.223	2.227	332
		2.217	-151
60	2.161	2.162	350
		2.158	512, -242
10	2.093	2.092	242
50	2.036	2.039	-223
		3.033	-622, 351
50	1.985	1.989	800
		1.983	602
30	1.925	1.928	-641
		1.927	-133
		1.922	-152
20	1.869	1.868	-513
20	1.826		
40	1.781		
40	1.751		
30	1.699		
70	1.642		
20	1.612		
30	1.587		

$2V_{\text{изм.}} = 55-75$ ,  $2V_{\text{выч.}} = 70$ . Оптическая ось X совпадает с удлинением. Погасание прямое по отношению к удлинению кристаллов. Дисперсия не наблюдается.

Для тёмных (Fe-доминантных) зон средний показатель преломления  $n > 1.64$ , что, скорее всего, связано с высоким содержанием Fe<sup>3+</sup> (по аналогии с Fe<sup>3+</sup>-доминантным минералом группы рошерита руифранкоитом — Atencio *et al.*, 2007).

### Химический состав

Анализ химического состава производится на ЭДС при ускоряющем напряжении 15.7 кВ, токе 0.5 нА и диаметре элект-

Таблица 3. Сравнительные данные для гимараэсита и изоструктурных с ним минералов (все – моноклинные, пр. гр.  $C2/c$ )

Название	Гимараэсит <sup>1</sup>	Руифранкоит <sup>2</sup>	Рошерит <sup>3</sup>	Занацит <sup>4</sup>	Грайфенштейнит <sup>5</sup>
Формула	$\text{Ca}_2(\text{Zn,Mg,Fe})_5\text{Be}_4(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_2\text{Mn}_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Mn}, \text{Mg})_4\text{Be}_4(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_2\text{Mn}_3\text{Be}_4(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_2\text{Mg}_3\text{Be}_4(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_2\text{Fe}_5^{2+}\text{Be}_4(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Параметры элементарной ячейки	$a = 15.98 \text{ \AA}$ $b = 11.84 \text{ \AA}$ $c = 6.63 \text{ \AA}$ $\beta = 95.15^\circ$	$a = 15.92 \text{ \AA}$ $b = 11.91 \text{ \AA}$ $c = 6.61 \text{ \AA}$ $\beta = 96.47^\circ$	$a = 15.935 \text{ \AA}$ $b = 11.963 \text{ \AA}$ $c = 6.664 \text{ \AA}$ $\beta = 94.77^\circ$	$a = 15.874 \text{ \AA}$ $b = 11.854 \text{ \AA}$ $c = 6.605 \text{ \AA}$ $\beta = 95.35(3)^\circ$	$a = 15.903(7) \text{ \AA}$ $b = 11.885(7) \text{ \AA}$ $c = 6.677(3) \text{ \AA}$ $\beta = 94.68^\circ$
Оптические характеристики	$n_p = 1.596(2)$ $n_m = 1.600(2)$ $n_g = 1.602(2)$ $2V_{\text{изм.}} = 55 - 75^\circ$ $2V_{\text{выч.}} = 70^\circ$	$n_p = 1.665(3)$ $n_m = 1.665(3)$ $n_g = 1.682(3)$ $2V_{\text{изм.}} = 0 - 10^\circ$ $2V_{\text{выч.}} = 0^\circ$	$n_p = 1.624$ $n_m = 1.639$ $n_g = 1.643$ $2V_{\text{выч.}} = 54^\circ$	$n_p = 1.606(2)$ $n_m = 1.610(2)$ $n_g = 1.620(2)$ $2V_{\text{изм.}} = 72$ $2V_{\text{выч.}} = 65.0^\circ$	$n_p = 1.624(2)$ $n_m = 1.634(2)$ $n_g = 1.638(2)$ $2V_{\text{изм.}} = 80(10)$ $2V_{\text{выч.}} = 64(20)^\circ$

Примечание: Видообразующие октаэдрические катионы выделены полужирным шрифтом.

<sup>1</sup>Настоящая работа; <sup>2</sup>Atencio *et al.*, 2007; <sup>3</sup>Расцветаева и др., 2005; Larsen, Berman, 1934; <sup>4</sup>Leavens *et al.*, 1990; <sup>5</sup>Чуканов и др., 2002; Расцветаева и др., 2002. Rastsvetaeva *et al.*, 2002.

тронного пучка 8 мкм. Результаты анализа (среднее из трёх измерений) приведены в таблице 1. Содержания К, Sr, Ba, Pb, Ni, Cr, Si, S, V, F – ниже порогов обнаружения для этих элементов. Содержание ВеО вычислено из условия Ве:Р = 2:3 (устойчивое соотношение для минералов группы рошерита, диктуемое особенностями их кристаллической структуры). Содержание H<sub>2</sub>O определено по разности. Эмпирическая формула гимараэсита, рассчитанная на 6 групп PO<sub>4</sub> с учётом условия баланс зарядов, имеет вид Ca<sub>1.93</sub>(Zn<sub>2.61</sub>Mg<sub>1.11</sub>Fe<sup>2+</sup><sub>0.41</sub>Al<sub>0.37</sub>Mn<sub>0.34</sub>)<sub>Σ4.84</sub>Be<sub>4.00</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6.00</sub>(OH)<sub>3.90</sub>·6.41H<sub>2</sub>O. Упрощённая формула – Ca<sub>2</sub>(Zn,Mg,Fe)<sub>5</sub>Be<sub>4</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O. Цинковому конечному члену с идеализированной формулой Ca<sub>2</sub>Zn<sub>5</sub>Be<sub>4</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O отвечает состав: СаО 9.43, ZnO 34.22, ВеО 8.41, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 35.81, H<sub>2</sub>O 12.12, сумма 99.99 мас.%. Сходимость состава, оптических характеристик и плотности гимараэсита хорошая: 1 – (K<sub>p</sub>/K<sub>c</sub>) = 0.031.

### Дифрактометрические данные

Согласно данным по микродифракции на микроскопических монокристаллах, гимараэсит моноклинный, пр. гр.  $C2/c$ ; параметры элементарной ячейки:  $a = 15.9(1) \text{ \AA}$ ,  $b = 11.85(15) \text{ \AA}$ ,  $c = 6.7(1) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 95(1)^\circ$ ,  $V = 1258(25) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ . Дебаеграмма минерала (табл. 2) была получена в камере РКГ 86 (диаметром 86 мм) с использованием CuK $\alpha$ -излучения. С этой целью предварительно методом полуквантованного микрозондового ана-

лиза были отобраны наиболее обогащённые цинком частицы минерала, размером 0.05–0.1 мм. Параметры элементарной ячейки гимараэсита, определённые из порошкограммы, равны:  $a = 15.98(1) \text{ \AA}$ ,  $b = 11.84(2) \text{ \AA}$ ,  $c = 6.63(1) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 95.15(15)^\circ$ ,  $V = 1249.4(34) \text{ \AA}^3$ .

### Кристаллохимия группы рошерита

Кристаллическая структура минералов группы рошерита изучалась неоднократно (Fanfani *et al.*, 1975, 1977; Расцветаева и др., 2002, 2004а, 2004б, 2005; Барина и др., 2004; Чуканов и др., 2006). В её основе лежит трёхмерный гетерополиэдрический каркас, состоящий из бесконечных цепочек из Р- и Ве-тетраэдров и октаэдров двух типов (M и D), центрированных Mg, Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al или Zn. Крупные полости каркаса заключают в себе ионы кальция, центрирующие семивершинники CaO<sub>4</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>X (где X – OH или H<sub>2</sub>O), и молекулы воды. Моноклинные члены группы рошерита характеризуются просторанственной группой  $C2/c$ ; их общая кристаллохимическая формула имеет вид Ca<sub>2</sub>D<sub>2</sub>M<sub>4</sub>Be<sub>4</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>6</sub>·4H<sub>2</sub>O, где M – октаэдрические катионы (Mg, Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al, Zn). Октаэдрическая D-позиция существенно (≥ 50%) вакантна и частично занята относительно более крупными двухвалентными катионами Mg, Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Zn. Таким образом, общее количество октаэдрических катионов на формулу ≤ 5.

Моноклинные минеральные виды группы рошерита различаются по преобладаю-

цему октаэдрическому катиону (табл. 3). В гимараэзите таким катионом является цинк. В структурно изученном Zп-содержащем грайфенштейните из Бразилии (Барина и др., 2004) весь цинк сконцентрирован в позиции М. По аналогии можно предположить, что это же имеет место в гимараэзите. Среди моноклинных минералов группы рошерита гимараэзит имеет наибольшую величину параметра а элементарной ячейки и наименьшее значение показателя преломления  $n_g$  (табл. 3).

Триклинные минералы группы рошерита (Fanfani *et al.* 1977, Расцветаева и др., 2004b, Chukanov, Mõskel, 2005, Чуканов и др., 2006) образуют вторую подгруппу. В этих минералах понижение симметрии связано с разделением позиций D и M на пары неэквивалентных и по-разному заселённых позиций.

## Благодарности

Авторы благодарны фонду FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) за финансовую поддержку исследований (грант 2005/53741-1), членам Комиссии по новым минералам, номенклатуре и классификации ММА за полезные комментарии, В.Т. Дубинчуку за данные по микродифракции электронов, А.Н. Некрасову и И.Дж. Сайегу за выполненные микрондоскопические анализы.

## Литература

- Барина А.В., Расцветаева Р.К., Чуканов Н.В., Петрашко А. Уточнение кристаллической структуры Zп-содержащего грайфенштейнита // Кристаллография. **2004**. Т. 49. № 6. С. 1037–1041.
- Расцветаева Р.К., Гурбанова О.А., Чуканов Н.В. Кристаллическая структура грайфенштейнита  $\text{Ca}_2\text{Be}_4(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_5(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  // Докл. РАН. **2002**. Т. 383. № 3. С. 354–357.
- Расцветаева Р.К., Барина А.В., Чуканов Н.В. Упорядочение Mn и Mg в минералах группы рошерита // Фазовые превращения в твердых растворах и сплавах. Сборник трудов 7-го Межд. симпозиума ОМА-2004, **2004а**. С. 243–246.
- Расцветаева Р.К., Барина А.В., Чуканов Н.В., Петрашко А. Кристаллическая структура высокомагнезильного триклинного аналога грайфенштейнита // Докл. РАН. **2004б**. Т. 398. № 4. С. 492–497.
- Расцветаева Р.К., Барина А.В., Чуканов Н.В., Верин И.А. Кристаллическая структура рошерита // Докл. РАН. **2005**. Т. 403. № 6. С. 768–771.
- Чуканов Н.В., Мёккель Ш., Расцветаева Р.К., Загов А.Е. Грайфенштейнит  $\text{Ca}_2\text{Be}_4(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_5(\text{PO}_4)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  — новый минерал из Грайфенштейна, Саксония // Зап. ВМО. **2002**. Ч. 131. № 4. С. 47–52.
- Чуканов Н.В., Расцветаева Р.К., Мёккель Ш., Загов А.Е., Левицкая Л.А. Группа рошерита и её новый представитель атенсиоит  $\text{Ca}_2\text{Fe}^{2+} \square \text{Mg}_2\text{Fe}^{2+}\text{Be}_4(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  // Новые данные о минералах. **2006**. Т. 41. С. 18–25.
- Atencio D., Coutinho J.M.V., Menezes L.A.D. Filho. Roscherite-group minerals from Brazil // Axis. **2005**. V. 1(6). P. 1–18 ([www.MineralogicalRecord.com](http://www.MineralogicalRecord.com)).
- Atencio D., Chukanov N.V., Coutinho J.M.V., Menezes Filho L.A.D., Dubinchuk V.T., Mõskel St. Ruifrancoite, a new  $\text{Fe}^{3+}$ -dominant monoclinic roscherite-group mineral, from Galiléia, Minas Gerais, Brazil // Canad. Mineral. **2007**. V. 45. P. 1301–1312.
- Chukanov N.V., Moeckel St. Atencioite,  $\text{Ca}_2\text{Fe}^{2+} \square \text{Mg}_2\text{Fe}^{2+}\text{Be}_4(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , a new mineral // Thes. III Int. Symp. «Mineral Diversity — Research and Preservation». Sofia, October 7–10, **2005**. P. 16.
- Fanfani L., Nunzi A., Zanazzi P.F., Zanzari A.R. The crystal structure of roscherite // Tschermaks Miner. Petr. Mitt. **1975**. V. 22. P. 266–277.
- Fanfani L., Zanazzi P.F., Zanzari A.R. The crystal structure of triclinic roscherite // Tschermaks Mineral. Petrogr. Mitt. **1977**. V. 24. P. 169–178.
- Gagarin G., Cuomo J.R. Algunas proposiciones sobre nomenclatura mineralógica // Comunic. Instituto Nac. Invest. Cienc. Nat. del Museo Argentino Cienc. Natl. «Bernardino Rivadavia», Cienc. Geol. **1949**. V. 1(5). 21 p. (исп.).
- Guimarães D. Nota prévia sobre um mineral radio-activo // Boletim do Instituto Brasileiro de Ciências, Rio de Janeiro. **1926**. V. 2(1). P. 46–48 (порт.).
- Larsen, E.S., Berman, H. The microscopic determination of the nonopaque minerals. Second edition. U.S. Geological Survey, Bulletin. **1934**. 848 p.
- Leavens P.B., White J.S., Nelen Y.A. Zanazziite, a new mineral from Minas Gerais, Brazil // Mineral. Record. **1990**. V. 21. P. 413–417.

## ФЕРРОСКУТТЕРУДИТ<sup>1</sup>, НИКЕЛЬСКУТТЕРУДИТ И СКУТТЕРУДИТ НОРИЛЬСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Э.М. Спиридонов

Московский Государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, mineral@geol.msu.ru

Ю.Д. Гриценко

Московский Государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, mineral@geol.msu.ru

Впервые установленные в Норильском рудном поле триарсениды Co-Ni-Fe – скуттерудит, никельскуттерудит и ферроскуттерудит – развиты в метаморфогенно-гидротермальных апофиллит-ангидрит-доломит-кальцитовых жилах в ближайшей периферии залежей магматических сульфидных Co-Ni-Cu руд, захваченных эпигенетическим метаморфизмом в условиях пренит-пумпеллиитовой и цеолитовой фаций. Триарсениды Co-Ni-Fe выросли на агрегаты диарсенидов Co-Ni и неоднократно чередуются с ними в сложно-зональных сростаниях. Норильские скуттерудит и никельскуттерудит, как и скуттерудит и ферроскуттерудит, образуют непрерывные серии твёрдых растворов; в составе этих триарсенидов проявлен чёткий антагонизм Ni-Fe и сильные положительные связи Co-Fe и Co-S. В статье 6 таблиц, 12 рисунков, список литературы из 25 названий.

Для халькогенидов – сульфидов, сульфидарсенидов, арсенидов и иных соединений железа, кобальта и никеля характерны широкие пределы изоморфных замещений Fe-Co-Ni. Нередко это непрерывные серии твёрдых растворов – дисульфиды: пирит – ваэсит NiS<sub>2</sub> – каттьерит CoS<sub>2</sub>, диарсениды: саффлорит CoAs<sub>2</sub> – раммельсбергит NiAs<sub>2</sub> – лёллинит FeAs<sub>2</sub> (Крутов, 1959; Шишкин, 1973; Воган, Крейг, 1981; Виноградова, 2002; Гриценко, Спиридонов, 2005а). К ним теперь относятся и триарсениды: скуттерудит CoAs<sub>3</sub> – никельскуттерудит NiAs<sub>3</sub> – ферроскуттерудит (Fe,Co)As<sub>3</sub>. Ранее был известен непрерывный ряд скуттерудит-никельскуттерудит (Годовиков, 1959; Roseboom, 1962; Radcliffe, 1968; Petruk *et al.*, 1971; Рудашевский и др., 1975, 1976; Воган, Крейг, 1981; Виноградова, 2002; Fanlo *et al.*, 2004).

Минералы группы скуттерудита MeAs<sub>3</sub> возникают при низкой активности сульфидной серы в гидротермальных растворах и представляют собой наиболее богатые мышьяком арсениды Co-Ni-Fe. Вероятно поэтому они образуются в карбонатных жилах, тогда как в гидротермально изменённых перидотитах, базитах и в метаморфизованных сульфидных Cu-Ni рудах обычны более бедные мышьяком маухерит Ni<sub>11</sub>As<sub>8</sub> и никелин NiAs.

Арсенидная минерализация развита в метаморфизованных сульфидных Ni-Cu рудах (Шнейдерхён, 1953; Яковлев и др., 1981; Нутто пен, 1999; Спиридонов и др., 2000; Гриценко, Спиридонов, 2005а,б, 2006). Минералы группы скуттерудита характерны для пятиметальной рудной формации и арсенидных

Ni-Co месторождений (Шнейдерхён, 1953; Крутов, 1959; Petruk *et al.*, 1971; Шишкин, 1973; Рудашевский и др., 1975, 1976; Fanlo *et al.*, 2004).

### Норильское рудное поле

Норильское рудное поле расположено в плитном чехле дорифейской Восточно-Сибирской платформы, в зоне краевых дислокаций. Магматические сульфидные Co-Ni-Cu руды сопряжены с интрузивами оливиновых габбро-долеритов трапшовой формации P<sub>2</sub> – T<sub>1</sub> (Годлевский, 1959; Додин и др., 1971; Генкин и др., 1981 и др.), их возраст 250±5 млн. лет. Магматические сульфиды слагают вкрапленность в придонных и в иных участках рудоносных Норильского, Талнахского и Таймырского интрузивов, сплошные залежи, жилы и импреньяции преимущественно в нижних эндоконтактных и прилегающих экзоконтактных зонах этих интрузивов. Месторождение Норильск-1 отрабатывается рудниками Заполярный, Медвежий ручей и Угольный Ручей; Талнахское – рудниками Маяк, Комсомольский, Скалистый; Таймырское (Октябрьское) – рудниками Октябрьский и Комсомольский.

Первичные руды сложены агрегатами минералов групп пирротина и халькопирита, кубанитом и пентландитом – продуктами твердофазовых превращений сульфидных твёрдых растворов Mss и Iss, кристаллизовавшихся из сульфидных расплавов, а также магнетитом. Состав первичных руд варьирует от пентландит-троилит-пирротино-

<sup>1</sup> Ферроскуттерудит как новый минерал утвержден Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной Минералогической Ассоциации 24 октября 2006 года. Голотип хранится в Минералогическом музее РАН им. А.Е. Ферсмана (№ 3440/1).

вого, пентландит-пирротин-кубанитового, пентландит-кубанит-галнахитового до пентландит-халькопиритового (Годлевский, 1959; Кулагов, 1968; Генкин и др., 1981 и др.). При послемагматической флюидной переработке произошла перекристаллизация магматических сульфидных руд, и возникли собственные минералы Pd, Pt, Au, Ag (Спиридонов и др., 2004).

Участки Восточно-Сибирской платформы, покрытые многокилометровой толщей базальтов и туфов базальтов и насыщенные интрузивами долеритов и габбро-долеритов трапповой формации, испытали существенное погружение. Трапповая формация и подтрапповые толщи были захвачены региональным метаморфизмом погружения: 1 стадия – в условиях цеолитовой фации (изотопный Rb/Sr возраст по апофиллиту 232 – 212 млн. лет); 2 стадия – в условиях от цеолитовой до пренит-пумпеллиитовой фаций (Rb/Sr возраст по апофиллиту и по метабазальтам 212 – 196 млн. лет); 3 стадия – в условиях от высоко- до низкотемпературной части цеолитовой фации (изотопный Rb/Sr возраст по апофиллиту и по метабазальтам 187 – 122 млн. лет) (Спиридонов и др., 2000). С этим метаморфизмом сопряжены медно-цеолитовая формация, месторождения исландского шпата и цеолитов, агатовая и датолитовая минерализация, проявления барита, целестина, сульфидов Zn, Pb, Cu, Ag (рис. 1).

Процессы низкоградного метаморфизма захватили также норильские рудоносные интрузивы и сульфидные руды. Метагаббро-до-

лериты содержат пренит, пумпеллиит, эпидот, альбит, калишпат, титанит, минералы групп хлорита и серпентина, карбонаты, гидротранаты, актинолит, грюнерит, седадонит, ильваит, разнообразные цеолиты, апофиллит, ксонотлит, пектолит, датолит, окенит, таумасит. Метаморфизованные сульфидные руды содержат пирит, Ni-пирит, валлериит, игольчатый кубанит, борнит, миллерит, хизлевудит, халькозин, макинавит, гематит, ильваит, виоларит, годлевскит, кобальтпентландит, точилит, вьяльсовит, арсениды и антимониды никеля и кобальта и др. (Спиридонов и др., 2000). Типичные парагенезы метаруд: Ni-пирит + магнетит + валлериит, халькопирит + миллерит + захирит, борнит + миллерит, халькозин + хизлевудит. Агрегаты халькозина пересекают, обрастают и замещают агрегаты борнита.

### Антимонидно-арсенидная минерализация

Метаморфогенно-гидротермальная вкрапленная и жильная минерализация интенсивно проявлена в зонах трещиноватости, вблизи тектонических нарушений, особенно в зоне крупного Норильско-Хараелахского разлома, а также среди осадочных пород, богатых ангидритом и глинистыми минералами. Аرسениды Ni, Co и Fe и антимониды Ni в виде рассеянной вкрапленности развиты среди метаморфизованных сульфидных Co-Ni-Cu руд, слагают гнезда и вкрапленность в гидротермальных жилах (Годлевский, 1959; Кула-

Прогнозы	1 стадия	2 стадия	3 стадия	
	Цеолитовая фация T-200-300°C P-12 kb	Пренит-пумпеллиитовая фация T-390-950°C P-2-2.5 kb	Цеолитовая фация T-190-150°C P-2-0.5 kb	
Возраст Ma	Rb/Sr возраст, Ma (апофиллит)			
245-249	232-212	212-196	187-164	164-122
<b>Метаморфогенно-гидротермальная минерализация</b>				
<b>Метаморфизованные руды</b>				
- магнетит, пирит, вальпегит, гематит, пиллит - халькопирит, борнит, халькозин, валлериит, игольчатый кубанит - миллерит, хизлевудит, годлевскит, Co-интродуцит, Ni-пирит				
Цеолиты Агаты Аметист Датолит	Бет-гранат Датолит	Si-цеолитовая фация Ангидритовые ... жилы с сульфидами Fe, Cu, Zn, Pb, Ni, Co		Цеолиты, агаты Малахитовый лист
			Вкрапленность в жилах с Ni, Co, Ag, Sn, Bi, Au, U	

Рис. 1. Последовательность и изотопный возраст процессов регионального низкоградного метаморфизма в Норильском регионе Восточно-Сибирской платформы.

гов, 1968; Додин и др., 1971; Изоитко, Вяльсов, 1973; Дистлер и др., 1975; Генкин и др., 1981; Гриценко, Спиридонов, 2005а,б, 2006). Триарсениды Co-Ni-Fe в Норильском рудном поле установлены нами впервые.

Хлорит-карбонатные и карбонатные (с пренитом и кварцем) и апофиллит-ангидрит-карбонатные жилы с антимонидами и арсенидами развиты на всех месторождениях рудного поля. Они многочисленны в Талнахском, в восточной части Октябрьского месторождения (рудник Комсомольский) и в южной части месторождения Норильск-1 (рудник Медвежий ручей). Мощность жил — 0.3–150 см, длина — 0.1–15 м. Кальцит в жилах с арсенидами содержит сингенетичные включения растворов NaCl и MgCl<sub>2</sub> солёностью 6.5–12.6 % экв. NaCl. Давление и температура, определённые по этим включениям, варьируют от 0.9–0.5 до 0.1 кбар и от 216 до 127°C. Параметры P и T арсенидной минерализации соответствуют параметрам формирования цеолитовой фации. Изотопный возраст апофиллита из жил с арсенидами — 164 млн. лет — отвечает поздней стадии регионального метаморфизма погружения (Спиридонов и др., 2000).

Кальцитовые, кальцит-доломитовые и апофиллит-ангидрит-карбонатные жилы с арсенидами и антимонидами Ni-Co развиты только в пределах залежей метаморфизованных сульфидных Co-Ni-Cu руд и в их ближайшем окружении, на удалении в первые метры. Кальцитовые и ангидрит-кальцитовые жилы с самородным мышьяком и лёллинитом развиты как среди залежей метаморфизованных сульфидных руд, так и за их пределами. Источником рудных элементов для гидротермальной Co-Ni-Sb-As минерализации служили метаморфизируемые сульфидные Co-Ni-Cu руды.

История формирования жильной антимонидно-арсенидной минерализации сложная. С учётом соотношений дробления, пересечения, обрастания и замещения выделено три стадии её формирования, включающие 12 минеральных комплексов.

Антимонидно-арсенидная минерализация первой стадии ассоциирует с борнитсодержащими рудами; её общий тренд от моноарсенида Ni к ди- и триарсенидам Ni и Co завершается образованием самородного мышьяка. Первая стадия включает девять минеральных комплексов: 1-й — кобальтин-герсдорфит-маухерит-никелин-Sb-никелиновый; 2-й — маухерит-герсдорфит-никелиновый с Sb-никелином; 3-й — брейтгауптит-маухеритовый; 4-й — лёллин-

гит-раммельсбергит-брейтгауптит-никелиновый; 5-й — кобальтин-брейтгауптит-маухерит-никелиновый; 6-й — маухерит-брейтгауптит-Co-никелиновый; 7-й — раммельсбергит-никелиновый; 8-й — ди-триарсенидный с сафлоритом; 9-й — с самородным мышьяком и лёллинитом.

Антимонидно-арсенидная минерализация второй стадии развита среди метаруд, нередко обогащённых халькозином; характерно наличие самородных серебра и висмута, ртутистого серебра, пирарагарита, клаусталита и иных селенидов, уранинита. Вторая стадия включает 10-й — никелин-брейтгауптит-раммельсбергит-лёллинитовый с маухеритом и 11-й — Sb-никелин-брейтгауптитовый минеральные комплексы.

Сульфоарсенидно-сульфоантимонидная минерализация третьей стадии (12-й минеральный комплекс) ассоциирует с пирит- и марказитсодержащими метарудами.

Антимонидно-арсенидная минерализация существенно никелевая, что коррелируется с составом норильских руд. Обогащённые Co арсениды возникали периодически после кристаллизации существенного количества минералов Ni.

В агрегатах арсенидов и антимонидов в карбонатных жилах проявлены зоны геометрического отбора, что свидетельствует о кристаллизации арсенидов из нормальных растворов в открытом пространстве.

### Изученный материал и методы исследования

Изучены более 100 образцов карбонатных жил с арсенидной минерализацией из всех месторождений Норильского рудного поля, собранные авторами во время полевых работ 1998-2004 гг. и предоставленные геологами Норильского ГМК им. А.П. Завенягина — Э.А. Кулаговым, С.Н. Беяковым, Е.В. Середой, А.П. Готовым, В.В. Бутенко. Химические анализы минералов выполнены с помощью электронного микрозонда Camebax в лаборатории микрозондового анализа ИМГРЭ РАН аналитиком И.М. Куликовой, и в лаборатории микрозондового анализа кафедры минералогии МГУ аналитиком Н.Н. Кононковой. Фотографии в режиме отражённых электронов получили в лаборатории микрозондового анализа кафедры петрологии МГУ аналитики Н.Н. Коротаева и Е.В. Гусева. Рентгенограммы скуттерудита и никельскуттерудита получены на дифрактометре ДРОН-4.5 в рентгеновской лаборатории кафедры неорганической химии МГУ. Флю-

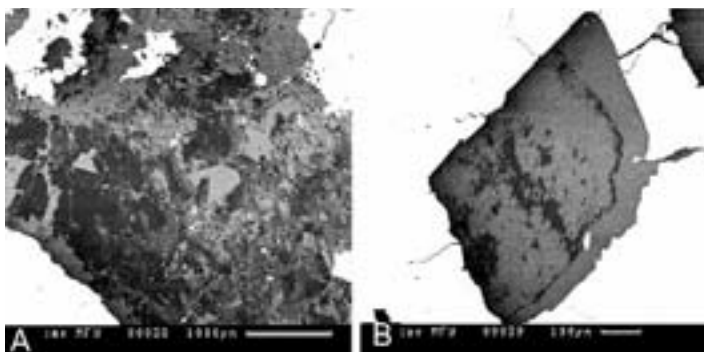


Рис. 2. Доломит, кальцит и ангидрит гидротермальных арсенидных жил.  
 А). Кристаллы доломита (тёмно-серый). Их оброс и частично заместил кальцит (серый). В промежутках – ксеноморфный ангидрит (светло-серый). Белые – арсениды.  
 В). Псевдоморфоза кальцита (светло-серый) по доломиту (тёмно-серый). Белый – сафлорит. Фотографии в отражённых электронах.

идные включения в кальците арсенидных жил изучили В.Ю. Прокофьев (ИГЕМ РАН) и Ю.Д. Гриценко.

В работе использована сквозная нумерация анализов минералов для всех образцов. Номера анализов в таблицах и на рисунках одни и те же.

### Скуттерудит, никельскуттерудит и ферроскуттерудит карбонатных жил

Триарсениды Co-Ni-Fe установлены только в одной из небольших систем ангидрит-кальцит-доломитовых жил у юго-восточного окончания Таймырского рудоносного интрузива (рудник Комсомольский). Здесь, в небольшой по мощности (около двух метров) зоне дробления, среди роговиков развита серия крутопадающих и наклонных карбонатных жил, мощностью до 7 см, с неравномерной вкрапленностью агрегатов арсенидов, а также светлоокрашенного сфалерита, магнетита, галенита. Размер выделений арсенидов от микроскопического до мелких гнёзд с поперечником до 21 мм. Размер выделений сульфидов и магнетита менее 2 мм. Голубоватый ангидрит слагает пластинчатые кристаллы, величи-

ной до 25 x 20 x 3 мм, и агрегаты пластин или изометричных зёрен в массе молочно-белого доломита и белого или розоватого кальцита. Совместно с ангидритом в отдельных участках жил развит фторгидроксилапофилит. Доломит  $\text{Ca}_{1,00-1,02}\text{Mg}_{0,76-0,96}\text{Fe}_{0,03-0,15}\text{Mn}_{0,00-0,07}(\text{CO}_3)_2$  слагает агрегаты кристаллов-ромбоздров, размером 0,3 – 2 мм. Его средний состав  $\text{Ca}_{1,01}\text{Mg}_{0,86}\text{Fe}_{0,10}\text{Mn}_{0,03}(\text{CO}_3)_2$ . Кальцит обрастает и замещает доломит вплоть до полных псевдоморфоз (рис. 2). Его средний состав  $\text{Ca}_{0,96}\text{Mn}_{0,02}\text{Fe}_{0,01}\text{Mg}_{0,01}(\text{CO}_3)$ .

Кальцит-доломитовые жилы с триарсенидами Co-Ni-Fe сложены главным образом агрегатами 8-го и в меньшей степени 7-го минеральных комплексов. В гнёздах, состоящих из ди- и триарсенидов, местами встречаются обломки никелина 7-го минерального комплекса, размером до 12 мм. Реликтовый никелин распределён крайне неравномерно. Никелин малосурьмянистый или без сурьмы содержит до 0,5 мас. % Co (табл. 1).

**Арсениды 1-го ритма.** Никелин интенсивно корродирован и оброс раммельсбергитом-1, который, в свою очередь, оброс и частью корродирован никельскуттерудитом-1 (рис. 3 – 6). Для раммельсбергита-1 характерно блочное строение (рис. 3 В,С). Границы

Рис. 3. Реликты никелина среди раммельсбергита-1, окружённого никельскуттерудитом-1.

А). Реликты никелина (розовый) среди раммельсбергита-1 (светлый), окружённого никельскуттерудитом-1 (более темный). Чёрные прожилки – кальцит и ангидрит. Полированный шлиф. Ширина поля зрения 0,8 мм.  
 В). Реликты никелина (серый, «пс», ан. 01, 02) среди раммельсбергита-1 различной сернистости (светло-серый до тёмно-серого, ан. 03,04), на который нарос никельскуттерудит-1 (белый, ан. 10, 11). Чёрные прожилки – кальцит. Фотографии в отражённых электронах.  
 С). Фрагмент рис. 3В.

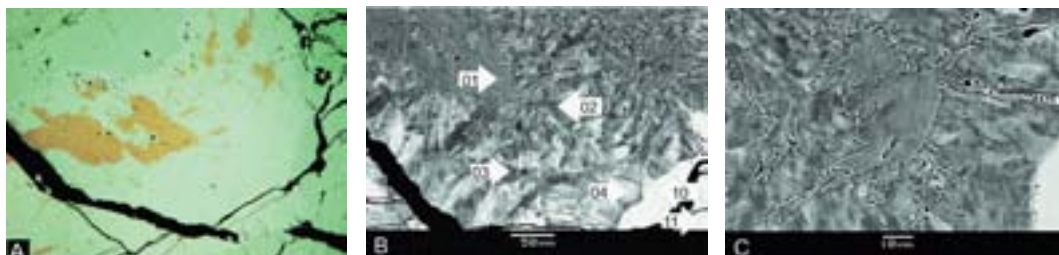


Таблица 1. Химический состав никелина 7-го минерального комплекса, раммельсбергита-1 и никельскуттерудита-1 8-го минерального комплекса карбонатных жил Норильского рудного поля

№ ан.	Элементы, мас. %							Формульные единицы в расчете на 2, 3 или 4 атома									
	Ni	Co	Fe	As	Sb	S	Se	Сумма	Ni	Co	Fe	Сумма	As	Sb	S	Se	Сумма
												кат.					анион.
<b>никелин (рис. 3)</b>																	
01	42.91	0.26	0.02	55.37	—	0.02	—	98.58	0.991	0.006	0.001	0.998	1.001	—	0.001	—	1.002
02	43.31	0.40	0.02	55.87	—	0.09	—	99.69	0.987	0.010	0.001	0.998	0.998	—	0.004	—	1.002
03	43.84	0.23	0.03	55.51	—	0.10	—	99.71	0.996	0.005	0.001	1.002	0.994	—	0.004	—	0.998
<b>раммельсбергит-1 (рис. 3)</b>																	
04	26.18	1.75	0.15	70.35	—	0.74	—	99.17	0.929	0.062	0.006	0.997	1.955	—	0.048	—	2.003
05	24.60	3.87	0.13	70.25	—	1.38	—	100.23	0.856	0.134	0.005	0.995	1.917	—	0.088	—	2.005
09	25.42	3.91	0.21	68.62	—	1.58	0.45	100.18	0.888	0.134	0.008	1.030	1.859	—	0.100	0.011	1.970
<b>раммельсбергит-2 (рис. 6)</b>																	
07	27.88	1.04	0.05	67.42	3.99	0.05	0.32	100.77	0.999	0.037	0.002	1.038	1.882	0.069	0.004	0.008	1.962
08	28.01	0.38	0.01	72.74	0.26	0.39	—	101.79	0.974	0.013	—	0.988	1.983	0.004	0.025	—	2.012
<b>никельскуттерудит-1 (рис. 3, 9 б)</b>																	
15	19.60	0.79	0.17	78.92	—	0.03	—	99.51	0.948	0.038	0.008	0.994	2.990	—	0.016	—	3.006
13	17.76	2.60	0.27	79.48	—	0.11	—	100.22	0.854	0.124	0.014	0.992	2.998	—	0.010	—	3.008
11	17.35	3.02	0.54	79.51	—	0.39	—	100.81	0.827	0.143	0.027	0.997	2.968	—	0.035	—	3.003
12	17.20	3.60	0.54	78.70	—	0.58	—	100.62	0.818	0.171	0.026	1.015	2.934	—	0.051	—	2.985
10	16.15	3.95	0.33	78.41	—	0.32	—	99.16	0.783	0.191	0.017	0.991	2.981	—	0.028	—	3.009
14	15.58	4.20	0.71	78.09	—	0.64	—	99.22	0.752	0.202	0.036	0.990	2.953	—	0.057	—	3.010

Примечание: — элемент не определялся или содержание элемента ниже чувствительности анализа. Номера в таблицах и на рисунках одни и те же

Таблица 2. Химический состав никельскуттерудита-2, скуттерудита-2 и Fe-скуттерудита-2

№ ан.	Элементы, мас. %							Формульные единицы в расчете на 2, 3 или 4 атома									
	Ni	Co	Fe	As	Sb	S	Se	Сумма	Ni	Co	Fe	Сумма	As	Sb	S	Se	Сумма
												кат.					анион.
<b>резко зональные кристаллы никельскуттерудит-2 – скуттерудит-2 (рис. 6, 7)</b>																	
17	19.19	2.09	0.40	78.59	—	0.10	0.33	100.70	0.917	0.099	0.020	1.037	2.943	—	0.009	0.012	2.963
18	18.69	1.99	0.54	80.31	—	0.09	0.13	101.76	0.876	0.093	0.027	0.996	2.989	—	0.008	0.005	3.002
19	17.89	2.62	0.83	79.88	—	0.09	0.12	101.43	0.844	0.123	0.041	1.007	2.980	—	0.008	0.004	2.992
20	15.71	4.77	0.82	79.65	0.08	0.32	0.12	101.46	0.741	0.223	0.040	1.004	2.963	0.002	0.028	0.004	2.996
16	11.24	6.94	1.56	77.95	0.07	0.38	0.41	98.56	0.605	0.332	0.079	1.016	2.934	0.002	0.033	0.015	2.984
21	9.87	9.17	1.75	76.23	0.14	1.21	—	98.37	0.476	0.442	0.089	1.007	2.884	0.002	0.107	—	2.993
22	7.45	12.06	1.97	78.70	0.31	1.40	—	101.89	0.347	0.560	0.096	1.003	2.871	0.007	0.119	—	2.997
23	5.92	12.95	1.88	77.00	0.14	1.89	—	99.78	0.281	0.610	0.093	0.984	2.851	0.002	0.163	—	3.016
<b>скуттерудит-2. Fe-скуттерудит-2 и никельскуттерудит-2. нарощие на резко зональные кристаллы</b>																	
<b>никельскуттерудита-2 – скуттерудита-2 (рис. 7, 9А)</b>																	
24	14.58	5.99	0.77	79.32	—	0.66	0.11	101.43	0.681	0.279	0.038	0.998	2.937	—	0.056	0.004	2.997
25	6.99	12.44	0.86	77.23	0.09	1.58	—	99.19	0.337	0.598	0.044	0.979	2.880	0.002	0.139	—	3.021
26	7.46	11.70	2.02	78.19	0.02	1.58	—	100.97	0.349	0.546	0.100	0.995	2.869	0.001	0.135	—	3.005
27	7.25	11.97	2.84	77.64	0.20	1.44	—	101.34	0.342	0.516	0.141	0.999	2.873	0.004	0.124	—	3.001
28	6.81	11.83	2.95	77.41	0.22	1.27	0.09	100.58	0.325	0.515	0.148	0.988	2.894	0.005	0.111	0.002	3.012
29	4.73	13.22	3.39	76.67	0.38	1.62	—	100.01	0.223	0.622	0.168	1.013	2.838	0.009	0.140	—	2.987
30	7.22	13.07	0.63	76.67	0.02	1.67	0.15	99.43	0.343	0.619	0.032	0.994	2.855	0.001	0.145	0.005	3.006

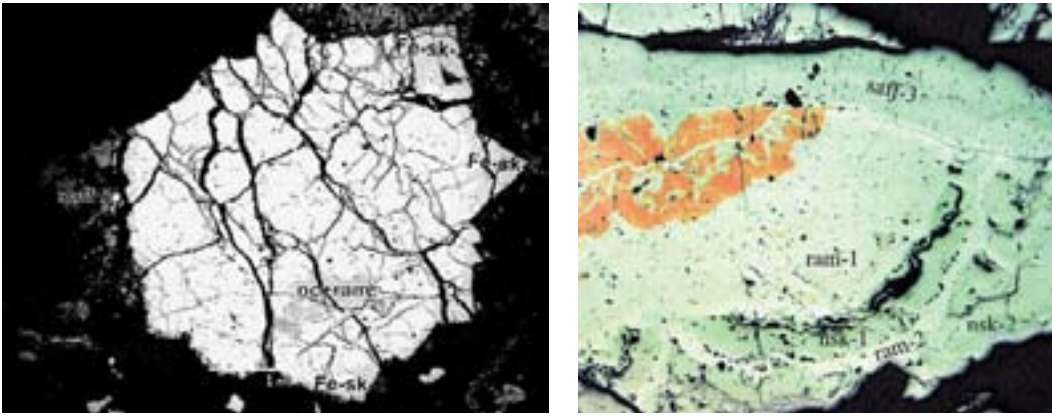


Рис. 4. Срастание кубических кристаллов никельскуттерудита-2 и скуттерудита (белый). Внешние зоны слагают Fe-скуттерудит-2 (светло-серый, «Fe-sk-2»); внутри срастания — реликты никелина в раммельсбергите (серое, «nc+ram»). Вокруг крупного срастания агрегат 3-го ритма: доломит (чёрное), Fe-сафлорит-3 (тёмно-серый, «saff-3»). Фотография в отражённых электронах.

Рис. 5. Взаимоотношения раммельсбергита, никельскуттерудита и сафлорита трёх поколений. Розовый — реликты никелина среди раммельсбергита-1 («ram-1») и никельскуттерудита-1 («nsk-1»). На никельскуттерудите-1 кайма раммельсбергита-2 («ram-2»), далее — зональные кристаллы никельскуттерудита-2 («nsk-2»). Диарсениды третьего ритма — сафлорит-3 и Со-раммельсбергит-3 («saff-3») выросли на агрегат раммельсбергита и никельскуттерудита первого и второго ритмов. Анилиф. Ширина поля зрения 15 мм.

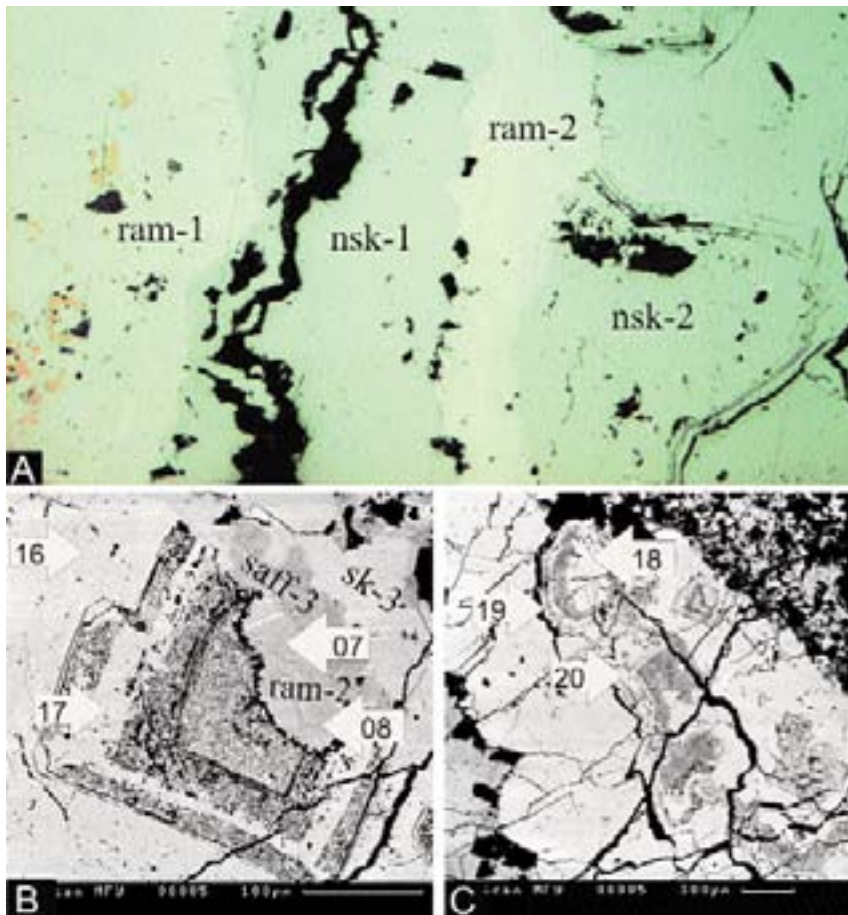


Рис. 6. Срастания раммельсбергита, никельскуттерудита и сафлорита трёх поколений.

А). На раммельсбергите-1 («ram-1») с реликтами никелина (розовый) вырос никельскуттерудит-1 («nsk-1»). На нём кайма раммельсбергита-2 («ram-2»), которая является подложкой для зональных кристаллов никельскуттерудита-2 («nsk-2»). Полированный шлиф. Ширина поля зрения 5 мм.

В). Зональный кристалл Со-никельскуттерудита-2 (белый, ан. 16, 17) вырос на расщеплённый раммельсбергит-2 («ram-2», ан. 07, 08). Это фрагмент обломка арсенидов второго ритма, который обросли арсениды 3-го ритма — сафлорит («saff-3») и Ni-скуттерудит («sk-3»). Фотография в отражённых электронах.

С). Резко зональные кристаллы никельскуттерудита — скуттерудита-2 (серо-белые, ан. 18-20). Фотография в отражённых электронах.

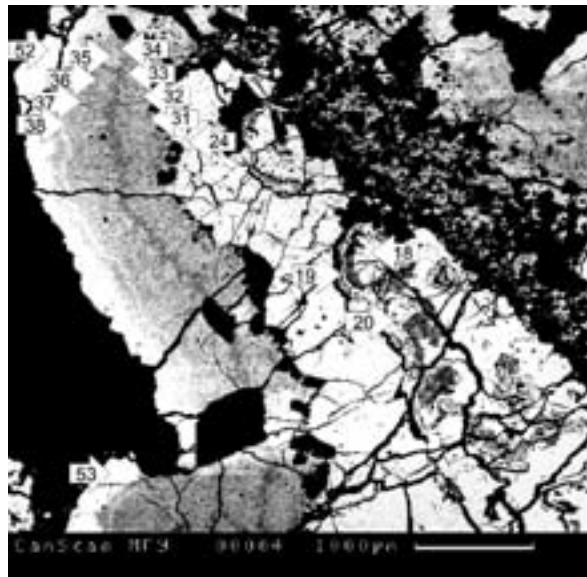
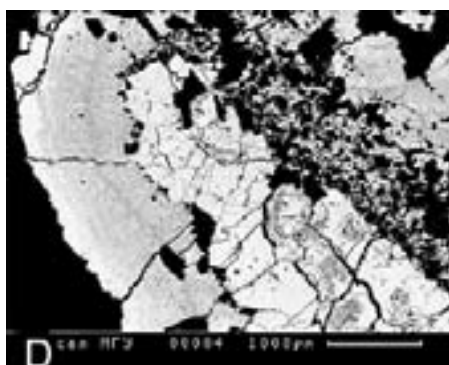
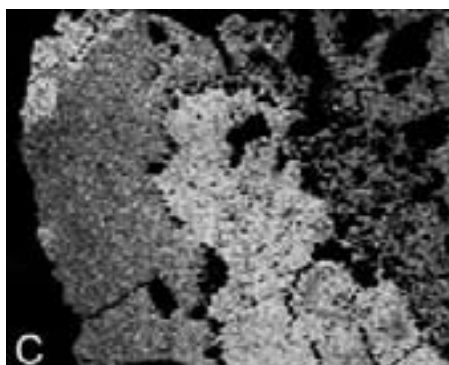
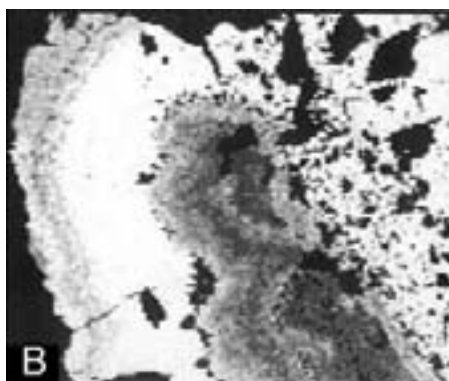
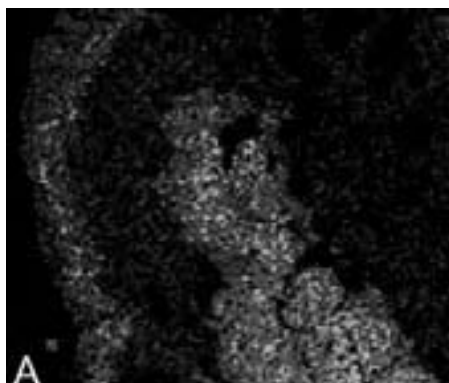
кристаллов никельскуттерудита-1 и доломита — индукционные (компромиссные) границы совместного роста. Эта минеральная ассоциация представляет первый ритм 8-го минерального комплекса.

Раммельсбергит-1 по составу умеренно низкосернистый, практически безжелезистый, содержит до 4 мас. % Co и до 0.5 % Se (табл. 1). Никельскуттерудит-1 низкокобальтистый и маложелезистый (табл. 1); для его состава характерны сильная отрицательная связь содержаний Ni-Co ( $r = -0.96$ ) и Ni-Fe ( $r = -0.80$ ), сильные положительные связи содержаний Co-Fe ( $r = +0.75$ ) и Co-S ( $r = +0.70$ ) ( $n = 14$ ).

**Арсениды 2-го ритма.** На агрегаты минералов первого ритма выросли сложнзональные агрегаты ди- и триарсенидов второго ритма. В их основании — расщеплённый раммельсбергит-2 без реликтов никелина (рис. 5, 6 а, б); на него выросли резко зональные кубические и кубооктаэдрические кристаллы никельскуттерудита-2, внешние зоны которых представлены Со-никельскуттерудитом-2 и скуттерудитом-2 (рис. 5-8, табл. 2), и далее относительно однородные выделения скуттерудита-2 с тонкими зонами Fe-скуттерудита-2 (рис. 9А, табл. 2). Встречаются обособленные кубооктаэдрические кристаллы триарсенидов второго ритма и их сроста-

*Рис. 7. Агрегат расщепленных кристаллов сафлорита-3 (ан. 31–36), доломита и Со-раммельсбергита-3 (ан. 37, 38) на агрегате резко зональных кристаллов никельскуттерудита — скуттерудита-2 (серо-белый, ан. 18–24). На диарсениды выросли Ni-скуттерудит-3 (белый, ан. 52, 53) и кальцит (чёрное). Фотография в отражённых электронах.*

*Рис. 8. Агрегат никельскуттерудита — скуттерудита-2, сафлорита-3 и Со-раммельсбергита-3, никельскуттерудита-3. Фотографии в характеристическом рентгеновском излучении Ni  $K_{\beta}$  (А); Co  $K_{\alpha}$  (В); As  $K_{\alpha}$  (С); в отражённых электронах (D).*



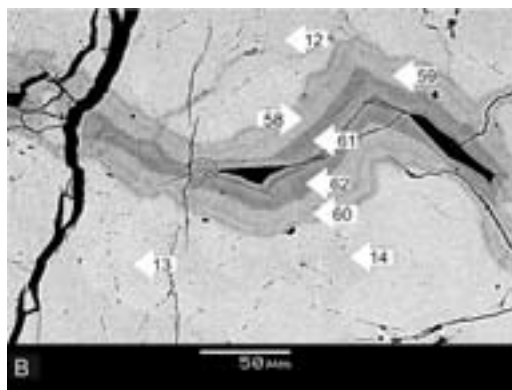
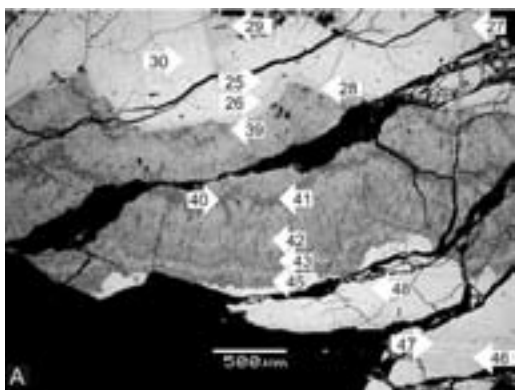
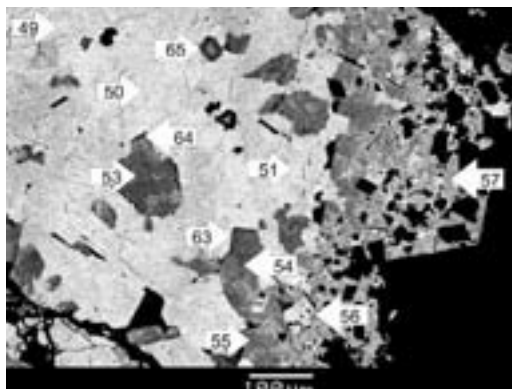


Рис. 9. Соотношения никельскуттерудита, Fe-скуттерудита, ферроскуттерудита и сафлорита. Фотографии в отражённых электронах.

А). На Fe-скуттерудит-2 (бело-серый, ан. 26–30) вырос агрегат ди- и триарсенидов 3-го ритма: сильно расщепленные, в различной степени сернистые Fe-сафлорит (светло-серый до темно-серого, ан. 39–42) и Со-раммельсбергит-3 (серый ан. 43–45), далее – никельскуттерудит-3 (бело-серый, ан. 46–48). Чёрное – кальцит и доломит.

В). Фрагмент прожилка Fe-скуттерудита (серый, ан. 58–60) и ферроскуттерудита (тёмно-серый, ан. 61, 62) в никельскуттерудите-1 (светло-серый, ан. 12–14). Кальцит – ветвящиеся прожилки (чёрный).

Рис. 10. Зональные кристаллы ферроскуттерудита-3 (тёмно-серый, ан. 63–65) – Fe-скуттерудита-3 (серый, ан. 53–57) среди никельскуттерудита-3 (белый, ан. 49–51). Чёрное – ромбоэдры доломита и прожилки кальцита. Фотография в отражённых электронах.



ния до 5 мм в поперечнике; во внешних зонах таких кристаллов зачастую преобладает Fe-скуттерудит-2 (рис. 4).

Раммельсбергит-2 по составу низкосурьмянистый, умеренно низкосурьмянистый и низкокобальтистый (табл. 1). Триарсениды резко зональных кристаллов 2-го ритма по составу образуют непрерывный ряд никельскуттерудит – скуттерудит, они практически не содержат Sb, количество Se – от следов до 0.4 мас. %. С ростом минала скуттерудита в этих минералах возрастают концентрации железа и серы (табл. 2). Для этих триарсенидов характерны сильные отрицательные связи содержаний Ni–Co ( $r = -0.98$ ) и Ni–Fe ( $r = -0.64$ ), положительные связи содержаний Co–Fe ( $r = +0.51$ ) и Co–S ( $r = +0.97$ ) ( $n = 36$ ). Более поздние триарсениды 2-го ритма по составу отвечают железисто-никелистому скуттерудиту, изредка кобальтистому никельскуттерудиту (табл. 2), они практически не содержат Sb и Se.

**Арсениды 3-го ритма.** Агрегаты ди- и триарсенидов с включениями ромбоэдров доломита и арсенидно-доломитовые агрегаты третьего ритма носили на кристаллы и агрегаты минералов первого и второго ритмов

(рис. 4–8, 9А), цементируют их обломки (рис. 7), образуют в них прожилки (рис. 9В), слагают обособленные выделения. Более ранние образования третьего ритма – агрегаты интенсивно расщеплённых Fe-сафлорита-3 – сернистого сафлорита-3 – Ni-сафлорита-3 – Со-раммельсбергита-3 (рис. 7-9А). На них вырос довольно однородный по составу никельскуттерудит-3 (рис. 9 А, табл. 3). В тех редких случаях, когда триарсениды образуют псевдоморфозы по более раннему сафлориту (рис. 7), их состав отвечает железисто-никелистому скуттерудиту (табл. 3, ан. 52, 53). В больших полях никельскуттерудита-3 развита масса мелких резко зональных кристаллов обогащённого железом Fe-скуттерудита-3 с оторочками ферроскуттерудита-3 (рис. 10). Такие же Fe-Со- и Со-Fe-триарсениды слагают прожилки среди минералов 1-го ритма (рис. 9В) и каймы обрастания на них.

Диарсениды 3-го ритма по составу образуют непрерывный ряд сафлорит-раммельсбергит. Они также (см. выше триарсениды 2-го ритма) бедны сурьмой и селеном. Сафлорит-3 постоянно обогащён железом, чаще вместе с серой. Раммельсбергит-3 обогащён кобальтом и беден железом

Таблица 3. Химический состав никельскуттерудита-3, Ni-скуттерудита-3 и Fe-скуттерудита-3

№ ан.	Элементы, мас. %					Формульные единицы в расчете на 2, 3 или 4 атома																											
	Ni	Co	Fe	As	Sb	S	Se	Сумма	Ni	Co	Fe	Сумма	As	Sb	S	Se	Сумма																
кат.																	анион.																
<b>никельскуттерудит-3, нарощий на сафлорит-3 (ан. 46–48, рис. 9 а), и обособленные выделения (ан. 49–51, рис. 10)</b>																																	
46	19,57	0,90	0,24	78,81	–	0,04	–	99,56	0,948	0,044	0,012	1,004	2,993	–	0,003	–	2,996																
47	19,27	1,40	0,33	78,92	–	0,14	–	100,06	0,928	0,067	0,016	1,011	2,977	–	0,012	–	2,989																
48	18,86	1,75	0,20	79,01	–	0,38	–	100,20	0,904	0,084	0,100	1,088	2,969	–	0,033	–	3,002																
49	17,28	2,96	0,34	78,54	–	0,29	–	99,41	0,836	0,143	0,017	0,996	2,978	–	0,026	–	3,004																
50	18,50	2,17	0,24	78,02	–	0,30	–	99,23	0,896	0,105	0,012	1,013	2,960	–	0,027	–	2,987																
51	15,98	3,15	1,29	78,81	–	–	–	99,23	0,778	0,152	0,066	0,996	3,004	–	–	–	3,004																
<b>Ni-скуттерудит-3, нарощий на Со-раммельсбергит-3 (рис. 7)</b>																																	
52	8,03	11,63	1,65	76,55	0,12	1,32	0,15	99,45	0,376	0,542	0,081	1,000	2,879	0,003	0,114	0,005	3,000																
53	7,21	11,39	2,37	77,84	0,34	1,48	0,15	100,77	0,336	0,529	0,116	0,981	2,880	0,008	0,126	0,005	3,019																
<b>Fe-скуттерудита-3 (рис. 10, 9В)</b>																																	
54	0,98	10,94	8,36	78,82	0,07	0,33	0,05	99,55	0,047	0,525	0,423	0,995	2,972	0,002	0,029	0,002	3,005																
55	0,28	11,56	8,22	78,48	0,09	0,71	–	99,34	0,018	0,552	0,415	0,985	2,951	0,002	0,062	–	3,015																
56	6,05	10,13	4,43	77,12	0,41	1,34	–	99,48	0,288	0,481	0,222	0,991	2,882	0,010	0,117	–	3,009																
57	2,16	13,66	5,10	76,89	0,08	0,97	0,13	98,99	0,104	0,653	0,257	1,014	2,894	0,002	0,085	0,005	2,986																
58	0,59	12,89	7,84	77,70	–	1,55	–	100,57	0,028	0,601	0,386	1,015	2,852	–	0,133	–	2,985																
59	0,89	14,22	6,04	77,77	–	1,44	–	100,36	0,042	0,667	0,299	1,008	2,869	–	0,124	–	2,993																
60	0,29	13,49	7,54	77,23	0,20	1,23	0,20	100,18	0,014	0,635	0,374	1,023	2,860	0,004	0,106	0,007	2,977																

Таблица 4. Химический состав Fe-сафлорита-3 и Со-раммельсбергита-3

№ ан.	Элементы, мас. %					Формульные единицы в расчете на 2, 3 или 4 атома																											
	Ni	Co	Fe	As	Sb	S	Se	Сумма	Ni	Co	Fe	Сумма	As	Sb	S	Se	Сумма																
кат.																	анион.																
<b>Разрез от контакта с триарсенидами 2-ой генерации (рис.7)</b>																																	
31	0,49	25,22	3,37	65,46	0,36	5,64	0,25	100,78	0,027	0,824	0,116	0,968	1,682	0,006	0,338	0,006	2,032																
32	1,11	23,12	3,95	67,02	0,32	4,21	0,13	99,86	0,055	0,775	0,139	0,969	1,764	0,005	0,259	0,003	2,031																
33	–	22,43	4,99	71,02	0,09	1,22	0,21	99,95	–	0,803	0,182	0,985	1,931	0,002	0,077	0,005	2,015																
34	–	24,79	4,48	64,82	0,30	5,73	0,08	100,21	–	0,821	0,156	0,977	1,671	0,005	0,345	0,002	2,023																
35	0,19	23,70	5,21	65,56	0,17	5,01	0,14	99,97	0,007	0,787	0,182	0,976	1,712	0,003	0,306	0,003	2,024																
36	3,55	21,07	3,64	67,00	0,11	4,29	0,14	99,80	0,123	0,707	0,129	0,959	1,770	0,002	0,265	0,003	2,041																
37	17,60	11,38	0,81	65,37	0,09	4,98	0,16	100,38	0,586	0,376	0,028	0,991	1,701	0,001	0,303	0,004	2,009																
38	17,49	12,52	0,61	67,95	0,10	3,98	0,10	102,74	0,576	0,410	0,021	1,007	1,750	0,002	0,240	0,002	1,993																
<b>Разрез от контакта с триарсенидами 2-ой генерации (рис.9А)</b>																																	
39	0,02	22,81	5,47	69,16	–	1,48	–	98,94	0,001	0,798	0,202	1,001	1,904	–	0,095	–	1,999																
40	0,06	23,22	6,48	65,17	–	4,17	–	99,10	0,002	0,782	0,230	1,014	1,728	–	0,258	–	1,986																
41	0,05	27,02	4,04	61,57	–	6,87	–	99,55	0,002	0,878	0,138	1,018	1,572	–	0,410	–	1,982																
42	8,73	17,16	2,56	67,55	–	3,28	–	99,28	0,293	0,573	0,157	1,023	1,776	–	0,201	–	1,977																
43	15,68	12,66	1,20	65,57	–	4,93	–	100,04	0,523	0,420	0,042	0,985	1,714	–	0,301	–	2,015																
44	16,64	11,71	0,61	65,32	–	4,10	–	98,38	0,566	0,397	0,038	1,001	1,743	–	0,256	–	1,999																
45	18,16	9,31	0,48	68,89	–	2,43	–	99,27	0,631	0,322	0,018	0,971	1,874	–	0,155	–	2,029																

Таблица 5. Химический состав ферроскуттерудита

№ ан.	Элементы, мас. %					Формульные единицы в расчете на 4 атома							
	Ni	Co	Fe	As	S	Сумма	Ni	Co	Fe	Сумма	As	S	Сумма
										кат.			анион.
61	0.05	8.70	12.95	79.43	1.31	102.44	0.002	0.398	0.626	1.026	2.864	0.110	2.974
62	0.01	7.94	12.63	77.56	1.43	99.57	0.001	0.374	0.628	1.003	2.843	0.124	2.967
63	0.05	8.04	12.38	77.09	1.39	98.95	0.002	0.381	0.619	1.002	2.877	0.121	2.998
64	0.10	8.82	10.38	77.96	1.24	98.50	0.005	0.423	0.525	0.953	2.938	0.109	3.047
65	0.05	8.38	12.09	78.01	1.34	99.87	0.002	0.394	0.600	0.996	2.888	0.116	3.004

Примечание: См. рисунки 9 и 10

(табл. 4). Для всего ряда в целом ( $n = 62$ ) характерны сильные отрицательные связи содержаний Ni-Co ( $r = -0.96$ ), Ni-Fe ( $r = -0.84$ ) и As-S ( $r = -0.98$ ), положительные связи Co-Fe ( $r = +0.66$ ), отсутствие связи содержаний Co-S.

Триарсениды 3-го ритма по составу обычно отвечают никельскуттерудиту, бедному Co, почти не содержащему Fe, Sb, S, Se (табл. 3, ан. 46–50). Для никельскуттерудита-3 характерны сильные отрицательные связи содержаний Ni-Co ( $r = -0.99$ ), Ni-Fe ( $r = -0.83$ ) и As-S ( $r = -0.91$ ), положительные связи Co-Fe ( $r = +0.76$ ) и Co-S ( $r = +0.93$ ) ( $n = 27$ ). Более редок богатый железом скуттерудит-3, низкосурьмянистый, умеренно обогащенный серой, от почти безникелистого до умеренно богатого никелем (табл. 3, ан. 52–60). Для железистого скуттерудита-3 характерны сильные отрицательные связи содержаний Ni-Co ( $r = -0.83$ ), Ni-Fe ( $r = -0.64$ ), Co-Fe ( $r = -0.72$ ) и As-S ( $r = -0.92$ ), сильная положительная связь Co-S ( $r = +0.81$ ) ( $n = 37$ ).

### Ферроскуттерудит карбонатных жил

Размер выделений ферроскуттерудита-3 от первых до 40 микрон. Рельеф высокий, близкий к скуттерудиту и сафлориту, выше, чем у никельскуттерудита. Твёрдость по микровдавливанию  $VHN_{50} = 700 - 1050$  кг/мм<sup>2</sup> ( $n = 4$ ). В отражённом свете высокоотражающий (58–54%), белый, изотропен. Спектр отражения близок к скуттерудиту, отражение несколько более высокое:  $R, \%$  (в воздухе, эталон – аттестованный WTiC) – 57.2 (400 нм); 57.6 (420); 58.0 (440); 58.2 (460); 58.2 (470 нм) (СОМ); 58.2 (480); 58.0 (500); 57.6 (520); 57.3 (540); 57.2 (546 нм) (СОМ); 56.9 (560); 56.4 (580); 56.2 (589 нм) (СОМ); 56.0 (600); 55.5 (620); 55.2 (640); 54.9 (650 нм) (СОМ); 54.7 (660); 54.3 (680); 53.8 (700 нм).

Ферроскуттерудит-3 содержит лишь следы Ni, Sb, Se (табл. 5). Среднему составу минерала ( $n = 5$ ) отвечает формула  $(Fe_{0.600}Co_{0.394}Ni_{0.002})_{0.996}(As_{2.888}S_{0.116})_{3.004}$ , что близко к

Таблица 6. Рентгенограмма ферроскуттерудита

$I_{изм.}$	$d_{изм.}, \text{Å}$	$d_{выч.}, \text{Å}$	$hkl$
3	5.8	5.77	110
3	4.10	4.085	200
4	3.34	3.335	211
10	2.585	2.584	310
9	2.182	2.184	321
4	1.928	1.926	411
7	1.829	1.827	420
3	1.744	1.742	332
5	1.667	1.6677	422
7	1.602	1.6023	510
6	1.402	1.4011	530
3	1.364	1.3617	600
2	1.291	1.2918	620

Примечание: Камера Дебая-Шерера,  $D 57.3$  мм,  $CuK\alpha$ .

$(Fe_{0.6}Co_{0.4})_1As_3$ .

Дифракционные данные кубических триарсенидов никельскуттерудита, скуттерудита, и ферроскуттерудита очень похожи. Индексирование рентгенограммы ферроскуттерудита (табл. 6) проведено по аналогии со скуттерудитом. Ферроскуттерудит кубический, пространственная группа  $Im\bar{3}m$ ,  $a = 8,17(1)$  Å,  $V = 545.34(3)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 8$ .

### Выводы

1. Ди-триарсенидный минеральный комплекс антимонидно-арсенидной минерализации Норильского рудного поля возник при многократных тектонических подвижках. Более поздние минеральные образования этого комплекса обрастают и замещают более ранние, развиты среди них в виде прожилков и цемента брекчий. Для ди-триарсенидного минерального комплекса характерен доломит, для минеральных комплексов с моно- и диарсенидами – кальцит.

2. В каждом из трёх ритмов ди-триарсе-

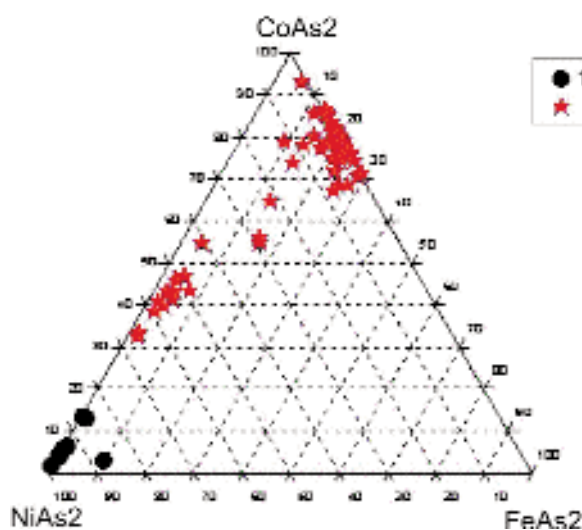


Рис. 11. Состав диарсенидов 8-й минеральной ассоциации карбонатных жил Норильского рудного поля; 1+2 – раммельсбергит-1 и раммельсбергит-2; 3 – Со-раммельсбергит-3 и Fe-саффорит-3.

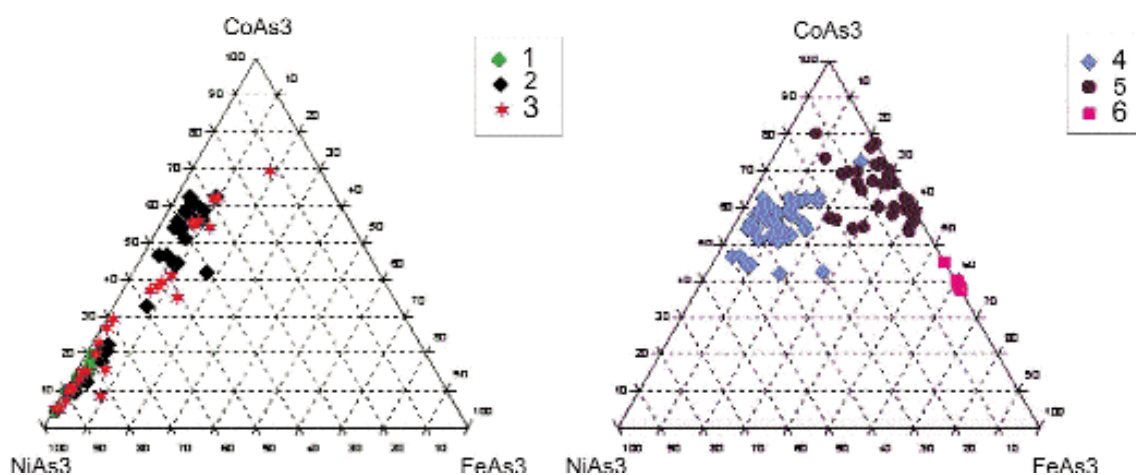


Рис. 12. Состав триарсенидов Норильского рудного поля;

1 – никельскуттерудит-1; 2 – зональные скуттерудит-никельскуттерудит-2; 3 – скуттерудит-никельскуттерудит-3; 4 – Fe-Ni-скуттерудит-2; 5 – Fe-скуттерудит-3; 6 – ферроскуттерудит-3

нидного минерального комплекса более ранние образования – диарсениды Ni-Co, более поздние – триарсениды Ni-Co-Fe. Диарсениды образуют непрерывную серию твёрдых растворов раммельсбергит-саффорит (рис. 11).

3. В каждом из трёх ритмов ди-триарсенидного минерального комплекса более ранним является никельскуттерудит, более поздними – скуттерудит и Fe-скуттерудит. Наиболее дифференцирован состав триарсенидов третьего ритма, среди никельскуттерудита здесь развиты кристаллы обогащённого железом скуттерудита с оторочками ферроскуттерудита.

4. По составу норильские триарсениды образуют два обособленных ряда: скуттеру-

дит-никельскуттерудит и скуттерудит-ферроскуттерудит (рис. 12). В составе проявлен чёткий антагонизм Ni–Fe и сильные положительные связи содержаний Co–Fe и Co–S.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 04-05-64162; 07-05-00057).

## Литература

Виноградова Р.А. Минералы никеля и кобальта (новые данные, краткий обзор) //Вестн. МГУ. Сер. геол. **2002.** № 4. С. 37–45.

Воган Д., Крейг Дж. Химия сульфидных мине-

- ралов. М.: Мир. **1981**. 575 с.
- Генкин А.Д., Филимонова А.А., Евстигнеева Т.Л. и др. Сульфидные медно-никелевые руды норильских месторождений. М.: Наука. **1981**. 234 с.
- Годлевский М.Н. Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. М.: Госгеолтехиздат. **1959**. 89 с.
- Гоговилов А.А. О зависимости параметра решётки минералов группы скуттерудита от химического состава //Тр. Мин. музея АН СССР им. А.Е.Ферсмана. **1959**. Вып. 10. С. 57–73.
- Гриценко Ю.Д., Спиридонов Э.М. Минералы непрерывных рядов раммельсбергит – лёллингит и раммельсбергит – саффлорит в метаморфогенно-гидротермальных антимонидно-арсенидно-карбонатных жилах Норильского рудного поля //Зап. ВМО. **2005а**. Ч. 134. Вып. 1. С. 53–68.
- Гриценко Ю.Д., Спиридонов Э.М. Минералы ряда никелин – брейтгауптит в рудах месторождений Норильского рудного поля //Новые данные о минералах. **2005б**. Вып. 40. С. 51–64.
- Гриценко Ю.Д., Спиридонов Э.М. Сульфоарсениды и сульфоантимониды никеля, кобальта, железа, крутовит и арсенопирит метаморфогенно-гидротермальных жил Норильского рудного поля // Новые данные о минералах. **2006**. Вып. 41. С. 46–55.
- Дистлер В.В., Лапутина И.П., Смирнов А.В., Балбин А.С. Арсениды, сульфоарсениды никеля, кобальта и железа Талнахского рудного поля. // В кн.: Минералы и парагенезисы минералов эндогенных месторождений. Л.: Наука, **1975**. С. 61–74.
- Додин Д.А., Батуев Б.Н., Митенков Г.А., Изоитко В.М. Атлас пород и руд Норильских медно-никелевых месторождений. Л.: Недра. **1971**. 560 с.
- Изоитко В.М., Вяльсов Л.Н. Об ассоциации арсенидов и антимонидов никеля в рудах Талнахского месторождения. //В кн.: Минералы и парагенезисы минералов рудных месторождений. Л.: Наука, **1973**. С. 31–38.
- Крутов Г.А. Месторождения кобальта. М.: Госгеолтехиздат. **1959**. 232 с.
- Кулагов Э.А. Особенности минерального состава руд месторождения Норильск-1. Дисс. канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, **1968**. 239 с.
- Рудашевский Н.С., Григорьев Д.П. Микронзондовый анализ тетраарсенидов кобальта и никеля и номенклатура скуттерудитов //Зап. ВМО. **1976**. Ч. 105. Вып. 3. С.265–281.
- Рудашевский Н.С., Шишкин Н.Н., Бутько И.А. Крайний никелевый член изоморфного ряда  $\text{CoAs}_3\text{–NiAs}_3$  //Зап. ВМО. **1975**. Ч. 104. Вып. 2. С. 209–216.
- Спиридонов Э.М., Кулагов Э.А., Куликова И.М. Ассоциации минералов палладия, платины и золота в рудах Норильского месторождения //Геология рудных месторождений. **2004**. Т. 46. № 2. С. 175–192.
- Спиридонов Э.М., Ладыгин В.М., Симонов О.Н., Кулагов Э.А., Сергеев Е.В., Степанов В.К. Метавулканиты пренит-пумпеллиитовой и цеолитовой фаций трапповой формации Норильского района Сибирской платформы. М.: МГУ. **2000**. 212 с.
- Шишкин Н.Н. Кобальт в рудах месторождений СССР. М.: Недра. **1973**. 273 с.
- Шнейдерхён Г. Рудные месторождения. М.: ИЛ. **1953**. 501 с.
- Яковлев Ю.Н., Яковлева А.К., Нераговский Ю.Н. Минералогия сульфидных медно-никелевых месторождений Кольского полуострова. Л.: Наука. **1981**. 352 с.
- Fanlo I, Subias I, Gervilla F, Paniagua A, Garcia B. The composition of Co-Ni-Fe sulfarsenides, diarsenides and triarsenides from the San Juan de Plan deposit, central Pyrenees, Spain //Canad. Mineral. **2004**. Vol. 42. P. 1221–1240.
- Hytönen K. Suomen Mineraalit. Geologian Tutkimuskeskus. Erillisjulkaisien: **1999**. 399 s.
- Petruk W., Harris D.C., Stewart J.M. Characteristics of the arsenides, sulpharsenides, and antimonides //Canad. Mineral. **1971**. Vol. 11. P. 150–186.
- Radcliffe D. Structural formula and compositions of skutterudite //Canad. Mineral. **1968**. Vol. 9. P. 559–563.
- Roseboom E.H. Skutterudites  $(\text{Co, Ni, Fe})\text{As}_{3-x}$ : compositions and cell dimensions //Amer.

## НОВЫЕ НАХОДКИ ПЕРЦЕВИТА

В. Шрайер

*Институт геологии и минералогии, Рурский университет Бохума, Бохум, Германия*

Х.-Ю. Бернхардт, О. Меденбах

*Институт геологии и минералогии, Рурский университет Бохума, Бохум, Германия*

В.В. Руднев

*Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья (ВИМС), Москва*

Н.Н. Перцев

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Москва, pertsev@igem.ru*

Ревизия коллекций образцов и прозрачных шлифов котоитсодержащих пород с использованием оптических методов и микрозондового анализа позволила установить два новых местонахождения перцевита  $Mg_2(B,Si)(O,F,OH)_4$ . В сравнении с голотипом, имеющим довольно широкий интервал состава по  $B/Si$  отношению (с  $X_{Si}$  0.10–0.26) оба новых образца минерала проявляют бóльшую однородность (с  $X_{Si}$  0.12–0.20 в образце из Титовского месторождения, Восточное Верхоянье и 0.24–0.32 в образце из месторождения Гоночан, хребет Джугджур, Дальний Восток). В образце из Гоночана, кроме того, установлено преобладание гидроксила над фтором. Изучены и представлены также составы сосуществующих минералов — котоита, людовигита и минералов серии клиногумит-гидроксилклиногумит. Образование перцевита происходило регрессивно с замещением более ранних котоита и клиногумита (как соединения, близкого промежуточному составу) вдоль их взаимных границ. В статье 2 таблицы, 1 рисунок, список литературы из 7 названий.

После утверждения перцевита как нового минерального вида (Schreyer *et al.*, 2003) его первооткрыватель, выдающийся минералог и петролог Вернер Шрайер (1930–2006), решил продолжить его изучение. Мы предприняли попытки найти минерал в других месторождениях и регионах. Проверялись прозрачные шлифы образцов с котоитовой минерализацией, собранных Н.Н. Перцевым и В.В. Рудневым в 1950–1990-е годы в различных регионах России. Ревизия прозрачных шлифов оптическими методами позволила выделить несколько образцов с возможным присутствием в них перцевита. Два образца были изучены на электронном микрозонде САМЕСА SX 50 в Рурском университете Бохума, где ранее было проведено исследование голотипного образца перцевита, с использованием той же методики и аппаратуры (эталоны: синтетические пироп, андрадит, спескартин,  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $V_2O_5$ , боросиликатное стекло и природный топаз; ускоряющее напряжение 15 кВ и ток луча 15 нА). Результаты анализа подтвердили наличие в них перцевита. Работа была закончена после болезни и кончины В. Шрайера.

### Образец из Титовского месторождения (Восточное Верхоянье, хребет Тас-Хаяхта)

Образец из коллекции В.В. Руднева (BP-10) был найден в том же регионе, что и голотип,

но на другом, Титовском, месторождении, расположенном примерно в 30 км восточнее от места находки голотипа. Регион Восточное Верхоянье характеризуется развитием магнезиально-скарновых борно-оловорудных месторождений в контактах палеозойских доломитов с мезозойскими массивами гранитоидов (Дорофеев, 1979; Лисицин и др., 1995). Линзовидные тела котоитовых пород располагаются между зонами шпинель-форстеритового скарна и периклазового мрамора, в котором периклаз замещен характерным псевдоморфным бруситом.

Изученная часть образца BP-10 представляет собой небольшой (3 x 3 x 1 см) сколок плотной, массивной, светло-серой породы, содержащей немного черных пятнышек, около 5 мм в диаметре. В лупу видно, что они состоят из многочисленных призм и иголок непрозрачных минералов людовигит-вонсенитовой серии. В целом порода, которую лучше называть котоититом, незакономерно рассечена многочисленными жилками и трещинками, толщиной до половины миллиметра, которые содержат крайне тонкозернистые продукты изменения, занимающие около 40% объема. За их исключением порода прозрачна в шлифе и состоит из однообразного, неориентированного взаимопрорастания зерен минералов со средним светопреломлением и двупреломлением. Средний размер зерен около 1–2 мм. В очень редких случаях благоприятной ориентировки можно наблю-

Таблица 1. Представительные микрозондовые анализы минералов котоитита (обр. ВР-10) из Титовского месторождения

минерал	перцевит				котоит	людовигит
	1	6	5	3	идеальный	7
№ анализа						
SiO <sub>2</sub>	5.41	7.81	8.82	0.31		0.04
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.36	21.88	20.93	36.79	36.79	15.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.00	0.00	0.00		1.01
MgO	59.98	59.66	58.94	58.32	63.21	28.93
FeO	2.18	2.38	2.05	4.22		47.93
MnO	0.27	0.25	0.28	0.34		0.18
CaO	0.03	0.02	0.08	0.01		0.04
F	7.65	6.93	6.10	0.02		0.189
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>						
Итого	98.89	98.93	97.20	100.01	100.00	93.62
-O=F <sub>2</sub>	3.22	2.92	2.57	0.01		0.08
H <sub>2</sub> O	2.43	2.38	2.53			
Сумма						
(мас.%)	98.10	98.39	97.16	100.00	100.00	93.54
<b>Пересчет на формульные единицы (см. текст)</b>						
Si	0.118	0.171	0.196	0.010		0.001
Al	0.000	0.000	0.000	0.000		0.042
B	0.881	0.828	0.804	2.041	2.000	1.000
Сумма 1	0.999	0.999	1.000		2.000	
Mg	1.954	1.951	1.955	2.795	3.000	1.528
Fe <sup>2+</sup>	0.040	0.044	0.038	0.113		0.464
Fe <sup>3+</sup>						0.957
Mn	0.005	0.005	0.005	0.009		0.005
Ca	0.001	0.001	0.002	0.000		0.001
Сумма 2	2.000	2.001	2.000	2.918	3.000	
F	0.529	0.481	0.429			0.020
O	3.117	3.170	3.195		6.000	
ОН	0.354	0.349	0.375			
Сумма 3	4.000	4.000	3.999			

Примечание: здесь и в табл. 2 приведены порядковые лабораторные номера выполненных анализов. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O, ОН и О – расчет (см. текст) как для идеальной формулы; Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup> – расчет по формуле с распределением

дать и повышенное двупреломление, обусловленное присутствием перцевита, который в действительности составляет только ничтожную часть породы. Из-за малого размера выделений перцевита (менее 100 мкм в поперечнике), сходства светопреломления, двупреломления и ориентировки, его трудно отличить от главной составляющей породы – котоита. Это позволяют сделать только изображения в обратно-рассеянных электронах (BSE), в которых перцевит немного ярче, чем котоит.

Микрозондовый анализ образца из Титовского месторождения показал довольно ограниченный интервал состава перцевита с SiO<sub>2</sub> от 5.4 до 8.8 мас. %, FeO от 1.92 до 2.38 мас. % и F от 6.10 до 8.20 мас. %. Этот состав лежит внутри интервала состава голотипа, но отчетливо в нижней его части относительно SiO<sub>2</sub> и FeO.

В таблице 1 приведены результаты анализов некоторых кристаллов перцевита, людовигита и котоита. Расчет формулы перцевита выполнен тем же способом, что и для голотипа этого минерала (Schreyer *et al.*, 2003), исходя из его идеальной формулы (Mg + Fe + Mn + Ca)<sub>Σ2</sub> (B + Si + Al)<sub>Σ1</sub> (O + F + OH)<sub>Σ4</sub>. При этом замещение В на Si для безкремниевой перцевитовой фазы Mg<sub>2</sub>BO<sub>3</sub>(F,OH) осуществляется как Si + O вместо B + (F,OH). Таким образом, избыток кислорода сверх 3.0 должен быть равным Si, а ОН = 1 – Si – F, или ОН = В – F. Формула перцевита анализа № 1 в таблице 1 становится (Mg<sub>1.95</sub>Fe<sub>0.04</sub>Mn<sub>0.01</sub>)<sub>Σ2.00</sub> (B<sub>0.88</sub>Si<sub>0.12</sub>)<sub>Σ1.00</sub> (O<sub>3.12</sub>F<sub>0.53</sub>OH<sub>0.35</sub>)<sub>Σ4.00</sub>. Это вычисление необходимо из-за невозможности прямого определения H<sub>2</sub>O.

Анализ котоита в таблице 1 пересчитан на основе 12 анионных валентностей (6 кислородов). Минерал близок к идеальной формуле Mg<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, но содержит больше Fe, чем перцевит. Количество B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> вычислено по разности 100% и суммы. Оно практически совпадает с количеством в идеальном составе.

Пересчет анализа людовигита проводился с учетом значительного содержания Fe<sup>3+</sup> по обычной схеме: Σ Fe + Al + Sn + Ti + Mg = 3; B = 1; O = 5 (Pertsev *et al.*, 2004).

Мы не проводили пересчета анализов вторичного материала из жилок, поскольку ни B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ни H<sub>2</sub>O не могли быть надежно определены. Однако сравнение с составом идеального ссайбелиита MgBO<sub>2</sub>(OH), как и оптические свойства, свидетельствуют, что, несомненно, ссайбелиит является главным минералом внутри прожилков, возможно с небольшой примесью брусита Mg(OH)<sub>2</sub>.

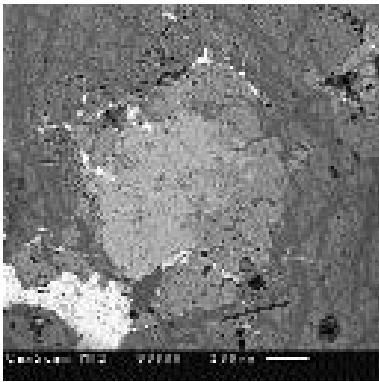


Рис. 1. BSE изображение участка образца № 90018 из месторождения Гоночан: перцевит образует кайму (серое) вокруг включения клиногумита (светло-серое в центре снимка) в котоите (темно-серое по периферии снимка, испещренное прожилками ссайбелиита — более темное); реликты замещаемых перцевитом котоита и клиногумита отчетливо видны; белое — людовигит. Масштабная линейка 100 мкм

### Образец из месторождения Гоночан, хребет Джугджур, Приморье

Известно несколько мест проявления магнезиальных скарнов с борной минерализацией в центральной области хребта Джугджур, в 60–70 км от Охотского моря, приблизительно на  $56^{\circ}30'$  с.ш. и  $136^{\circ}20'$  в.д. Здесь платформенные осадки верхнего докембрия подверглись сильной мезозойской тектоно-магматической активизации. Магнезиальные скарны развиты в контактах верхнерифейских доломитов с меловыми гипабиссальными телами субщелочных гранитоидов (Граменицкий, 1969; Степанов, 1973). Образец № 90018 (Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН) был отобран Н.Н. Перцевым в 1963 г. в месторождении Гоночан, представляющим собой разрозненные выходы бороносных магнезиальных скарнов в русле одноименной небольшой речки. Порода была диагностирована в поле как крупнозернистый котоитит по аналогии ее позиции в скарновой зональности и особенностям корочки выветривания с котоититами из месторождений Восточного Верхоянья (Перцев, 1971, с. 131–132). Магматическая порода в полосе (до нескольких метров мощностью) у контакта со скарном представлена мелкозернистым субщелочным (диопсидовым) гранитом. Мощность котоитовых пород в линзовидных телах достигает 1 м.

Изученная часть штуфного образца № 90018 представлена небольшим спилом (2 x 3 x 1 см). Это — плотная порода с небольшим количеством черных маленьких призм, прослеживаемых в виде параллельных цепочек.

Она сложена в основном среднезернистым кальцитом, являющимся матрицей для округлых, прозрачных зерен силикатов и боратов, которые показывают в зависимости от ориентировки низкое, среднее или высокое дву-преломление и среднее светопреломление. Клиногумит может быть надежно диагностирован оптически в шлифе по характерному полисинтетическому двойникованию. Котоит в благоприятной ориентировке зерен легко определяется по малому положительному углу ( $15–20^{\circ}$ ) оптических осей, а также по развитию в микротрещинках его зерен характерных продуктов изменения. Перцевит, образующий значительно более мелкие выделения, труден для оптической диагностики и практически неотличим от гумита. Лишь электронный микрозонд надежно определяет все эти прозрачные минералы как клиногумит, перцевит и котоит. Людовигит в тонких краях просвечивает с темно-зеленым (Nr поперек удлинения) и темно-бурым (Ng, Nm вдоль удлинения) плеохроизмом и по этим признакам относится к маложелезистым членам людовигитовой серии.

С помощью изображений BSE можно наблюдать взаимные внутренние соотношения между перцевитом, котоитом и клиногумитом (рис. 1). Клиногумит занимает центральные части сложных агрегатов этих трех минералов и показывает ясные признаки коррозии. Например, он встречается во множестве маленьких включений внутри перцевита, который, в свою очередь, часто захвачен большими по размеру кристаллами котоита, разбитыми жилками с ретроградными продуктами изменения (ссайбелиит ± брусит). Промежуточная позиция перцевита (между клиногумитом и котоитом) выражена даже и когда перцевит образует только мелкие кристаллики или каемки вокруг клиногумита. Таким образом, перцевит должен был образоваться в породе в относительно позднюю стадию, вероятно благодаря химической реакции котоита с клиногумитом. Такой же механизм образования можно предположить и для голотипного образца перцевита. В целом, образец из месторождения Гоночан является котоитовым мрамором, очень сходным петрографическими чертами с породой голотипного образца перцевита, изученного ранее (Schreyer *et al.*, 2003).

Микрозондовый анализ образца из месторождения Гоночан выявил, однако, и новые особенности состава перцевита (табл. 2).  $\text{SiO}_2$  составляет от 10.86 до 13.55 мас.%, FeO — от 0.36 до 0.66 мас.%, а F — от 4.34 до 5.10 мас.%. Кремнезема значительно

Таблица 2. Представительные микрозондовые анализы минералов котоитового мрамора (обр. 90018) из месторождения Гоночан

Минерал	перцевит					клиногумит	гидроксил-клиногумит	котоит
	30	45	52	53	41			
№ анализа	30	45	52	53	41	28	46	16
SiO <sub>2</sub>	13.55	13.14	12.49	11.39	10.86	35.69	36.92	0.31
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.91	18.71	18.97	19.70	20.13	1.45	0.76	37.133
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.02	0.01	0.1	0.3	0.1	0.00	0.1
MgO	56.95	60.51	60.22	60.39	60.76	57.27	57.39	61.59
FeO	0.58	0.55	0.64	0.66	0.57	0.45	0.30	0.70
MnO	0.13	0.20	0.15	0.17	0.16	0.15	0.23	0.23
CaO	0.07	0.09	0.08	0.08	0.12	0.05	0.05	0.03
F	4.34	5.10	4.85	4.86	4.98	4.15	2.66	0.00
Total	92.56	98.32	97.41	97.26	97.61	99.22	98.31	100.00
-O=F <sub>2</sub>	1.83	2.15	2.04	2.05	2.10	1.75	1.12	
H <sub>2</sub> O	2.33	2.44	2.62	2.80	2.86	1.27	1.80	
Сумма (мас.%)	93.06	98.61	97.99	98.01	98.37	98.74	98.99	100.00
<b>Пересчет на формульные единицы</b>								
Si	0.317	0.289	0.276	0.251	0.238	3.738	3.862	0.010
Al	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
B	0.682	0.710	0.724	0.749	0.761	0.262	0.138	2.030
Сумма 1	1.000	0.999	1.000	1.000	1.000	4.001	4.000	
Mg	1.984	1.984	1.983	1.983	1.984	8.940	8.948	2.909
Fe	0.011	0.010	0.012	0.012	0.010	0.040	0.026	0.018
Mn	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.013	0.021	0.006
Ca	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.005	0.005	0.001
Сумма 2	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	8.998	9.000	2.934
F	0.321	0.354	0.339	0.339	0.345	1.373	0.879	
O	3.316	3.288	3.275	3.250	3.237	15.739	15.862	
ОН	0.364	0.357	0.386	0.412	0.418	0.887	1.258	
Сумма 3	4.001	3.999	4.000	4.001	4.000	17.999	17.999	

больше, чем в перцевите из Титовского месторождения, и самые высокие значения (ан. 30, 45, 52) перекрывают интервал его содержания (4.37 – 11.66 мас.%) в голотипном образце перцевита (Schreyer *et al.*, 2003). Содержание FeO в гоночанском образце много ниже, чем в перцевите из двух других месторождений, так что этот перцевит (ан. 30) может рассматриваться пока как наиболее магнизальный член серии. Кроме того, содержание фтора в нем несколько ниже, чем в других изученных образцах, так что этот перцевит, похоже, является и наиболее гидроксильным из них.

Для пересчета анализов выбрана та же процедура, что и для образца из Титовского месторождения. Анализы (табл. 2) указывают, что перцевит с Гоночана с 0.32 формульных единиц Si (ан. 30) является наиболее кремнистым из всех анализируемых. Причина низкой аналитической суммы это-

го анализа не ясна. Нижняя граница содержания кремния гоночанского перцевита достигает 0.24 формульных единиц, что близко верхнему значению для голотипа. Итак, рассматривая все три проявления перцевита, сравним полученные пределы колебаний количества элементов в формулах образцов перцевита: голотипный образец –  $\text{Ca}_{0.00-0.01}\text{Mg}_{1.72-1.90}\text{Mn}_{0.01}\text{Fe}_{0.04-0.16}\text{B}_{0.73-0.96}\text{Al}_{0.00-0.04}\text{Si}_{0.10-0.26}[\text{O}_{3.12-3.26}\text{F}_{0.42-0.59}(\text{OH})_{0.24-0.35}]$ ; образец Титовского месторождения (BP-10) –  $\text{Mg}_{1.95-1.96}\text{Mn}_{0.01}\text{Fe}_{0.04}\text{B}_{0.80-0.88}\text{Si}_{0.12-0.20}[\text{O}_{3.12-3.20}\text{F}_{0.43-0.53}(\text{OH})_{0.35-0.38}]$ ; образец месторождения Гоночан (№-90018) –  $\text{Mg}_{1.98}\text{Fe}_{0.01}\text{B}_{0.68-0.76}\text{Si}_{0.24-0.32}[\text{O}_{3.12-3.20}\text{F}_{0.32-0.35}(\text{OH})_{0.36-0.42}]$ ;

В результате мы имеем ряд твердых растворов от 0.10 до 0.32 формульных единиц Si. В отличие от ситуации в голотипном образце, в образцах с Гоночана и Титовского месторождения очень малы (или отсутствуют) изменения содержания Si внутри выделений перцевита, и нет возможности выяс-

нить, есть ли градиент содержания Si в перцевите в интервале от контакта с котоитом к контакту с минералом группы гуммита. Перцевиты здесь более гомогенны, чем в голотипе. Несмотря на значительные вариации Si в Гоночанском образце, в нем очень малы или отсутствуют изменения в отношении Fe/Mg. Количество фтора также остается довольно постоянным, а все вычисленные значения количества гидроксила в формулах минерала превышают содержания в них первого. Таким образом, Гоночанские перцевиты являются впервые описанными с  $OH/F > 1$  и могли бы заслуживать статуса нового минерала («гидроксилперцевит»). Мы, однако, воздерживаемся от этой процедуры, потому что значения OH только расчетные. Характерно, что и сосуществующие с этим перцевитом клиногумиты по соотношению F – OH находятся у границы между клиногумитом и гидроксилклиногумитом. При рассмотрении анализов клиногумитов в образце главная проблема связана с неизвестным содержанием бора. Если исходить из аналогии с клиногумитом котоитового мрамора голотипного образца, изученного В. Шрайером и соавторами (Schreyer *et al.*, 2003), кажется ясным, что клиногумит, сосуществующий с перцевитом, должен содержать бор. Клиногумит голотипного образца перцевита содержит около 1.5 мас. %  $V_2O_5$ , и бор там внедрен в тетраэдры, частично замещая кремний. Поэтому мы использовали в таблице 2 сходную с перцевитом схему пересчета:  $B = 4.0 - Si$ . Результаты расчета двух анализов (табл. 2) дают очень правдоподобную структурную формулу, сравнимую с полученной в предыдущем исследовании (Schreyer *et al.*, 2003). Как и в перцевите, содержание Fe (и Mn) очень мало, так что зерна клиногумита в образце с Гоночана являются практически чисто магнезиальными конечными членами ряда. Количество фтора довольно изменчиво: два анализа – № 28 и № 36 представляют верхний и нижний пределы его содержания для всех анализированных зерен с преобладанием клиногумитового или гидроксилклиногумитового конечных членов ряда. Анализ котоита (табл.2) очень близок к идеальному составу (см. также табл. 1), хотя  $V_2O_5$  лишь вычислен по разности 100% и суммы остальных составляющих. Примечательно очень высокое Mg/Fe отношение, что характерно и для других минералов образца из Гоночана. Людвигит из этого образца не анализировался, но просвечивание его в краях призм в прозрачном шлифе с харак-

терным плеохроизмом свидетельствует о том, что его магнезиальность также высока и составляет приблизительно 80 – 85% (Перцев, 1971).

В заключение отметим, что перцевит, вероятно, распространен довольно широко в котоитовых породах, где обычным является его парагенезис с минералами гумитовой группы. Диагностика его достаточно проста при использовании BSE изображений. Вероятно, будут найдены и более крупные его выделения, которые могут быть использованы для уточнения вариации оптических свойств и состава минерала.

Мы весьма признательны руководству Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана, а также его сотрудникам Д.И. Белаковскому, Е.А. Борисовой и Е.И. Семенову за предоставление материала для исследования, критические замечания и советы.

## Литература

- Граменицкий Е.Н. Образование бороносных магнезиальных скарнов Азиатской части Тихоокеанского рудного пояса // Петрология изверженных и метаморфических пород. Владивосток: ДВФАН, 1969. С. 161 – 176.
- Дорофеев А.В. Бор. Верхояно-Индибирская провинция // Геология СССР. Т. 18. Якутская АССР. Минеральное сырье. М.: Недра, 1979. С. 335 – 342.
- Лисицин А.Е., Дорофеев А.В., Руднев В.В., Боровков А.А. Борная минерализация Верхояно-Индибирской провинции // Руды и металлы. 1995. № 6. С. 16 – 29.
- Перцев Н.Н. Парагенезисы борных минералов в магнезиальных скарнах. М.: Наука. 1971. 207 с.
- Степанов О.А. Некоторые особенности боратных и магнетитовых руд в месторождениях Дальнего Востока // Геология и геофизика. 1973. № 10. С. 77 – 85.
- Pertsev N.N., Schreyer W., Armbruster Th., Bernhardt H.-J., Medenbach O. Alumino-magnesioborite, a new member of the hulsite group, in kotoite marble from east of Verkhoyansk, Sakha-Yakutia, Russia // Eur.J. Mineral. 2004. V.16. P. 151 – 161.
- Schreyer W., Armbruster Th., Bernhardt H.-J., Medenbach O. Pertsevite, a new silicatian magnesioborate mineral with the end-member composition  $Mg_2BO_3F$  in kotoite marble from east of Verkhoyansk, Sakha-Yakutia, Russia // Eur.J. Mineral.

## МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ С БИТУМИНОЗНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ В ПЕГМАТИТАХ ХИБИНСКОГО МАССИВА: НОВЫЕ ДАННЫЕ

В.Н. Ермолаева

*Институт Геохимии и Аналитической химии им. В.И. Вернадского (ГЕОХИ) РАН, Москва, cvera@mail.ru*

Н.В. Чуканов

*Институт Проблем химической физики (ИПХФ) РАН, Черноголовка, chukanov@icp.ac.ru*

И.В. Пеков

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, mineral@geol.msu.ru*

З.В. Шлюкова

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Москва*

Обнаружены новые проявления твёрдых битуминозных веществ (ТБВ) в аптаитовых щелочных пегматитах Хибинского массива (Кольский п-ов, Россия). Описаны минеральные ассоциации, содержащие округлые и каплевидные обособления ТБВ, размером от 1 до 10 мм. В большинстве случаев ТБВ врастают в зёрна микропористых Ti-, Nb- и Zr-силикатов, иногда — нарастают на их поверхность. Часто внутри обособлений ТБВ встречаются микровключения минералов Th и REE. Новые находки подтверждают гипотезу о каталитической роли цеолитоподобных Ti-, Nb- и Zr-силикатов в формировании ТБВ, а также о ключевой роли органических веществ в переносе и аккумуляции тория и редкоземельных элементов на гидротермальной стадии пегматитообразования. На заключительной стадии большая часть тория и часть REE обособляются в виде минеральных фаз, насыщающих ТБВ, а кальций (иногда совместно с частью Th и REE) остаётся в составе органической фазы в виде карбоксилатных солей и/или металлорганических комплексов.

В статье 2 таблицы, 5 рисунков и список литературы из 20 наименований.

### Введение

Присутствие твёрдых битуминозных веществ (ТБВ) многократно отмечалось для пегматитовых тел Хибино-Ловозёрского щелочного комплекса на Кольском полуострове (Россия). Здесь ТБВ являются характерными компонентами поздних гидротермальных парагенезисов, имеют явно эндогенное происхождение и нередко образуют скопления, достигающие в размерах нескольких сантиметров (Антонов и др., 1933; Лабунцов, 1937; Соколова, 1965; Зезин, Соколова, 1967; Лоскутов, Полежаева, 1968; Флоровская и др., 1968; Костылёва-Лабунцова и др., 1972; Пеков, 1998, 2001; Kartashov *et al.*, 2006). Обычно органические соединения находятся здесь в тесной ассоциации с микропористыми силикатами, содержащими в составе гетерополиэдрических каркасов атомы Ti, Nb и Zr: обособления ТБВ врастают в агрегаты этих минералов и нарастают на их поверхность. Эта связь проявляется настолько устойчиво и отчётливо, что нами была высказана гипотеза о том, что цеолитоподобные титано-, ниобо- и цирконосиликаты играли роль катализаторов синтеза битуминозных веществ (Чуканов и др., 2005а, б; 2006), тем более что аналогичные синтетические Ti-, Nb- и Zr-силикатные цеолитные (в широком смысле слова) материалы известны как сорбенты

малых молекул и эффективные катализаторы многих реакций с участием органических соединений (см. обзорную работу Чуканова с соавторами (2004)). При этом немаловажно, что аптаитовые щелочные пегматиты, а особенно их гидротермальные парагенезисы, являются уникальными объектами по обилию и разнообразию микропористых минеральных фаз с гетерополиэдрическими каркасами, построенными на основе тетраэдров SiO<sub>4</sub> и октаэдрически координированных атомов переходных элементов, в первую очередь Ti, Nb и Zr (Chukanov, Pekov, 2005; Pekov, Chukanov, 2005).

Как показано в цитированных выше работах, ТБВ из пегматитов Хибинского массива, как правило, низкосернистые и обогащены производными полициклических ароматических углеводородов, содержащими гидроксильные, карбонильные, карбоксильные и карбоксилатные группы, а также водой. На гидротермальной стадии минералообразования они являются концентраторами тория, а также щелочноземельных и редкоземельных элементов. В частности, макроскопические скопления окисленных битуминозных веществ в пегматитах Хибинского массива обычно сопровождаются ториевой и/или редкоземельной минерализацией. Окисленные ТБВ с редкими высоковалентными (Th, U, REE, Nb, Zr, Ti) и щелочноземельными эле-

ментами являются сложными микрогетерогенными системами, содержащими минеральные (чаще всего силикаты тория, кальцит), металлоорганические (с *REE*, Ca, Sr, Ba) и органические фазы, образование которых, предположительно, происходило в результате распада исходного металлоорганического субстрата при понижении температуры. С другой стороны, минералы тория и редкоземельных элементов, образовавшиеся в агпаитовых пегматитах на гидротермальной стадии, обычно содержат обильные включения ТБВ (в отличие от ассоциирующих с ними минералов, не содержащих Th и *REE*). В связи с этим нами была высказана вторая гипотеза — о том, что окисленные производные полиядерных аренов, установленные в ТБВ, являются комплексообразователями для Th, *REE*, Ba, Sr, Ca и способствуют переносу и концентрированию этих элементов при низких температурах.

Описываемые в настоящей статье новые находки ТБВ в пегматитах Хибинского массива дали дополнительный материал для проверки обеих этих гипотез.

## Объекты исследования

**Пегматит г. Хибинпахкчорр (Хбп-1).** Эгирин-полевошпатовая пегматитовая жила была обнаружена З.В. Шлюковой среди хибинитов горы Хибинпахкчорр в 1959 г. Выходы жилы прослежены с запада на восток на протяжении 8 м, мощность — 0.5–1.2 м. Западный её участок сложен микроклином, арфведсонитом, эгирином, эвдиалитом, энигматитом и аксессуарным лопаритом, а средняя и восточная части — преимущественно минералами гидротермальной стадии: анальцитом, натролитом, катаплеитом и другими. Наиболее разнообразны члены группы лабунцовита: бесцветные кристаллы цепинита-Na и парацепинита-Na, неоднородные по составу (с зонами, резко обогащёнными Ca или Sr), нарастают (иногда эпитаксически) на оранжевые кристаллы более ранних лабунцовита-Mn и леммлейнита-Ba. Обогащённые ТБВ микрогетерогенные образования приурочены в основном к кристаллам лабунцовита, реже — цепинита и катаплеита. Чаще всего они образуют сферолиты чёрного цвета, диаметром до 1 мм, растущие в кристаллы лабунцовита или нарастающие на их поверхность.

**Пегматит г. Коашва (Коа-2),** вскрытый карьером на г. Коашва (Хибины) летом 2005 г., представляет собой субгоризонтальную линзу протяженностью около 3 м и мощностью до 0.5 м, залегающую непосредственно на

контакте уртитов с рудным телом нефелин-апатитовой породы. В пегматите можно чётко выделить минеральные ассоциации трёх стадий. В первую из них образовались калиевый полевой шпат, нефелин, тёмно-серый содалит, щелочные пироксен и чёрный амфибол, эвдиалит, лампрофилит и ринкит. Вторая стадия — «сухая ультраагпаитовая» — породила зелёный игольчатый эгирин в виде крупных сферолитов, сиреневый содалит, шестоватый пектолит, виллиомит, ломоносовит, минерал группы ловозерита (цирсиналит?), чкаловит, фторкафит, сфалерит, незначительные количества галенита и флогопита. К продуктам третьей стадии — ультраагпаитовой гидротермальной — относятся минералы, замещающие более ранние фазы, а также кристаллизующиеся в полостях. Это натролит (слагает большую часть ядра пегматита), катаплеит (образует полные псевдоморфозы по ловозеритоподобному минералу), ситинакит, леммлейнит-К, виноградовит (эти три титаносиликата нацело замещают ломоносовит, а также кристаллизуются в кавернах), сиреневый фторапатит (эпитаксия на фторкафите в полостях и самостоятельные мелкие кристаллы), астрофилит, тонковолокнистый пектолит, умбит (в псевдоморфозах по эвдиалиту), сазыкинаит-(Y), амичит, альпасолит и недиагностированные пластинчатые водные (Cu,Fe)-сульфиды. Среди натролита и в кавернах очень много крупных (до 1 см) каплевидных обособлений чёрного твёрдого битуминозного вещества, очевидно, возникшего в третью стадию. Сплошные каймы, а также цепочки сферул этого битуминозного вещества часто окружают вросшие в натролит псевдоморфозы катаплеита по минералу группы ловозерита.

**Пегматит г. Кукисвумчорр (Кук-3).** Жильное тело, мощностью до 10 см, сложенное преимущественно натролитом с подчинёнными количествами эгирина и аксессуарным макинавитом, было вскрыто подземной выработкой Кировского рудника (г. Кукисвумчорр). Жила сечёт уртит недалеко от контакта с телом апатит-нефелиновой породы. В ней встречаются небольшие гнёзда, сложенные тонкозернистыми агрегатами пирохлора и комаровитоподобного (Na,Ca)-ниобосиликата, имеющими жёлтый цвет и, скорее всего, представляющими собой псевдоморфозы по какому-то раннему щелочному ниобосиликату (возможно, вуоннемиту). Именно к ним и приурочено твёрдое битуминозное вещество чёрного цвета с сильным смолистым до металловидного блеском. Его обособлениями

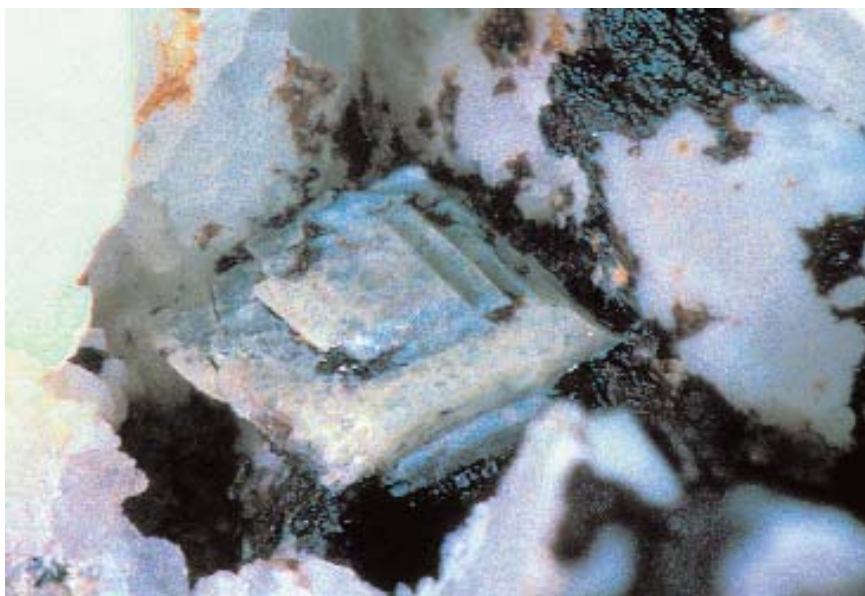


Рис. 1. Образец из пегматита г. Кукисвумчорр (Кук-4): Битуминозное вещество (тёмное), нарастающее на кристалл пятенкошта-(Y).  
Фото: Н.А. Пекова

Таблица 1. Содержания элементов с атомными номерами > 10 в органических фазах, мас. %.

Номер анализа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Пегматит г. Хибинпахчорр (Хбп-1)				Пегматит г. Коашва (Коа-2)		Пегматит г. Кукисвумчорр (Кук-3)		Пегматит г. Кукисвумчорр (Кук-4)
Na <sub>2</sub> O	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	1.65	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	5.62
K <sub>2</sub> O	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	0.56	н.п.о.	0.28	1.31	0.96
CaO	3.41	3.54	3.89	3.71	0.69	0.44	н.п.о.	н.п.о.	1.56
SrO	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	0.23
MgO	н.п.о.	н.п.о.	0.79	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	0.21
FeO	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	0.44
ZnO	1.50	1.42	1.48	1.81	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
PbO	н.п.о.	н.п.о.	0.83	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.85	0.90	0.67	1.39	0.51	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	0.27
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.08	6.66	6.15	6.21	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.16	0.44	0.37	0.27	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.09	0.66	0.67	0.58	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.74	2.59	2.70	2.50	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.62	0.09	0.16	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
ThO <sub>2</sub>	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	3.84	3.67	н.п.о.	н.п.о.	6.23
SiO <sub>2</sub>	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	1.15	1.88	1.50	н.п.о.	н.п.о.	13.07
S	0.58	0.49	0.43	0.45	1.91	0.41	1.61	2.40	0.38
Cl	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	0.66	0.14	н.п.о.	н.п.о.	0.12
-O=S	-0.29	-0.24	-0.21	-0.22	-0.95	-0.20	-0.80	-1.20	-0.19
-O=Cl <sub>2</sub>	—	—	—	—	-0.15	-0.03	—	—	-0.03
Сумма	16.74	16.55	17.93	17.85	10.60	5.93	1.09	2.51	28.86

Примечание: н.п.о. — ниже предела обнаружения электронно-зондовым методом

неправильной формы, не превышающими в размерах нескольких миллиметров, густо «нафаршированы» агрегаты пирохлора и (Na,Ca)-ниобосиликата.

Материал **пегматита г. Кукисвумчорр (Кук-4)** представлен фрагментом керна разведочной скважины, пробуренной в подземной выработке горизонта +252 Кировского рудника. Скважина пересекает пегматитовый прожилок, сложенный микроклином с небольшим количеством чёрного игольчатого эгирина; краевые части прожилка богаче эгирином, содержат нефелин и ринкит. Осевая зона прожилка сложена белым до бесцветного микроклином с небольшим количеством чёрного игольчатого эгирина. На стенки полостей в осевой зоне прожилка нарастают ромбоздрические кристаллы пятенкоита-(Y)  $\text{Na}_5(\text{Y}, \text{HREE})\text{TiSi}_6\text{O}_{18} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  до 1,5 мм в поперечнике. Интересны соотношения редкоземельных элементов в кукисвумчоррском пятенкоите-(Y): в спектре лантаноидов здесь преобладает эрбий (Пеков и др., 2003), что является редкостью для минералов апайтовых массивов. Эти кристаллы, а также микроклины вокруг них покрыты корочками бурого (до чёрного) твёрдого битуминозного вещества (рис. 1). Здесь встречаются и округлые, каплевидные его обособления до 5 мм в диаметре; в них обнаружены многочисленные мелкие (< 0.1 мм) включения стисиита  $\text{Th}(\text{Na}, \text{Ca})_2\text{K}_{1-x}\text{Si}_8\text{O}_{20}$ .

### Исследование образцов методом локального рентгеноспектрального анализа

Анализ, включающий получение изображения исследуемого объекта во вторичных и отражённых электронах и характеристическом рентгеновском излучении отдельных химических элементов, выполнялся на цифровом сканирующем электронном микроскопе CamScan MV2300, оснащённом YAG-детектором вторичных и отражённых электронов и энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором с полупроводниковым (Si-Li) детектором Link INCA Energy. При сканировании по анализируемой площадке диаметр электронного пучка на поверхности образца составлял 0.157 мкм при времени накопления сигнала в каждой точке 0.5 мс. Анализ проводился при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 0.52–0.56 нА. Аналитик А.Н. Некрасов (ИЭМ РАН).

В настоящей работе исследованы битуминозные вещества, образующие включения в лабунцовите-Mn (пегматит Хбп-1, г. Хибинпахчорр), и макрообособления ТВВ из пегматитов гор Коашва (пегматит Коа-2) и Кукисвумчорр (пегматиты Кук-3 и Кук-4). Все эти образования, как и те, что изучались ранее Чукановым с соавторами (2005, 2006), представляют собой микрогетерогенные сращения, включающие два типа фаз: существенно органические и минеральные (рис. 2, 3, 4). Первые характеризуются однородностью в обратно-рассеянных электронах, низкими суммами анализов (как правило, не выше 20%), постоянным присутствием серы (0.4–2.4 %), а также кальция и/или калия

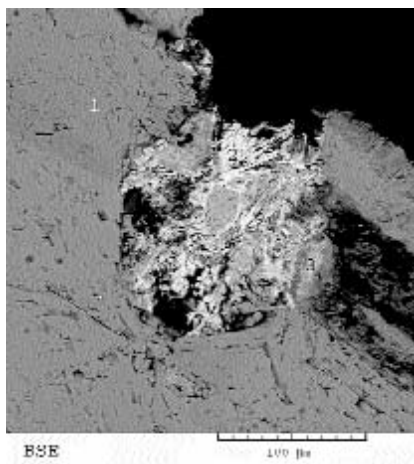


Рис. 2. Образец из пегматита г. Хибинпахчорр (Хбп-1): 1 – лабунцовит-Mn, 2 – «силикооксид Mn и REE», 3 – рансееит

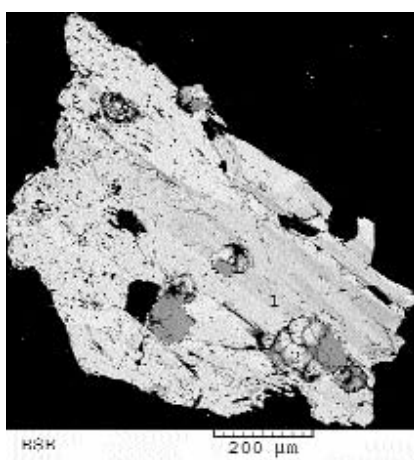


Рис. 3. Образец из пегматита г. Хибинпахчорр (Хбп-1): 1 – лабунцовит-Mn, 2 – «силикооксид Mn и REE», 3 – Ti, Th-силикат

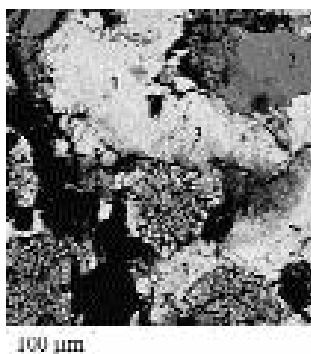


Рис. 4. Образец из пегматита г. Коашва (Коа-2): 1 – ториевый титаносиликат, 2 – леммлейнит-K, 3 – биотит. Чёрное – органическое вещество

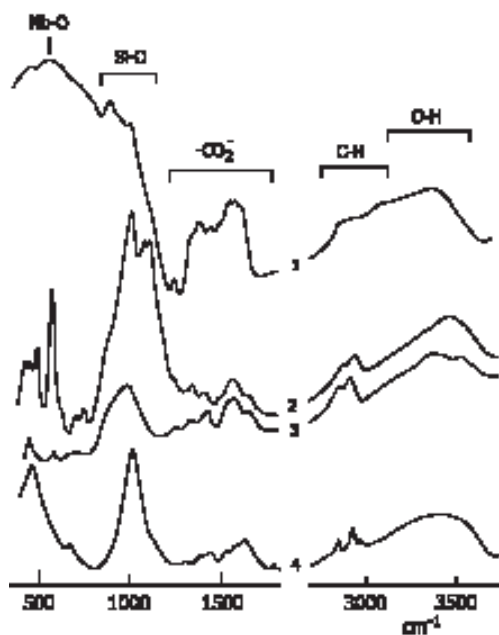


Рис. 5. ИК-спектры микрогетерогенных агрегатов с ТБВ из пегматитов гг. Кукуисвумчорр (Кук-3 (1), Кук-4 (2)), Коашва (Коа-2 (3)) и Хибинпахчорр (Хбп-1 (4))

(табл. 1). Минеральные фазы, находящиеся в сростаниях с ТБВ, разнообразны по химическому составу (табл. 2). Наиболее характерными компонентами в них являются Si, Mn, REE, Th, щелочные (Na, K) и щелочноземельные (Ca, Sr, Ba) элементы.

В отличие от хибинского «карбоцера» и большинства других образцов ТБВ, изучавшихся нами ранее, высокие концентрации тория и редкоземельных элементов обнаружены не только в минеральных фазах, но в ряде случаев и в составе существенно органической матрицы. Органическая фаза ТБВ из пегматита Хбп-1 концентрирует REE и не содержит Th, причём среди REE доминирует La (6.1–6.7 мас. %), а Nd (2.5–2.7 мас. %) и Pr (0.6–1.1 мас. %) резко преобладают над Ce, содержания которого находятся в пределах 0.2–0.4 мас. %. ТБВ из пегматитов Коа-2 и Кук-4 концентрируют Th и не содержат REE. В органическом веществе из пегматита Кук-3 редкие элементы отсутствуют (табл. 1).

Результаты микронзондовых анализов минеральных фаз, тесно ассоциирующихся с ТБВ, даны в таблице 2. По составу (и частично по данным ИКС) среди этих минералов диагностированы лабунцовит-Mn  $\text{Na}_4\text{K}_4\text{Mn}_2\text{Ti}_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})_4(\text{OH},\text{O})_8 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , леммлейнит-K  $\text{Na}_4\text{K}_8(\text{Ti},\text{Nb})_8[\text{Si}_4\text{O}_{12}]_4(\text{OH},\text{O})_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , рансьейт  $(\text{Ca},\text{Mn}^{2+})\text{Mn}_4^+\text{O}_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , умбит или костылевит

$\text{K}_2\text{ZrSi}_3\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и стисиит  $(\text{Na},\text{Ca})_2\text{K}_{1-x}\text{ThSi}_6\text{O}_{20}$  (здесь и далее даны идеализированные формулы). Эти минералы, а также образующие микрофазы высокониобиевый силикат  $(\text{Na},\text{Ca},\text{K})_3(\text{Nb},\text{Ti})_2\text{Si}_{1-x}(\text{O},\text{OH})_x\text{F} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , ториевые титаносиликаты  $(\text{K},\text{Ba})_{1.5}(\text{Ca},\text{Na})(\text{Th},\text{REE})(\text{Ti},\text{Nb})_3(\text{Si},\text{Al})_6(\text{O},\text{OH})_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NaCaK}_{0.5}\text{MnTh}_4\text{REE}_{1-x}(\text{Ti},\text{Nb})_2\text{Si}_8(\text{O},\text{OH})_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и силикат цинка и тория  $(\text{Na},\text{Ca},\text{K})_2(\text{Zn},\text{Ti})_2\text{Th}_4\text{REE}(\text{Si},\text{Al})_8(\text{O},\text{OH})_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$  обладают стехиометричными составами, которые рассчитываются на формулы с коэффициентами, близкими к целочисленным. Составы так называемого «силикооксида Mn и REE» (ан. 4–6 в табл. 2), наоборот, характеризуются непостоянством и низкими суммами и, возможно, относятся к криптокристаллическим смесям.

В минералах из пегматита Хбп-1 присутствуют вместе Th и REE. Последние, как и REE в сростающихся с ними органических фазах, характеризуются лантановым максимумом. В составе минеральных фаз пегматитов Коа-2 и Кук-4, как и в составе ТБВ из этих объектов, среди редких элементов преобладает торий (30.7–46.8 мас. %), но в образце из пегматита Коа-2 также присутствуют и REE (4.6–6.9 мас. %) с цериевым максимумом. В минеральных фазах из пегматита Кук-3 торий отсутствует, но отмечено небольшое количество REE (2.55–3.19 мас. %) с преобладанием церия.

Анализируя состав органических веществ и сравнивая их с составом тесно ассоциирующих с ними минералов из тех же объектов, можно сказать, что редкие элементы обнаруживают тенденцию к формированию собственных минеральных фаз. Однако такого чёткого фракционирования редких элементов между различными минеральными и органической фазами, как это имеет место в «карбоцере» и некоторых других микрогетерогенных образованиях с ТБВ (Чуканов и др., 2005a, b; 2006), не наблюдается.

### Исследование образцов методом ИК-спектроскопии

ИК-спектры образцов, запрессованных в таблетки с KBr, получены с помощью двухлучевого спектрофотометра Sperecord 75 IR. При записи спектра в пучок сравнения помещалась таблетка из чистого KBr.

Наиболее надёжным диагностическим признаком углеводородных групп является наличие в спектре относительно узких полос C-H-валентных колебаний в диапазоне

Таблица 2. Химический состав (мас. %) минеральных фаз, находящихся в сростании с ТБВ (по данным локального рентгеноспектрального анализа)

Номер анализа	1	2	3	Пегматит г. Хибинпахкчорр (Хбп-1)			
				4	5	6	7
Na <sub>2</sub> O	5.64	4.73	0.88	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
K <sub>2</sub> O	7.07	6.74	3.19	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
CaO	н.п.о.	н.п.о.	2.12	0.39	0.52	0.54	3.87
BaO	10.19	12.17	4.04	1.64	1.25	0.68	3.20
MnO	2.50	2.37	1.18	30.56	28.74	29.62	64.20
FeO	0.59	0.78	0.58	8.65	10.90	11.01	0.64
ZnO	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	0.87	0.71	0.84	0.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	н.п.о.	н.п.о.	0.72	2.99	3.64	3.60	н.п.о.
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	н.п.о.	н.п.о.	2.03	3.92	4.27	3.71	н.п.о.
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	н.п.о.	н.п.о.	1.66	1.18	1.42	1.60	н.п.о.
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	н.п.о.	н.п.о.	0.35	1.05	0.65	1.32	н.п.о.
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	н.п.о.	н.п.о.	1.46	3.55	2.83	3.54	н.п.о.
ThO <sub>2</sub>	н.п.о.	н.п.о.	8.49	н.п.о.	0.56	н.п.о.	н.п.о.
SiO <sub>2</sub>	40.56	38.94	30.51	4.32	6.51	6.20	н.п.о.
TiO <sub>2</sub>	26.37	23.98	11.15	0.83	0.59	0.57	н.п.о.
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.03	3.54	5.37	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Сумма	94.27	93.57	73.73	60.37	63.32	64.00	74.59
<b>Формульные коэффициенты</b>							
Na	4.32	3.77	0.43	—	—	—	—
K	3.56	3.52	1.04	—	—	—	—
Ca	—	—	0.57	0.38	0.34	0.38	0.66
Ba	1.58	1.97	0.40	0.60	0.29	0.17	0.09
Mn	0.83	0.83	0.26	24.02	14.94	16.16	4.04
Fe	0.21	0.28	0.13	6.70	5.60	5.93	0.04
Zn	—	—	—	0.60	0.33	0.40	0.03
Al	—	—	0.22	3.26	2.63	2.72	—
La	—	—	0.19	1.34	0.96	0.88	—
Ce	—	—	0.15	0.40	0.31	0.38	—
Pr	—	—	0.03	0.36	0.15	0.31	—
Nd	—	—	0.13	1.18	0.62	0.81	—
Th	—	—	0.50	—	0.08	—	—
Si	16.00	16.00	7.78	4.00	4.00	4.00	—
Ti	7.83	7.41	2.14	0.58	0.28	0.28	—
Nb	0.18	0.65	0.62	—	—	—	—
Способ расчёта	Si = 16	Si = 16	Si + Al = 8	Si = 4	Si = 4	Si = 4	Сумма катионов = 5

Примечание: 1, 2 – лабунцовит-Мп; 3 – Ti,Th-силикат; 4–6 – водный силикооксид?; 7 – рансьеит; 8 – леммлейнит-К; 9 – умбит или костылевит; 10–12 – Ti,Th-силикаты; 13 – Zn,Th-силикат; 14–16 – высоконикобиевый силикат, 17 – стисит. В состав входят также: SrO (7 – 1.23, 14 – 5.22, 15 – 3.49); MgO (1 – 0.23, 2 – 0.32, 7 – 0.85, 11 – 0.72); ZrO<sub>2</sub> (9 – 24.10); Cl (4 – 0.54, 5 – 0.94, 6 – 1.00); -O=Cl<sub>2</sub> (4 – 0.12, 5 – 0.21, 6 – 0.23); F (14 – 5.59, 16 – 4.57); -O=F<sub>2</sub> (14 – 2.35, 16 – 1.92). Ф. к.: Sr (7 – 0.05, 14 – 0.20, 15 – 0.14); Mg (1 – 0.18, 2 – 0.21, 7 – 0.09, 11 – 0.35); Zr (9 – 3.23); Cl (4 – 0.85; 5 – 0.98; 6 – 1.09); F (14 – 1.13, 16 – 1.13). н.п.о. – ниже предела обнаружения электронно-зондовым методом.

Номер анализа	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Пегматит г. Коашва (Коа-2)						Пегматит г. Кукисвумчорр (Кук-3)			Пегматит г. Кукисвумчорр (Кук-4)
Na <sub>2</sub> O	4.49	1.19	2.12	2.42	1.57	1.54	10.44	9.42	9.56	4.41
K <sub>2</sub> O	14.67	19.66	1.05	2.09	1.03	0.77	1.57	1.90	1.83	3.93
CaO	н.п.о.	н.п.о.	1.25	1.90	2.24	1.52	10.56	10.93	11.55	5.41
BaO	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
MnO	н.п.о.	н.п.о.	2.54	6.37	2.95	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
FeO	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	0.78	1.41	0.91	0.77
ZnO	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	4.83	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	н.п.о.	н.п.о.	0.58	н.п.о.	н.п.о.	0.84	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	н.п.о.	н.п.о.	0.99	1.44	0.68	1.70	н.п.о.	1.19	0.58	н.п.о.
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	н.п.о.	н.п.о.	2.62	3.36	3.09	3.81	н.п.о.	2.00	1.72	н.п.о.
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	0.40	0.75	0.15	н.п.о.	н.п.о.	0.25	н.п.о.
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	н.п.о.	н.п.о.	0.95	0.87	1.48	1.26	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
ThO <sub>2</sub>	н.п.о.	н.п.о.	40.46	35.06	46.83	45.02	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	30.69
SiO <sub>2</sub>	39.29	43.63	19.82	24.02	22.39	19.07	3.67	9.85	11.80	53.62
TiO <sub>2</sub>	16.81	3.57	3.05	8.22	5.67	1.32	5.59	6.88	6.27	н.п.о.
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	17.80	2.93	1.47	4.24	2.37	н.п.о.	59.55	54.60	46.00	н.п.о.
Сумма	93.06	95.08	76.92	91.11	91.05	81.83	100.62	101.67	93.12	99.79
<b>Формульные коэффициенты</b>										
Na	3.55	0.16	1.60	1.57	1.09	1.19	1.30	1.23	1.45	1.28
K	7.62	1.73	0.52	0.89	0.47	0.39	0.13	0.16	0.18	0.74
Ca	—	—	0.52	0.68	0.87	0.65	0.73	0.79	0.97	0.86
Ba	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn	—	—	0.84	1.80	0.89	—	—	—	—	—
Fe	—	—	—	—	—	—	0.04	0.08	0.06	0.09
Zn	—	—	—	—	—	1.43	—	—	—	—
Al	—	—	0.27	—	—	0.39	—	—	—	—
La	—	—	0.15	0.18	0.09	0.25	—	0.03	0.02	—
Ce	—	—	0.37	0.41	0.40	0.55	—	0.05	0.05	—
Pr	—	—	—	0.05	0.09	0.03	—	—	0.01	—
Nd	—	—	0.14	0.11	0.19	0.18	—	—	—	—
Th	—	—	3.59	2.66	3.81	4.09	—	—	—	1.04
Si	16.00	3.00	7.73	8.00	8.00	7.61	0.56	0.66	0.93	8.00
Ti	5.14	0.19	0.90	2.06	1.53	0.39	0.27	0.35	0.37	—
Nb	3.27	0.09	0.26	0.64	0.39	—	1.73	1.65	1.63	—
Способ расчёта	Si = 16	Si = 3	Si + Al = 8	Si + Al = 8	Si + Al = 8	Si + Al = 8	Ti + Nb = 2	Ti + Nb = 2	Ti + Nb = 2	Si = 8

2800–3100  $\text{см}^{-1}$ , причём алифатическим группам  $\text{CH}_2$  и  $\text{CH}_3$  соответствует дублет в интервале 2840–2980  $\text{см}^{-1}$ . Симметричные валентные колебания метиленовых и метильных групп имеют частоты 2843–2863 и 2860–2870  $\text{см}^{-1}$  соответственно, а асимметричные валентные колебания – 2916–2936 и 2952–2972  $\text{см}^{-1}$  соответственно. Связи C–H, принадлежащие ненасыщенным углеводородным группам (в алкенах и ароматических соединениях), характеризуются повышенными частотами валентных колебаний (2990–3110  $\text{см}^{-1}$ ). Для метоксигруппы O–CH<sub>3</sub>, связанной с ароматическим кольцом, характеристической является полоса с максимумом поглощения около 2835  $\text{см}^{-1}$ .

Наиболее надёжным признаком присутствия ароматических соединений с кислородсодержащими группами является наличие многочисленных полос поглощения в диапазоне 1210–1740  $\text{см}^{-1}$ . В частности, серия полос в частотном интервале 1370–1600  $\text{см}^{-1}$  относится к C–C-валентным колебаниям в ароматических кольцах. Карбоксилатные группы  $\text{CO}_2$  поглощают в диапазонах 1550–1670  $\text{см}^{-1}$  (антисимметричные валентные колебания) и 1280–1430  $\text{см}^{-1}$  (симметричные валентные колебания). Эти группы присутствуют в большинстве макрообособлений ТБВ из Хибин. Связи C=O (карбонильные и карбоксильные группы, в том числе димерные формы карбоновых кислот) имеют характеристические полосы при 1690–1740  $\text{см}^{-1}$  (Смит, 1982).

По данным ИК-спектроскопии, все изученные в настоящей работе микрогетерогенные агрегаты с ТБВ содержат как алифатические углеводороды, так и окисленные ароматические соединения, но в разных соотношениях (рис. 5).

В образце из пегматита Кук-3 преобладают ароматические соединения с карбоксилатными группами. Количество связей атомов водорода с ароматическим углеводородным кольцом (плечо при 3100  $\text{см}^{-1}$ ) незначительно; имеются боковые алифатические группы (широкое плечо в интервале 2800–2900  $\text{см}^{-1}$ ).

ТБВ из пегматитов Хбп-1, Коа-2 и Кук-4 относятся к промежуточному типу. В них наряду с окисленными ненасыщенными органическими соединениями присутствует значительное количество алифатических углеводородных групп. Положение наиболее сильной полосы C–H-валентных колебаний (2910–2932  $\text{см}^{-1}$ ) свидетельствует о присутствии в этих образцах полиметиленовых цепочек  $(\text{CH}_2)_n$ .

В ИК-спектрах всех изученных битуминозных веществ присутствуют полосы O–H- и Si–O-валентных колебаний (диапазоны 3200–3700 и 880–1200  $\text{см}^{-1}$  соответственно). Силикатный компонент представлен веществом с изолированными ортогруппами  $\text{SiO}_4$  (Кук-3, полоса при 897  $\text{см}^{-1}$ ), стисситом (Кук-4) и силикатами с полимеризованными кремнекислородными тетраэдрами (Коа-2 и Хбп-1; полосы при 986 и 1020  $\text{см}^{-1}$  соответственно). Наиболее интенсивная, широкая полоса при 567  $\text{см}^{-1}$  в образце из пегматита Кук-3 характерна для ниобо- и титаносиликатов с  $(\text{Nb} + \text{Ti})\text{:Si} 1$ , в структуре которых присутствует пирохлороподобный модуль (комаровит, натрокомаровит, бельковит, ферсманит, а также, предположительно, монголит). Эти минералы могут рассматриваться как промежуточные между силикатами и титано-ниобатами. Скорее всего, к этому классу относится главная минеральная фаза с  $(\text{Nb} + \text{Ti}) \gg \text{Si}$  (ан. 14–16 в табл. 2) из сростаний с ТБВ в пегматите Кук-3.

### Обсуждение результатов

Сравнивая результаты настоящей работы с полученными ранее данными, можно отметить как общие закономерности, так и отличительные черты, присущие изученным в настоящей работе объектам. К общим чертам относятся:

1. Связь ТБВ с микропористыми Ti-, Nb- и Zr-силикатами: в образце из пегматита Хбп-1 микровыделения ТБВ располагаются внутри кристалла лабунцовита-Mn, в образце из пегматита Коа-2 макрообособления ТБВ содержат микровыделения умбита или костылевита, а также леммлейнита-K, в пегматите Кук-3 ТБВ тесно ассоциируют с высокониобиевым силикатом, а в пегматите Кук-4 – нарастают на титаносиликат пятенкоит-(Y).
2. Наличие микровыделений минеральных фаз, содержащих REE и/или Th: титан-ториевые и цинк-ториевый силикаты, «силикооксид Mn и REE», высокониобиевый силикат, стисиит.
3. Микрогетерогенное строение скоплений битуминозных веществ (наблюдается тесное срастание ТБВ и минеральных фаз).
4. Присутствие серы в составе всех органических веществ.

В большинстве изучавшихся ранее битуминозных веществ из аптаитовых пегматитов высоковалентные редкие элементы (Ce, La, Nd, Y, Th, U, Ti) входят преимущественно в состав включений минеральных микрофаз, а органическая матрица содержит в основном

щелочноземельные элементы, причём наблюдается высокая степень межфазовой сепарации редких элементов (Чуканов и др., 2005а, 2006). В описанных выше парагенезисах это разделение выражено менее отчётливо, причём непосредственно в органической фазе отмечается присутствие значительных количеств *REE* (пегматит Хбп-1) или Th (пегматиты Коа-2 и Кук-4).

Термин «карбоцер» ранее отмечался нами как не вполне удачный по отношению к гидротермальным агпаитовым массивам Кольского полуострова, потому что в первоначально описанном материале (Лабунцов, 1937) редкоземельные элементы были ошибочно определены вместо тория (Чуканов и др., 2003). Находка в пегматите Хбп-1 ТБВ, содержащего более 10 мас. %  $REE_2O_3$  (табл. 1), позволяет «реабилитировать» термин «карбоцер». Исходя из вышеизложенных данных, можно предположить, что в рассмотренных объектах при фракционировании близких по свойствам элементов между фазами (в т. ч. при отделении Th от *REE* и сепарации лантаноидов) может «работать» не только кристаллохимический механизм, но и сродство разных типов органических молекул к определенным металлам.

Приведённые выше данные подтверждают сделанный нами ранее вывод о том, что эволюция углеродистых веществ на гидротермальной стадии формирования агпаитовых пегматитов тесно связана с рядом элементов, которые при низких температурах, как правило, отличаются низкой активностью и подвижностью: Th, *REE*, Ti, Zr, Nb. В этой связи показателен вывод, сделанный В.И. Вернадским относительно геохимии таких элементов (Вернадский, 1954). Приведём его с небольшими сокращениями:

*«Вся геохимия тория определяется одним замечательным его свойством, резко отличающим его от урана... Торий принадлежит к числу тех химических элементов, которые стоят вне геохимии воды, вернее водных растворов. Он не переходит в раствор, не входит в водные равновесия Земли, и надо думать, что его концентрации в земных условиях должны быть ничтожны... Он принадлежит в этом отношении к парагенетическим химическим элементам, к которым относятся Zr, Hf, ..., элементы редких земель, Nb и Ta... Для тория... отсутствуют минералы как вагонные, выделившиеся из водных растворов, так и гидротермальные».*

Здесь важно то, что наряду с торием В.И. Вернадский отмечает *REE*, Zr, Nb (к этому ряду можно добавить и Ti) как элементы,

стоящие «вне геохимии водных растворов». На первый взгляд этот вывод противоречит широкой распространённости в гидротермальных парагенезисах Хибино-Ловозёрского комплекса так называемых «амфотеросиликатов» (главным образом щелочных водных титано-, цирконо- и ниобосиликатов — цеолитоподобных минералов с низкоплотными гетерополиэдрическими каркасами), а также минералов редкоземельных элементов и тория. Противоречие это снимается, если принять во внимание, что В.И. Вернадский не учитывал возможности транспорта малоподвижных в водной среде элементов в виде комплексов с гидрофильными лигандами.

Возможные механизмы участия органических веществ в переносе редких элементов (главным образом Th и *REE*) в гидротермальных Хибино-Ловозёрского комплекса могут быть сформулированы с учётом наблюдаемых парагенетических связей между органическими и минеральными фазами в этих объектах. В частности, описанные выше парагенезисы подтверждают наличие отчётливой пространственной связи между скоплениями конденсированного органического вещества, «амфотеросиликатами» и минералами *REE* и Th. Об этом свидетельствуют нарастание ТБВ на агрегаты Ti-, Nb- и Zr-силикатов, микроворстки органических веществ в минералах тория гидротермальной стадии и обогащённые ТБВ оторочки вокруг скоплений минералов *REE*. По аналогии с синтетическими гетерокаркасными микропористыми материалами можно предположить, что Ti-, Nb- и Zr-силикаты в пегматитах играли роль катализаторов реакций полимеризации, риформинга и селективного окисления, приводивших к формированию кислородсодержащих ТБВ из низкомолекулярных углеводородов. Вместе с тем нельзя исключить участия органических соединений в переносе не только тория и редкоземельных элементов, но также и Ti, Nb и Zr. Об этом свидетельствует не только сам факт кристаллизации минералов малоподвижных в водных средах элементов непосредственно из водных растворов, но и присутствие в ТБВ вростков микрофаз, содержащих эти элементы. Таким образом, новые данные (табл. 1, 2) подтверждают гипотезу о тесной генетической связи Th, *REE*, Ti, Nb и Zr с битуминозными веществами в поздних дериватах агпаитовых плутонов. На позднегидротермальной стадии минералообразования Хибинского массива скопления ТБВ являются концентраторами Th,

REE, Ti, Nb, Zr. Особенно важной представляется эта связь для геохимии тория. Приуроченность названных элементов к ТБВ может быть объяснена их способностью формировать прочные комплексные соединения с органическими веществами, образующимися на позднегидротермальной стадии, что способствует их переносу, концентрированию и сепарации именно при низких температурах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 07-05-00130-а

## Литература

- Антонов А.Б., Борнеман-Старынкевич И.Д., Чирвинский П.Н. Новые жилы с редкоземельными минералами горы Кукисвумчорр в Хибинских тундрах // Хибинские редкие элементы и пирротины. Л.: Госхимтехиздат, **1933**. С. 173–180.
- Вернадский В.И. Избранные сочинения. М.: Изд-во АН СССР, **1954**. Т. 1. 696 с.
- Зезин Р.Б., Соколова М.Н. Макропроявления углеродистых веществ в гидротермальных образованиях Хибинского массива // Докл. АН СССР. **1967**. Т.177. № 4. С. 921–924.
- Костылёва-Лабунцова Е.Е., Боруцкий Б.Е., Соколова М.Н. и др. Минералогия Хибинского массива. М.: Наука, **1972**. Т. 2. 586 с.
- Лабунцов А.Н. Карбоцер // Минералы Хибинских и Ловозёрских тундр. М.-Л.: изд-во АН СССР, **1937**. С. 445–447.
- Лоскутов А.В., Полежаева Л.И. К вопросу о природе хибинских карбоцеров // Матер. по минер. Кольского п-ва. Л.: Наука, **1968**. В. 6. С. 276–281.
- Пеков И.В. Иттриевая минерализация в Хибинско-Ловозёрском щелочном комплексе (Кольский полуостров) // ЗВМО. **1998**. Ч. 127. № 5. С. 66–85.
- Пеков И.В. Ловозёрский массив: история исследования, пегматиты, минералы. Москва: «Земля», **2001**. 432 с.
- Пеков И.В., Чуканов Н.В., Кононкова Н.Н., Пушаровский Д.Ю. Редкометалльные «цеолиты» группы илерита // Новые данные о минералах. **2003**. В. 38. С. 20–33.
- Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия. М.: Мир, **1982**. 328 с.
- Соколова М.Н. К минералогии глубоких горизонтов апатитового месторождения Кукисвумчорр в Хибинских тундрах // Докл. АН СССР. **1965**. 160. № 1. С. 193–203.
- Флоровская В.Н., Зезин Р.Б., Овчинникова Л.И. и др. Диагностика органических веществ в горных породах и минералах магматического и гидротермального происхождения. М.: Наука, **1968**. 250 с.
- Чуканов Н.В., Пеков И.В., Соколов С.В., Некрасов А.Н., Чуканова В.Н. О природе хибинского «карбоцера» и формах нахождения в нём тория и редкоземельных элементов // Геохимия магматических пород. Труды XXI Всеросс. семинара и школы Щелочной магматизм Земли. Апатиты, 3–5 сентября 2003 г. Апатиты: **2003**. С. 165–166.
- Чуканов Н.В., Пеков И.В., Расцветаева Р.К. Кристаллохимия, свойства и синтез микропористых силикатов, содержащих переходные элементы // Успехи химии. **2004**. Т. 73. № 3. 227–246.
- Чуканов Н.В., Ермолаева В.Н., Пеков И.В., Соколов С.В., Некрасов А.Н., Соколова М.Н. Редкометалльная минерализация, связанная с битуминозными веществами в поздних ассоциациях пегматитов Хибинского и Ловозёрского массивов // Новые данные о минералах. **2005а**. Вып. 40. С. 80–95.
- Чуканов Н.В., Шлюкова З.В., Некрасов А.Н. Проявление битуминозных веществ в пегматите г. Хибинпахкчорр (Хибинский массив) // Минералогические исследования в решении геологических проблем. Материалы годичной сессии МО РМО, Москва, 14 декабря. **2005б**. С. 136–138.
- Чуканов Н.В., Пеков И.В., Соколов С.В., Некрасов А.Н., Ермолаева В.Н., Наумова И.С. К вопросу об образовании и геохимической роли битуминозных веществ в пегматитах Хибинского и Ловозёрского щелочных массивов (Кольский полуостров, Россия) // Геохимия. **2006**. № 7. С. 774–789.
- Chukanov N.V., Pekov I.V. Heterosilicates with tetrahedral-octahedral frameworks: Mineralogical and crystal-chemical aspects // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. **2005**. Vol. 57: Micro-and mesoporous mineral phases. Editors: G. Ferraris & S. Merlino. P. 105–143.
- Kartashov P.M., Ferraris G., Soboleva S.V., Chukanov N.V. Caryochroite, a new heterophyllosilicate mineral from Kola peninsula (Russia) related to nafertisite // Canad. Miner. **2006**. Vol. 44. P. 1331–1339.
- Pekov I.V., Chukanov N.V. Microporous framework silicate minerals with rare and transition elements: Minerogenetic aspects // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. **2005**. Vol. 57: Micro-and mesoporous mineral phases. Editors: G. Ferraris & S. Merlino. P. 145–171.

УДК 549.5.02;549.27.28.

## ОСОБЕННОСТИ НАХОЖДЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В РУДАХ И В ЗОНЕ ОКИСЛЕНИЯ ОНЕЖСКИХ УРАН-ВАНАДИЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ

А.А. Черников

*Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, Москва, mineral@fmm.ru, cher@fmm.ru*

В.Т. Дубинчук, Д.О. Ожогин, Н.И. Чистякова

*Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья, Москва, vims@df.ru*

Крупные по запасам ванадия и, вероятно, благородных металлов (Pd, Au, Ag, Pt), комплексные уран-ванадиевые руды онежских месторождений с Mo, Cu, Bi, Pb и другими химическими элементами ограничены приповерхностной и глубинной пластовой зонами окисления. Кроме того, на месторождениях проявлена трещинная, глубинная зона окисления и гидротермальные роскоэлит-хромселадонит-доломитовые прожилки. В указанных прожилках установлены наибольшие (значительно превышающие 10 г/т) содержания благородных металлов. Благороднометалльные минералы представлены самородным золотом, селенидами, реже селенид-сульфидами, теллуридами или образуют сложные соединения с висмутом, свинцом и другими элементами. В зонах окисления, с наибольшими содержаниями благородных металлов, наблюдаются переотложенные присыпки самородной меди, аурикуприда, самородной платины, фрудита, изоферроплатины; новой природной фазы — палладиевого аналога аурикуприда, фазы AuO(OH). Выделения Au из приповерхностной зоны окисления с низким содержанием благородных металлов (ниже 10 г/т) имеют форму тонкодисперсных сгустков, размером 0.1 мкм и менее. В верхней части глубинной зоны окисления Au образует веретенообразные частицы, размером 2–3 мкм, подвергшиеся разрушению. Около средней части глубинной зоны окисления кристаллы золота рассеяны в лейстах самородной меди, размер лейст достигает десятков микрометров. Полученные результаты подтверждают ранее высказанное предположение о возможности увеличения до крупных запасов благородных металлов, в первую очередь около разведанных уран-ванадиевых месторождений.

В статье 4 таблицы, 6 рисунков, список литературы из 16 названий.

Онежские уран-ванадиевые месторождения с благородными металлами (Pd, Pt, Au, Ag), молибденом, медью, висмутом и др. являются крупными рудными объектами по запасам ванадия и, возможно, сопутствующих элементов, в частности благородных металлов. Последнее положение обосновано ранее проведенными исследованиями, установившими значительные концентрации Pd, Pt, Au и Ag за пределами разведанных уран-ванадиевых руд (Черников, 1997; Черников и др., 2000; Черников, 2001).

Месторождения Средняя Падма, Царевское, Космозеро и др. развиты в рифтогенной Онежской впадине, расположенной в юго-восточной части Балтийского щита, на контакте их с серовато-красно-бурными (гематитизированными) доломитами (Pr<sub>1</sub>) (Билибина и др., 1991; Лаверов и др., 1992; Мельников и др., 1992, 1993, 1995; Леденева, Пакульнис, 1997) древней глубинной пластовой зоны окисления (Полужтков и др., 1998; Черников и др., 2000; Черников, 2001).

Уран-ванадиевые руды Онежских месторождений представлены различными минеральными типами, образующими достаточно четкую минералого-геохимическую зональность. По периферии рудных залежей в наибольшем удалении от границы с глубинной

зоной окисления развиты низкотемпературные натриевые метасоматиты (альбититы), на внутреннюю часть которых наложена собственно рудная уран-ванадиевая ассоциация с медно-молибденовыми сульфидами. За медно-молибденовым уран-ванадиевым орудением следует зона богатых ванадиевых хромселадонит-роскоэлитовых слюд, сменяемая рядовыми уран-ванадиевыми рудами с участками богатого уранового и благородно-метального оруденения. Уран-ванадиевые руды далее ограничены гематитизированными доломитами. Зональное расположение определенных минеральных ассоциаций отчетливо устанавливается практически на всех месторождениях района. Довольно отчетливо фиксируется также пересечение всех вышеперечисленных минеральных ассоциаций кальцитовыми и гематитовыми прожилками и просечками, обязанными проявлению глубинной трещинной зоны окисления. Они секут рудные тела и гематитизированные доломиты. Тем не менее, гидратированные урановые оксиды, как это видно на рисунке 1, наблюдаются во всех минеральных ассоциациях. И только граница глубинной пластовой зоны окисления (рис. 2) является четко проявленным окислительно-восстановительным барьером, играющим главную роль в форми-

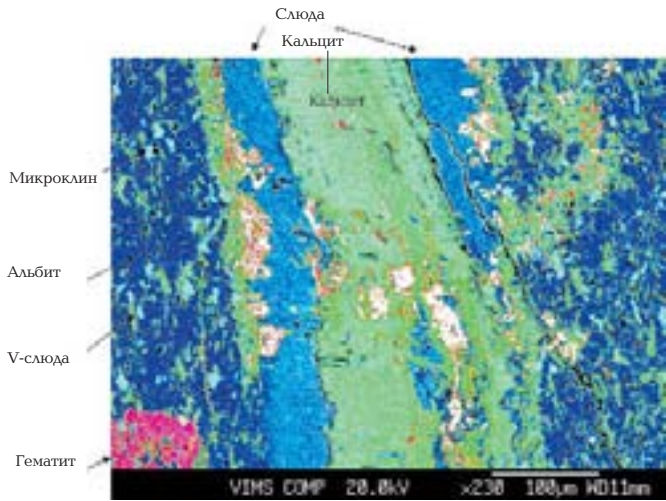
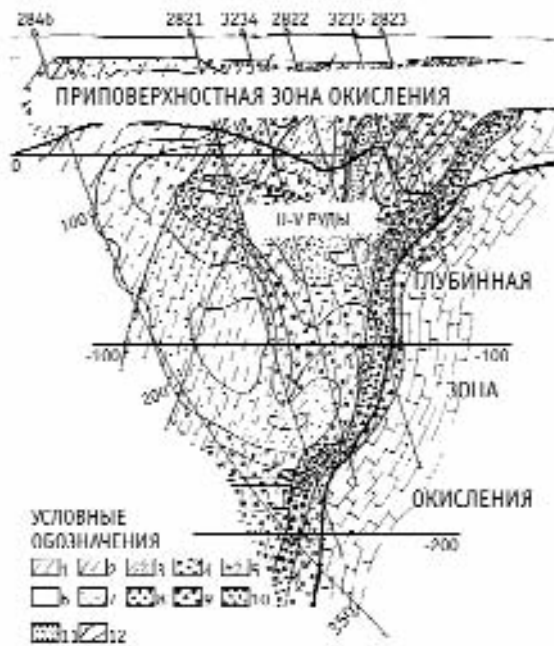


Рис. 1. Альбитизированная порода с наложенной уран-ванадиевой минерализацией; кальцитовыми, слюдистыми и гематитовыми прожилками и выделениями; и гидротированные оксиды урана (светло-серые выделения на рисунке).

Рис. 2. Положение приповерхностной и глубинной зон окисления относительно уран-ванадиевых руд на месторождении Средняя Падма. Геология по Полуэжкову и др. (1998).

1. Пестроцветные глинисто-карбонатные сланцы. 2. Глинисто-карбонатные сланцы зеленовато-серых тонов. 3. Шунгитсодержащие глинистые сланцы с прослоями доломитов. 4. Полевошпат-кварцевые алевролиты и алевро-сланцы. 5. Доломиты. 6. Моренные отложения. 7. Начальная степень метасоматического изменения пород. 8. Внешняя зона изменения пород. 9. Промежуточная зона метасоматических изменений пород. 10. Внутренняя зона. 11. Участки интенсивного брекчирования руд. 12. Границы: а) литологических разностей; б) метасоматических зон.



ровании комплексных руд. Около поверхности до глубины 30 м (реже 150 м) на всех месторождениях развита приповерхностная, современная зона окисления (рис. 2), в которой широко распространены бурые и темно-бурые оксиды железа и марганца, ограничивающие уран-ванадиевые руды сверху.

Доломиты вблизи контакта с серо-цветными породами и прожилки гематита обогащены переотложенными минералами благородных металлов, иногда урана и ванадия, природу выделения которых обычными минералогическими методами выявить не удалось. Поэтому для выявления ультрамикроскопических центров концентрации благородных металлов, их состава, строения и формы выделения был применен комплекс высокоразрешающих методов: растровая электронная микроскопия с рентгеновским спектрометром, просвечивающая электронная микроскопия с микродифракционным анализом, а также микрозондовый анализ.

Благородные металлы в рудах месторождений онежского типа распределены неравномерно. Наибольшее содержание их отмечается в роскоэлит-хромселадонит-доломитовых прожилках, которые секут уран-ванадиевые руды месторождений района. Они, по представлениям большинства исследователей, относятся к гидротермальным минеральным образованиям. В таком прожилке месторождения Средняя Падма, наиболее крупном рудном объекте района, впервые обнаружены новые минералы палладия и платины — падмаит  $PdBiSe$ , судовиковит  $PtSe_2$  (Полеховский и др., 1991; 1997) и малышевит  $PdBiCuS_3$  (Черников и др., 2006). В прожилке, помимо минералов, входящих в его название, широко распространен также клаусталит  $PbSe$ , фрудит  $PdBi_2$ , самородное золото и висмут. Реже отмечаются мончеит  $PtTe_2$ , соболевскит  $PdBi$ , инсизваит  $Pt(Bi,Sb)_2$ , богдановичит  $AgBiSe_2$ , полярит  $Pd_2PbBi$ , парагуанахуатит  $Bi_2Se_2S$  и др. Как видно, минералы благородных металлов являются селенидами, реже селенид-сульфидами, теллуридами, висмутидами или образуют сложные соединения с висмутом, свинцом и др. Например, помимо

Таблица 1. Состав фрудита и его переходной разности к урванцевиту, мас. %

NN	Pd	Bi	Pb	Se	Pt	Σ	Формула
1	20.6	78.9	2.4	0.2	—	102.1	Pd(Bi,Pb) <sub>2</sub>
2	18.0	70.8	9.3	1.6	—	101.3	Pd(Bi,Pb) <sub>2</sub>
3	17.6	66.8	11.8	2.8	1.5	100.5	Pd(Bi,Pb) <sub>2</sub>
4	21.8	78.2	—	0.2	—	100.2	PdBi <sub>2</sub>

Таблица 2. Содержание благородных металлов в исследуемых образцах, в г/т

Хим.	87.7м.	87.7м.	153 м.	153м.	166.5 м
Эл./гл. залег	1 опр.	2 опр.	1опр.	2опр.	
Pt	0.3	0.22	0.4	0.27	0.24
Pd	0.2	3.35	0.9	0.56	9.87
Au	9.3	0.28	—	0.25	0.2
Ag	0.2	0.2	—	1.0	0.49

собственно фрудита нами установлены переходные разности минерала близкие к урванцевиту Pd(Bi,Pb)<sub>2</sub> (табл. 1).

Установлено также, что минералы благородных металлов находятся в ассоциации с оксидами (настуран и гидратированный настуран) и силикатами урана типа коффинита, ванадиевыми слюдами, а также сложными селенидами свинца, меди, висмута и др.

В приповерхностной и глубинной зоне окисления месторождения Средняя Падма в ассоциации с дисперсным гематитом доломитов (или в доломите) постоянно отмечаются углеродистые образования, на которых (или возле них) наблюдаются переотложенные присыпки меди, часто золотосодержащей, аурикуприда, самородного золота, платины, фрудита, изоферроплатины, интерметаллического соединения CuZn, интерметаллидов группы Fe и новой природной фазы Cu<sub>3</sub>Pd — палладиевого аналога аурикуприда (Черников и др., 2005). Размер нанокристаллов этих фаз колеблется от 1 — 5 нм до 300 — 500 нм.

В гематитизированном доломите встречается также зерно с диффузными отражениями фазы AuO(OH). Это вторая находка в природе, первая была обнаружена в корах выветривания Южного Урала (Новгородова и др., 1995). Все отмеченные минеральные фазы обнаружены при изучении проб с содержанием суммы благородных металлов 10 г/т и выше. Однако, в большей части приповерхностной и глубинной зонах окисления в доломитах содержание суммы благородных металлов колеблется от ~10 г/т до десятых долей грамма на тонну.

Исследование форм нахождения благородных металлов с таким их содержанием впервые проведено для образцов месторождения Царевское (Дубинчук и др., 2007), отобраным из доломитов приповерхностной зоны окисления на глубине 87.7 м от поверхности и из доломитов глубинной зоны окисления на 153 и 166.5 м от поверхности. Изучение образцов из приповерхностной зоны окисления традиционными минералогическими методами показало, что доломиты интенсивно окварцованы, лимонитизированы и пропитаны оксидами марганца. Доломиты глубинной зоны окисления гематитизированы, окварцованы, содержат самородную медь, апатит, реже ванадиевую слюду. Содержание благородных металлов, определенное химическими и спектральными методами, как это уже отмечалось (Дубинчук и др., 2007), колеблется от десятых долей грамма на тонну до 9.87 г/т (табл. 2). Микронзондовым исследованием с помощью растрового электронного микроскопа полированных шлифов и образцов доломитов с таким содержанием благородных металлов каких-либо обособлений благородных металлов выявлено не было. Поэтому было предпринято изучение этих образцов на просвечивающем электронном микроскопе с экстракцией фаз и с последующей идентификацией их с помощью микронзондового и микрофракционного анализов.

На глубине 87.7 м были выявлены обособления самородного золота из приповерхностной зоны окисления. Они имеют форму квадратных или неправильных, иногда овальных тонкодисперсных сгустков (рис. 3а). Частицы, извлеченные на реплику, имеют как кольцевые, так и точечные монокристалльные микрофракционные картины, характерные для Au (рис. 3б).

В кварце из доломитов, отобранных на глубине 153 м, микронзондовым методом выявлены многочисленные включения апатита, единичные выделения самородной меди и сфалерита. Повышенных содержаний благородных металлов в образце и в названных минералах не обнаружено; при пороге чувствительности: Ag — 0.02; Au — 0.06; Pd — 0.06 и Pt — 0.01 мас. %. Изучение образцов в просвечивающем электронном микроскопе позволило обнаружить веретенообразные частицы самородного золота, часть которых подверглась природному выщелачиванию и разрушению (рис. 4а). Продукты разрушения, извлечшие на реплику, дают кольцевую микрофракционную картину металлического золота (рис. 4б).

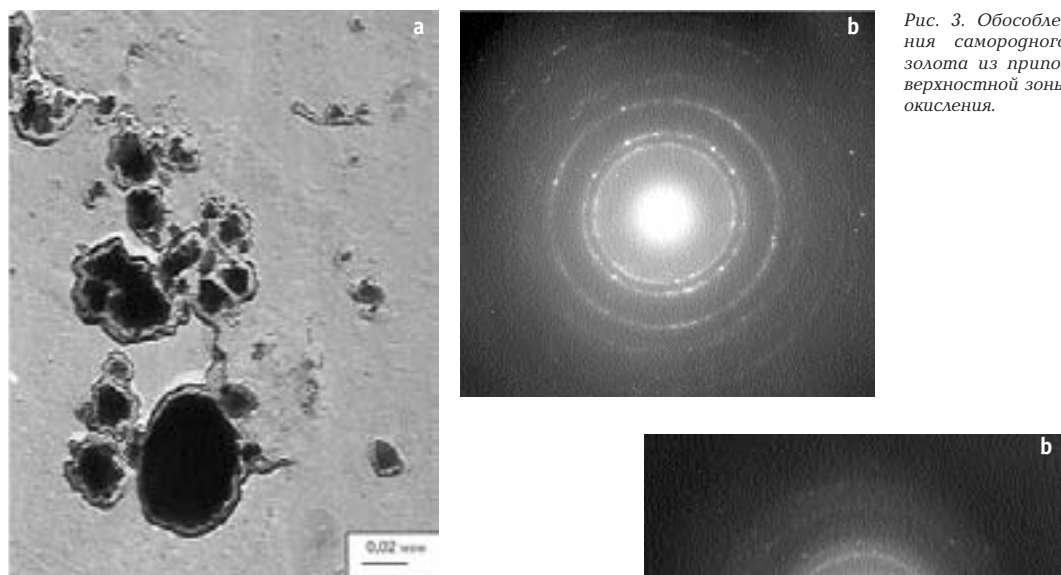


Рис. 3. Обособления самородного золота из приповерхностной зоны окисления.

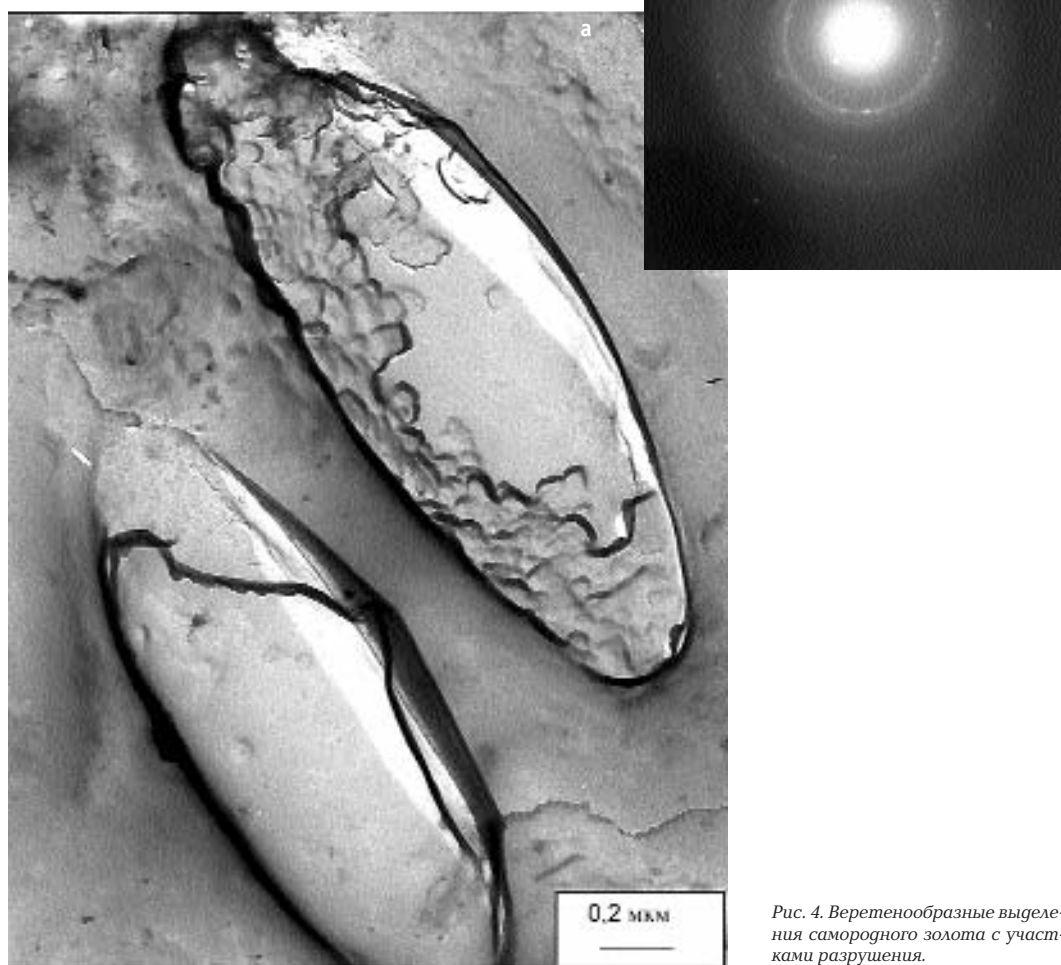


Рис. 4. Веретенообразные выделения самородного золота с участками разрушения.

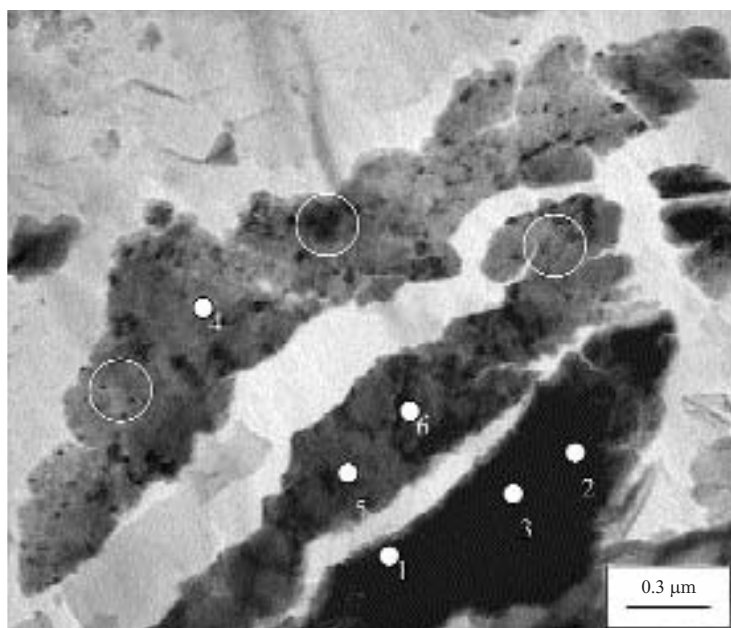


Рис. 5. Лейсты золотосодержащей самородной меди. В прозрачной для электронов лейсте выделения самородного золота имеют темный цвет.

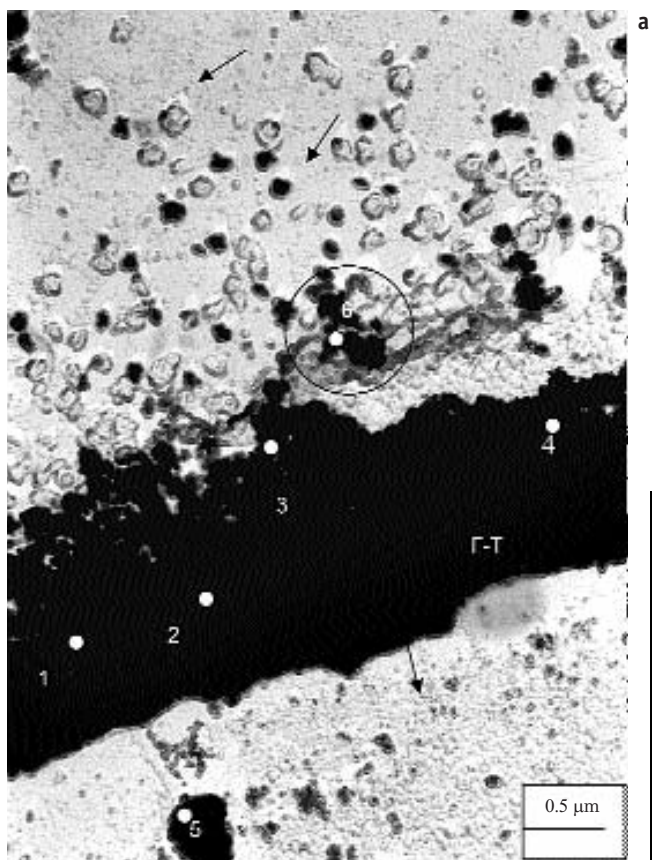
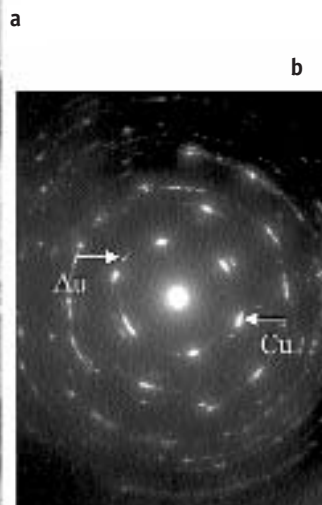


Рис. 6. Кристаллы палладийсодержащей самородной платины около выделений и микропрожилка гидрогематита (г-г = черный), содержащих платину.

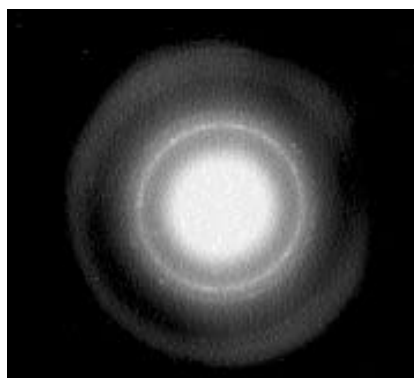


Таблица 3. Состав отдельных участков лейсты самородной меди, мас. %

№№	Ca	Ag	Ni	Co	Cu	Au	Σ
1	0.00	8.59	0.00	7.11	84.30	0.00	100.00
2	12.48	12.36	0.48	0.00	47.28	27.41	100.01
3	12.48	12.35	0.48	0.00	47.28	27.41	100.00
4	14.17	12.52	1.07	0.00	44.87	27.37	100.00
5	13.17	12.34	0.81	0.00	46.33	27.34	99.99
6	10.51	12.17	0.01	0.00	50.05	27.26	100.00

Таблица 4. Состав самородной платины, мас. %

№№	Si	Ca	Fe	Co	Ni	Pt	Pd	Σ
1	2.89	0.11	13.72	1.19	1.22	46.58	30.21	95.92
2	1.75	0.14	10.17	1.44	1.84	54.45	24.17	93.96
3	1.11	1.45	6.18	1.55	1.97	60.74	22.81	95.81
4	1.27	2.00	1.75	1.58	0.00	58.41	16.00	81.01
5	0.22	2.15	1.26	1.21	2.17	65.48	27.70	100.19
6	0.97	2.29	0.54	1.51	1.98	65.62	27.01	99.92

В образцах с глубины 166.5 м (ближе к средней части глубинной зоны окисления) встречены различной величины, но не менее первых десятков нанометров, обособления самородной меди, в том числе и пленочные лейстообразные ее выделения, и отдельные кристаллы золота, разбросанные в лейстах (рис. 5а). В лейсте, прозрачной для электронов, кристаллы золота имеют темный цвет. Результаты исследования участков лейсты на просвечивающем электронном микроскопе с микрозондовой приставкой (белые точки) приведены в таблице 3. Только в точке № 1 самородная медь не содержит золота. В ней обнаружено > 8% серебра и около 7% кобальта. В остальных точках отмечается более 27% золота и 12% серебра.

Микродифракционное исследование (круги на рис. 5а) прозрачной лейсты позволило установить, что она имеет поликристаллическое строение. На микродифракционных картинах (рис. 5б) помимо четких отражений самородной меди присутствуют слабые отражения самородного золота. Ориентировка кристаллов золота в лейсте совпадает с медью:  $(111)_{Cu}$  параллельно направлению  $(111)_{Au}$ . Обнаружены также единичные дисперсные обособления самородной платины, дающей отчетливую микродифракционную картину (рис. 6б). При этом на рисунке 6а выше прожилка гидрогематита частицы самородной платины имеют больший размер (доли мкм) в сравнении с частицами (сотые доли мкм), расположенными ниже прожилка. Анализы по точкам, показанным на рисунке 6а, приведены в таблице 4.

Концентрация Pt изменяется от ~ 46.6 до ~65.6%, Pd — от 16.0 до 30.2% и Fe — от 13.7 до 0.54%. Хотя отсутствует прямая зависимость между содержанием платиноидов и железа; в точках, характеризующихся самыми низкими величинами железа (в точке 6 — чуть выше 0.5 %), наблюдаются самые высокие концентрации платиноидов.

Как показано в таблице 2, благородные металлы в пробах распределены крайне неравномерно, и Pd содержится в более высоких концентрациях по сравнению с Pt, например, тем не менее, его самостоятельных минеральных обособлений не встречено. Ранее (Черников и др., 2005) были выявлены нанокристаллы палладиевого аналога аурикуприда, обросшего со всех сторон гематитом. Возможно, именно такие образования палладия характерны для изученных образцов.

В целом, применение комплекса современных высокоразрешающих методов исследования вещества позволило выявить минералогическую особенность различных генетических образований: гидротермальных жил, приповерхностной и глубинной зоны окисления комплексных месторождений. Установлено, что в гидротермальных роскоэлит-хромселадонит-доломитовых прожилках минералы благородных металлов представлены селенидами, селенид-сульфидами и сложными соединениями с висмутом, теллуrom, свинцом и др. В отличие от гидротермальных прожилков, в приповерхностной и глубинной зонах окисления широко распространены присыпки самородной меди, золота, платины с палладием, нанокристаллы аурикуприда, фазы  $AuO(OH)$ , новой природной фазы — палладиевого аналога аурикуприда, интерметаллических соединений  $CuZn$  и др., которые обычно отмечаются на углеродистых образованиях. Выделения Au из приповерхностной зоны окисления (над пластовой глубинной зоной окисления) с низким содержанием благородных металлов (ниже 10 г/т) имеют форму квадратных или неправильных и овальных тонкодисперсных сгустков, только размером 0.1 мкм и менее. В верхней части глубинной зоны окисления Au образует веретенообразные частицы, размером 2–3 мкм, подвергшиеся разрушению. Ближе к средней части глубинной зоны окисления кристаллы золота рассеяны в прозрачных для электронов лейстах самородной меди, размером уже до десятков микрометров. При этом лейсты обладают поликристаллическим строением, где ориентировка кристаллов золота параллельна кристаллам меди.

В этой части глубинной зоны окисления установлены так же обособления самородной платины, содержащей палладий. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что процессы выщелачивания и перераспределения благородных металлов в зоне окисления с суммарным содержанием благородных металлов ниже 10 г/т уменьшаются с глубиной. В то же время размер зерен самородных металлов в этом направлении увеличивается, что дает основание полагать о наличии больших концентраций благородных металлов на глубине. Последний вывод является дополнительным фактом, как и ранее приводимые данные (Черников и др., 2005), в пользу уже высказанного предположения о возможности увеличения до крупных запасов благородных металлов, в первую очередь около разведенных уран-ванадиевых месторождений.

## Литература

- Билибина Т.В., Мельников Е.К., Савицкий А.В. О новом типе месторождений комплексных руд в Южной Карелии // Геология рудных м-ний. **1991**. Т. 33. № 6. С. 3–13.
- Дубинчук В. Т., Черников А.А., Ожогин Д.О., Анашкина Н.А. Исследование форм нахождения платины и золота в рудах месторождения Царевское // VIII Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Доклады. М.: **2007**. Т.3. С. 111–112.
- Лаверов Н.П., Величкин В.И., Шумилин М.И. Урановые месторождения стран дружества: Основные промышленно-генетические типы и их размещение // Геология рудных м-ний. **1992**. Т. 34. № 2. С. 3–18.
- Леденева Н.В., Пакульнис Г.В. Минералогия и условия образования уран-ванадиевых месторождений Онежской впадины (Россия) // Геология рудных м-ний. **1997**. Т. 39. № 3. С. 258–268.
- Мельников Е.К., Петров Ю.В., Савицкий А.В. Новый район с месторождениями богатых комплексных руд в Южной Карелии // Разведка и охр. недр. **1992**. № 5. С. 15–19.
- Мельников Е.К., Петров Ю.В. и др. Онежский рудный район с уран-золото-платинометалло-ванадиевыми месторождениями // Разведка и охр. недр. **1993**. № 8. С. 31–36.
- Мельников Е.К., Шумилин М.В. О возможной модели образования уран-ванадиевых месторождений с благородными металлами в Онежском районе (Карелия) // Геол. и разведка. **1995**. № 6. С. 31–37.
- Новгородова М.И., Трубкин Н.В., Генералов М.Е. Новое золото в корах выветривания Южного Урала // Докл. РАН. **1995**. Т.344. №4. С.525–529.
- Полеховский Ю.С., Волошин А.В., Тарасова И.П. и др. Падмаит PdBiSe – новый селенид палладия и висмута из метасоматитов Южной Карелии // ЗВМО. **1991**. №3. С. 86–88.
- Полеховский Ю.С., Тарасова И.П., Нестеров А.Р. и др. Судовиковит . PtSe<sub>2</sub> – новый селенид платины из метасоматитов Южной Карелии // ДАН. **1997**. Т. 354. №1. С. 82–85.
- Полуэктов В.В., Черников А.А., Рыжов Б.И. Особенности формирования крупных комплексных месторождений Онежского прогиба Балтийского щита // Крупные и уникальные месторождения редких и благородных металлов. СПб: Санкт-Петербургский горный институт им. Г.В. Плеханова. **1998**. С. 240–246.
- Черников А.А. Соотношение процессов коры выветривания и гипогенных факторов при формировании комплексных (V, Pd, Pt, Au, U) месторождений онежского типа // Главные геологические и коммерческие типы месторождений кор выветривания и россыпей, технологическая оценка и разведка. М.: ИГЕМ РАН, **1997**. С. 117.
- Черников А.А., Хитров В.Г., Белоусов Г.Е. Роль углеродистого вещества в формировании крупных полигенных комплексных месторождений онежского типа // Углеродсодержащие формации в геологической истории. Петрозаводск: КНЦ РАН. **2000**. С. 194–199.
- Черников А.А. Соотношение процессов коры выветривания и гипогенных факторов при формировании комплексных месторождений онежского типа // Глубинный гипергенез, минерало- и рудообразование. М.: Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН. **2001**. С. 48–60.
- Черников А.А., Дубинчук В.Т., Чистякова Н.И., Наумова И.С., Зайцев В.С. Новые данные о ванадиевом гематите, микро- и нанокристаллах ассоциирующих с ним минералов благородных металлов, меди, цинка и железа // Новые данные о минералах. **2005**. Вып. 40. С. 65–71.
- Черников А.А., Чистякова Н.И., Дубинчук В. Г. и др. Малышевит PdBiCuS<sub>3</sub> – новый минерал из месторождения Средняя Падма в Южной Карелии // Новые данные о минералах. **2006**. Вып. 41. С. 14–17.

## МИНЕРАЛОГИЯ ТАЛНАХСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ ГРОССУЛЯРА, ВЕЗУВИАНА И АХТАРАНДИТА

М.С. Алферова

Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана РАН, Москва, [alferova.m@gmail.com](mailto:alferova.m@gmail.com)

Ахтарандит — псевдоморфоза, состоящая из минералов группы серпентина, хлорита, гроссуляра, карбонатов, по неизвестному минералу — до настоящего времени является загадкой минералогии. Второе в мире проявление ахтарандита у подножия г. Отдельной (Талнах) по минеральному составу главных составляющих идентично проявлению гроссуляра, вилюита и ахтарандита в долине р. Вилюй — месту первой находки данной псевдоморфозы. Приведены данные комплексного изучения главных породообразующих минералов и образований проявления г. Отдельной — гроссуляра, везувиана и ахтарандита, в том числе: взаимоотношений в породе, морфологии кристаллов, химического состава, а также минеральных и флюидных включений в них.

Проведены экспериментальные исследования по синтезу предполагаемой протофазы ахтарандита — хлорсодержащего майенита.

Установлено, что образование специфической минеральной ассоциации с ахтарандитом происходило, как минимум, в две стадии: скарновой и апоскарновой. На первой стадии образованы ядра кристаллов граната и везувиана, авгит, сохранившийся в виде включений в везувиане, и хлорсодержащий майенит. На второй стадии образованы краевые части кристаллов граната и везувиана, амезит, титанит, троилит, а хлорсодержащий майенит замещен ахтарандитом.

В статье 7 таблиц, 8 рисунков и список литературы из 28 наименований.

Проявление гроссуляра, везувиана и ахтарандита г. Отдельной в Талнахском районе, расположенном в краевой северо-западной части Сибирской платформы, по минеральному составу является аналогом месторождения гроссуляра, вилюита и ахтарандита в долине р. Вилюй, описанного в 1821 г. К. Лаксманом (Ляхович, 1954; Жабин, Ляхович, 1994). Уникальные по вещественному составу породы, содержащие гранат, везувиан и ахтарандит (рис. 1), были обнаружены в 2000 г. (Плетнев, Алферова и др., 2001) недалеко от рудника «Маяк», у подножия г. Отдельной, возле поисковой скважины 1956 г.

### Геолого-петрографическая характеристика проявления гроссуляра, везувиана и ахтарандита

Плитный комплекс представлен полого залегающими терригенными, карбонатными (известняки, доломиты, мергели), сульфатно-карбонатными и иными отложениями верхнего докембрия и раннего-среднего палеозоя (кембрий — девон), мощностью около 3 км. На них залегают терригенные угленосные отложения тунгусской серии карбона-перми, мощностью до 0.5 км. Выше залегают лавовые и туфовые толщи траптовой формации P<sub>3</sub>-T<sub>1</sub>, мощностью около 3.5 км. Вулканиты траптовой формации сопровождаются многочисленными интрузивами долеритов и габбро-долеритов, в том числе рудо-

носными, с сульфидными Fe-Cu-Ni-Co рудами (Годлевский, 1959). Рудоносные интрузивы — это расслоенные массивы, в нижней части представленные пикритовыми габбро-долеритами с массой сульфидных капель, в верхней части — лейкократовыми габбро-долеритами с массой ксенолитов роговиков и мелких шлиров, обогащенных оливином и хромшпинелидами, а также сульфидами. Рудоносные интрузивы окружены широким ореолом ороговикованных пород пироксен-роговиковой и альбит-эпидот-роговиковой фаций, включая известково-силикатные и магнезиально-силикатные роговики (скарноиды) и разнообразные магнезиальные и известковые скарны. Возраст пород траптовой формации 245±3 — 5 млн. лет, что отвечает границе перми и триаса (Спиридонов и др., 2000).

Проявление гроссуляра, везувиана и ахтарандита представляет собой блоки сильно измененных терригенных пород плитного комплекса (Є<sub>3</sub> — D<sub>1</sub>), сложенного песчаниками с доломитовым цементом, известняками, доломитами, мергелями, заключенных в виде ксенолитов во фронтальной части северо-восточной ветви Верхнеталнахского интрузива (T<sub>1-2</sub>), сложенной такситовыми габбро-долеритами. Лейкократовые габбро-долериты были подвержены пятнистой и, местами, сплошной альбитизации и пренитизации в условиях пренит-пумпеллиитовой фации низкоградного метаморфизма. Они состоят из плагиоклаза, клинопироксена, сульфидов,

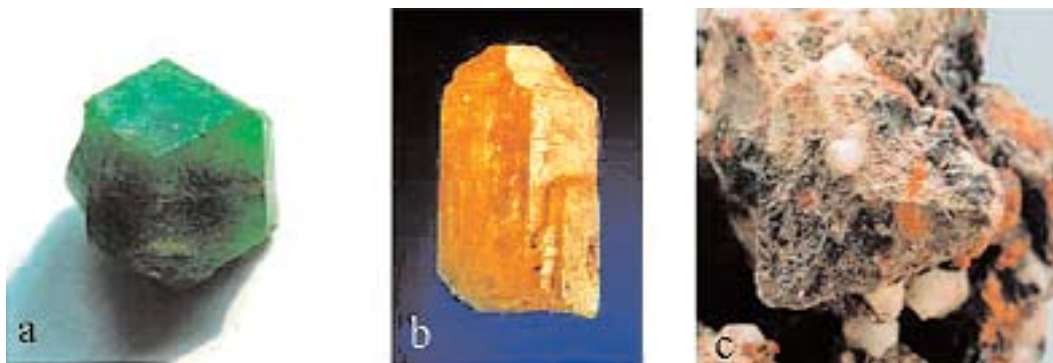


Рис. 1. Минералы проявления г. Отдельной, Талнах: а – гроссуляр (размер кристалла 5 мм), б – везувиан (длина кристалла 4 мм), с – ахтарандит (размер кристалла 6 мм)

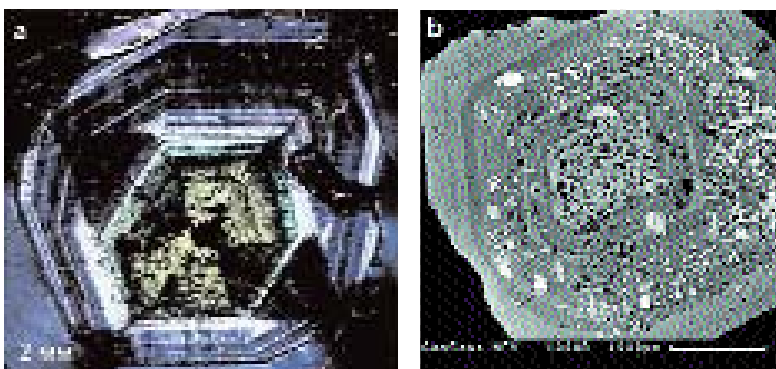


Рис. 2. Внутреннее строение кристаллов хром-титан-содержащего гроссуляра г. Отдельной, Талнах: а – в шлифе, б – в обратно-рассеянных электронах

апатита, титанита, хлоритовых минералов. Измененные роговики и скарны среди лейкогаббро представлены разнозернистыми агрегатами гроссуляра белого и желтоватого цвета, хром-титан-содержащего гроссуляра от густо-зеленого до светло-зеленого цвета, гидрогроссуляра, везувиана, ахтарандита, хромшпинелида, кальцита, хлоритовых минералов, ангидрита, диопсида, пренита, серпентина в ассоциации с пирротинном, пиритом, сфалеритом, халькопиритом, а также продуктов выветривания. Размер выделений этих минералов – от долей миллиметра до 12 мм. Очень часто лейкогаббро образуют инъекции сложной формы в роговики и скарны.

### Минералогия

Главными породообразующими минералами на описываемом проявлении являются гроссуляр, везувиан и ахтарандит. Их мегакристы развиты в мелкозернистой массе, сложной гроссуляром, гидрогроссуляром, пиритом, халькопиритом, оксидами железа. Породы часто не сцементированы.

**Гроссуляр** – наиболее распространенный на проявлении минерал. Кристаллы граната и их сростки встречены в виде вкрапленников, прожилков и мономинеральных агрегатов в измененных лейкогаббро.

На проявлении г. Отдельной гроссуляр образует скопления до десятков сантиметров и слагает породы на 60–80%. Минерал представлен хорошо ограненными кристаллами, размером от 0,5–1 до 8–10 мм, и их сростками. Наиболее часто встречаются простые формы: {110}, {112}, {321} и их комбинации. Кристаллы граната, как правило, характеризуются резкой цветовой зональностью; центральная часть – темно-зеленого цвета, периферийная – бесцветная. Кристаллы макроскопически светло-зеленого цвета содержат множество перемежающихся тонких темно-зеленых и бесцветных слоев. В шлифах видно, что гранат анизотропен, секториален и тонкозонален (рис. 2). Во внутренней зоне наблюдаются прямые (расширяющиеся к краю) сектора роста, а во внешней, бесцветной – обратные (сужающиеся к краю).

По химическому составу гранат также неоднороден: центральные части зональных кристаллов и темно-зеленые кристаллы отвечают хром-титан-содержащей разновидности гроссуляра, а краевые – его практически «чистому» миналу (табл. 1). Составы разных частей граната представлены на рисунке 3. Картина распределения минералообразую-

Таблица 1. Состав (мас. %) граната проявления г. Отдельной, Талнах

№ анализа	центр					край				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	34,78	36,13	35,90	39,37	39,81	40,40	35,52	36,49	39,89	39,91
TiO <sub>2</sub>	6,47	5,70	5,30	1,38	—	0,21	6,89	5,05	—	0,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,44	13,06	12,88	20,70	22,23	21,92	10,89	12,45	22,12	21,99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,51	0,37	0,42	—	0,13	—	0,70	0,45	0,08	0,13
MnO	—	0,10	—	0,02	0,20	0,17	0,06	—	—	—
MgO	1,57	1,69	1,36	1,11	1,07	0,71	1,71	1,25	1,25	1,20
CaO	35,94	35,30	35,72	36,56	36,39	36,51	34,93	34,93	35,86	36,05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,97	6,91	7,83	0,57	0,02	0,06	9,03	8,94	—	0,15
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,16	0,33	0,08	0,28	—	—	—	0,07	0,10	0,01
ZnO	0,01	0,25	0,11	—	—	—	0,15	0,12	0,22	0,24
Сумма	99,85	99,84	99,60	99,99	99,85	99,98	99,88	99,75	99,52	99,79

Примечание: 1–6 электронный микроскоп «CamScan», аналитик Н.Н. Коротаева; 7–10 электронный микроскоп «Сamebax SX-50», аналитик Н.Н. Кононкова. Зональные кристаллы анализировались от центра к краю с шагом 200 и 400 мкм

щих и примесных элементов в зональных кристаллах хром-титан-содержащего гроссуляра следующая: центральная часть кристаллов обогащена хромом, титаном и обеднена кремнием; периферийная часть обогащена кальцием и кремнием. ИК-спектр периферийной, бесцветной части кристаллов граната соответствует стехиометричному безводному гроссуляру. В области колебаний 3800–3400 нм<sup>-1</sup> для центральной темно-зеленой зоны наблюдается слабый прогиб, свидетельствующий о наличии ОН-групп в структуре. По данным термического анализа бесцветной и светло-зеленой частей кристалла (представляющей собой тонкое чередование темно-зеленой и бесцветной составляющих),

потеря веса составила 1,1 мас.% для бесцветной зоны и 1,6 мас.% — для светло-зеленой. Центральная зона не исследовалась термическим анализом из-за сложности приготовления крупной пробы.

Параметр элементарной ячейки краевой части кристалла составляет  $a_0 = 11,849 \text{ \AA}$ , что по данным экспериментов Г.Ю. Шведенкова и Д.В. Калинина (Шведенков и др., 1974), соответствует безводному гроссуляру.

Хром-титан-содержащий гроссуляр Талнахского проявления представляет собой редкую безжелезистую разновидность этого минерала, которую, благодаря ярко-зеленой окраске, иногда называют «сибирским цаворитом». Окраска и, следовательно, декора-

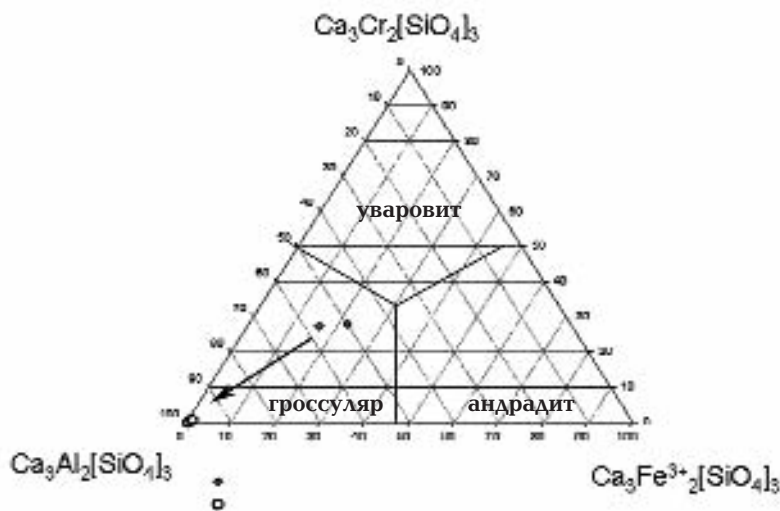


Рис. 3. Состав хром-титан-содержащего гроссуляра г. Отдельной, Талнах

тивные качества данного материала возникли в специфической геохимической обстановке района, характеризующейся высокой активностью S ( $a_s$ ), благодаря чему все Fe было связано в форме сульфидов и не вошло в состав силикатов и хромшпинелидов описываемого проявления. Различие между цаворитом — ванадий-хром-содержащим гроссуляром из Танзании и изученными образцами выявляется на оптических спектрах. Окраска цаворита возникает за счет  $Cr^{3+}$  и  $V^{3+}$ , присутствие которых выражается в сложной, двоянной полосе поглощения в области 480–580 нм видимой части спектра. В хром-титан-содержащем гроссуляре Талнаха окраска вызвана ионами  $Cr^{3+}$ ; в оптическом спектре наблюдается одна полоса поглощения в области 480–580 нм, смещенная, относительно таковой у цаворита, в коротковолновую область.

Хром-титан-содержащий гроссуляр Талнаха насыщен многочисленными минеральными включениями. Они представлены хромшпинелидами, везувианом, амезитом, стильбитом, сульфидами Fe и Cu. Кроме того, в нем присутствуют и флюидные включения.

**Хромшпинелиды.** Большинство кристаллов граната Талнаха содержат многочисленные включения хромшпинелидов. Скопления и цепочки изометричных коричневатокрасных прозрачных кристаллов хромшпинелида — магнезиохромита — расположены по зонам роста как в темно-зеленой, так и в бесцветной частях кристаллов граната (рис. 4). Как правило, зерна хромшпинелида тонкоzonальны. Состав этого хромшпинелида приведен в таблице 2 и соответствует алюмо-содержащему магнезиохромиту — промежуточному члену в системе  $MgCr_2O_4 - MgAl_2O_4$  (табл. 2). В составе магнезиохромита отсутствуют миналы магнетита, хромита, герцинита,

т. е. этот хромшпинелид абсолютно безжелезистый, из чего можно сделать вывод о невысоких температурах и о высокой активности серы в процессе его образования. По теоретическим расчетам (Sack & Ghiorso, 1991) в системе  $MgCr_2O_4 - MgAl_2O_4$  выше 550°C существует непрерывный ряд твердых растворов, ниже этой температуры кристаллизуются хромшпинелиды с определенным соотношением  $MgCr_2O_4:MgAl_2O_4$  (на кривой сольвуса). По данным В.В. Рябова (Рябов и др., 1996) соотношение  $MgCr_2O_4:MgAl_2O_4$  в хромшпинелидах из родингитовых гранатов г. Отдельной может быть равным как 4:1 (магнезиохромит), так и 1:4 (алюмо-содержащий магнезиохромит). Если провести через эти составы конноду, можно получить температуру образования хромшпинелида. Составы изученных хромшпинелидов лежат в области  $MgCr_2O_4:MgAl_2O_4 = 4:1$ , что соответствует температурам 300–400°C.

Несмотря на высокую хромистость (до 82,2%), вокруг зерен хромшпинелида не наблюдается повышенной концентрации хрома, что характерно для множества метаморфогенных минералов, образованных позже хромшпинелидов (изумруд, нефрит...); поэтому, скорее всего, данный хромшпинелид новообразованный, не претерпевший изменений, парагенный гранату. Значения температур образования родингитовых гранатов, по экспериментальным данным (Глюсина и др., 1993), определенных по газовой-жидким включениям в исследуемых гранатах, и теоретические температуры образования алюмо-содержащего магнезиохромита лежат в области не выше 400°C, т.е. сопоставимы друг с другом по порядку. Высокая активность серы подтверждается наличием пирита и халькопирита в парагенезисе с хромшпинелидом.

По данным рентгеновской томографии,

Таблица 2. Состав (мас. %) хромшпинелида — включения в гранате проявления г. Отдельной, Талнах

№ анализа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$Al_2O_3$	9,87	11,48	10,80	10,30	8,24	10,40	7,78	9,26	10,08	9,96	6,65
FeO	—	0,20	0,36	0,61	1,14	1,53	1,68	1,67	1,77	1,97	1,95
$Fe_2O_3$	0,73	0,52	—	—	—	—	0,39	—	—	—	—
MnO	0,37	0,59	0,51	0,22	0,62	0,30	0,43	0,95	0,52	0,68	0,74
MgO	21,53	21,15	21,31	20,89	20,34	19,98	20,35	19,84	20,35	19,97	19,94
$Cr_2O_3$	63,98	64,35	65,64	67,04	68,41	66,10	67,56	67,25	66,13	66,65	70,15
NiO	н.о.	—	—	0,02	—	—	0,24	—	—	—	—
ZnO	0,21	0,20	0,24	0,05	0,18	0,55	0,32	0,36	—	0,29	—
сумма	97,56	98,49	98,86	99,13	98,93	98,86	98,75	99,33	98,85	99,52	99,43

Примечание: ан. 1 — электронный микрозонд «Camebax SX-50», аналитик Н.Н. Кононкова; электронный микрозонд «CamScan» ан. 2, 3, 5, 6, 8–11 — аналитик Н.Н. Коротаяева, ан. 4, 7 — аналитик Е.В. Гусева

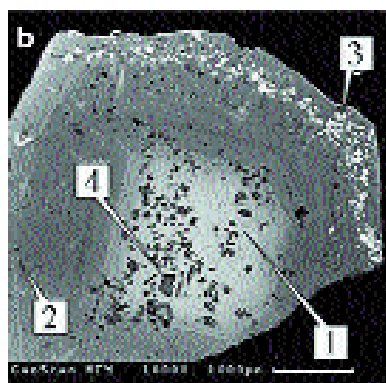
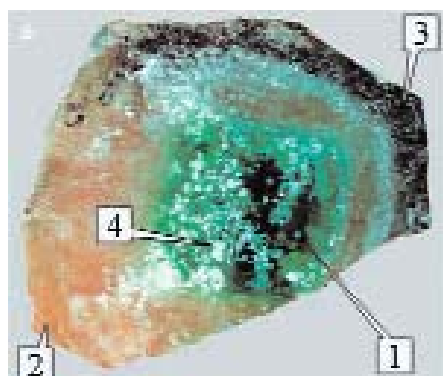


Рис. 4. Включения в кристалле граната г. Отдельной, Талнах: а – в отраженном свете, б – в обратно-рассеянных электронах.

1 – хром-титан-содержащий гроссуляр, 2 – гидрогроссуляр, 3 – магнезиохромит, 4 – везувиан-амезитовый агрегат

выполненной на нескольких зональных кристаллах хром-титан-содержащего гроссуляра г. Отдельной, Талнах, центральная часть ярко-зеленого цвета, обогащенная хромом и титаном, не содержит реликтов исходного хромшпинелида или содержит их крайне редко.

#### Троилит

Наряду с включениями метаморфогенно-алюмо-содержащего магнезиохромита в гроссуляре присутствуют ксеноморфные вроски троилита  $Fe_{0,64}Ni_{0,36}Co_{0,01}S_{0,99}$ , типичного образования низкоградного метаморфизма.

#### Везувиан и амезит

Очень широко во всех зонах кристаллов граната развиты включения белого непрозрачного минерала с квадратными и ромбовидными сечениями. Иногда его ажурные вы-

деления располагаются во всем объеме кристалла – тогда последний становится непрозрачным, с молочно-белым оттенком; но чаще эти включения находятся на границе зон и секторов роста (рис. 4). Включения состоят из везувиана и амезита, находящихся в тонком срастании. Составы везувиана и амезита приведены в таблице 3. Теоретическую формулу везувиана можно записать как  $Ca_{19,00}(Al_{10,28}Mg_{2,55}Fe^{2+}_{0,05}Cr_{0,05}Ti_{0,01}Ni_{0,02}Zn_{0,06})_{13,02}(B_{0,66}\square_{4,34})_5[(Si_{15,66}Al_{2,34})_{18}O_{68}](Cl_{0,68}(OH)_{9,32})_{10}$ . Состав амезита отвечает эмпирической формуле:  $(Mg_{3,68}Fe^{2+}_{0,10}Mn_{0,07}Ni_{0,02}Zn_{0,01})_{3,88}(Al_{1,92}Cr_{0,02})_{1,94}$

Таблица 3. Состав (мас. %) везувиана (1–4), амезита (5–6) и стильбита (7–9) из включений в гранате (г. Отдельная, Талнах)

№ анализа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	33,65	34,53	34,00	33,98	25,97	26,79	60,53	59,78	61,08
комп.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,08	–	–	0,16	–	0,02	0,02	0,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,01	20,87	20,05	21,41	41,28	39,75	13,81	14,21	14,87
FeO	0,13	0,09	0,20	0,14	0,87	1,42	0,13	0,11	0,16
MnO	–	–	0,02	0,12	0,44	0,99	0,05	–	–
MgO	3,67	3,90	4,17	3,44	30,55	29,92	0,05	0,09	0,08
CaO	38,11	40,31	40,99	39,70	–	–	8,08	7,87	8,19
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,13	0,17	0,18	0,13	0,11	0,28	–	0,05	–
NiO	0,05	–	–	–	сл.	0,22	н.о.	н.о.	н.о.
ZnO	0,17	–	0,39	–	–	0,14	–	–	–
Cl	0,86	н.о.	н.о.	0,86	–	–	–	–	0,01
сумма	99,79	99,95	100,0	99,78	99,38	99,51	82,67	82,13	84,47

Примечание: ан. 1–6 – электронный микрозонд «CamScan», ан. 2,3 – аналитик Н.Н. Коротаева, ан. 1,4–6 – аналитик Е.В. Гусева; ан. 7–9 – электронный микрозонд «Camebax SX-50», аналитик Н.Н. Кононкова. н.о. – не определялось

Таблица 4. Сводная таблица температур образования граната г. Отдельной, Талнах

Цвет, (зона)	T <sub>гом.</sub> , °C	Количество включений	T <sub>звт.</sub> , °C	T <sub>пальца.</sub> , °C
зеленый (центр)	243 – 231	6		
бесцветный (край)	206 – 186	7		
светло-серый	215 – 196	8		
бесцветный (край)	286	3	-32	-2.0
бесцветный (край)	167 – 137	17	-33	-2.0 – 1.9

Примечание: термокриякамера THMSG-600 Linkam, аналитик В.Ю. Прокофьев

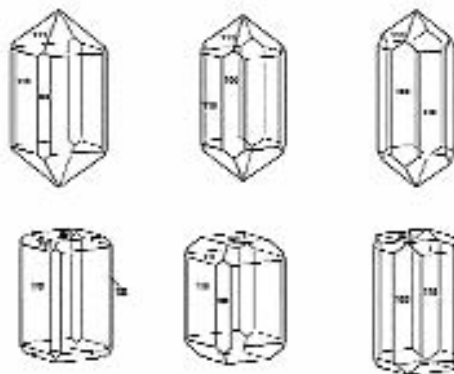
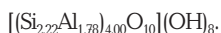


Рис. 5. Простые формы кристаллов везувиана г. Отдельной, Талнах



**Стильбит**

Нередко в различных частях кристаллов граната содержатся бесформенные, изогнутые вrostки белого непрозрачного минерала, представленные стильбитом. Состав стильбита приведен в таблице 3 и отвечает формуле  $(Ca_{1.35}Na_{0.01}Fe_{0.01}Al_{2.53}Si_{9.42}O_{24})_9(H_2O)$ .

**Флюидные включения**

В исследуемых кристаллах граната были обнаружены газовой-жидкие включения, по которым были сделаны оценки температур образования. Включения представлены первичными, первично-вторичными (часто расшнурованы) и вторичными. Размер включений, в лучшем случае, достигает 10 – 15 мкм. По включениям, в которых видны фазовые переходы, компонентный состав водно-солевой системы диагностирован как  $MgCl_2 - H_2O$  с концентрацией солей 3,23 – 3,39 мас. % экв. NaCl (Прокофьев В.Ю. и др., 1999). Результаты измерений сведены в таблицу 4.

**Везувиан** в родингитоподобных породах Талнахской интрузии встречается в виде друзовидных обособлений хорошо образованных кристаллов. Размеры кристаллов наиболее крупных обособлений составляют по оси *c* – 5–7 мм, по оси *a* – 3–4 мм. Окраска везувиана варьирует от желтовато-зеленой до фиштакново-зеленой, нередко пятнистое распределение цвета (от зеленого до коричневатого-желтого), отдельные небольшие участки – прозрачные, без трещин и включений. Грани всех кристаллов везувиана под бинокляром обнаруживают блочное строение, борозды, ямки и каналы травления, растворения и коррозии. Кристаллы по

морфологии напоминают вилюит.

Для измерения на гониометре было отобрано 10 кристаллов. Характерной чертой изогнутых кристаллов является бедность их простыми формами (рис. 5). Господствующее развитие имеют грани призм: {110} и {100}, дипирамиды {111}. Грани базопинакоида обычно имеют подчиненное развитие, а иногда и вовсе отсутствуют.

В шлифах видно, что кристаллы везувиана, как и гроссуляра, описанного выше, тонкозональны и секториальны. Нередко в них наблюдаются включения ярко-зеленого зонального хром-титан-содержащего гроссуляра и кальцита. Макроскопически кристаллы везувиана обнаруживают грубую зональность перпендикулярно оси *c*. Внутренняя зона обычно буровато-зеленого или буровато-желтого цвета со множеством газовой-жидких и минеральных включений окружена прозрачной внешней зоной. Граница между зонами не имеет четких кристаллографических очертаний и представляет собой окружность. Некоторые кристаллы имеют радиально-лучистое строение, заметное на срезе кристалла.

По данным микрозондового анализа (табл. 5), состав исследуемого везувиана отличается низким содержанием Fe, что свидетельствует о высокой активности S, а также значительным содержанием Cl и F. Расчет формулы везувиана производился на 50 катионов, содержание В и (ОН)-групп рассчитывалось по балансу валентностей, исходя из соображений стехиометрии. Наличие В подтверждается исследованиями везувиана методом ИК-спектроскопии.

Как видно из таблицы 5, от центра к краю

Таблица 5. Состав (мас. %) везувиана проявления г. Отдельной, Талнах

№ анализа	центр					край					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO <sub>2</sub>	37,58	36,42	37,27	37,04	37,32	37,32	36,66	36,59	35,78	36,39	37,19
TiO <sub>2</sub>	1,53	1,34	1,64	0,37	0,55	0,94	1,90	1,35	1,08	1,20	0,94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,14	14,98	15,49	17,23	17,68	17,21	14,23	15,37	16,06	16,03	17,03
FeO	0,12	0,06	—	0,17	0,17	0,15	0,28	0,11	0,09	0,11	0,21
MnO	0,06	—	—	сл.	0,05	0,03	—	0,03	0,02	0,10	—
MgO	5,80	6,00	5,75	5,03	4,33	4,73	5,72	5,94	5,23	5,43	5,06
Na <sub>2</sub> O	0,01	0,01	—	0,02	0,07	0,02	0,04	0,03	0,01	0,02	0,01
CaO	35,69	36,04	36,14	36,44	36,85	36,37	36,39	36,28	36,26	36,69	36,80
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,17	0,09	0,01	0,05	—	0,05	—	0,01	—	—
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08	0,03	0,09	0,05	0,02	0,02	0,02	0,10	0,15	0,10	0,03
ZnO	0,16	0,25	—	—	0,11	—	0,12	0,09	—	0,03	—
Cl	0,05	0,05	0,02	0,10	0,04	0,09	0,04	0,01	0,12	0,06	0,14
F	0,74	0,98	0,84	0,90	0,81	1,22	0,75	0,91	1,39	1,41	1,47
B*	1,22	1,14	1,12	1,04	1,02	0,85	1,28	1,10	0,96	0,76	0,55
OH*	1,75	2,53	1,55	1,60	0,93	1,05	2,52	2,09	2,84	1,67	0,57
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
<b>Формульные единицы в расчете на 50 катионов</b>											
Ca	18,11	18,33	18,25	18,32	18,48	18,14	18,65	18,37	18,38	18,35	18,15
Na	0,01	0,01	—	0,02	0,06	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01
Mg	4,10	4,25	4,04	3,52	3,02	3,28	4,07	4,19	3,69	3,77	3,47
Mn	0,02	—	—	—	0,02	0,01	—	0,01	0,01	0,04	—
Zn	0,06	0,09	—	—	0,04	—	0,04	0,03	—	0,01	—
Fe <sup>2+</sup>	0,05	0,02	—	0,07	0,07	0,06	0,11	0,04	0,04	0,04	0,08
Al	8,45	8,38	8,61	9,53	9,75	9,44	8,02	8,56	8,95	8,82	9,24
Cr	0,03	0,06	0,03	0,01	0,02	—	0,02	—	сл.	—	—
Ti	0,54	0,48	0,58	0,13	0,19	0,33	0,68	0,48	0,39	0,42	0,33
V	0,03	0,01	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,04	0,06	0,04	0,01
B*	3,22	3,00	2,95	2,71	2,65	2,20	3,42	2,90	2,57	1,96	1,41
Si	17,80	17,29	17,56	17,38	17,47	17,38	17,53	17,29	16,93	16,98	17,12
(OH) <sub>4</sub> *	0,74	1,07	0,64	0,66	0,77	0,44	1,07	0,87	1,18	0,69	0,24
Cl	0,04	0,04	0,02	0,08	0,03	0,07	0,03	0,01	0,09	0,05	0,11
F	0,78	1,04	0,88	0,94	0,85	1,26	0,79	0,96	1,46	1,46	1,50

Примечание: электронный микрозонд «Camebax SX-50», аналитик Н.Н. Кононкова. \* — рассчитано по балансу валентностей с учетом стехиометрии. Зональные кристаллы анализировались с шагом 300 мкм

кристаллов везувиана несколько снижается содержание Ti, Cr, B, и повышается содержание Cl и F, что, возможно, свидетельствует о повышении активности Cl и F в заключительные стадии образования везувиана. Снижение содержания Ti и Cr в грубозональных кристаллах, вероятно, соответствует снижению содержания Ti и Cr в зональных кристаллах граната, описанных выше, что является еще одним доказательством парагенезиса темно-зеленого раннего хром-титан-содержащего гроссуляра и везувиана.

Инфракрасные спектры талнахского ве-

зувиана подобны ИК-спектрам вилюита (Куржковская и др., 2004); в них также наблюдаются полосы колебаний групп [BO<sub>3</sub>] и [BO<sub>4</sub>]. По данным микрозондового анализа, везувиан г. Отдельной содержит до 1,5 мас. % F, что является промежуточным значением по сравнению с везувианом скарнов (до 2 мас. % F) и родинитов (до 0,6 мас. % F) (Allen & Burnham, 1992; Armburster & Gnos, 2000).

Везувиан Талнаха содержит минеральные включения, представленные авгитом, перовскитом, титанитом, хром-титан-содержащим гроссуляром, гидргроссуляром и

Таблица 6. Состав (мас. %) авгита (1–2), перовскита (3–4), титанита (5) и везувиан-гидрогранатового агрегата (6–8) из включений в везувиане (г. Отдельная, Талнах)

комп.	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	45.77	46.08	–	–	31.29	35.88	36.02	36.26
TiO <sub>2</sub>	1.85	1.62	57.79	55.01	30.85	0.14	0.03	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.53	12.75	0.29	0.62	5.99	21.90	19.23	17.30
FeO*	0.08	0.05	–	–	0.09	0.58	0.55	0.17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	–	–	0.07	0.36	–	–	–	–
MnO	0.09	0.01	–	–	0.04	0.27	0.19	0.12
MgO	13.29	13.25	0.01	0.01	сл.	3.90	3.06	4.55
CaO	25.71	25.81	40.79	39.33	29.24	32.41	36.59	37.53
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.02	0.17	сл.	–	0.03	0.01	–
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.22	0.47	0.45	0.80	0.20	0.15	0.06	0.01
V	–	–	0.26	0.13	0.12	0.05	–	0.07
ZnO	–	0.19	–	–	–	0.11	0.15	0.11
Cl	0.01	0.02	0.07	0.02	–	0.03	0.02	0.12
F	–	0.07	0.17	0.40	1.26	0.44	–	–
Сумма	100.59	100.34	100.07	96.68	99.08	95.89	95.89	96.25

Примечание: ан. 1–5 – электронный микрозонд «CamScan», ан. 1,2,5 – аналитик Е.В. Гусева, ан. 3,4 – аналитик Н.Н. Коротаева; ан. 6–8 – электронный микрозонд «Camebax SX-50», аналитик Н.Н. Кононкова

сульфидами Fe.

*Авгит, перовскит, титанит, гидрогранат (?)*

Включения авгита встречаются во всех кристаллах везувиана, преимущественно в центральной части. Под электронным микроскопом видно, что выделения авгита обладают хорошей огранкой, размер их до 100 мкм. Эмпирическая формула авгита соответствует  $\text{Ca}_{1,00}(\text{Mg}_{0,72}\text{Al}_{0,23}\text{Ti}_{0,05}\text{Cr}_{0,01})_{1,01}[\text{Si}_{1,67}\text{Al}_{0,33}]_{2,00}\text{O}_6$ . В тесном сростании с авгитом встречаются плохо ограненные обособления перовскита, его формула  $(\text{Ca}_{0,99}\text{Na}_{0,01})_{1,00}\text{Ti}_{0,98}\text{O}_{2,96}$ . В зернах авгита и перовскита отмечены вроски титанита, расположенные в их периферийной зоне, размером до 30–50 мкм, вероятно, замещающего эти минералы. Обособленных включений титанита в везувиане встречено не было. Состав титанита отвечает формуле  $\text{Ca}_{1,01}(\text{Ti}_{0,75}\text{Al}_{0,23}\text{Cr}_{0,01})\text{Si}_{1,01}\text{O}_{4,85}\text{F}_{0,09}$  (табл. 6).

Включения авгита и перовскита – типичных минералов магнезиальных скарнов – свидетельствуют, вероятно, об образовании центральных зон кристаллов везувиана при повышенных температурах.

Включения граната встречаются в периферийных зонах кристаллов везувиана. В соответствии с результатами термобарогеохимических исследований граната заключительная стадия формирования кристаллов везувиана происходила при температурах

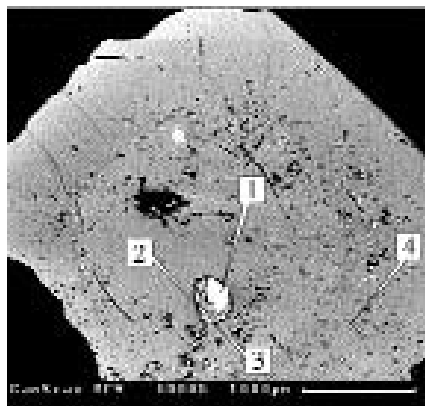


Рис. 6. Включения перовскита (1), авгита (2), титанита (3), гидрогроссуляра (4) в кристаллах везувиана г. Отдельной, Талнах (изображение в обратно-рассеянных электронах)



Рис. 7. Кристаллы ахтарандита из нового проявления у подножия г. Отдельной Талнах:

a – ограненный комбинацией прямого и обратного тригонитетраэдров, b – в сростании с Cr-Ti-гроссуляром и кальцитом (в шлифе)

Таблица 7. Состав ахтарандита:  
1 – ахтарандит, г. Отдельная, Талнах;  
2–5 – ахтарандит, р. Вилюй

комп.	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	39.52	39.25	34.70	40.10	34.72
TiO <sub>2</sub>	0.24	—	0.30	—	0.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.30	11.11	11.17	12.36	13.40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.71	17.09	7.48	н.о.	5.42
FeO	—	—	1.95	н.о.	2.15
MnO	0.65	—	0.14	—	0.12
MgO	9.77	3.60	19.46	н.о.	19.40
CaO	22.54	12.54	17.03	11.27	16.60
Na <sub>2</sub> O	0.07	—	н.о.	—	н.о.
K <sub>2</sub> O	0.01	—	н.о.	—	н.о.
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	—	—	—	—
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	—	—	—	—
S	0.12	—	—	—	—
F	0.09	—	—	—	—
Cl	0.04	—	—	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	—	—	0.56	—	0.83
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	5.93	10.09	7.30	12.27	7.80
(П.п.п.) CO <sub>2</sub>	—	—	0.54	—	н.о.
Сумма	100.06	93.68	100.63	76.00	100.75

Примечание: 1 – РФА Philips PW-2400, аналитик А.И. Якушев; 2–3 – по данным Beck и Nermann (Ляхович, 1954); 4 – по данным (Ляхович, 1954); 5 – по данным (Жабин, Ляхович, 1994). Н.о. – не определялось

около 250°С.

Иногда на границе зон в кристаллах везувиана содержатся хорошо огащенные включения белого непрозрачного агрегата, размером до 50 мкм. По составу включения отвечают либо везувиану, его формула  $Ca_{19.29}Al_{9.17}Mg_{3.25}Fe_{0.07}^{2+}Cr_{0.01}Ti_{0.01}Zn_{0.04}^{12.55}(B_{4.04}□_{0.96})_5[(Si_{17.39}Al_{0.61}O_{68})_{18}O_{68}](Cl_{0.09}(OH)_{9.91})_{10}$ , либо гидрогроссуляру с формулой  $(Ca_{2.54}Mg_{0.43}Mn_{0.02})_{2.99}(Al_{1.89}Fe_{0.03}^{3+}Cr_{0.01}Ti_{0.01})_{1.94}[Si_{2.62}(O_4H_4)_{0.38}O_{3.00}]O_{10.48}F_{0.07}$ . Вероятно, включения представляют собой тонкое срастание этих минералов (рис. 6).

#### Пирит, пирротин

Пирит и пирротин распространены в виде ксеноморфных выделений размером до 0,5 мм, обычно 200 мкм. Формула пирита  $(Fe_{0.98}Ni_{0.01})_{0.99}S_{2.01}$ , пирротина  $(Fe_{6.83}Ni_{0.04})_{6.87}S_{8.13}$ . Образование пирротина и пирита во включениях отражает повышенную активность S в системе и связанное с ней широкое распространение сульфидов во вмещающих породах. В связи с этим, Fe, по-видимому, предпочтительно входит в состав сульфидов, по причине чего силикаты значительно обеднены Fe.

**Ахтарандит** встречается в виде кристаллов, имеющих форму прямых и обратных

тригонтретраэдров (рис. 7), реже наблюдаются двойники прорастания, параллельные и незакономерные срастания кристаллов. Размер их от долей миллиметра до 9–12 мм, обычно 3–6 мм. Как правило, содержание ахтарандита в породах г. Отдельной составляет около 5%. Распределен ахтарандит неравномерно. Отдельные гнезда, размером до 5 см сложены им на 50–80% от объема. Цвет ахтарандита белесый. Нередко это «фаршированные» кристаллы с массой включений кристаллов зонального зеленого (хром-содержащего) и белого (бесхромового) гроссуляра. В целом, ахтарандит сложен микрозернистыми агрегатами граната, везувиана и минералов типа магнезильного хлорита и/или серпентина с небольшими количествами сфалерита и халькопирита. Рентгенофазовый анализ (дифрактометр ДРОН-3.5;  $2\theta = 5 - 120^\circ$ ) показал, что псевдоморфозы по ахтарандиту на 2/3 сложены гидрогроссуляром с  $a_0 = 11.971(2) \text{ \AA}$  и на 1/3 – серпентином и  $7 \text{ \AA}$  септехлоритом (бертьерином), с незначительной примесью кальцита, кварца, гематита. С этими данными хорошо коррелируют результаты микронзондового анализа ахтарандита Талнаха.

Состав талнахского ахтарандита (табл. 7, ан. 1) близок к составу вилюйского ахтарандита (табл. 7, ан. 2–4); вилюйский несколько богаче Mg и H<sub>2</sub>O, талнахский обогащен Ca. Следовательно, вилюйские псевдоморфозы обогащены минералами группы серпентина и хлорита, талнахские – гидрогроссуляром. Содержания микроэлементов в талнахском ахтарандите, по данным рентгено-флуоресцентного анализа, г/т: Cr 417, Ni 73, Co 13, Cu 137, Zn 815, S 1190, F 900, Cl 351, V 22, Sr 14, Ba 36, Y 2, Sc 11, Zr 112, Nb 5, Rb 9. Повышенные концентрации Zr обусловлены обилием гидрогроссуляра, который, по данным В.В. Рябова (Рябов и др., 1996), содержит до 0.7 мас. % ZrO<sub>2</sub> (Плетнев и др., 2001).

#### Синтез протофазы ахтарандита

Со времени попытки синтеза высокобарического граната как протоминерала ахтарандита (Горохов и др., 1971), которая была основана на позднее опровергнутой гипотезе (Перцев, 1972), учеными проводились сугубо теоретические построения и предположения о возможной протофазе (Чесноков и др., 1993–1996; Galuskin *et al.*, 1995; Galuskina, 1998; Павлушин, 2000).

В 1996 г. в минеральных ассоциациях горелых отвалов Б.В. Чесноков с соавторами

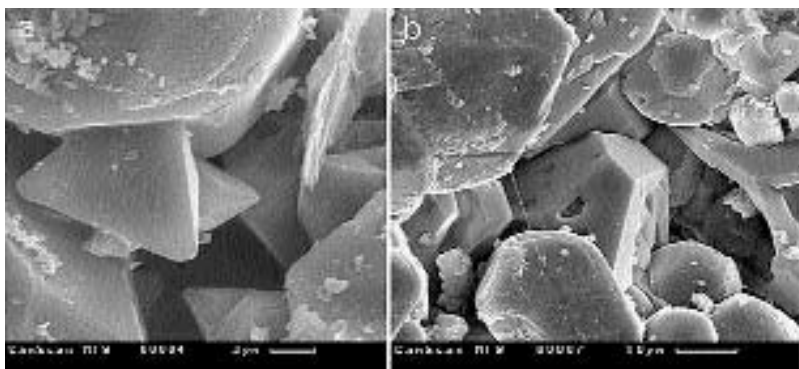
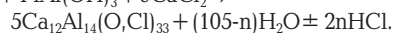
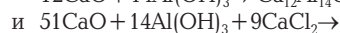
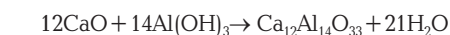


Рис. 8. Изображения синтезированных фаз в обратно-рассеянных электронах:  
 а – майенит ( $T=550\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P=1\text{ кб}$ ),  
 б – хлорсодержащий майенит ( $T=550\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P=3\text{ кб}$ )

обнаружил фумарольные окси- и хлорсодержащие гранатоиды – хлорсодержащий вадалит и хлорсодержащий майенит, форма кристаллов которых отвечает ахтарандиту, и предположил, что это вероятные протофазы ахтарандита (Чесноков, 1996). Майенит был впервые описан в Майене, в горах Эйфель, Германия (Hentschel, 1964), в продушинах лав, что указывает на пневматолитовое происхождение. Это минерал-гранатоид  $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ , имеющий гранатоподобную структуру (пространственная группа  $I-43d$ ). В природном майените часть O замещена (F-, Cl-, OH-), что сближает его с вадалитом  $\text{Ca}_6\text{Al}_5\text{Si}_2\text{O}_{16}\text{Cl}_3$  – изоструктурным хлорсодержащим минералом группы майенита (Glasser, 1995). Между вадалитом и гроссуляром существует структурная связь (Tsukimura *et al.*, 1993), что было доказано позднее экспериментальным путем; при высокотемпературной обработке гидрогроссуляра (гибшита) хлоридным газом происходила реакция с образованием вадалита (Fujita *et al.*, 2001).

В данной работе синтез вероятной протофазы ахтарандита проводился на основе ее генетических и структурных связей с гроссуляром-гидрогроссуляром и предположения о пневматолитовом характере процесса, основанном на литературном и собственном аналитическом материале. Методика получения хлорсодержащих гранатоидов ряда вадалит-майенит базировалась на данных по синтезу гидрогроссуляра (Шведенков и др., 1974). Были поставлены серии опытов по синтезу вероятных протофаз ахтарандита: хлорсодержащего майенита, хлорсодержащего гибшита и хлорсодержащего вадалита и их бесхлорных аналогов. Опыты проводились 14 суток при температуре  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  и давлении 1 кб и 3 кб. Исходные материалы: CaO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  или  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , CaCl<sub>2</sub>. Синтез проводился по вероятным реакциям:



Размер кристаллов синтезированных гранатоподобных минералов от долей микрометра до 20 мкм. В их числе – тригонритетраэдрические кристаллы майенита, содержащего от следов до 0,59 мас.% Cl (рис. 8). Состав полученного майенита (мас. %):  $\text{SiO}_2$  10,56-11,70,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  45,07-45,62, CaO 43,48-42,8 (Алферова, 2004).

### Происхождение минеральной ассоциации с ахтарандитом

Как отмечалось выше, изученная минерализация на проявлении гроссуляра, везувиана и ахтарандита г. Отдельной (Талнах) и на Вилюйском месторождении гроссуляра, вилюита и ахтарандита являются аналогами. Они описаны в литературе как скарновые (Рябов, 1996; Ляхович, 1954), однако минеральные парагенезисы, данные ИК-спектроскопии, термобарогеохимические и экспериментальные исследования свидетельствуют о более сложном процессе, состоявшем, как минимум, из двух стадий: высокотемпературной скарновой и низкотемпературной апоскарновой.

К высокотемпературной скарновой стадии процесса относятся авгит и перовскит, находящиеся в виде отдельных фаз и в виде включений в центральных частях кристаллов везувиана, а также сами центральные части везувиана.

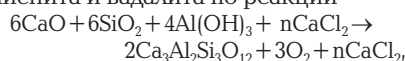
К низкотемпературной стадии относится парагенезис: гроссуляр и гидрогроссуляр с 10 и более мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{TiO}_2$  (Ishimoto *et al.*, 1983), боросодержащий везувиан (краевые части кристаллов), амезит, диопсид, алюмо-содержащий магнезиохромит, титанит, троилит, хлорит, серпентин, являющиеся типичными образованиями пренит-пумпеллиитовой фации низкоградного метаморфизма.

Хорошо ограненные включения агрегатов везувиана, амезита и гидрогроссуляра, встречающиеся в кристаллах гроссуляра и везувиана, напоминают псевдоморфозу, обладающую четкой формой и представляющую собой тонкое срастание минералов, подобную ахтарандиту, находящемуся в данной минеральной ассоциации. Исходя из предположения, что эти включения — суть ахтарандит, можно утверждать, что, будучи капсулированным, протоминерал ахтарандита также претерпел изменения, как и в случае отдельных кристаллов.

Вероятно, процесс формирования специфической минеральной ассоциации был следующим: на скарновой стадии происходило образование высокотемпературных минералов, ядер кристаллов везувиана, протоминерала ахтарандита — хлорсодержащего майенита. На апоскарновой стадии возникли более низкотемпературные образования, в той или иной степени заместившие минералы высокотемпературной стадии: гроссуляр — по плагиоклазу, титансодержащий хром-гроссуляр и алюмо-содержащий магнезиохромит — по первичному хромшпинелиду, низкотемпературный везувиан — по высокотемпературному везувиану, ахтарандит — по хлорсодержащему майениту, титанит — по перовскиту. Завершился процесс образованием гидротермальных прожилков с халькопиритом, троилитом и стильбитом. На Вилюйском месторождении процесс образования подобной минеральной ассоциации, по нашим представлениям, происходил подобным образом: на высокотемпературной, скарновой стадии образовались гроссуляр, вилюит, хлорсодержащий майенит; на низкотемпературной хлорсодержащий майенит заместился ахтарандитом.

По нашему мнению, минерал, который был замещен ахтарандитом, образовался в ходе специфического высокотемпературного скарнового процесса с пневматолитовой составляющей, в котором активно участвовали хлорные флюиды. Предполагаемый протоминерал для ахтарандита — хлорсодержащий майенит из ряда майенит-вадалит соответствует характеру процесса. На пневматолитовый тип процесса указывает следующее: 1 — майенит впервые найден в постмагматических образованиях в лавах, насыщенных флюидами, 2 — похожий по форме на ахтарандит, хлорсодержащий майенит из горелых отвалов Челябинского угольного разреза образован в результате техногенных фумарольных процессов, 3 — синтез хлорсодержащего майенита проводился «сухим» способом, по

окончании опыта в ампулах были зафиксированы остатки газообразного HCl, 4 — образование вадалита из гибшита проводилось путем воздействия на первый газообразными хлорсодержащими фазами (Fujita *et al.*, 2001). Между гроссуляром и прото-ахтарандитом — майенитом существует структурное и химическое родство, благодаря чему многие исследователи считали гроссуляр протоминералом ахтарандита. Первое подтверждается реакцией перехода гибшит-вадалит и изоструктурностью пары вадалит-майенит; на второе указывает получение гроссуляра при синтезе майенита и вадалита по реакции



в которой не участвует заложенный в опыт Cl. Таким образом, возможно, наличие ахтарандита является индикатором локального повышенного содержания Ca в породе, подвергшейся пневматолиту.

В дальнейшем под воздействием поздних низкотемпературных процессов произошел переход хлорсодержащий майенит → вадалит → гидрогроссуляр; первоначальная форма была сохранена. В итоге мы наблюдаем ахтарандит, представленный, главным образом, агрегатом гидрогроссуляра. При том же процессе образовались минеральные ассоциации, содержащие хром- и титан-содержащий гроссуляр и необычный по структурным характеристикам везувиан (г. Отдельная, Талнахский район) и крупные кристаллы гроссуляра и вилюита (проявление в долине р. Вилюй, Якутия).

### Благодарности

Автор благодарит за всестороннюю помощь проф. Э.М. Спиридонова, за выполнение микронзондовых анализов — Н.Н. Кононкову, Н.Н. Коротаяеву и А.И. Якушева, за проведение термического анализа — Л.П. Огородову, за проведение ИК спектроскопии и анализ — Е.Ю. Боровикову, за исследования флюидных включений — В.Ю. Прокофьева, за проведение гониометрических измерений — Г.Ф. Анастасенко.

### Список литературы

- Алферова М.С. Проблемы синтеза ахтарандита // Тезисы ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии ЕСЭМПГ-2004. 2004. С. 4.  
Годлевский М.Н. Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. М.: Гостеол-

- техиздат, 1959. 67 с.
- Горохов С.С., Душин-Барковский Р.А., Лисицына Е.Е. Экспериментальное изучение природы ахтарандита // Зап. ВМО. 1971. Ч. 100. Вып. 4. С. 499–502.
- Жабин А.Г., Ляхович В.В. Третье столетие загадки ахтарандита: новые данные // Минерал. журн. 1994. Т. 16. № 1. С. 5–15.
- Куражковская В.С., Боровикова Е.Ю., Алферова М.С. Инфракрасные спектры, параметры элементарной ячейки и оптический знак боросодержащих везувианов и виллюитов // Зап. ВМО. 2004. № 7. С. 25–28.
- Ляхович В.В. Новые данные о минералогии Виллюйского месторождения ахтарандита // Тр. Восточно-Сибирского филиала АН СССР. Сер. геол. 1954. Вып. 1. С. 85–116.
- Павлушин А.Д. Природа ахтарандита и тригон-тритетраэдрические скелетно-зональные кристаллы граната из ахтарандитсодержащих пород реки Виллюй // Зап. ВМО. 2000. №5. С. 69–75.
- Перцев Н.Н. О природе ахтарандита (по поводу ст. Горохова С.С. и др., 1971) // Зап. ВМО. 1972. Ч. 101. вып. 3. С. 381–382.
- Плетнев П.А., Алферова М.С., Спиригонов Э.М. Ахтарандит из района Талнахского месторождения // Зап. ВМО. 2001. № 5. С. 74–78.
- Плюснина Л.П., Лихойгов Г.Г., Зарайский Г.П. Физико-химические условия формирования родинитов по экспериментальным данным. // Петрология. 1993. т. 1. № 5. С. 557–568.
- Прокофьев В.Ю., Кугай И.Н. Практическая термобарогеохимия. Современные методы изучения флюидных включений в минералах. М.: ИГЕМ РАН. 1999. 64 с.
- Рябов В.В., Шевко А.Я., Симонов О.Н. Состав платиноносных высокохромистых скарнов Талнаха (Норильский район) // Геология и геофизика. 1996. т. 37. № 7. С. 60–75.
- Спиригонов Э.М., Ладыгин В.М., Симонов О.Н., Анастасенко Г.Ф., Степанов В.К. Метавулканы цеолитовой и пренит-пумпеллиитовой фации трапповой формации Норильского района Сибирской платформы. М.: МГУ, 2000. 212 с.
- Чесноков Б.В., Виллисов В.А., Баженова Л.Ф., Бушмакин А.Ф., Котляров В.А. Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение пятое) // Урал. минерал. сборник. № 2. Миасс: 1993. С. 3–35.
- Чесноков Б.В., Виллисов В.А., Бушмакин А.Ф., Котляров В.А., Белогуб Е.В. Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение шестое) // Урал. минерал. сборник. № 3. Екатеринбург: 1994. С. 3–36.
- Чесноков Б.В., Бушмакин А.Ф. Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение восьмое) // Урал. минерал. сборник. № 5. Миасс: 1995. С. 3–22.
- Чесноков Б.В., Рочев А.В., Баженова Л.Ф. Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение девятое) // Урал. минерал. сборник. № 6. Миасс: 1996. С. 3–25.
- Швегенков Г.Ю., Калинин Д.В. О содержании воды в гидрогроссуляре в зависимости от условий образования // Экспериментальные исследования по минералогии. Новосибирск, 1974. С. 49–54.
- Allen F.M., Burnham C.W. A comprehensive structure – model for vesuvianite: symmetry valuations and crystal growth // Can. Mineral. 1992. Vol. 30. № 1. P. 1–18.
- Armburster T., Gnos E. P4/n and P4nc long – range ordering in low – temperature vesuvianites // Am. Mineral. 2000. Vol. 85. № 3–4. P. 563–569.
- Galuskin E., Galuskina I., Winiarska A. Epitaxy of achtarandite on grossular – the key of the problem of achtarandite // N. Jb. Miner. Mh. 7. 1995. P. 306–320.
- Galuskina I., Galuskin E., Sitarz M. Atoll hydrogarnets and mechanism of the formation of achtarandite pseudomorphs // Neues Jb. Mineral. Mh. 1998. H. 2. S. 49-62.
- Glasser F.P. Comments on wadalite,  $\text{Ca}_6\text{Al}_5\text{Si}_2\text{O}_{16}\text{Cl}_3$ , and the structures of garnet, mayenite and calcium chlorosilicate // Acta Crystallographica. C51. 1995. P. 340.
- Hentschel G. Mayenit,  $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ , und Brownmillerit,  $2\text{CaO}\cdot(\text{Al,Fe})_2\text{O}_3$ , zwei neue Minerale in den Kalksteinschlüssen der Lava des Ettringer Bellerberges // N. Jb. Miner. 1964. P. 22–29.
- Ishimoto N., Onuki H., Yomogida K. Additional find of Ti-rich hydroandradite in low-grade metamorphic rocks // J. Japan Assoc. Mineral., Petrol., Econ. Geol. 1983. Vol. 78. N. 3. P. 105–108.
- Fujita S., Suzuki K., Ohkawa M. Reaction of hydrogrosular with hydrogen chloride gas at high temperature. Chem. Mat. 13(8). 2001. P. 2523–2527.
- Sack R.O., Ghiorso M.N.S. Chromite as a petrogenetic indicator // Oxide minerals. 1991. P. 323–353.
- Tsukimura K., Y. Kanasawa, M.Aoki, M.Bunno Structure of wadalite  $\text{Ca}_6\text{Al}_5\text{Si}_2\text{O}_{16}\text{Cl}_3$  // Acta

УДК 549.351.12;548.735.4

## ОСОБЕННОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ МИНЕРАЛЬНЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ В МЕДНЫХ СУЛЬФИДНЫХ РУДАХ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ПОЛЯ КРАСНОВ (16°38' С.Ш. СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКОГО ХРЕБТА)

Н.Н. Мозгова

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, mozgova@igem.ru*

Ю.С. Бородаев

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва*

И.Ф. Габлина

*Геологический институт РАН, Москва*

Т.В. Степанова

*ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург*

Г.А. Черкашев

*ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург*

Т.Ю. Успенская

*Институт Океанологии им. П.П.Ширшова, Москва*

Медные сульфидные руды реликтового гидротермального поля Краснов (16°38' с.ш. Срединно-Атлантического хребта), возраст формирования которых составляет 5–80 тыс. лет, исследованы с помощью методов минералогии, электронной микроскопии, рентгено-спектрального микроанализа (волнового и энергодисперсионного) и рентгеноструктурного анализа. По минеральному составу выявлено три основных типа парагенезисов.

I тип — гомогенный изокубанит с высокомедистыми сульфидами (борнит и Cu-сульфиды халькозин-дигенитового ряда); не имеет возрастных соотношений с другими типами;

II тип — распавшийся изокубанит и уникальные продукты последующих его преобразований;

III тип — оксидно-сульфатно-сульфидный характеризуется железистой специализацией и подразделяется на два подтипа парагенезисов: а — с доминирующим пиритом и б — с преимущественным развитием Fe-Cu-сульфатов и Fe-оксидов; содержит реликты глубоко преобразованного парагенезиса II типа.

В статье 6 таблиц, 8 рисунков и список литературы из 23 названий.

### Общая характеристика гидротермального рудного поля Краснов

Новое гидротермальное рудное поле в районе 16°38' с.ш. Срединно-Атлантического хребта (САХ) открыто в 2004 г. Полярной морской геологоразведочной экспедицией (ПМГРЭ) и ВНИИ Океангеологии в 24 рейсе НИС «Профессор Логачев». В рейсе 2006 года поле было расширено и названо «Краснов» в честь Сергея Гелиевича Краснова (1952–1996) — морского геолога, посвятившего изучению океанского гидротермального рудообразования последние 15 лет своей блестящей научной карьеры. Краткие сведения о геологии, зональности и составе руд поля ранее опубликованы (Бельтнев и др., 2006).

Рудное поле Краснов находится на восточном борту рифтовой долины на глубине 3700–3760 м, приурочено к зоне сочленения

осевого рифтового поднятия со склоном рифтовой долины и контролируется пересечением субмеридионального глубинного краевого разлома с субширотным тектоническим нарушением. Около 60% изученной поверхности дна методом телепрофилирования покрыто осадочным чехлом карбонатных илов (мощность до 160 см). Два сульфидных рудных тела размером 370 x 580 м и 110 x 130 м залегают на выходах коренных базальтов и представлены мелко- и среднеглыбовыми развалами и реликтами сульфидных построек, покрытых осадками и рыжими корками.

Состав сульфидных тел в основном серно-колчеданный, медные и медно-колчеданные руды более редки, а цинково-колчеданные — почти отсутствуют. По текстурно-морфологическим признакам различаются массивные, пористые, прожилково-вкрапленные руды, корки и образования трубного комплекса. Помимо массивных сульфидных руд, в пределах поля выделены рудоносные осадки (содержание

Fe > 10%, Cu + Zn > 0.25%), залегающие в виде полосы шириной 30 – 150 м севернее и северо-восточнее рудного тела № 1. В осадках установлены минералы: пирит, атакамит, арагонит, сфалерит, халькопирит, халькозин, самородная медь, гематит, барит, гидроксиды железа и марганца.

Значительная степень окисленности руд, слабые аномалии в содержании металлов в растворенных и взвешенных фазах в пробах воды, а также отсутствие гидротермальной фауны свидетельствуют о реликтовом характере рудного поля, гидротермальная активность на котором в настоящее время прекращена. Это подтверждается и результатами датировок сульфидных руд: определенный урано-ториевым методом для 16 образцов, возраст руд составляет 5 – 80 тыс. лет (Кузнецов и др., 2007). От известных гидротермальных полей в пределах САХ это поле отличается железистой специализацией, длительностью формирования и наличием осадочного чехла.

Первые минералого-геохимические исследования гидротермальных образований нового поля, как показано в цитируемой работе В.Е. Бельтенева с соавторами (2004), позволили выделить типы руд и определить главные минералы. Задача настоящей работы провести более детальное текстурно-структурное и химическое изучение руд трубного комплекса медной специализации для выявления особенностей преобразований минеральных парагенезисов в этом несколько необычном для данного региона гидротермальном поле.

## Материалы и методы исследования

Исследованы образцы медной специализации как наиболее интересные в минералогическом смысле и легко поддающиеся преобразованиям благодаря легкой подвижности меди. Образцы в виде обломков неправильной формы, содержащих медные минералы, часто покрыты черной сажистой массой. Небольшие их фрагменты закреплялись эпоксидной смолой и использовались для изготовления полированных шлифов (без нагрева).

После изучения под рудным микроскопом микроштупы и полированные шлифы исследовались с помощью сканирующих электронных микроскопов, снабженных энергодисперсионными спектрометрами для определения химического состава: микроскопы JEM-100C и CamScan MX 2500S со спектро-

метром Link-10000 (25 кВ, 0.4 нА) в ИГЕМ РАН и CamScan MV2300 со встроенной энергодисперсионной микроаналитической системой INCA Energy 200 в ГИН РАН. В последнем случае математическое обеспечение аналитической системы предусматривает нормирование на 100% суммы элементов, фиксированных в спектре. Ряд анализов проведен на рентгеноспектральном микроанализаторе Camebax SX-50 в МГУ; условия измерения: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 30 нА, стандарты (элемент, линия) – FeS (FeK $\alpha$ , SK $\alpha$ ), CuS (CuK $\alpha$ ), ZnS (ZnK $\alpha$ ). Основной объем анализов выполнен на энергодисперсионных анализаторах, поскольку низкие величины тока позволяли измерять большее количество точек в тонких зернах минералов. Общее количество микроанализов около 500. Рентгеновские характеристики получены на дифрактометре Rigaku D/Max 2200, CuK $\alpha$  в ИГЕМ РАН и камере РКД 57,3 (Fe-излучение, экспозиция 6 часов) в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН.

## Минеральный состав медных руд поля Краснов

В изученных образцах установлены обычные для океанских руд САХ сульфиды. Из них изокубанит, халькопирит и пирит относятся к главным; борнит и сульфиды меди к второстепенным; сфалерит и марказит к редким. Примечательно достаточно широкое распространение идаита Cu<sub>3</sub>FeS<sub>4</sub>, который ранее в подводных рудах указывался в черных курильщиках 21° с.ш. Восточно-Тихоокеанского поднятия (Oudin, 1983), а также присутствие новых фаз системы Cu-Fe-S с условными названиями – фазы X, Y, M, B. Кроме сульфидов особое место занимают Fe-Cu-сульфаты и Fe-оксиды, широко развиты также кварц, опал, барит и самородная сера.

Размер изученных сульфидных зерен достигает 0.3–0.5 мм (в редких случаях до 1 мм), но обычно составляет от 1–2 до 50 мкм. Идентификация минералов базировалась в основном на результатах исследования химического состава микрометодами, в отдельных случаях они подтверждены рентгеновским анализом. Представительные данные приведены в таблицах химического состава (№ 1–6), на диаграмме Cu-Fe(Zn)-S (рис. 1), а также отражены на микрофотографиях полированных шлифов и микроштупов (рис. 2–8).

Наибольшую роль в медных рудах поля

Таблица 1. Химический состав изокубанита (мас.%) (полированные шлифы и микроштуфы)

№ ан.	№ обр.	Cu	Fe	S	Сумма	Формула	Рис.
1**	1271-4	25.56	38.57	35.89	100.02	$Cu_{1.1}Fe_{1.9}S_{3.0}$	5г
2	1269-6/1	23.42	40.16	35.98	99.56	$Cu_{1.00}Fe_{1.95}S_{3.05}$	
3*	1269-6/1	23.09	42.27	35.29	100.65	$Cu_{0.98}Fe_{2.05}S_{2.97}$	
4*	1269-6/1	22.77	42.45	35.75	100.98	$Cu_{0.96}Fe_{2.04}S_{3.00}$	4г
5*	1269-6/2в	22.92	42.03	35.32	100.27	$Cu_{0.98}Fe_{2.04}S_{2.98}$	
6	1269-6/1	22.67	44.87	34.64	99.18	$Cu_{0.98}Fe_{2.06}S_{2.96}$	4б
7	1269-6/1	21.97	42.07	36.17	100.21	$Cu_{0.93}Fe_{2.03}S_{3.04}$	
8	1269-6/1	21.88	42.01	34.58	98.47	$Cu_{0.95}Fe_{2.07}S_{2.98}$	4б
9	1271-4	21.34	42.57	36.26	100.17	$Cu_{0.91}Fe_{2.05}S_{3.04}$	7б
10*	1271-4	21.29	43.46	36.39	101.14	$Cu_{0.89}Fe_{2.08}S_{3.03}$	8в

Примечание: здесь и далее — \*энергодисперсионный микроанализ, без \* — рентгеноспектральный; \*\* микроштуфы.

Коэффициенты в формулах анализов в полированных шлифах даны до второго знака, в микроштуфах — до первого.

Таблица 2. Химический состав (мас.%) халькопирита и фазы X (полированные шлифы и микроштуфы)

№ ан.	№ обр.	Cu	Fe	S	Сумма	Формула	Рис.
Халькопирит							
1*	1269-6/1	36.73	29.51	33.77	100.01	$Cu_{1.07}Fe_{0.96}S_{1.95}$	4а
2*	1269-6/1	35.21	30.69	34.09	99.99	$Cu_{1.02}Fe_{1.02}S_{1.96}$	
3*	1269-6/2в	34.50	31.17	34.33	100.00	$Cu_{1.00}Fe_{1.03}S_{1.97}$	4в
Фаза X							
4	1269-6/2в	33.12	35.58	34.72	103.42	$Cu_{0.93}Fe_{1.14}S_{1.93}$	
5	135-6/1	32.86	29.58	37.40	99.84	$Cu_{0.94}Fe_{0.96}S_{2.11}$	6а
6	1269-6/2в	32.54	35.42	33.64	102.12	$Cu_{0.93}(Fe_{1.15}Zn_{0.02})_{1.17}S_{1.90}$	3а
7	1269-6/2в	32.49	37.14	33.65	103.28	$Cu_{0.92}Fe_{1.19}S_{1.89}$	3а
8	1269-6/2в	31.41	31.76	35.41	98.58	$Cu_{0.91}Fe_{1.05}S_{2.04}$	
9*	1269-6/2в	31.20	32.64	34.66	98.50	$Cu_{0.91}Fe_{1.06}S_{2.01}$	
10*	1269-6/2в	30.98	34.18	34.37	99.53	$Cu_{0.90}Fe_{1.12}S_{1.98}$	
11	1269-6/2в	30.72	35.50	34.57	100.79	$Cu_{0.88}Fe_{1.16}S_{1.96}$	
12	135-6/1	32.41	33.10	33.96	99.99	$Cu_{0.94}(Fe_{1.09}Zn_{0.02})_{1.11}S_{1.95}$	6а
13**	1269-6/1	29.21	32.14	38.65	100.00	$Cu_{0.8}Fe_{1.0}S_{2.2}$	

Примечание: в том числе Zn (мас.%): ан.6 — 0.62 и ан. 12 — 0.47

Краснов играет изокубанит, кубический аналог ромбического кубанита. Очевидно требуется дать некоторые пояснения относительно этого минерала. Как минеральный вид он был утверждён в океанских рудах (Caye *et al.*, 1988), а ранее в континентальных и океанских рудах неоднократно описывался под разными названиями: халькопирротин (Рамдор, 1962; Oudin, 1983), кубический кубанит (Генкин и др., 1966), высокий кубанит (Воган, Крейг, 1981; Лебедев и др., 1988). Несмотря на приводимую в справочниках стехиометрическую формулу  $CuFe_2S_3$ , изокубанит относится к типичным минералам переменного состава и обычно рассматривается как природный аналог высокотемпературного «промежуточного твердого раствора» («in-

termediate solid solution» или фаза iss) в центральной части системы Cu-Fe-S. В океанских рудах структуры распада этого твердого раствора отмечаются гораздо чаще гомогенных кристаллов.

Не является исключением в этом отношении и изокубанит из поля Краснов, где он встречается в виде гомогенных зерен и кристаллов, но обычно играет роль матрицы в структурах распада более высокотемпературного изокубанитового твердого раствора. Матрица включает закономерные (чаще всего решетчатые) сращения лейст халькопирита или близких к нему фаз и часто окаймляется халькопиритовыми диффузионными оторочками. Как будет показано ниже, в поле Краснов эти структуры обладают уникальны-

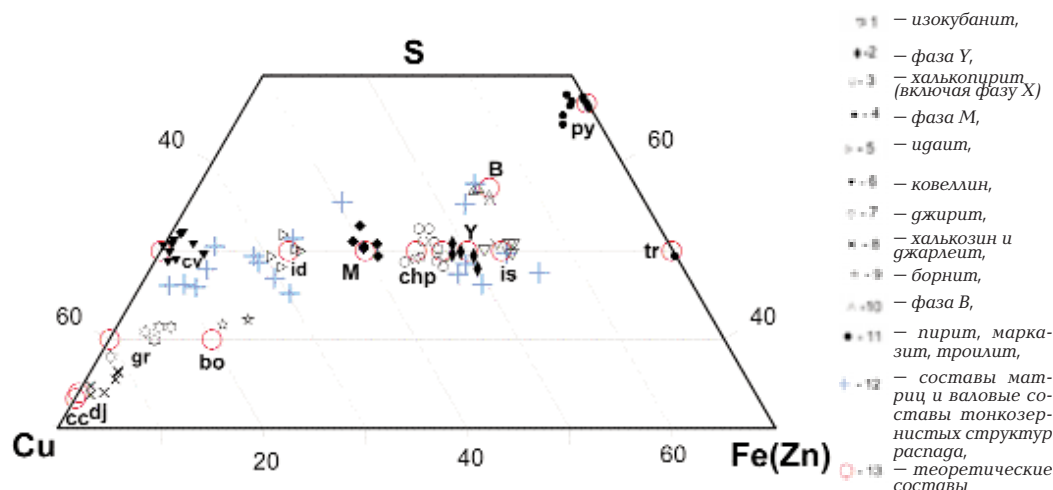


Рис. 1. Распределение составов изученных минералов на диаграмме Cu-(Fe+Zn)-S. (использована выборка представительных и усредненных анализов; см. таблицы 1–5).  
Принятые в работе символы минералов: Is – изокубанит, Chp – халькопирит, Id – идаит, Bo – борнит, Cv – ковеллин, Cc – халькозин, Gr – джирит, Dj – джарлеит, Py – пирит, Mc – марказит, Tr – троилит; X, Y, M, B – обозначения соответствующих новых фаз.

Таблица 3. Химический состав идаита и новых фаз Y, M и B (мас.%) (полированные шлифы и микроштупы)

№ ан.	№ обр.	Cu	Fe	S	Сумма	Формула	Рис.
<b>Идаит <math>Cu_3Fe_4S_7</math>, пересчет на 8 атомов</b>							
1**	135-1b	53.18	13.23	33.59	100.00	$(Cu_{3,1}Fe_{0,9})_{4,0}S_{4,0}$	
2*	1269-6/1	52.35	15.06	32.57	99.08	$(Cu_{3,1}Fe_{1,0})_{4,1}S_{3,9}$	4б
3**	187-1/2	48.60	17.33	34.07	100.00	$(Cu_{2,9}Fe_{1,1})_{4,0}S_{4,0}$	
4*	1269-6/1	49.97	15.52	34.53	100.02	$(Cu_{2,94}Fe_{1,04})_{3,98}S_{4,02}$	
<b>фаза Y <math>Cu_2Fe_3S_5</math>, пересчет на 10 атомов</b>							
1**	1269-6/1	30.63	35.72	35.44	101.79	$Cu_{2,1}Fe_{2,8}S_{5,1}$	
2	1269-6/1	30.40	34.04	35.54	99.98	$Cu_{2,18}Fe_{2,77}S_{5,05}$	
3**	1269-4/2	29.95	35.16	36.50	101.61	$Cu_{2,1}Fe_{2,8}S_{5,1}$	
4*	1269-6/2в	28.66	35.65	34.82	99.13	$Cu_{2,07}Fe_{2,94}S_{4,99}$	4в
5	1289-6/2в	28.25	39.92	33.64	101.79	$Cu_{2,10}Fe_{2,82}S_{5,08}$	
6	135-6/1	28.81	36.09	33.82	100.00	$Cu_{2,08}(Fe_{2,97}Zn_{0,08})_{3,05}S_{4,85}$	
7	1269-6/2в	27.39	37.86	34.77	100.02	$Cu_{1,96}Fe_{3,09}S_{4,95}$	
8	135-6/1	30.45	36.10	32.79	100.01	$Cu_{2,21}(Fe_{3,00}Zn_{0,05})_{3,05}S_{4,74}$	6а
9	1269-6/2в	30.68	37.93	34.28	103.65	$Cu_{2,15}(Fe_{3,03}Zn_{0,05})_{3,06}S_{4,77}$	
<b>фаза M (<math>Me_2S_3</math>, <math>Cu_3Fe_2S_3</math>), пересчет на 10 атомов</b>							
1*	135-6/2а	42.27	22.16	35.56	99.99	$(Cu_{3,06}Fe_{1,83})_{4,89}S_{5,11}$	
2*	135-1/2в	40.61	22.16	37.22	99.99	$(Cu_{2,91}Fe_{1,81})_{4,72}S_{5,28}$	
3*	1269-6/1	40.31	26.28	34.62	101.21	$(Cu_{2,90}Fe_{2,16})_{5,06}S_{4,94}$	4г
4*	1269-6/1	41.26	23.81	34.91	99.98	$(Cu_{3,00}Fe_{1,97})_{4,97}S_{5,03}$	4г
5*	1269-6/1	41.14	23.76	35.12	100.02	$(Cu_{2,99}Fe_{1,96})_{4,95}S_{5,05}$	4г
<b>фаза B (<math>Me_3S_4</math>, <math>CuFe_2S_4</math>), пересчет на 7 атомов</b>							
1*	135-6/1	22.54	33.78	40.69	97.01	$Cu_{1,11}Fe_{1,90}S_{3,99}$	6в
2*	135-6/1	22.16	34.82	41.57	98.55	$Cu_{1,08}Fe_{1,92}S_{4,00}$	6в
3*	135-6/1	22.08	33.75	41.43	97.26	$Cu_{1,08}Fe_{1,89}S_{4,03}$	
4*	135-6/1	21.15	31.17	39.87	98.45	$Cu_{1,04}(Fe_{1,75}Zn_{0,30})_{2,05}S_{3,91}$	6б
5*	135-6/1	20.95	30.90	40.51	98.61	$Cu_{1,03}(Fe_{1,73}Zn_{0,30})_{2,05}S_{3,94}$	6б

Примечание: в том числе Zn (мас.%): (фаза Y) ан. 6 – 1.28, ан. 8 – 0.56, ан. 9 – 0.76; (фаза B) ан. 4 – 6.26, ан. 5 – 6.25; в идаите ан. 1 и 3 выполнены на сканирующем электронном микроскопе CamScan MV2300.

Таблица 4. Химический состав (мас.%) высокомедистых Cu-сульфидов и борнита (полированные шлифы, образец 135-1b)

№ ан.	Cu	Fe	S	Сумма	Формула	Рис.	Минерал
1*	78.68	1.26	20.06	100.00	$(\text{Cu}_{1.98}\text{Fe}_{0.04})_{2.02}\text{S}$	2а	Халькозин
2*	77.44	1.38	20.54	99.36	$(\text{Cu}_{1.90}\text{Fe}_{0.04})_{1.94}\text{S}$		Джарлеит
3*	76.66	2.60	20.74	100,00	$(\text{Cu}_{1.86}\text{Fe}_{0.07})_{1.93}\text{S}$		Джарлеит
4*	74.71	2.81	22.48	100.00	$(\text{Cu}_{1.68}\text{Fe}_{0.07})_{1.75}\text{S}$		Дигенит
5*	74.54.	2.92	22.37	99.83	$(\text{Cu}_{1.68}\text{Fe}_{0.06})_{1.76}\text{S}$		Дигенит
6*	74.82	3.26	21.92	100,00	$(\text{Cu}_{1.72}\text{Fe}_{0.06})_{1.80}\text{S}$		Дигенит
7*	75.82	2.60	21.58	100,00	$(\text{Cu}_{1.77}\text{Fe}_{0.07})_{1.84}\text{S}$		Роксбиит
8*	61.57	11.50	26.94	100.01	$\text{Cu}_{4.81}\text{Fe}_{1.02}\text{S}_{4.17}$	2б	Борнит
9*	58.19	14.00	27.34	99.53	$\text{Cu}_{4.54}\text{Fe}_{1.24}\text{S}_{4.22}$	2а	Борнит

Примечание: все анализы (кроме ан. 2, 7, 8) выполнены на сканирующем электронном микроскопе CamScan MV2300

Таблица 5. Химический состав (мас.%) ковеллина (Me/S≈1) и джирита (ряд маломедистых сульфидов меди) (полированные шлифы и микроштудфы)

№ ан.	№ обр.	Cu	Fe	S	Сумма	Формула	Рис.
<b>Джирит</b>							
1*	135-1b	75.11	1.19	23.70	100.00	$(\text{Cu}_{1.6}\text{Fe}_{0.03})_{1.63}\text{S}$	
2*	135-1b	70.64	3.37	25.99	100.00	$(\text{Cu}_{1.37}\text{Fe}_{0.07})_{1.44}\text{S}$	
3*	135-1b	69.82	4.90	25.28	100.00	$(\text{Cu}_{1.39}\text{Fe}_{0.11})_{1.5}\text{S}$	
<b>Cu-сульфид ковеллинового ряда</b>							
4*	135-1b	68.95	4.61	26.44	100.00	$(\text{Cu}_{1.32}\text{Fe}_{0.10})_{1.42}\text{S}$	
5*	135-1b	67.63	5.90	26.47	100.00	$(\text{Cu}_{1.29}\text{Fe}_{0.13})_{1.42}\text{S}$	
<b>Ковеллин</b>							
6*	1271-4/3	67.60	0.31	33.39	101.30	$\text{Cu}_{1.02}\text{S}$	7а
7*	135-6/2а	64.61	0.85	34.54	100.00	$(\text{Cu}_{0.94}\text{Fe}_{0.01})_{0.95}\text{S}$	
8**	1269-4/2	64.08	1.64	32.16	97.88	$\text{CuS}$	
9*	135-6/2а	63.19	1.38	35.43	100.00	$(\text{Cu}_{0.9}\text{Fe}_{0.02})_{0.92}\text{S}$	
10**	135-1b	61.42	5.23	33.35	100.00	$(\text{Cu}_{0.9}\text{Fe}_{0.1})_{1.0}\text{S}$	

Примечание: ан. 1 – 5, 7, 9, 10 выполнены на сканирующем электронном микроскопе CamScan MV2300

ми признаками последующих интенсивных преобразований. По данным анализов (табл. 1), состав изокубанита в изученных образцах колеблется в пределах (мас.%): Cu 21.29-25.56, Fe 38.57-44.87, S 34.58-36.39, что близко к интервалам содержаний, указываемым в сводке по океанскому изокубаниту (Мозгова и др., 1995).

На основе приведенных в таблицах и на рисунках данных кратко охарактеризуем и остальные сульфиды в наших образцах.

Халькопирит наряду с лейстами и оторочками в структурах распада реже встречается в виде зерен и гомогенных кристаллов. Состав его (табл. 2) варьирует (мас.%): Cu 29.21-36.73, Fe 29.51-35.58, S 33.64-38.65. Эти анализы включают как данные, близкие к стехиометрической формуле халькопирита, так и составы железистой разновидности

минерала, ранее названной нами фазой X (Мозгова и др., 2005). Отклонение от стехиометрии в ней отражается приближенной формулой  $\text{Cu}_{1-x}\text{Fe}_{1+x}\text{S}_2$ , где чаще всего  $x \approx 0.1$ . В единичных случаях отмечена примесь Zn в десятых долях процента.

Идаит, редко отмечавшийся в океанских рудах, здесь наблюдается в разнообразных формах выделений. Это матрицы, измененные участки лейст, колломорфные зонки и даже идиоморфные кристаллы. Содержание компонентов в нем (табл. 3) меняется (мас.%): Cu 48.60 – 53.18, Fe 13.23 – 17.33, S 32.59 – 34.53.

Близкая к изокубаниту фаза Y  $\text{Cu}_2\text{Fe}_3\text{S}_5$ , открытая в океанских рудах сначала в виде ламелл в изокубанитовых структурах распада (Mozgova *et al.*, 2002), а затем в гомогенных выделениях в Рейнбоу (Бородаев и др., 2004), отличается от изокубанита бó льшим

отношением Cu/Fe. Ранее такое стехиометрическое соединение отмечалось в метеоритах (Rambaldi *et al.*, 1986). В поле Краснов эта фаза представлена мелкими зернами среди слабо и сильно измененных продуктов распада изокубанита, а также впервые в виде идиоморфных кристаллов. Микроанализ по площади (15 x 15 мкм) некоторых зерен со структурой распада показали валовый состав фазы Y. Это позволяет считать, что фаза Y, как и изокубанит, подвержена процессу распада при изменении условий. Химический состав данной фазы (табл. 3) колеблется в пределах (мас.%): Cu 27.39 – 30.68, Fe 34.04 – 39.92, S 32.79 – 36.50. Присутствуют примесь Zn от 0.56 до 1.28 мас.%.

Впервые обнаружена фаза M  $Cu_3Fe_2S_5$ , по составу промежуточная между халькопиритом и идаитом (рис. 1). Чаще всего она возникает при изменении халькопиритовых лейст (в результате искажается их форма), но иногда присутствует и в пределах измененной матрицы. Вариации состава (мас.%): Cu 41.14 – 42.27, Fe 22.16 – 26.28, S 34.62 – 37.22 (табл. 3).

Последняя из обнаруженных фаз – новая фаза B, более железистая и сернистая по сравнению с изокубанитом, встречается в виде зональных и зонально-коллоидных зон в преобразованных изокубанитовых структурах распада. Химический состав фазы колеблется в незначительных пределах (мас.%): Cu 20.95 – 22.54, Fe 30.90 – 34.82, S 39.87 – 41.57 (табл. 3). Достаточно часто отмечается заметная примесь Zn – до 6.26 мас.%, возможно здесь сказывается близость выделений сфалерита.

Борнит и высокомедистые сульфиды халькозин-дигенитового ряда часто образуют тонкие двухфазные или полиминеральные смеси (табл. 4). Маломедистые сульфиды представлены джирит-ковеллиновым рядом (табл. 5). Как будет показано ниже, они различаются не только по составу, но и по типу ассоциаций. Диагностика сульфидов меди в некоторых случаях условна, поскольку рентгеновских данных, необходимых для идентификации нестехиометрических сульфидов меди, из-за мелких размеров зерен и их тонких сростаний не всегда удавалось получить.

Следует отметить, что состав всех проанализированных сульфидов системы Cu-Fe-S, находящихся в матрице структур распада, наиболее существенно отклоняется от идеальных формул соответствующих минералов и фаз, что очевидно обусловлено чрезвычайно тонкими механическими примесями. На диаграмме составов (рис. 1) эти данные обозначены единым знаком – синим крестом.

Изученные сульфиды железа включают пирит, марказит и троилит. Для пирита характерны разнообразие формы выделения: скелетные псевдоморфозы по исчезнувшему кристаллам пирротина, одиночные идиоморфные кристаллы, неправильные зерна и ветвистые агрегаты, оторочки вокруг зерен со структурой распада. Марказит в подчиненных количествах участвует в псевдоморфозах по пирротину, образует неправильные зерна, а также тонкие оторочки вокруг ветвистого пирита. В дисульфидах железа часто отмечается примесь меди (0.03 – 4.76 мас.%), но их состав обычно остается близким к стехиометрическому. Троилит встречается только в одном аншлифе в виде мелких включений в гётите. Состав его близок к теоретическому (мас.%): Fe 64.04, S 35.96; формула  $Fe_{1.01}S_{0.99}$ .

Сфалерит наблюдался в виде идиоморфных зерен и оторочек вокруг выделений со структурой распада изокубанитового твердого раствора. Содержание железа в нем меняется от 13.22 до 16.08 мас.%, составляя в среднем 14.84 мас.%.

## Сульфидные парагенезисы

Проведенное исследование позволило выделить три типа минеральных парагенезисов:

- **I тип** – гомогенный изокубанит с борнитом и высокомедистыми Cu-сульфидами халькозин-дигенитового ряда. Возрастные соотношения с другими типами не выявлены.
- **II тип** – распавшийся изокубанит с продуктами его разнообразных уникальных преобразований.;
- **III тип** – оксидно-сульфатно-сульфидный, который в отличие от двух первых медистых ассоциаций характеризуется железистой специализацией и подразделяется на два подтипа парагенезисов: а – с доминирующим пиритом и б – с преимущественным развитием Fe-Cu-сульфатов и Fe-оксидов; с реликтами глубоко преобразованного парагенезиса II типа.

**I тип парагенезисов**, включающий гомогенный изокубанит, борнит и высокомедистые сульфиды, в исследованных образцах распространен незначительно. Здесь борнит, халькозин и нестехиометрические Cu-сульфиды халькозин-дигенитового ряда метасоматически развиваются в изокубаните по сети разноориентированных трещин и образуют ветвистые тонкие прожилки и гнезда на пересечениях последних. По соотношению

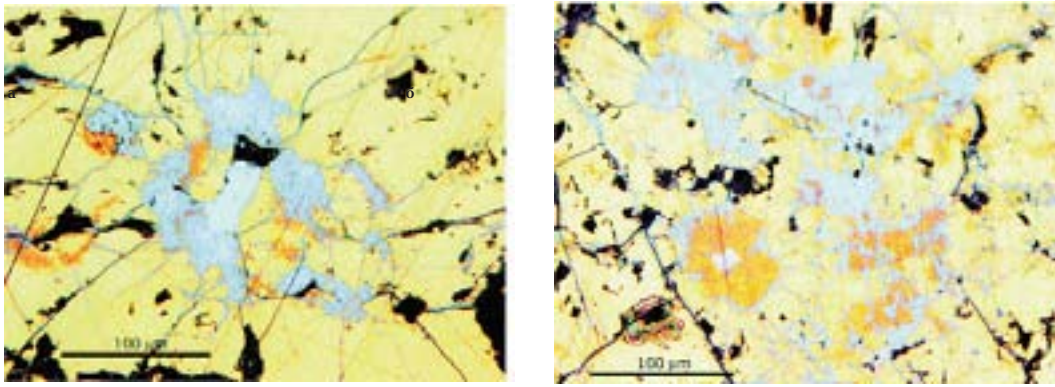


Рис. 2. I тип сульфидных ассоциаций, представленный борнитом и высокомедистыми Cu-сульфидами. Полированные шлифы в отраженном свете. Образец 135-1b.

а – Тонкие метасоматические прожилки и гнезда борнита (оранжевое), халькозина (голубовато-серое) и смеси высокомедистых сульфидов халькозин-дигенитового ряда (голубое, гетерогенное) в гомогенном изокубаните; халькозин (ан. 1 в табл. 4) находится в центральных частях гнезд и прожилков в окружении менее медистых сульфидов, на контакте которых с изокубанитом появляется борнит (ан. 10 в табл. 4).

б – Та же ассоциация в соседнем участке, где в нижней левой части снимка ядро халькозина (ан. 1 в табл. 5) в округлом гнезде окружено борнитом (ан. 9 в табл. 4), который в свою очередь окружается сульфидами меди (ан. 7 в табл. 4). В других местах прожилки сульфидов меди секут борнит и содержат его реликты;

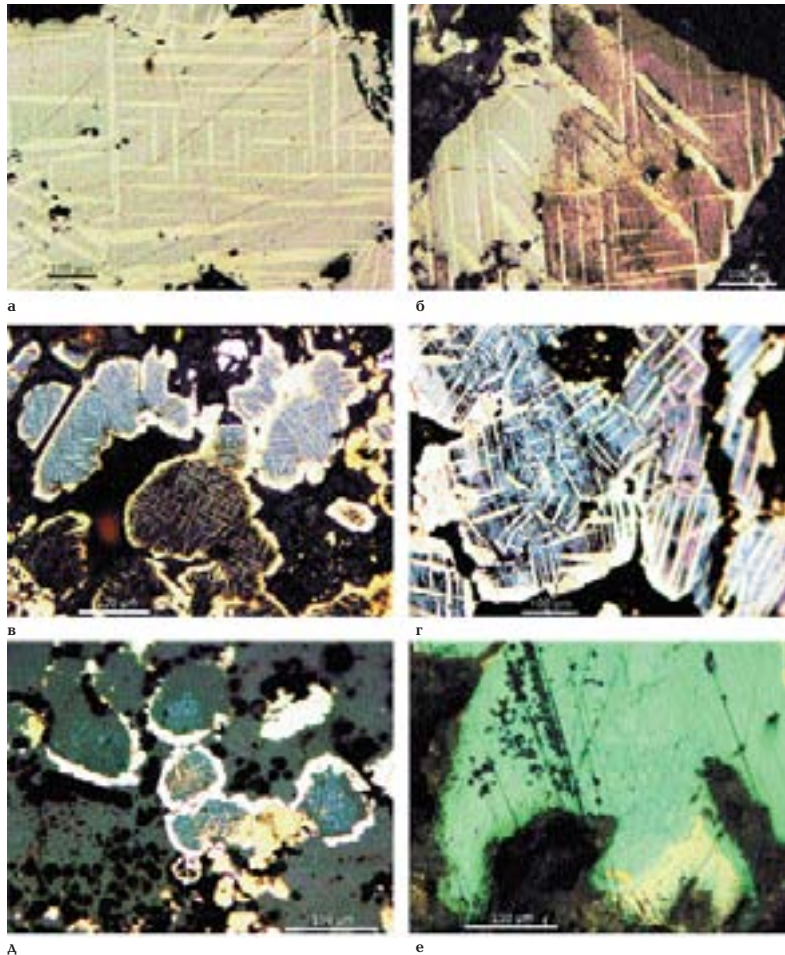


Рис. 3. II тип сульфидных парагенезисов, представленный распавшимся изокубанитом с разной окраской матрицы. Полированные шлифы в отраженном свете.

а – Структура распада с неизменной матрицей светло-бежевого цвета и решеткой лейст халькопирита. Образец 135-6/2;

б – Зерно с неизменной светло-бежевой матрицей и измененной коричневой. Образец 135-6/2;

в – Агрегат зерен с голубовато-серыми и черными матрицами, с лейстами и оторочками халькопирита. Образец 1269-6/2в;

г – Агрегат зерен с синей и розовой матрицами с лейстами и оторочками халькопирита. Образец 135-6/2;

д – Оливковая матрица в структуре распада с каймами пирита (белые) и железистого халькопирита (светло-желтые) (табл. 2: кайма – ан. 6, лейсты – ан.7). Образец 1269-6/2в;

е – Тонко-чешуйчатые агрегаты ковеллина (синее) по маломедистым сульфидам меди (зеленовато-серое), метасоматически замесившим структуру изокубанитового распада; внизу снимка – светлый реликт незамещенной структуры. Образец 135-6/1.

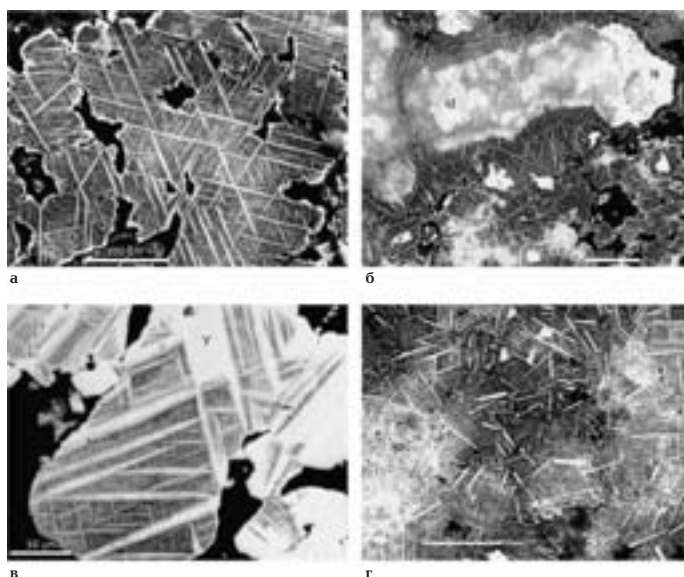


Рис. 4. Решетчатые структуры в измененных матрицах распавшегося изокубанита и новообразования сульфидов в них. Полированные шлифы в отраженных электронах.

*а* — Черная ковеллин-содержащая матрица с двумя системами лейст и каймами халькопирита (ан. 1 в табл. 2) вокруг пор. Образец 1269-6/1;

*б* — Удлиненное гетерогенное зерно с серовато-белыми размытыми пятнами новообразований *идашита* (*id*) и близких к нему фаз (ан. 2 в табл. 3) на фоне решетчатой структуры распада с черной матрицей; справа в светлой «голове» зерна — новообразование однородного изокубанита (*is*) (ан. 6 в табл. 1). Образец 1269-6/1;

*в* — Крупные со следами изменения лейсты халькопирита (ан. 3 в табл. 2) наложены на сетку мелких лейст в темной матрице. Местами между лейстами, частично их захватывая, по матрице развивается фаза *У* (ан. 4 в табл. 3). Образец 1269-6/2в;

*г* — Разноориентированные крупные лейсты фазы *М*, отклоняющиеся от

прямоугольной формы (ан. 3 — 5 в табл. 3), наложены на тонкую структуру распада с черной матрицей; мелкие белые зерна между крупными лейстами — новообразования однородного изокубанита (ан. 4 в табл. 1). Образец 1269-6/1;

Ме/S среди Cu-сульфидов определены халькозин и нестехиометрические джарлеит, дигенит и роксбиит. Подтверждены рентгенометрическими анализами только халькозин и джарлеит.

Как видно на рисунке 2а, соотношения борнита и сульфидов меди не всегда однозначны. С одной стороны, борнит (ан. 8 в табл. 4) окружает прожилки и гнезда Cu-сульфидов, непосредственно контактируя с изокубанитом; при этом борнит в свою очередь замещается гетерогенной смесью сульфидов меди, развивающейся от прожилков. Следует подчеркнуть, что халькозин (ан. 1 в табл. 4), самый высокомедистый из них, обычно находится в центральных частях и прожилков, и гнезд. С другой стороны, в некоторых гнездах борнит чередуется с Cu-сульфидами, участвуя в зональных структурах. Так, на рисунке 2б зерно халькозина окружается борнитом (ан. 8 в табл. 4), который окаймляется зоной медистых сульфидов (ан. 7 в табл. 4). Нередко прожилки сульфидов меди секут борнит и содержат его реликты.

**II тип парагенезисов**, представленный структурами распада высокотемпературного изокубанитового твердого раствора и продуктами их трансформаций, доминирует в исследованных образцах, и обладает рядом характерных особенностей.

Прежде всего, соотношения лейст в матрицах нередко указывают на сложность процесса этого распада. Так, помимо простых решеток, состоящих из одной генерации лейст,

часто наблюдается наложение двух и более разноориентированных систем решеток, лейсты которых различаются формой и размерами (рис. 3а, 4а). Это, очевидно, свидетельствует о неоднократном распаде и изменчивой динамике данного процесса.

Уникальная особенность изокубанитовых структур распада в поле Краснов заключается в разнообразных признаках последующих интенсивных преобразований. Наиболее наглядный из них — изменение окраски матрицы. В «свежих» структурах, не претерпевших трансформаций, матрица в отраженном свете светло-бежевая (рис. 3а). Однако, чаще вследствие метасоматического замещения более поздними минералами цвет матриц становится коричневым, серым, синим, оливковым вплоть до черной (рис. 3б — е). Нередко окраска меняется в пределах одного зерна (рис. 3б), причем сами лейсты сохраняются без изменения.

Результаты исследования химического состава замещенных матриц (табл. 1 — 5, рис. 1) показывают, что их разная окраска в общем обязана участвующим в замещении минералам и фазам: серовато-коричневые матрицы по составу близки к фазе *У*, светло-коричневые — к фазе *В*, темно-коричневые отвечают фазе *М*, еще более темно-коричневые — идаиту, синие — маломедистым сульфидам ковелинового ряда, в темно-серых определены сульфаты, в черных — смеси с участием ковеллина. О примесях сульфатов нередко говорят повы-

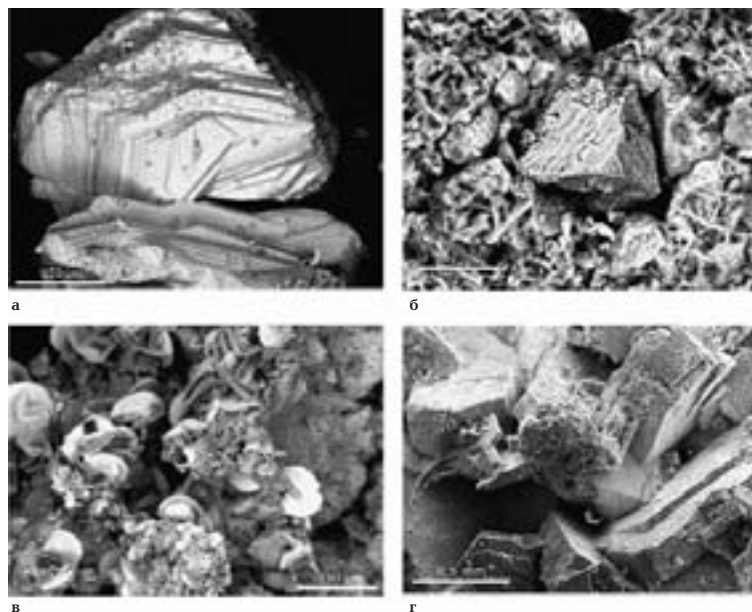


Рис. 5. Кристаллы новообразованных сульфидов среди вторичных продуктов. Микроштупфы в отраженных электронах. а — Сrostки пластинчатых кристаллов изокубанита (ан. 1 в табл. 1) с редкой мелкой присыпкой пирита и медных сульфидов на гранях. Образец 1271-4; б — Кристалл фазы Y среди продуктов распада изокубанитового твердого раствора. Образец 1269-6/1; в — Кристаллы ковеллина (белое, ан. 8 в табл. 4), частично с коркой сульфата меди и железа среди вторичных продуктов. Образец 1269-4/2\*; г — Кристаллы марказита с присыпками сульфидов меди (возможно, псевдоморфоза по пирротину). Образец № 187-1/2

шенные против формульных значений содержания серы.

При дальнейших преобразованиях на фоне избирательно замещенных матриц появляются гомогенные новообразования. В этой роли выступают практически все Cu-Fe- и Cu-сульфиды, а также их смеси, дополненные сульфатами и оксидами тех же металлов (изучить эти смеси, к сожалению, не удалось).

По форме и характеру среди новообразований устанавлены:

1. Тонкие белесые (в отраженном свете голубоватые) пятна со спорадическими светлыми сгущениями, которые распространяются по измененной темной матрице, захватывая и лейсты. Так, в пределах удлиненного зерна (рис. 4б) среди структуры распада с черной ковеллин-содержащей матрицей состав таких пятен и сгущений близок к идаиту (ан. 2 в табл. 3). В то же время в матрице, вмещающей это зерно, отмечаются более плотные новообразования гомогенного изокубанита (ан. 6 и 8 в табл. 1). Черная матрица и лейсты первичной структуры распада просвечивают сквозь белесые пятна, тогда как в плотных изокубанитовых зернах они не видны.

2. Гомогенные светлые зерна, развивающиеся по измененной матрице между лейстами, частично их захватывая или «растекаясь» вдоль контакта. В качестве примера укажем новообразования фазы Y (рис. 4в, ан. 4 в табл. 3), которые замещают участки темной матрицы между крупными лейстами халькопирита (ан. 3 в табл. 2). Последние в свою очередь на-

ложены на сетку мелких лейст и также несут следы изменений.

3. Мелкие новообразования в лейстах халькопирита, изменяющие их состав и искажающие форму. Такие измененные лейсты по составу отвечают фазе M (рис. 4г, ан. 3—5 в табл. 3) и сопровождают появление белесых пятен, указанных выше в пункте 1.

4. Хорошо оформленные кристаллы сульфидов среди крайне измененных продуктов распада изокубанита на поверхности микроштупфов (рис. 5а—г). В одних случаях они представлены агрегатами гомогенного изокубанита с мелкими присыпками сульфидов меди и пирита, в других — разными сульфидами, участвующими в преобразовании продуктов распада. Присутствие кристаллов гомогенного изокубанита среди измененных продуктов распада высокотемпературных генераций этого минерала служит особенно наглядным доказательством новообразования данных кристаллов.

Дальнейшая трансформация расплавленного изокубанита приводит к преобразованию характера решетчатой структуры. Наложение системы округлых вкрапленников халькопирита (ан. 5 в табл. 2) на очень тонко-решетчатую структуру распада с валовым составом, близким фазе Y (ан. 8 в табл. 3), превращает ее почти во вкрапленную структуру (рис. 6а). Мелкие зерна с практически неразличимой решеткой иногда преобразуются в колломорфные и зональные структуры (рис. 6б, в). Именно в таких структурах отмечена новая фаза B, которая слагает тонкие

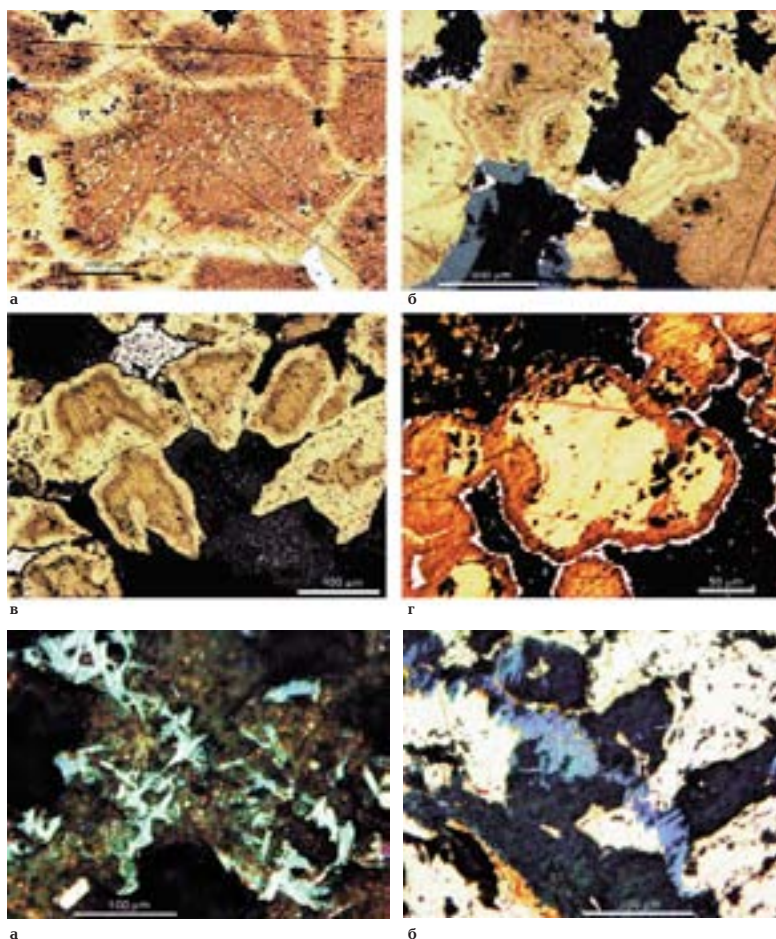


Рис. 6. Преобразования структур распада изокубанита. Образец 135-6/1. Полированные шлифы в отраженном свете. а — Ориентированные округлые вкрапленники халькопирита (ан. 5 в табл. 2), наложенные на очень тонкую светло-коричневую структуру распада фазы У (ан. 8 в табл. 3) с халькопиритовой каймой; б — Колломорфный агрегат, развивающийся по изокубанитовой структуре распада со светлыми зонками новой фазы В (ан. 4 и 5 в табл. 3); в левом нижнем углу внешняя темно-серая полоса — сфалерит; черное — пустоты; в — Зональная структура, образованная при изменении изокубанита: тонко-неоднородные сульфидно-сульфатные ядра с темными оторочками с доминирующим сульфатом окружены светлыми зонами новой фазы В (ан. 1 и 2 в табл. 3); рельефное белое зерно в верхней части снимка — пирит; г — Светлое зерно изокубанита с темной неоднородной сульфидно-сульфатной каймой и внешней оторочкой пирита (белое).

Рис. 7. Характер выделения позднего ковеллина. Полированные шлифы в отраженном свете. а — Сросстки листоватых кристаллов ковеллина с четко проявленным двуотражением (от синего до голубовато-серого) (ан. 6 в табл. 5) в мелкозернистой сульфидно-оксидной массе; белое зерно в левом нижнем углу — пирит. Образец 1271-4/3; б — Прожилок синих листоватых кристаллов ковеллина в изокубаните (ан. 9 в табл. 1). Местами кристаллы ковеллина оконтурены тонкой оторочкой новообразованного халькопирита. Образец 1271-4.

зонки (ан. 4 и 5 в табл. 3) в колломорфных участках и периферийную зону (ан. 1 и 2 в табл. 3) в зерне зонального строения. В новообразованных зональных структурах наблюдаются также гетерогенные сульфатные обособления. Их локализация в этих структурах может быть различной. Так, на рисунке бв обогатенная сульфатом тонкая темная зона отделяет центральное сульфатно-сульфидное ядро от светлой внешней полосы фазы В, а на рисунке бг сульфаты образуют широкую зону по периферии зерна изокубанита, оконтуриваясь внешней тонкой каймой пирита. В некоторых случаях первичная структура изокубанитового твердого раствора полностью исчезает при сплошном метасоматическом замещении и лейст, и матрицы кристалличес-

ки-зернистыми маломедистыми Cu-сульфидами с тонкочешуйчатыми агрегатами раннего ковеллина (см. рис. 3е). Поздний крупнопластинчатый ковеллин ассоциируется с сульфатно-оксидными массами (рис. 7а) и сетчатый гомогенный изокубанит (рис. 7б).

Следует подчеркнуть, что широко распространенный в поле Краснов тип минеральных ассоциаций, представленный продуктами распада изокубанита с последующим интенсивным их изменением, встречен впервые.

**III тип парагенезисов** — оксидно-сульфатно-сульфидный существенно отличается от двух предыдущих железистой специализацией и подразделяется на два подтипа парагенезисов: а — с доминирующим пиритом и

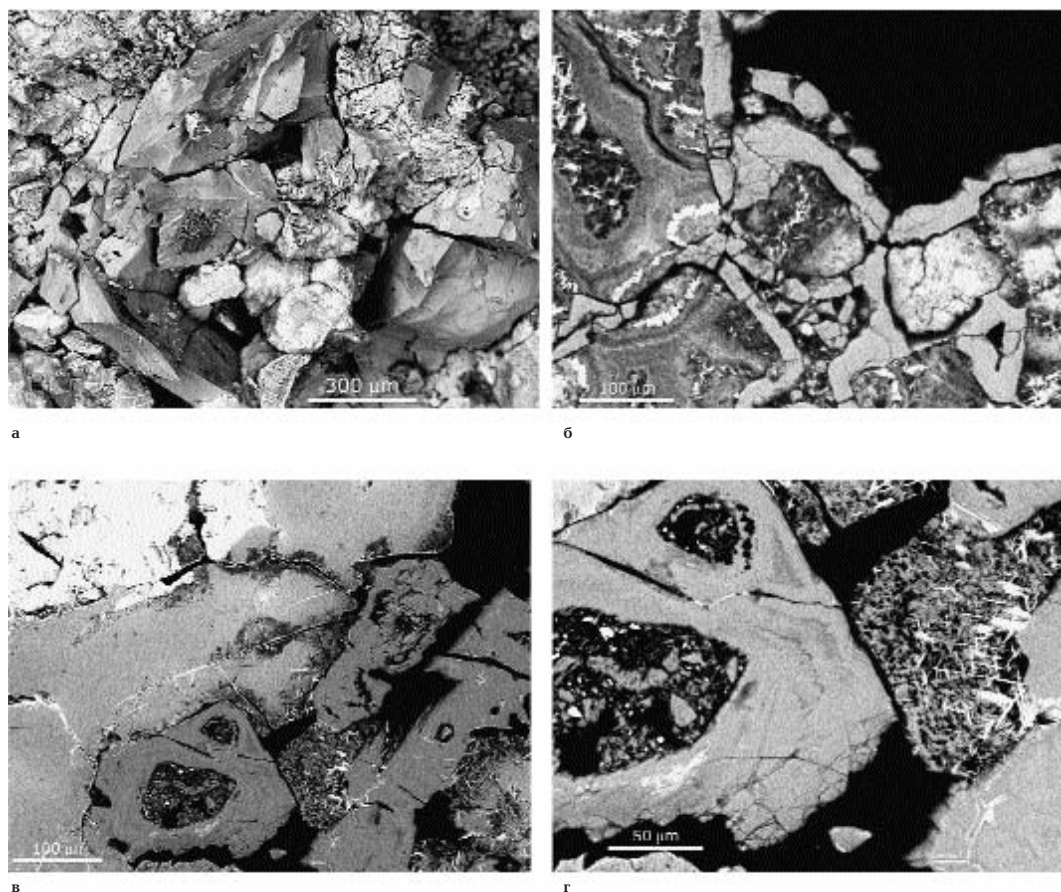


Рис. 8. III тип парагенезисов – оксидно-сульфатно-сульфидный.

а – микроштуф в отраженных электронах, образец № 187-1/2; б-г – полированные шлифы в отраженном свете. Образец № 1271-4.

а – Дезинтегрированный участок руды на поверхности микроштуфа, представленный реликтовыми зернами со следами интенсивно измененной решетчатой структуры распада в окружении более крупных обломков пирита; б – Брекчиевидная текстура с широкими каймами медистого пирита вокруг интенсивно измененных гетерогенных рудных фрагментов; наиболее светлая и крупнозернистая зона в колломорфном участке фрагмента – фаза, близкая к идаиту; остальные белые зерна – ближе не определенные Cu-Fe-сульфиды, обогащенные серой (возможно, за счет окружающих сульфатов);

в – Ассоциация гëтитита (рельефные, изометричные темно-серые зерна скрыто-зонального строения) с Cu-Fe-сульфатом (светло-серый агрегат в центре), контактирующим с гомогенным изокубанитом (белый, в левом верхнем углу снимка, ан. 10 в табл. 1); тонкие прожилкообразные выделения в сульфатах и гëтитите – сингенетичные сульфиды; между зернами гëтитита интенсивно измененный фрагмент ассоциации II типа; в изометричном зерне гëтитита две округлых полости с микробрекчией растворения (содержит зерна гëтитита и единичных сульфидов);

г – Деталь того же снимка. В изометричном зерне гëтитита светлые прожилкообразные выделения, согласные с зональностью гëтитита, – троилит; остальные сульфиды ближе не определены; интенсивно измененный фрагмент обнаруживает решетчатое строение, где часть лейст превращена в идаитоподобную фазу

б – с преимущественным развитием Cu-Fe-сульфатов и Fe-оксидов. Относительно II типа он является более поздним, так как содержит лишь реликты зерен с максимально измененными решетчатыми структурами.

Пример парагенезиса с доминирующим поздним пиритом (подтип а) показан на рисунке 8а, б, где он наблюдается в максимально дезинтегрированных и брекчиевидных

участках руд, включающих остатки наиболее преобразованных первичных структур распада изокубанитовых твердых растворов. Эти структуры в реликтовых фрагментах нередко трансформированы в колломорфно-зональные (рис. 8б), где отдельные тонкие зонки сложены новообразованными Cu-Fe-сульфидами, по составу близкими к идаиту. Можно полагать, что эти сульфидные

новообразования близкоодновременны с окружающим пиритом.

На рисунке 8в, г приведен пример оксидно-сульфатного парагенезиса с количественно подчиненными сингенетичными сульфидами (подтип б). Доминирующие минералы здесь представлены гётитом и сульфатом, структурно близким к натроярозиту. Гётит ( $\alpha$ -FeOOH) образует серые рельефные зерна тонкозонального строения с густокрасными внутренними рефlekсами. Диагностика подтверждена химическим составом (мас.%): Fe 52.99, Cu 4.85, O 36.73, S 1.98, Cl 0.96, сумма 97.31 и рентгеновскими данными — наиболее интенсивные линии дебаеграммы (Å): 4.195(9), 2.715 (10), 2.434 (9), 2.217 (7), 2.718 (4).

Зерна сульфата по сравнению с гётитом более светлые и менее рельефные. На близость к натроярозиту указывает сходство дебаеграммы, полученной из материала, экстрагированного из проанализированного зерна (табл. 6). Однако по данным микроанализа сульфат содержит (мас.%): Fe 39.60, Cu 19.86, O 30.98, S 10.43, Cl 0.85, сумма 101.87, где вместо натрия присутствует медь, а атомное отношение Fe/S превышает ярозитовое (2 против 1.5) (из теоретической формулы  $\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$  состав натроярозита (мас.%): Fe 34.57, Na 4.74, O 46.21, S 13.23, H 1.25).

Не исключено, что Cu-Fe-сульфат в поле Краснов является новым минеральным видом (или разновидностью) в группе алунига и требует дальнейшего изучения. Во всяком случае появление менее крупного иона меди вместо натрия, возможно, объясняет уменьшение некоторых межплоскостных расстояний в изученном сульфате по сравнению с эталонными данными натроярозита. В связи с этим можно отметить, что в последней сводке по сульфатам приведены широкие колебания атомного отношения Fe/S даже у отдельных минералов. Так, в открытом в 1994 г. швертманните с идеальной формулой  $\text{Fe}_3\text{O}_8(\text{OH})_{8-2x}(\text{SO}_4)_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , где  $1 \leq x \leq 1.75$ , отношение Fe/S меняется от 8 до 4.6 при промежуточном составе между ярозитом и гётитом (Bigham, Nordstrom, 2000).

В полированном шлифе (рис. 8в, г) выделение сульфата с одного края граничит с гомогенным изокубанитом (ан. 10 в табл. 1), слегка его корродируя, с другого — с гётитом, но в последнем случае их соотношение маскируется развитием по сульфату в приконтактной области очень тонких ветвистых черных агрегатов. По секущим трещинкам они прослеживаются дальше и в изокубаните. Эти скопления по морфологии напоминают

Таблица 6. Сопоставление результатов расчета рентгенограммы Cu-Fe-сульфата с эталонными данными натроярозита

Обр.1271-4		PDF # 110302		PDF # 301203	
I	d	I	d	I	d
		40	5.94	30	5.94
		50	5.57	40	5.57
6	5.00	100	5.06	90	5.06
		20	3.67	30	3.66
7	3.46	20	3.49	20	3.49
		70	3.12	90	3.12
10	3.06	80	3.06	100	3.06
		20	2.960	20	2.960
4	2.746	20	2.780	30	2.783
4	2.536	40	2.530	30	2.527
				10	2.308
1	2.245	60	2.240	50	2.236
2	2.087	20	2.130		
3	1.928	60	1.980	50	1.979
4	1.905	5	1.910	30	1.909
5	1.856			10	1.857
		50	1.830	50	1.834
		5	1.740	20	1.743
7	1.714	5	1.720	20	1.724
				5	1.693
				5	1.657
3	1.602			20	1.623
5	1.583	20	1.570	20ш	1.578
		20	1.540	20	1.560
				30	1.532
		20	1.480	10	1.484
5	1.453	40	1.479	40ш	1.479
1	1.311	5	1.340		
1	1.198				
3	1.072				

тонко-игольчатые агрегаты швертманнита, показанные в цитированной выше работе. Ее авторы отмечают ярозит и гётит среди обычных компонентов ассоциаций швертманнита.

Зерна гётита и сульфата содержат тонкие прожилковидные выделения сингенетичных Fe-сульфидов, согласные с зональностью гётита. В одном из таких прожилков определен троилит. В гётитовом зерне видны следы более позднего воздействия в виде двух овальных пустот с микробрекцией растворения. Фрагменты внутри пустот представлены в ос-

новном тем же гётитом с единичными мелкими зернами сульфидов. В меньшей пустотке (рис. 8г) цепочка мелких зерен гётита вытягивается вдоль стенки, повторяя ее форму.

«Чуждый» компонент в этом аншлифе представлен реликтом очень интенсивно преобразованной первичной структуры распада в пустотке между зернами гётита (рис. 8г). Решетчатая структура реликта почти на грани исчезновения, а оставшиеся утолщенные лейсты превращены в идаитоподобную фазу.

Принимая во внимание соотношение между II и III типами парагенезисов, можно полагать, что последний завершает процесс образования исключительно подчиненных медных руд и знаменует собой переход к серно-колчеданным рудам, доминирующим в гидротермальном поле Краснов.

## Обсуждение

Изложенные выше результаты исследования выявили специфику минеральных парагенезисов медных руд на данном объекте.

Кратко описанный I тип парагенезисов, где изокубанит не претерпевает разложения, обнаруживает сходство с минеральными ассоциациями самых молодых активных сульфидных труб в гидротермальном поле Рейнбоу (36° 14' с.ш. САХ), которые детально изучались (Богданов и др., 2002; Бородаев и др., 2004; Мозгова и др., 2005 и др.). Сульфидный состав этих труб почти одинаков с парагенезисом I в поле Краснов, а присутствующая вместо изокубанита близкая к нему фаза Y также сохраняется гомогенной. Несмотря на малую величину секущих прожилков, в большинстве случаев в распределении минералов можно заметить ту же закономерность, что и в трубках Рейнбоу – с изокубанитом контактирует борнит, сменяющийся гетерогенными Cu-сульфидами в направлении центра прожилка (или гнезда), где локализуется халькозин, наиболее богатый медью сульфид ассоциации. С учетом мессбауэровских данных о валентности Cu и Fe в рассматриваемых сульфидах (Воган, Крейг, 1981) основные ступени этой трансформации следующие: изокубанит  $Cu^+Fe^{2+}Fe^{3+}S_2 \rightarrow$  борнит  $Cu_5^+Fe^{3+}S_4 \rightarrow$  халькозин  $Cu_2^+S$ . Очевидно, эти метасоматические преобразования обязаны повышению окислительного потенциала благодаря воздействию проникающей по трещинкам морской воды. В результате происходит окисление и вынос железа и соответственно обогащение минералов остающейся медью.

Некоторые отклонения от этой схемы (например, признаки зональности), видимо, обязаны динамичной обстановке во время формирования данной ассоциации. Следует добавить, что рост окислительного потенциала здесь не достигает уровня, установленного в молодых трубках Рейнбоу, где происходит замещение халькозина менее медистыми минералами. По аналогии с Рейнбоу можно предполагать, что и здесь этот тип парагенезиса является продуктом локального достаточно высокотемпературного короткожившего источника.

Подобная схема отражает некоторые общие закономерности преобразования Cu-Fe-сульфидов. В частности, она согласуется с описанными гипергенными изменениями этих минералов в континентальных месторождениях (Sillitoe, Clark, 1969; Constantinou, 1975; Large *et al.*, 1995 и др.).

Гораздо более распространенный II тип сульфидных парагенезисов, связанный со структурами распада изокубанитового твердого раствора, характеризуется признаками интенсивных последующих преобразований. Прежде всего это многократное повторение процесса распада, что указывает на бурную динамику и высокую температуру начальной ступени образования медных руд – термическая устойчивость изокубанита  $\geq 200^\circ C$  (Воган, Крейг, 1981).

Возникающая в результате этого неоднородность матрицы в продуктах распада может объяснять другую особенность этих парагенезисов – широко проявленное уникальное избирательное ее замещение. Участие разных минералов в этом процессе, очевидно, обусловлено вариациями местных условий, меняющимися в сторону уменьшения температур и повышения окислительного потенциала. Как следствие этого, замещающие минералы и фазы становятся все менее железистыми и обогащаются медью (см. составы на линии с  $Me/S = 1$  на рисунке 1), а в некоторых случаях по матрице избирательно развиваются сульфаты.

Дальнейшая трансформация вызывает развитие новообразований гомогенных минералов и фаз системы Cu-Fe-S, затрагивающее и измененную матрицу, и лейсты в структурах распада. Присутствие среди новообразований нераспавшегося изокубанита в виде зерен и гомогенных кристаллов свидетельствует о повышении температур, что может быть вызвано возобновлением поступления флюидов. Примечательно появление в этом процессе метастабильных фаз, которые ранее не отмечались ни в природе, ни при

экспериментальных работах в условиях равновесия. Такие фазы по терминологии, предложенной Ф.В. Чухровым, можно назвать «минералами-эфимерами». Причина их появления «кроется в быстром течении химических реакций, которое делает невозможным образование устойчивых фаз» (Чухров, 1973). Они легко трансформируются при изменении условий, что способствует переходу структур распада в другие структурно-текстурные образования.

В этом типе парагенезисов большинство обнаруженных Cu-Fe- и Cu-сульфидов участвуют во всех стадиях изменения структур распада изокубанита: на ранних — в метасоматическом замещении матрицы, в более поздних — в виде новообразований, а также на самых поздних — при возникновении секущих прожилков. Можно также подчеркнуть, что присутствие в данном парагенезисе маломедистых сульфидов (ковеллин  $Cu^{2+}S$  и близкие к нему нестехиометрические сульфиды), а в I типе — высокомедистых, свидетельствует о более окислительной обстановке преобразований во II типе.

В III типе ассоциаций подтип с доминирующим поздним пиритом, цементирующим сильно преобразованные фрагменты изокубанитовых структур распада, видимо, может указывать на поступление новых порций горячих обогащенных железом флюидов.

Главные минералы оксидно-сульфатного подтипа — гётит и недостаточно изученный Cu-Fe-сульфат, по атомному отношению Fe/S промежуточный между семейством ярозитов и швертманнитом. Согласно сводкам последних лет (Bigham, Nordstrom, 2000; Dutrizac, Jambor, 2000; Jambor *et al.*, 2000), наиболее обычные компоненты зон окисления колчеданных месторождений — гётит и Fe-сульфаты семейства ярозитов встречаются и в гипогенных условиях. Гипогенный ярозит указывается в горячих источниках Йеллоустонского Национального парка в США, кратерном озере вулкана Менделеев на острове Кунашир (Курилы) и в других сходных местах. Гипогенный гётит, как отмечал А.А. Годовиков (1983), встречается редко и в небольших количествах. В качестве вторичного минерала он метасоматически развивается практически по всем минералам железа, что является следствием их окисления (Рамдор, 1962).

Описанные в наших образцах в оксидно-сульфатном парагенезисе соотношения минералов свидетельствуют в пользу их гипогенного происхождения, поскольку признаки интенсивного замещения этими мине-

ралами первичных Cu-Fe-сульфидов отсутствуют, а сами минералы содержат тонкие выделения сингенетичных Fe-сульфидов (в том числе троилит FeS, хотя в остальных типах парагенезисов моносльфиды железа отсутствуют). Какого-либо взаимодействия парагенетической ассоциации III типа с реликтами максимально измененной первичной ассоциации не наблюдается (см. рисунок 8г).

Сопоставление полученных данных позволяет заключить, что I тип парагенезисов, не имеющий контакта с остальными типами, по аналогии с Cu-трубами Рейнбоу, можно принять за молодые минеральные образования, сформировавшиеся за короткий промежуток времени, что, видимо, объясняет их недостаточно интенсивное изменение. Доминирующий II тип максимально измененных ассоциаций скорее всего связан с наиболее древним и длительно существовавшим источником. Fe-ассоциации III типа завершают процесс образования Cu-Fe-руд и являются переходными к главному в этом поле серно-колчеданному этапу минералообразования. Смена геохимической специализации флюидов, возможно, связана с изменениями в рудообразующей системе.

Таким образом, исследование трансформаций медных парагенезисов в поле Краснов, являющихся в ряде случаев уникальными, указывает на сложный характер протекавших здесь процессов и дополняет сведения об океанском минералообразовании.

Авторы благодарны И.А. Брызгалову, Н.В. Трубкину, Л.А. Левицкой, Л.А. Паутову, Н.В. Горьковой и А.Т. Савичеву за проведение аналитических исследований, составу Полярной Морской Геологоразведочной экспедиции — за предоставление образцов руд. Особая признательность Е.А. Борисовой и С.Н. Ненашевой за обсуждение работы и ценные советы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 05-05-64952).

## Литература

- Бельтнев В.Е., Шагин А.А., Марков В.Ф., Рожественская И.И., Лазарева Л.И., Федоров И.П., Черкашев Г.А., Степанова Т.В., Порошина И.М., Шилов В.В. Новое гидротермальное рудное поле в районе 16°38' с.ш. Срединно-Атлантического хребта // Докл. АН. 2006. Т. 408. № 4. С. 495 — 499.
- Богданов Ю.А., Бортников Н.С., Викентьев И.В., Лейн А.Ю., Гурвич Е.Г., Сагалев

- вич А.М., Симонов В.А., Икорский С.В., Ставрова О.О., Аполлонов В.Н. Минералого-геохимические особенности гидротермальных сульфидных руд и флюида поля Рейнбоу, ассоциированного с серпентинитами, САХ (36°14' с.ш.) // Геол. рудн. месторожд. **2002**. Т. 44. № 6. С. 510–542.
- Бородаев Ю.С., Мозгова Н.Н., Габлина И.Ф., Богданов Ю.А., Старостин В.И., Фаргуст Ф. Зональные трубки черных курильщиков из гидротермального поля Рейнбоу (Срединно-Атлантический хребет 36°14' с.ш.) // Вестник МГУ. Сер. Геология. **2004**. № 3. С. 40–49.
- Воган Д., Крейг Дж. Химия сульфидных минералов // М.: Мир. 1981. 575 с.
- Генкин А.Д., Филимонова А.А., Шагун Т.Н., Соболева С.В., Тронева Н.В. О кубическом кубаните и кубическом халькопирите // Геол. рудн. месторожд. **1966**. № 1. С. 41–54.
- Гоговиков А.А. Минералогия // М.: Недра. **1983**. 647 с.
- Кузнецов В.Ю., Черкашев Г.А., Леин А.Ю., Бельтнев В.Е., Максимов Ф.Е., Шилов В.В., Степанова Т.В., Чернов С.Б., Баранова Н.Г., Тарасенко Д.И. Возраст гидротермальных руд Срединно-Атлантического хребта (по данным  $\text{Th}^{230}/\text{U}$ -датирования) // Вестник СПбГУ. **2007**. Сер. 7. No. 2.
- Лебедев Л.М., Черкашев Г.А., Цепин А.И. Новые данные по минералогии сульфидных руд из впадины Атлантис II (Красное море) // Современные гидротермы и минералообразование. М.: Наука. **1988**. С. 110–123.
- Масленникова С.П. Сульфидные трубки палеозойских «черных курильщиков» (на примере колчеданных месторождений Яман-Касы и Александровское, Южный Урал) // Автореферат кандидатской диссертации. Екатеринбург. Минералогический институт Уральского отделения РАН. **2005**. 22 с.
- Мозгова Н.Н., Ненашева С.Н., Бородаев Ю.С., Цепин А.И. Область состава и особенности изоморфизма изокубанита // Геохимия. **1995**. № 4. С. 533–552.
- Мозгова Н.Н., Бородаев Ю.С., Габлина И.Ф., Черкашев Г.А., Степанова Т.В. Минеральные ассоциации как показатели степени зрелости океанских гидротермальных сульфидных построек // Литология и полезные ископаемые. **2005**. № 4. С. 339–367.
- Рамгор П. Рудные минералы и их сростания // М.: ИЛ. **1962**. 1131 с.
- Чухров Ф.В. Минералы-эфемеры // Природа. **1973**. № 9. С. 64–69.
- Bigham J.M., Nordstrom D.K. Iron and aluminum hydroxysulfates from acid sulfate waters // Reviews in mineralogy and geochemistry. Sulfate minerals – crystallography, geochemistry, and environmental significance. Washington. Mineralogical Society of America. **2000**. V. 40. P. 351–403.
- Caye R., Cervelle B., Cesbron F. e. a. Isocubanite, a new definition of the cubic polymorph of cubanite  $\text{CuFe}_2\text{S}_3$  // Miner. Mag. **1988**. V. 52. P. 509–514.
- Constantinou G. Idaite from the Skouriotissa massive sulfide orebody, Cyprus: its composition and conditions of formation // Amer. Mineralogist. **1975**. V 60. P. 1013–1018.
- Dutrizac J.E., Jambor J.L. Jarosites and their application in hydrometallurgy // Reviews in mineralogy and geochemistry. Sulfate minerals – crystallography, geochemistry, and environmental significance. Washington. Mineralogical Society of America. **2000**. V. 40. P. 405–452.
- Jambor J.L., Nordstrom D.K., Alpers C.N. Metal-sulfate salts from sulfide mineral oxidation // Reviews in mineralogy and geochemistry. Sulfate minerals – crystallography, geochemistry, and environmental significance. Washington. Mineralogical Society of America. **2000**. V. 40. P. 303–350.
- Large D.J., MacQuaker J., Vaughan D.J., Sawlowicz Z., Gize A.P. Evidence for low-temperature alteration of sulfides in the kupferschiefer copper deposits of Southwestern Poland // Econ. Geol. **1995**. V. 90. P. 2143–2155.
- Mozgova N., Borodaev Yu., Cherkashev G., Stepanova T., Zhirnov E. High-temperature exsolution structures in submarine serpentinite-related massive sulfides (Mid-Atlantic Ridge) // Minerals of the Ocean. International Conference. St.Petersburg, Russian Federation. 20–25 April **2002**. P. 134–137.
- Oudin E. Hydrothermal sulfide deposits of the East Pacific Rise. (21). Part I: Descriptive mineralogy // Marine Mining. **1983**. N 4. P. 39–72.
- Rambaldi E.R., Rajan R.S., Housley R.M., Wang D. Gallium-bearing sphalerite in a metal-sulfide nodule of the Qingzhen (EH3) chondrite // Meteoritics. **1986**. V. 21. N 1. P. 23–31.
- Sillitoe R.H., Clark A.H. Copper and copper-iron sulfides as the initial products of supergene oxidation, Copiapó mining district, northern

## КОДИФИКАЦИЯ НЕНАЗВАННЫХ МИНЕРАЛОВ

Дориан Смит (Dorian G.W. Smith)

Департамент наук о Земле и Атмосфере, Университет Альберты, Эдмонтон, Альберта, Канага T6G 2E3

Эрнест Никель (Ernest H. Nickel)

Подразделение Разведки и разработки, CSIRO, PO BOX 5, Wembley, W.A. 6913, Австралия

Подкомитет по названным минералам комиссии международной минералогической ассоциации по новым минералам, номенклатуре и классификации минералов (CNMNC IMA, ранее CNMMN IMA) разработал систему кодификации, включающую год публикации и качественный химический состав названных минералов, упоминавшихся в публикациях. Эти минералы подразделены на две категории: достоверные и недостоверные названные минералы. К достоверным названным минералам («valid as unnamed minerals») относятся те, которые не соответствуют существующим названным минеральным видам, не упоминались в литературе ранее и опубликованные описания которых позволяют опознать их, если они будут найдены где-либо еще. К недостоверным названным минералам («invalid as unnamed minerals») относятся те, опубликованные описания которых недостаточны для их однозначного распознавания, если они будут найдены в других местах, или те, которые отвечают существующим минеральным видам или названным минералам, опубликованным ранее.

### Введение

Упоминания названных минералов часто встречаются в литературе, где они описываются с различной степенью детальности и в произвольной манере. Более того, не существует достаточно полных сводок по опубликованным названным минералам, что делает затруднительным поиск описаний названных минералов определенного состава. В попытке исправить эту ситуацию авторы вместе с Jiri Just младшим (умер в 1994 г.) представили в комиссию по новым минералам и названиям минералов международной минералогической ассоциации (CNMNC IMA, теперь CNMNC IMA) предложение организовать подкомитет для составления списка названных минералов, опубликованных в литературе, и разработки систематического метода их кодификации. Это предложение было утверждено как Номенклатурная заявка 95-B CNMMN IMA. Финальный отчет, включающий предложенную систему кодификации, и список названных минералов с присвоенными кодами был подан в CNMNC и утвержден в 2005 г. Этот отчет был опубликован Смитом и Никелем (Smith & Nickel, 2007). Настоящая публикация является кратким изложением упомянутого отчета.

### Система кодификации

В этой работе названным минералом считается тот, который упомянут непосредственно как названный или с обозначением типа «минерал А» или с каким-то описательным или рабочим названием, которое не от-

носится к названиям существующих минеральных видов.

В литературе описания названных минералов варьируют от детальных описаний, которые позволяют распознать и идентифицировать этот минерал в другом контексте, до неполных описаний, которые не дают возможности провести точную идентификацию. Мы попытались разделить эти минералы соответственно на две категории: достоверные названные минералы («valid as unnamed minerals») и недостоверные названные минералы («invalid as unnamed minerals»). Для упрощения в дальнейшем — «достоверные» и «недостоверные». Недостоверные названные минералы включают также те, которые были найдены соответствующими существующим минеральным видам во время публикации или позднее. При разделении этих категорий в ряде случаев будет, конечно, иметь место неопределенность, когда минерал может быть отнесен к любой категории.

Чтобы придать коду максимум информативности он включает год первой публикации и информацию о составе. Кроме того, обе выделенные категории отличаются различным кодом.

Для «достоверных» названных минералов первой задачей при разработке системы было сделать коды индексруемыми и облегчить их поиск в литературе и компьютерных базах данных. Принятые в конечном итоге обозначения имеют вид, показанный на следующем примере: **UM1959-01-BO:CaMgMn**.

Первые две буквы «UM» (unnamed mineral) размещают эти минералы в определенную позицию в алфавитных списках, используемых в большинстве журналов и книг, а также

Статья публикуется по просьбе комиссии по новым минералам, номенклатуре и классификации (CNMNC) Международной минералогической ассоциации (IMA). Авторы статьи являются, одновременно, членами подкомитета по названным минералам (Дориан Смит — председатель, Эрнест Никель — зам. председателя) этой комиссии. Главной целью этой публикации, полная версия которой опубликована в журнале "Canadian Mineralogist" (2007, v.45 (4), p. 983–1055) — ознакомить возможно большее число авторов, публикующих новые данные по названным минералам, с новой системой их кодификации. Это позволит минимизировать появление в будущих статьях неутвержденных кодов названных минералов. Перевод Д.И. Белаковского.

в компьютерных базах данных. Определенным удобством также является то, что эта аббревиатура подходит для других языков, использующих латиницу.

После «UM» следуют две группы номеров, первая из которых обозначает год, когда этот минерал был впервые упомянут. Две цифры после первого дефиса являются тривиальным «серийным» номером, используемым для идентификации минералов, описанных в одном и том же году. Понятно, что со временем некоторые номера будут исключены, когда ранее названные минералы получают свои имена, будут дискредитированы или объявлены синонимами других названных или неназванных минералов. Чтобы избежать ошибок последовательные номера меняться не будут, а исключенные номера не будут использоваться вновь с того момента, как эта система кодификации принята ММА.

Буквы, следующие за вторым дефисом, определяют химический состав минерала. Следующая химическая кодировка была разработана:

As — арсениды (если присутствуют и сера и мышьяк, сера ставится на первое место)

AsO — арсенаты или арсениты

Bi — висмутиды

BO — бораты

Bг — бромиды

C — карбиды

CH — углеводороды, оксалаты, порфирины, органические соединения

CO — карбонаты

Cl — хлориды

CrO — хроматы

E — элементы и интерметаллиды

F — фториды

FCO — фторкарбонаты

GeO — германаты

I — иодиды

IO — иодаты

MoO — молибдаты

N — нитриды

NO — нитраты

O — оксиды

OC — оксалаты

OH — гидроксиды

OS — оксисульфиды

P — фосфиды

PO — фосфаты

S — сульфиды и сульфосоли

Sb — антимониды

SO — сульфаты и сульфиты

Se — селениды

SeO — селенаты и селениты

Si — силициды

SiO — силикаты

Te — теллуриды

TeO — теллулаты и теллуриды

VO — ванадаты

WO — вольфраматы

Таким образом, в приведенном выше примере BO означает, что минерал является боратом. В тех случаях, когда минерал содержит несколько анионов или анионных групп близкой значимости, используются оба обозначения. Например, карбонат-фосфаты получают код СОРО. Возможно, другие группы, определяемые составом минерала, будут предложены в будущем.

После двоеточия следуют (в алфавитном порядке) символы **главных** входящих в минерал элементов, опуская элементы, входящие в состав кода до двоеточия. Таким образом, кислород тоже может быть опущен, так как уже отмечен в анионной части кода. Эта система позволяет проводить быстрый компьютерный поиск, используя наблюдаемый химический состав. В алфавитных списках, индексах и базах данных химическая часть кода (-BO:CaMgMn в примере выше) может быть при необходимости опущена для краткости, так как сам номер уже является уникальным. Было также решено, что только химические элементы, **упомянутые или подразумеваемые** как неперменные в составе неназванного минерала, будут присутствовать в его коде. То есть, если позже окажется, что неназванный минерал содержит один или более элементов, которые первоначально были пропущены — эти дополнительные элементы не будут включены в код.

Система кодификации для категории недостоверных неназванных минералов отличается от достоверных тем, что между двумя дефисами вместо серийного номера помещается наклоненная направо двойная косая черта. Например, UM1997-//F:KMgNa.

## Сбор данных о неназванных минералах

Просмотрев доступную литературу по неназванным минералам, авторы нашли около 2800 ссылок на момент написания статьи. Большая часть данных была получена непосредственно из первичных литературных источников, но в случаях, когда доступ к первичной литературе был затруднен, использовались вторичные источники. Неназванным минералам были присвоены коды согласно описанной выше системе, и было составлено

два списка, представляющие «достоверную» и «недостоверную» категории.

В связи с большим их объемом эти списки не включены в данную статью, но были опубликованы (Smith & Nickel, 2007), а также доступны на сайте комиссии по новым минералам, номенклатуре и классификации минералов (CNMNC) по ссылке <http://www.geo.vu.nl/~ima-cnmmn/ima-report.htm> в форме, удобной для компьютерного поиска.

Данные в обоих списках включают коды, ссылки на первичную и/или вторичную литературу и существенные комментарии, обычно включающие химическую формулу, если она известна. При составлении списков авторы прибегли к помощи своих совершенно независимых и весьма полных баз данных «Minident» и «Mineral» ([www.micronex.ca](http://www.micronex.ca), Smith & Leibovitz, 1986; и [www.materialsdata.com](http://www.materialsdata.com), соответственно) и интенсивно обсуждали спорные аспекты до достижения согласия.

## Дальнейшие разработки

Кодификация неназванных минералов, опубликованная в двух списках (Smith & Nickel, 2007), представляет официальную позицию IMA. Дополнения и/или изменения в списках должны производиться исключительно CNMNC. В настоящее время этот подкомитет, который, как предполагается, будет являться постоянно действующим, состоит из двух авторов этой статьи, которые намереваются предоставлять периодические дополнения и производить необходимые изменения. Такие, например, как перевод неназванных минералов из «достоверных» в «недостоверные», когда их удастся отождествить с существующими минеральными видами. Однако, ожидается, что со временем другие члены будут добавлены в подкомитет и появятся новые исполнители.

Исследователям, обнаружившим то, что они считают новым неназванным минералом, рекомендуется представить их данные в подкомитет по неназванным минералам, предпочтительно через сайт CNMNC. До утверждения окончательного кода рекомендуется использовать временные коды по предложенной ниже схеме. Как в примере ниже, код должен начинаться с заглавных букв UKI, образованных от слов неизвестный (unknown)

и временный (interim) и отличающихся от кода IMA, который может со временем получить минерал. Затем, после дефиса, четыре строчных символа (буквы и цифры) занимают место серийного номера в коде IMA для «достоверных» минералов. После второго дефиса в скобках дается химический код по системе, описанной выше. Обратите внимание, что год описания умышленно убран из кода из-за неопределенностей, связанных с задержками публикаций.

### Пример: UKI-ab71-(S:CoCuFeZn)

Надо отметить, что авторы, описавшие новые минералы без названий не имеют приоритета в последующем наименовании таких минералов. Любые названия, предложенные впоследствии (для первоначально неназванных минералов) должны быть утверждены CNMNC, также как и минералы, для которых предложены названия.

## Выводы

CNMNC учредит постоянный подкомитет по неназванным минералам, работа которого будет состоять в:

- наблюдении за присвоением номеров будущим неназванным минералам, включая уже описанные, но не обозначенные в первоначальном списке;
- решении и действиях в соответствии с будущими рекомендациями минералогического сообщества относительно изъятия ранее «достоверных» неназванных минералов.

Подкомитет будет давать рекомендации CNMNC относительно статуса неназванных минералов.

## Литература

- Smith D.G.W., Leibovitz D.P. Minident: a data base for minerals and a computer program for their identifications // Can. Mineral. **1986**. V. 24. P. 695 – 708.
- Smith D.G.W., Nickel E.H. A system of codification for unnamed minerals; Report of Subcommittee for Unnamed Minerals of the IMA Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification // Can. Mineral. **2007**. V. 45. P. 983 – 1055.

**Кристаллохимия,  
минералы как  
прототипы новых  
материалов,  
физические  
и химические свойства  
минералов**



УДК 549.6 + 548.736.6 (470.21)

**НОВЫЕ ДАННЫЕ О МЕГАЦИКЛИТЕ**

Н.В. Зубкова

*Геологический факультет МГУ, Москва, nata\_zubkova@rambler.ru*

И.В. Пеков

*Геологический факультет МГУ, Москва; Институт Геохимии и аналитической химии РАН, Москва*

Н.В. Чуканов

*Институт Проблем химической физики РАН, Черноголовка*

Д.В. Лисицин

*ФГУ «Музей Самоцветы», Москва*

М.Х. Рабаданов

*Институт Кристаллографии РАН, Москва*

Д.Ю. Пуцаровский

*Геологический факультет МГУ, Москва*

Охарактеризованы вторая и третья в мире находки мегациклита  $\text{KNa}_8\text{Si}_9\text{O}_{18}(\text{OH})_9 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$  в двух щелочных массивах Кольского полуострова, Россия. На горе Расвумчорр в Хибинском массиве он образует обильные позднегидротермальные прожилки толщиной до 1.5 мм, редко призматические индивиды длиной до 1.5 см, в крупном ультраагпаитовом пегматите в ассоциации с микроклином, эгирином, содалитом, лампрофиллитом, ломоносовитом, щербаконитом, виллиомитом, дельхайелитом, фосинаитом-(Ce), клинофосинаитом, натиситом, ловозеритом, тисиналитом, накафитом, расвумитом, ревдитом и др. В Ловозерском массиве мегациклит найден в пегматите «Палитра» на горе Кедыкверпах в виде белых и желтовато-коричневатых сферолитов диаметром до 2 мм с ревдитом и захаровитом в полостях среди микроклина и натросилита. Химический состав минерала из Хибин (мас. %):  $\text{K}_2\text{O}$  3.69,  $\text{Na}_2\text{O}$  19.85,  $\text{SiO}_2$  42.74,  $\text{H}_2\text{O}$  33.03, сумма 99.31. Эмпирическая формула (расчет на  $[\text{Si}_9(\text{O}, \text{OH})_{27}]$ ):  $\text{K}_{0.99}\text{Na}_{8.11}\text{Si}_9\text{O}_{18.10}(\text{OH})_{8.96} \cdot 18.75\text{H}_2\text{O}$ . Подробно интерпретирован ИК-спектр, получена высококачественная порошковая рентгенограмма мегациклита. Уточнена его кристаллическая структура,  $R_{\text{int}} = 0.0339$  для 8206 независимых отражений с  $I > 2\sigma(I)$ . Мегациклит моноклинный, пр. гр.  $P2_1/c$ ,  $a = 24.8219(16)$ ,  $b = 11.9236(8)$ ,  $c = 14.8765(9)$  Å,  $\beta = 94.486(5)^\circ$ ;  $V = 4389.5(5)$  Å<sup>3</sup>. Структурная формула:  $\text{K}_2\text{Na}_{16}\text{Si}_{18}\text{O}_{34}(\text{OH})_{18}[\text{O}_{0.75}(\text{OH})_{0.25}]_2(\text{H}_2\text{O})_{36}[(\text{H}_2\text{O})_{0.75}(\text{OH})_{0.25}]_2$  ( $Z = 2$ ). Приведены полные данные по локальному балансу валентных усилий на анионах, детально охарактеризована система водородных связей в структуре.

В статье 6 таблиц, 5 рисунков и список литературы из 11 названий.

Водный силикат натрия и калия, мегациклит относится к числу редчайших минералов. До настоящего времени была известна только одна его находка — на горе Расвумчорр в Хибинском щелочном массиве на Кольском полуострове (Россия), в ультраагпаитовых пегматоидных жилах, сложенных в основном калиевым полевым шпатом, фенакситом и дельхайелитом. Минерал образует здесь бесцветные зерна неправильной формы, достигающие 3 мм, и их агрегаты до 5 мм, включенные в крупные индивиды фенаксита; отмечались тесные срастания мегациклита с чисто натриевым водным силикатом ревдитом  $\text{Na}_{16}[\text{Si}_4\text{O}_6(\text{OH})_5]_2[\text{Si}_8\text{O}_{15}(\text{OH})_6](\text{OH})_{10} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$  (Хомяков и др., 1993). В названии минерала (от греч. mega — большой, kuklos — кольцо) отражена интереснейшая особенность его кристаллической структуры — присутствие уникального, необычно крупного изолированного кольцевого радикала из 18 Si-тетраэдров. По результатам рентгеновского исследования монокристалла, извлеченного из голтишного материала, было установлено, что

мегациклит моноклинный,  $P2_1/c$ ,  $a = 24.91$ ,  $b = 11.94$ ,  $c = 14.92$  Å,  $\beta = 94.47^\circ$ ,  $V = 4426$  Å<sup>3</sup>. Электронно-зондовый анализ показал следующий химический состав:  $\text{Na}_2\text{O}$  19.75,  $\text{K}_2\text{O}$  3.62,  $\text{SiO}_2$  43.42, сумма 66.79 мас.%. Содержание воды прямым методом не определялось. С учетом результатов расшифровки структуры была предложена идеализированная формула минерала:  $\text{Na}_8\text{KSi}_9\text{O}_{18}(\text{OH})_9 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$ ,  $Z = 4$  (Ямнова и др., 1992; Хомяков и др., 1993).

Нами установлены еще два проявления мегациклита — в Хибинском и соседнем Ловозерском щелочных массивах.

В Хибинах минерал обнаружен на той же горе Расвумчорр, но в несколько отличной от первоначального местонахождения обстановке. Мегациклит встречен в крупном ультращелочном пегматите, вскрытом карьером рудника Центральный. Это пегматитовое тело неправильной формы, залегающее в уртигах неподалеку от контакта с нефелин-апатитовой породой, прослежено в длину более чем на 10 м при максимальной мощности не менее 1 м. В пегматите можно выде-

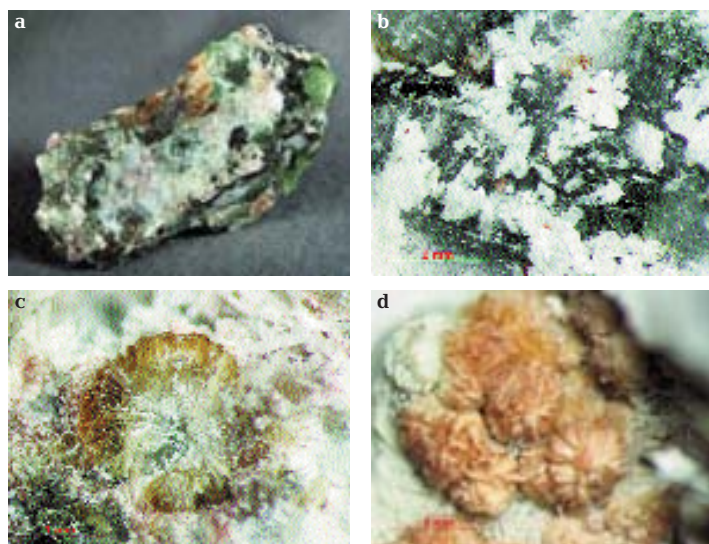


Рис. 1. Характер выделений мегациклита: a, b — рудник Центральный, г. Расвумчорр, Хибинь; c, d — пегматит "Палитра", г. Кедыкверпахк, Ловозеро. Фото: a — С.И. Пеков, b-d — А.В. Касаткин, И.В. Пеков.

a — белая корка мегациклита, развитая по трещине ультращелочного пегматита (образец расколот по прожилку мегациклита; коричневый минерал — тисиналит, темно-коричневый — ломоносовит, зеленый — эгирин). Образец 3 x 7 см. Коллекция Д.В. Лисицина.

b — сростки кристаллов мегациклита, выросшие на стенку трещины. Коллекция И.В. Пекова.

c — полихромный (бесцветное ядро и медово-коричневая периферическая зона) сферолит мегациклита в массе ревдита. Коллекция В.Г. Гришина.

d — сросток светло-коричневых радиальных сростков мегациклита с белым ревдитом в полости среди микроклина. Коллекция В.Г. Гришина.

лить минеральные ассоциации, соответствующие трем последовательно сменявшим друг друга стадиям. Наиболее ранними минералами являются калиевый полевой шпат, нефелин, содалит, щелочные пироксен (эгирин-салит) и амфибол, эвдиалит, лампрофиллит, ильменит, фторапатит. Вторую стадию можно определить как «сухую» ультраапатитовую: в ходе нее сформировались безводные и низководные высокощелочные минералы: зеленый игольчатый эгирин (главный минерал данной ассоциации), пектолит, магнезиоастрофиллит, ломоносовит, щербаквит, баритолампрофиллит, вилломит, фенаксит, дельхайелит, фосинаит-(Ce), клинофосинаит, натисит (замещает ильменит), цирсианит (дает каймы и псевдоморфозы по эвдиалиту), казаковит, накафит (развивается по фторапатиту), сидоренкит, джерфишерит, расвумит, а также сфалерит и молибденит. Третья стадия — высокощелочная гидротермальная; судя по продуктам — богатым водой минералам с «рыхлыми» структурами — она является низкотемпературной: очевидно, не выше 200–250°C. Некоторые из «сухих» ультращелочных минералов становятся в этих условиях неустойчивыми и замещаются родственными фазами, обедненными щелочными катионами и содержащими воду: цирсианит — ловозеритом, казаковит — тисиналитом, дельхайелит — гидродельхайелитом и пектолитом. Другие продукты гидротермальной стадии заполняют не крупные каверны и трещины — это шафрановскит, ершовит, мегациклит, ревдит, грумантиг, плохо раскристаллизованные щелочные силикаты с Mn и Ti.

Мегациклит, являющийся одной из наиболее поздних фаз, формирует сеть, местами весьма густую, ветвящихся прожилков. Если в своем первоначальном местонахождении (Хомяков и др., 1993) этот K,Na-силикат встречен в незначительном количестве, то в описываемом пегматите он распространен широко: мономинеральные прожилки имеют протяженность иногда более 10 см и мощность до 1.5 мм. Раскалывание породы по ним дало штуды с бесцветными или белыми корочками мегациклита (рис. 1a) площадью до 5 x 7 см. Прожилки сложены вытянутыми, реже изометричными пластинками без четко выраженных граней, достигающими в наибольшем измерении 1–1.5 мм, редко 2–3 мм, и обычно в той или иной мере изогнутыми. Как правило прожилки образованы субпараллельно-пластинчатыми агрегатами, в которых индивиды мегациклита ориентированы перпендикулярно или наклонно к зальбандам; в раздувах прожилков встречаются участки с "лежащими" пластинками. В единичных образцах встречены еще две морфологических разновидности минерала. Одна из них представлена ограненными кристаллами (рис. 1b) — ромбовидными пластинками и табличками до 0.5 мм (к сожалению, низкое качество граней не позволило провести гониометрические измерения), нарастающими на стенки небольших щелевидных полостей. Другая разновидность — розетки в трещинах, состоящие из грубообразованных бесцветных призматических кристаллов до 0.2–1.5 см: это самые крупные среди известных индивиды мине-

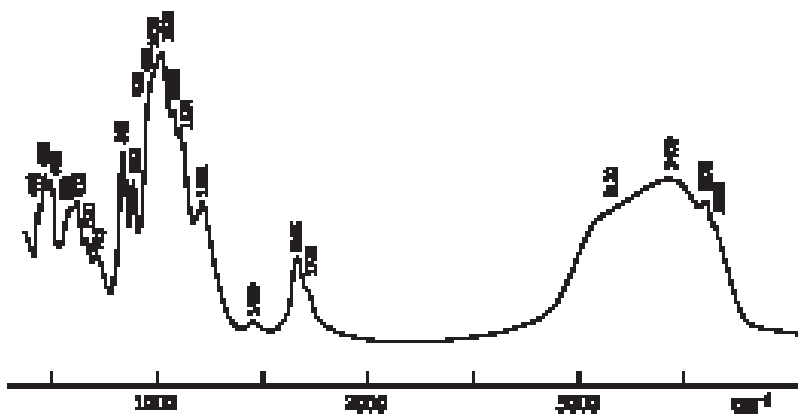


Рис. 2. ИК-спектр мегациклита.

рала.

В Ловозерском массиве мегациклит обнаружен в крупном ультращелочном пегматите "Палитра", вскрытом подземной выработкой на горе Кедыкверпах и подробно охарактеризованном недавно одним из авторов (Реков, 2005). Мегациклит находится в мелких полостях в микроклине и натросилите. С ним тесно ассоциирует ревдит, иногда захаровит, а из более ранних минералов - эгирин, виллиомит, серандит, нордит-(Се), вуоннемит, калиевый арфведсонит, сфалерит. Мегациклит образует сферолиты диаметром до 1.5–2 мм, которые иногда собраны в гроздь, заключенные в сахаровидную массу ревдита (рис. 1с), или в корочки, нарастающие на микроклин (рис. 1d). Эти сферолиты, с поверхности белые, палевые или желтовато-коричневатые, а во внутренних частях, как правило, бесцветные, состоят из пластинчатых или шестоватых индивидов.

Судя по обстановке нахождения и тесной ассоциации с минералами, неустойчивыми в контакте с поверхностными водами (виллиомит, натросилит, ревдит и др.), мегациклит в обоих случаях имеет эндогенное, а не гипергенное происхождение. Он, видимо, кристаллизовался из остаточного раствора, который мог быть обогащен Na и K, вынесенными при изменении из более ранних ультращелочных минералов. Мегациклит представляется одной из самых низкотемпературных гидротермальных фаз данных пегматитов. Он сформировался, видимо, при температурах не выше 100–130°C, когда подвижность Ti, Zr, Fe, Al даже в высокощелочных водных средах уже низка (об условиях образования таких гидротермалитов см.: Ловская и др., 2002).

Индивиды мегациклита обладают слюдоподобной спайностью и стекляннм блеском. Они как правило бесцветные, водяно-про-

зрачные. При длительном нахождении в сухом воздухе мегациклит теряет прозрачность и белеет, но его рентгенограмма и ИК-спектр почти не претерпевают изменений. По оптическим свойствам наш минерал практически идентичен описанному А.П. Хомяковым с соавторами (1993) оригинальному материалу. Плотность хибинского образца, измеренная А.Е. Задовым методом уравнивания в тяжелых жидкостях, составляет 1.89(1) г/см<sup>3</sup>.

Химический состав минерала исследован с помощью электронно-зондового микроанализатора Camebax MBX с энергодисперсионным спектрометром LINK AN 10000 (аналитик А.Н. Некрасов) при ускоряющем напряжении 15.7 кВ и силе тока 1.5 нА; низкий ток вкупе с расфокусировкой зонда до площадки 10 x 10 мкм помогли избежать повреждения неустойчивого высоководного минерала при анализе. Содержание H<sub>2</sub>O в нашем хибинском образце определено по методу Алимарина – путем прокаливания до 1000°C с улавливанием выделяющейся воды поглотительной трубкой, наполненной Mg(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (аналитик А.С. Астахова). Его средний химический состав (мас. %, в скобках – пределы содержаний по 6 анализам): K<sub>2</sub>O 3.69 (3.5–4.0), Na<sub>2</sub>O 19.85 (19.1–20.1), SiO<sub>2</sub> 42.74 (41.3–43.8), H<sub>2</sub>O 33.03, сумма 99.31. Содержания остальных элементов с атомными номерами выше, чем у кислорода, оказались ниже пределов обнаружения электронно-зондовым методом. Рассчитанная на [Si<sub>9</sub>(O,OH)<sub>27</sub>] эмпирическая формула: K<sub>0.99</sub>Na<sub>8.11</sub>Si<sub>9</sub>O<sub>18.10</sub>(OH)<sub>8.90</sub>·18.75H<sub>2</sub>O. Она весьма близка к идеальной формуле KNa<sub>8</sub>Si<sub>9</sub>O<sub>18</sub>(OH)<sub>9</sub>·19H<sub>2</sub>O, теоретические содержания компонентов для которой составляют: K<sub>2</sub>O 3.74, Na<sub>2</sub>O 19.69, SiO<sub>2</sub> 42.94, H<sub>2</sub>O 33.63, сумма 100.00 мас.%. В ловозерском образце электронно-зондовым методом установлено (мас.%): K<sub>2</sub>O 3.8, Na<sub>2</sub>O 19.5,

Таблица 1. Результаты расчета порошковой рентгенограммы мегациклита

$I_{\text{экс}}$	$I_{\text{выч}}$	$d_{\text{экс}}$	$d_{\text{выч}}$	$hkl$	$I_{\text{экс}}$	$I_{\text{выч}}$	$d_{\text{экс}}$	$d_{\text{выч}}$	$hkl$	$I_{\text{экс}}$	$I_{\text{выч}}$	$d_{\text{экс}}$	$d_{\text{выч}}$	$hkl$
3	13	24.61	24.746	100	7	7	3.168	3.177	-6 1 3					
10	31	12.41	12.373	200		3		3.177	-4 1 4	4	3	2.207	2.210	-4 5 1
2	5	9.27	9.293	0 1 1		3		3.162	-6 2 2	5	5	2.188	2.191	4 5 1
6	6	8.84	8.843	-1 1 1	9	11	3.142	3.148	0 2 4	2	4	2.158	2.165	6 2 5
5	15	8.23	8.249	3 0 0	100	100	3.089	3.098	1 2 4	1	1		2.153	7 1 5
31	35	7.394	7.415	0 0 2	33	42	3.056	3.064	-5 3 1	1	2	2.134	2.141	10 2 2
	1		7.261	2 1 1	9	17	2.999	3.004	5 3 1	1	1		2.136	-5 5 1
7	5	7.276	7.261	-1 0 2	2	2		3.004	2 2 4	1	3	2.114	2.116	5 5 1
32	36	6.944	6.955	1 0 2	40	40	2.976	2.981	0 4 0	1	1		2.113	10 1 3
	4		6.325	-3 1 1	4	4		2.979	-8 1 1	2	2		2.101	10 3 0
7	8	6.283	6.297	0 1 2	13	12	2.949	2.956	6 1 3	2	7	2.090	2.092	-8 4 2
1	3	6.171	6.186	4 0 0	2	2		2.948	-3 3 3	2	1	2.079	2.078	-11 1 3
2	8	6.123	6.152	2 0 2	28	29	2.930	2.938	-8 0 2	1	5	2.067	2.072	-7 1 6
35	33	5.957	5.962	0 2 0	21	21		2.933	5 2 3	5	8	2.054	2.060	-3 1 7
22	19	5.786	5.796	1 2 0	4	5	2.914	2.922	0 4 1	1	1		2.056	-6 5 1
2	3	5.749	5.742	-3 0 2		3		2.907	-1 4 1	1	2	2.027	2.034	6 5 1
1	2	5.535	5.532	0 2 1	9	6	2.895	2.898	2 4 0	1	2	2.020	2.025	-4 4 5
1	2	5.487	5.491	4 1 0	1	1		2.897	1 4 1	1	1		2.020	10 2 3
5	7	5.355	5.371	2 2 0	1	1		2.878	3 2 4	1	3	2.004	2.009	-8 0 6
	1		5.365	1 2 1	1	2	2.877	2.871	-6 0 4	9	11	1.989	1.992	1 5 4
1	2	5.248	5.270	-4 1 1	1	3	2.852	2.852	-8 1 2	10	11	1.975	1.979	-9 4 2
2	8	5.030	5.037	4 1 1	8	15	2.820	2.826	-4 3 3	1	2	1.942	1.946	5 5 3
2	4	4.951	4.944	-4 0 2	3	8	2.796	2.803	3 4 0	3	3	1.913	1.918	7 3 5
1	1	4.892	4.852	3 1 2	2	2		2.791	-6 1 4	1	1		1.914	12 2 1
15	18	4.633	4.646	0 2 2	3	7	2.776	2.782	6 3 1	2	2	1.900	1.904	10 4 0
1	1	4.605	4.608	-1 2 2	3	3	2.763	2.766	0 4 2	2	2		1.904	-8 2 6
	2		4.577	4 0 2	1	2	2.733	2.734	-8 2 1	1	1		1.901	-5 2 7
12	23	4.517	4.526	1 2 2	1	1	2.706	2.702	7 1 3	2	7	1.883	1883	-13 1 1
14	35	4.452	4.460	-5 1 1	6	6		2.685	4 4 0	7	8	1.876	1.879	6 5 3
40	69	4.275	4.282	5 1 1	23	14	2.674	2.679	9 1 0		1		1.864	-11 3 3
1	4	4.176	4.185	-4 2 1	7	7		2.678	1 3 4	2	1	1.857	1.855	-2 0 8
1	1	4.130	4.136	-3 2 2	2	2		2.672	-9 1 1	1	3	1.828	1.832	-3 5 5
	1		4.124	6 0 0	7	7	2.651	2.658	-4 4 1	2	5	1.812	1.816	-13 2 1
2	3	3.972	3.975	5 0 2	2	2		2.656	6 0 4	1	1		1.815	-4 0 8
	2		3.966	3 2 2	18	26	2.641	2.646	-9 0 2	2	2		1.813	2 0 8
1	1	3.834	3.840	-6 1 1	2	3	2.620	2.627	4 4 1	3	5	1.802	1.804	-4 5 5
31	38	3.798	3.808	-4 1 3	1	1		2.617	2 3 4	5	5		1.781	-4 6 3
3	5	3.739	3.743	-5 2 1	1	7	2.566	2.570	5 3 3	10	8	1.776	1.778	10 3 4
14	8	3.714	3.728	1 2 3	1	1	2.528	2.537	4 1 5		1		1.752	-14 1 1
4	2	3.690	3.708	0 0 4	10	17	2.495	2.500	5 4 1	3	2	1.748	1.752	-1 6 4
	5		3.703	6 1 1	3	4	2.464	2.472	-8 0 4	2	2		1.751	0 6 4
	1		3.700	-2 2 3	6	5	2.434	2.441	1 0 6		3		1.745	-13 2 3
5	15	3.632	3.636	5 2 1	17	17	2.414	2.421	-8 1 4	10	9	1.740	1.743	1 6 4
	1		3.631	4 2 2	9	3		2.420	6 3 3	2	2		1.740	-12 1 5
19	16	3.617	3.625	1 0 4	6	7	2.405	2.410	5 1 5	3	3		1.734	2 2 8
3	8	3.570	3.577	2 2 3	9	12	2.385	2.391	1 1 6		4		1.719	-13 3 1
1	2	3.536	3.540	0 1 4	2	2	2.374	2.377	0 3 5	5	5		1.716	-8 5 4
2	3	3.504	3.503	0 3 2	2	2	2.348	2.352	1 3 5	7	1	1.712	1.712	5 5 5
	3		3.490	6 0 2	1	4	2.336	2.342	2 1 6	1	1		1.712	-3 4 7
10	11	3.480	3.484	-5 1 3	2	4	2.312	2.317	9 2 2		4		1.712	5 6 3
36	23	3.464	3.469	1 1 4	3	3		2.307	-5 4 3	1	2	1.693	1.698	-14 2 1
1	3	3.373	3.379	3 2 3	9	7	2.297	2.302	1 4 4	2	2		1.697	-7 0 8
1	2	3.361	3.359	-7 1 1	8	11	2.275	2.281	6 1 5		1		1.691	-4 4 7
	2		3.339	2 1 4	1	1		2.275	-2 2 6	1	1	1.688	1.687	-12 2 5
	1		3.338	2 3 2	3	3		2.275	5 2 5	3	3		1.680	-7 1 8
5	4	3.331	3.332	-4 2 3		1		2.271	-3 5 1	4	4		1.664	6 5 5
	5		3.293	-7 0 2	9	3	2.268	2.270	0 5 2	4	9	1.659	1.660	6 3 7
8	8	3.285	3.292	-4 3 1	2	2		2.267	-4 3 5	2	1		1.648	-8 0 8
3	4	3.243	3.252	7 1 1	5	3	2.253	2.259	1 2 6	3	3	1.646	1.641	-14 2 3
	1		3.241	5 1 3	1	1		2.256	1 5 2	4	4	1.629	1.633	-3 6 5
										2	2		1.625	-3 1 9

Таблица 2. Основные кристаллографические характеристики мегациклита и данные монокристалльного рентгеновского эксперимента

Формула	$K_2Na_{16}Si_{18}O_{34}(OH)_{18}[O_{0.75}(OH)_{0.25}]_2(H_2O)_{36}[(H_2O)_{0.75}(OH)_{0.25}]_2$
Параметры элементарной ячейки, Å	$a = 24.8219(16)$ , $b = 11.9236(8)$ , $c = 14.8765(9)$ , $\beta = 94.486(5)^\circ$
Пространственная группа; Z	$P2_1/c$ ; 2
Объем ячейки $V$ , Å <sup>3</sup>	4389.5(5)
Вычисленная плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1.905
Коэффициент поглощения $\mu$ , мм <sup>-1</sup>	0.573
Молекулярный вес	1259.21
$F_{000}$	2592
Размеры кристалла, мм	0.24 x 0.45 x 0.32
Дифрактометр	Xcalibur S (CCD)
Излучение; длина волны, Å	MoK $\alpha$ $\lambda = 0.71073$
Минимальное, максимальное $\theta$ , град	3.68, 57.79
Интервалы сканирования	$-54 \leq h \leq 57$ ; $-17 \leq k \leq 17$ ; $-32 \leq l \leq 32$
Общее число рефлексов	130583
Число рефлексов с $I > \sigma(I)$	39442
Число неэквивалентных рефлексов с $I > \sigma(I)$	10773
Число неэквивалентных рефлексов с $I > 2\sigma(I)$	8206
Количество уточняемых параметров	761
$R_F [I > 2\sigma(I)]$	0.0339
$wR(F^2) [I > 2\sigma(I)]$	0.0598
GOF	0.973
$\Delta\rho_{\max}/\Delta\rho_{\min}$ , э/Å <sup>3</sup>	0.502/-0.388

SiO<sub>2</sub> 43.5, сумма 66.8.

В отличие от авторов оригинального описания мегациклита, мы имели в распоряжении достаточное количество вещества, что позволило получить намного более высококачественные инфракрасный спектр и порошковую рентгенограмму минерала и существенно уточнить эти его характеристики.

В работе, посвященной мегациклиту как новому минералу (Хомяков и др., 1993), опубликован только набор частот максимумов полос в ИК-спектре, тогда как сама спектральная кривая не приведена и данные по интерпретации спектра тоже практически отсутствуют.

ИК-спектр нашего хибинского образца (рис. 2), полученный с использованием стандартной методики таблетирования с KBr на двухлучевом спектрофотометре Spexord 75 IR, содержит характерные полосы поглощения воды (диапазон 3300–3700 см<sup>-1</sup> — валентные колебания, полоса при 1665 см<sup>-1</sup> — деформационные колебания). Большая часть молекул воды образует водородные связи, проявляющиеся в спектре в виде сильной широкой полосы с максимумом около 3400 см<sup>-1</sup>.

Слабая узкая полоса при 3575 см<sup>-1</sup> соответствует свободным (не Н-связанным) группам О-Н молекул воды. Интегральная интенсивность этой полосы составляет около 1% от интенсивности полосы при 3400 см<sup>-1</sup>, что свидетельствует о незначительном содержании свободных ОН-групп (на самом деле, учитывая возрастание коэффициента экстинкции при образовании водородной связи, можно заключить, что количество таких групп несколько более 1%).

Широкое плечо при 3120 см<sup>-1</sup> относится к О-Н-валентным фрагментам Si-OH — так называемым «слабокислотным гидроксилам». Плечо при 1720 см<sup>-1</sup> не характерно для молекул воды. Обычно полосы в диапазоне 1700–1760 см<sup>-1</sup> принято относить к ионам оксония (Юхневич, 1973; Wilkins *et al.*, 1974). Учитывая кислотную природу групп Si-OH, можно допустить существование в мегациклите равновесия  $Si-OH^{+\delta} + H_2O \leftrightarrow Si-O^{-\delta} + H_3O^{+\delta}$  с образованием «виртуальных» (короткоживущих) ионов оксония. В случае мегациклита это равновесие должно быть смещено влево, так как, судя по частоте SiO-Н-валентных коле-

Таблица 3. Координаты атомов, параметры атомных тепловых смещений и заселенность позиций в структуре мегациклита

Атом	x	y	z	$U_{\text{кв}}/U_{\text{кзо}}^*$	Атом	x	y	z	$U_{\text{кв}}/U_{\text{кзо}}^*$
K	0.91382(2)	0.14525(5)	0.72291(3)	0.03881(13)	O(25)	0.09694(5)	0.16394(11)	0.70337(8)	0.0215(3)
Na(1)	0.34232(3)	0.12237(7)	0.34597(5)	0.02689(19)	O(26)	0.52769(7)	0.18390(14)	0.76158(13)	0.0272(4)
Na(2)	0.44824(3)	0.13180(7)	0.82325(5)	0.0289(2)	H(26a)	0.5282(11)	0.164(2)	0.7162(18)	0.054(10)*
Na(3)	0.55939(3)	0.12869(7)	0.28837(6)	0.0324(2)	H(26b)	0.5536(10)	0.1526(19)	0.7832(15)	0.033(8)*
Na(4)	0.22742(3)	0.13972(6)	0.86258(5)	0.02652(19)	O(27)	0.63890(7)	0.18017(14)	0.23162(12)	0.0264(4)
Na(5)	0.78914(3)	0.12064(7)	0.25418(5)	0.02935(19)	H(27a)	0.6627(9)	0.1479(19)	0.2508(15)	0.027(8)*
Na(6)	0.67336(3)	0.13710(7)	0.76626(6)	0.0324(2)	H(27b)	0.6405(9)	0.166(2)	0.1835(16)	0.036(8)*
Na(7)	0.11812(3)	0.11694(7)	0.40322(6)	0.0354(2)	O(28)	0.19670(6)	0.16976(14)	0.33956(13)	0.0266(4)
Na(8)	0.01282(4)	0.05626(9)	0.11570(6)	0.0446(3)	H(28a)	0.2213(9)	0.1435(18)	0.3683(15)	0.028(7)*
Si(1)	0.297439(19)	0.17493(4)	0.54092(3)	0.01369(11)	H(28b)	0.2008(11)	0.157(2)	0.2943(18)	0.052(10)*
Si(2)	0.71951(2)	0.17838(4)	0.44664(3)	0.01423(11)	O(29)	0.30838(6)	0.19508(14)	0.80967(12)	0.0255(4)
Si(3)	0.400360(19)	0.17567(4)	0.01732(3)	0.01369(11)	H(29a)	0.3297(9)	0.1563(19)	0.8418(15)	0.034(7)*
Si(4)	0.61727(2)	0.18088(4)	0.97530(3)	0.01496(11)	H(29b)	0.3114(11)	0.181(2)	0.7653(19)	0.063(11)*
Si(5)	0.50792(2)	0.18194(4)	0.49761(3)	0.01547(11)	O(30)	0.94346(5)	0.14092(11)	0.48509(9)	0.0243(3)
Si(6)	0.19635(2)	0.18284(4)	0.06553(3)	0.01437(11)	O(31)	0.45601(5)	0.23503(11)	0.99030(9)	0.0271(3)
Si(7)	0.81558(2)	0.17287(4)	0.92411(3)	0.01483(11)	O(32)	0.12566(6)	0.00013(11)	0.59820(9)	0.0285(3)
Si(8)	0.14334(2)	0.11673(4)	0.64686(3)	0.01471(11)	O(33)	0.41257(8)	0.06048(14)	0.68015(11)	0.0318(4)
Si(9)	0.88173(2)	0.11110(4)	0.46350(3)	0.01564(11)	H(33a)	0.4321(11)	0.085(2)	0.6483(18)	0.055(10)*
O(1)	0.71992(5)	0.10119(12)	0.35537(9)	0.0191(3)	H(33b)	0.3768(12)	0.077(2)	0.6651(18)	0.067(9)*
H(1)	0.7150(9)	0.0333(18)	0.3548(14)	0.028(7)*	O(34)	0.75341(7)	0.19701(15)	0.70393(12)	0.0290(4)
O(2)	0.27993(5)	0.09279(12)	0.45507(9)	0.0200(3)	H(34a)	0.7550(10)	0.182(2)	0.6552(17)	0.043(9)*
H(2)	0.2728(11)	0.026(2)	0.4583(18)	0.066(10)*	H(34b)	0.7731(9)	0.1575(18)	0.7254(15)	0.021(7)*
O(3)	0.16938(5)	0.10964(12)	0.98044(9)	0.0192(3)	O(35)	0.62623(8)	0.06541(14)	0.62515(12)	0.0348(4)
H(3)	0.1672(10)	0.039(2)	0.9860(17)	0.059(9)*	H(35a)	0.5896(11)	0.082(2)	0.6129(16)	0.052(8)*
O(4)	0.29887(5)	0.11160(11)	0.63522(8)	0.0203(3)	H(35b)	0.6392(13)	0.093(3)	0.590(2)	0.077(13)*
O(5)	0.61265(6)	0.10717(13)	0.88171(9)	0.0217(3)	O(36)	0.55876(5)	0.23442(12)	0.98791(10)	0.0351(4)
H(5)	0.6071(11)	0.043(2)	0.8851(18)	0.060(10)*	O(37)	0.74524(7)	0.05079(13)	0.11455(10)	0.0286(4)
O(6)	0.38321(6)	0.09797(12)	0.92889(9)	0.0215(3)	H(37a)	0.7666(11)	0.075(2)	0.0840(17)	0.053(9)*
H(6)	0.3776(11)	0.031(2)	0.9326(18)	0.061(9)*	H(37b)	0.7074(11)	0.074(2)	0.0944(16)	0.060(8)*
O(7)	0.75123(5)	0.20640(10)	0.92225(9)	0.0205(3)	O(38)	0.30555(8)	0.05356(14)	0.20507(11)	0.0300(4)
O(8)	0.51367(6)	0.10963(11)	0.58735(8)	0.0275(3)	H(38a)	0.3247(11)	0.078(2)	0.1746(17)	0.051(10)*
O(9)	0.19976(5)	0.11501(10)	0.15772(8)	0.0194(3)	H(38b)	0.2697(12)	0.075(2)	0.1889(17)	0.066(9)*
O(10)	0.40724(5)	0.10633(11)	0.10854(8)	0.0233(3)	O(39)	-0.00211(8)	0.24854(15)	0.62662(13)	0.0426(5)
O(11)	0.82367(5)	0.09931(12)	0.83298(9)	0.0198(3)	H(39a)	0.9833(13)	0.215(3)	0.581(2)	0.104(14)*
H(11)	0.8171(9)	0.0367(18)	0.8338(15)	0.032(7)*	H(39b)	0.0262(14)	0.215(3)	0.639(2)	0.108(15)*
O(12)	0.35638(5)	0.22273(11)	0.51836(9)	0.0235(3)	O(40)	0.08499(7)	0.20186(14)	0.87558(12)	0.0295(4)
O(13)	0.50322(6)	0.10376(13)	0.40678(9)	0.0278(4)	H(40a)	0.0913(10)	0.185(2)	0.8190(19)	0.060(9)*
H(13)	0.4965(11)	0.041(2)	0.4101(18)	0.061(10)*	H(40b)	0.1067(11)	0.172(2)	0.9051(18)	0.059(10)*
O(14)	0.74530(5)	0.11403(11)	0.53314(8)	0.0216(3)	O(41)	0.03014(7)	0.04650(16)	0.41017(11)	0.0303(4)
O(15)	0.83506(5)	0.10594(11)	0.01271(8)	0.0222(3)	H(41a)	0.0334(9)	-0.0070(19)	0.4371(15)	0.029(8)*
O(16)	0.84737(5)	0.20972(10)	0.40773(8)	0.0205(3)	H(41b)	0.0046(10)	0.082(2)	0.4368(16)	0.051(8)*
O(17)	0.65669(5)	0.21333(11)	0.45761(9)	0.0246(3)	O(42)	0.87103(8)	0.14303(16)	0.18903(13)	0.0352(4)
O(18)	0.25601(5)	0.21879(10)	0.03407(9)	0.0210(3)	H(42a)	0.8969(11)	0.113(2)	0.1981(17)	0.050(10)*
O(19)	0.16028(5)	0.20192(10)	0.56640(8)	0.0188(3)	H(42b)	0.8651(9)	0.134(2)	0.1413(16)	0.035(8)*
O(20)	0.41959(7)	0.18052(14)	0.28331(13)	0.0273(4)	O(43)	0.96867(8)	0.00773(16)	0.24304(12)	0.0379(4)
H(20a)	0.4443(10)	0.145(2)	0.3088(16)	0.039(8)*	H(43a)	0.9485(9)	-0.041(2)	0.2583(15)	0.038(8)*
H(20b)	0.4181(11)	0.163(2)	0.2375(18)	0.050(10)*	H(43b)	0.9844(10)	0.021(2)	0.2860(11)	0.051(10)*
O(21)	0.19890(6)	0.09026(12)	0.71178(9)	0.0231(3)	O(44)	0.51857(8)	0.05720(14)	0.14594(12)	0.0343(4)
H(21)	0.2250(9)	0.0995(19)	0.6896(14)	0.030(7)*	H(44a)	0.5338(13)	0.083(3)	0.111(2)	0.083(13)*
O(22)	0.63775(6)	0.10804(11)	0.06030(9)	0.0288(3)	H(44b)	0.4816(11)	0.073(2)	0.1367(16)	0.056(8)*
O(23)	0.09260(7)	0.09683(14)	0.21876(11)	0.0309(4)	O(45)	0.97420(8)	0.18565(17)	0.87773(13)	0.0448(5)
H(23a)	0.1210(11)	0.094(2)	0.1956(17)	0.058(9)*	H(45a)	0.9658(12)	0.235(3)	0.912(2)	0.093(13)*
H(23b)	0.0898(12)	0.176(3)	0.215(2)	0.089(11)*	H(45b)	0.0075(12)	0.192(2)	0.8738(17)	0.059(9)*
O(24)	0.85386(6)	0.08407(12)	0.55810(9)	0.0253(3)	O(46)	0.94217(7)	0.02574(19)	0.00379(15)	0.0680(6)
H(24)	0.8199(9)	0.0927(18)	0.5588(14)	0.032(7)*	H(46a)	0.9136(5)	0.0501(19)	0.0070(16)	0.043(8)*

Примечание: под позицией атомов водорода понимаются координаты порождённых ими максимумов электронной плотности

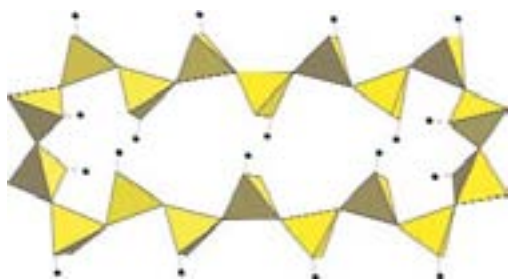


Рис. 3. Кремнекислородное кольцо в структуре мегациклита (кружочками показаны атомы водорода гидроксильных групп, находящихся в вершинах Si-тетраэдров).

баний ( $3120 \text{ см}^{-1}$ ), циклический анион мегациклита может рассматриваться как остаток весьма слабой кислоты.

Средневзвешенная частота Si-O-валентных колебаний  $\langle \nu \rangle$  (диапазон  $840 - 1230 \text{ см}^{-1}$ ) более чем на  $30 \text{ см}^{-1}$  отклоняется в сторону более высоких значений от величины  $\sim 980 \text{ см}^{-1}$ , которая типична для силикатов с простыми изолированными кольцами Si-тетраэдров (Чуканов, 1995). Как показывают наши данные, возрастание  $\langle \nu \rangle$  при протонизации кремнекислородного аниона характерно для большинства кислых силикатов — розенхнита, чесноковита, афвиллита, гидроксильных членов группы ловозерита и др. Природе этого явления авторы намереваются выявить специальную публикацию.

Мегациклит из Ловозера по ИК-спектру идентичен хибинскому.

Порошковая рентгенограмма нашего мегациклита из Хибин получена на дифрактометре STOE — STADI MP с изогнутым Ge(111) монохроматором и линейным позиционно-чувствительным детектором с использованием  $\text{CuK}\alpha$ -излучения. Расчет теоретической порошковой диаграммы (пакет программ WinXPow, 2005) показал хорошую сходимость с экспериментальными данными (табл. 1).

На монокристалле, отобранном из материала новой находки в Хибинах, уточнена кристаллическая структура мегациклита. Трехмерный набор дифракционных отражений получен на монокристалльном дифрактометре Xcalibur S CCD при комнатной температуре. Кристаллографические характеристики изученного минерала приведены в таблице 2.

Определение кристаллической структуры проведено независимо на основе прямых методов в рамках пр. гр.  $P2_1/c$  с использованием комплекса программ SHELX-97 (Sheldrick, 1997). Заключительный  $R_{hkl}$  соста-

вил 0.0339 для 8206 независимых отражений с  $I > 2\sigma(I)$ ; для сравнения: в работе Н.А. Ямновой с соавторами (1992) структура минерала уточнена до  $R = 0.048$  для 2860 независимых рефлексов с  $I > 1.96\sigma(I)$ . Заключительные координаты атомов и параметры их тепловых смещений в структуре нашего образца приведены в таблице 3, межатомные расстояния — в таблице 4, характеристика водородных связей — в таблице 5.

В результате уточнения была получена структурная формула  $\text{K}_2\text{Na}_{16}\text{Si}_{18}\text{O}_{34}(\text{OH})_{18}[\text{O}_{0.75}(\text{OH})_{0.25}]_2(\text{H}_2\text{O})_{36}[(\text{H}_2\text{O})_{0.75}(\text{OH})_{0.25}]_2$ , близкая как к эмпирической формуле мегациклита, рассчитанной по данным электронно-зондового анализа, так и к формуле, выведенной Н.А. Ямновой с соавторами (1992). Расчет баланса валентных усилий на анионах в структуре мегациклита (Bresle, O'Keeffe, 1991) с учетом вклада водородных связей (Ferraris, Ivaldi, 1988) дан в таблице 6.

Как было ранее показано в работе Н.А. Ямновой с соавторами (1992), в структуре мегациклита присутствуют кремнекислородные кольца, состоящие из 18 тетраэдров и имеющие состав  $[\text{Si}_{18}\text{O}_{34}(\text{OH})_{18}[\text{O}_{0.75}(\text{OH})_{0.25}]_2]^{17.5-}$  (рис. 3). Единственным отличием наших данных в части кремнекислородных колец от результатов более ранней расшифровки (Ямнова и др., 1992) является частичное замещение одного из атомов кислорода (O(30)) на OH-группу. Подобное замещение подтверждается расчетом локального баланса валентных усилий (табл. 6) — сумма валентных усилий для атома O(30) составляет 1.72, что позволяет допустить совместное присутствие анионов O и OH в этой позиции при явном преобладании в ней кислорода. Дефицит отрицательного заряда, образующийся в результате этого замещения, компенсируется частичной заменой одной из молекул воды (O(46)) на OH-группу, что также подтверждается расчетом баланса валентных усилий, сумма которых для этой позиции составляет 0.27. Кроме того, около позиции атома кислорода O(46) однозначно локализован только один атом водорода: H(46a), а не два. Позиция, соответствующая второму атому водорода для O(46), найденная в работе Н.А. Ямновой с соавторами (1992), в нашем случае присутствует на разностном синтезе в виде очень слабого максимума ( $0.31 \text{ e}/\text{\AA}^3$ ), а при ее введении в структурную модель и уточнении этот «атом водорода» очень сильно сдвигается, и расстояния O-H становятся недопустимыми. Все это, учитывая локализацию остальных 46 атомов водорода, является основанием для того, чтобы предполо-

Таблица 4. Межатомные расстояния (Å) в структуре мегациклита

К-семивершинник		Na(1)-шестивершинник		Na(2)-шестивершинник		Na(3)-пятивершинник	
K - O(45)	2.6913(19)	Na(1) - O(20)	2.3039(18)	Na(2) - O(26)	2.3239(17)	Na(3) - O(27)	2.2902(18)
- O(42)a	2.770(2)	- O(2)	2.3560(15)	- O(6)	2.3737(16)	- O(13)	2.3495(17)
- O(24)	2.8613(15)	- O(38)	2.3665(18)	- O(33)	2.3966(18)	- O(26)d	2.3921(19)
- O(39)b	2.897(2)	- O(29)d	2.3808(18)	- O(20)a	2.4084(19)	- O(33)c	2.3958(18)
- O(11)	2.9260(15)	- O(35)c	2.3989(19)	- O(44)c	2.4307(19)	- O(44)	2.4305(19)
- O(23)c	3.0220(18)	- O(12)	2.8267(16)	- O(31)	2.7665(16)		
- O(41)c	3.3932(19)						
<K - O>	2.937	<Na(1) - O>	2.439	<Na(2) - O>	2.450	<Na(3) - O>	2.372
Na(4)-шестивершинник		Na(5)-шестивершинник		Na(6)-пятивершинник		Na(7)-шестивершинник	
Na(4) - O(29)	2.3111(18)	Na(5) - O(42)	2.3347(19)	Na(6) - O(38)c	2.3641(18)	Na(7) - O(28)	2.3209(18)
- O(21)	2.3734(16)	- O(1)	2.3825(15)	- O(34)	2.3678(19)	- O(40)d	2.3367(18)
- O(3)	2.3819(15)	- O(37)	2.4171(18)	- O(27)a	2.3823(18)	- O(41)	2.3496(18)
- O(37)c	2.3875(17)	- O(34)d	2.4431(19)	- O(5)	2.3985(16)	- O(24)c	2.5488(16)
- O(28)a	2.4121(18)	- O(21)c	2.5777(16)	- O(35)	2.474(2)	- O(19)	2.7599(15)
- O(18)e	2.7600(15)	- O(16)	2.8140(15)			- O(23)	2.7780(18)
<Na(4) - O>	2.438	<Na(5) - O>	2.495	<Na(6) - O>	2.397	<Na(7) - O>	2.516
Na(8)-шестивершинник		Si(1)-тетраэдр		Si(2)-тетраэдр		Si(3)-тетраэдр	
Na(8) - O(43)f	2.334(2)	Si(1) - O(4)	1.5910(13)	Si(2) - O(14)	1.5892(13)	Si(3) - O(10)	1.5869(13)
- O(46)f	2.350(2)	- O(12)	1.6295(13)	- O(17)	1.6346(13)	- O(31)h	1.6301(13)
- O(39)d	2.364(2)	- O(18)a	1.6302(13)	- O(7)d	1.6381(13)	- O(12)d	1.6315(13)
- O(46)g	2.382(2)	- O(2)	1.6408(15)	- O(1)	1.6411(14)	- O(6)h	1.6378(14)
- O(23)	2.4558(18)						
- O(45)c	2.903(2)						
<Na(8) - O>	2.465	<Si(1) - O>	1.623	<Si(2) - O>	1.626	<Si(3) - O>	1.622
Si(4)-тетраэдр		Si(5)-тетраэдр		Si(6)-тетраэдр		Si(7)-тетраэдр	
Si(4) - O(22)e	1.5847(14)	Si(5) - O(8)	1.5863(14)	Si(6) - O(9)	1.5887(13)	Si(7) - O(15)e	1.5837(13)
- O(36)	1.6108(14)	- O(31)d	1.6218(13)	- O(3)h	1.6370(14)	- O(16)a	1.6346(13)
- O(17)a	1.6303(13)	- O(36)d	1.6238(14)	- O(19)d	1.6406(13)	- O(11)	1.6401(14)
- O(5)	1.6430(15)	- O(13)	1.6381(16)	- O(18)	1.6445(13)	- O(7)	1.6448(13)
<Si(4) - O>	1.617	<Si(5) - O>	1.617	<Si(6) - O>	1.628	<Si(7) - O>	1.626
Si(8)-тетраэдр		Si(9)-тетраэдр					
Si(8) - O(25)	1.5816(13)	Si(9) - O(30)	1.5813(13)				
- O(32)	1.6123(14)	- O(32)c	1.6152(14)				
- O(19)	1.6492(13)	- O(16)	1.6394(13)				
- O(21)	1.6511(15)	- O(24)	1.6479(14)				
<Si(8) - O>	1.624	<Si(9) - O>	1.621				

Примечание: a: x, -y+1/2, z+1/2; b: x+1, y, z; c: -x+1, -y, -z+1; d: x, -y+1/2, z-1/2; e: x, y, z+1; f: x-1, y, z; g: -x+1, -y, -z; h: x, y, z-1

Таблица 5. Водородные связи в структуре мегациклита

$\Delta$ -H	$d(\Delta$ -H), Å	$\Delta$ -H...A	$d(\Delta$ -A), Å	$\angle(\Delta$ -H A)°	H- $\Delta$ -H	$\angle(H$ - $\Delta$ -H)°
O(1)-H(1)	0.82(2)	O(1)-H(1)···O(4)a	2.5855(19)	173.75		
O(2)-H(2)	0.82(3)	O(2)-H(2)···O(14)a	2.5537(19)	177.13		
O(3)-H(3)	0.84(3)	O(3)-H(3)···O(15)a	2.5752(19)	174.55		
O(5)-H(5)	0.78(3)	O(5)-H(5)···O(10)a	2.599(2)	178.58		
O(6)-H(6)	0.81(3)	O(6)-H(6)···O(22)a	2.5187(19)	176.87		
O(11)-H(11)	0.76(2)	O(11)-H(11)···O(9)a	2.6268(19)	176.86		
O(13)-H(13)	0.77(3)	O(13)-H(13)···O(8)a	2.581(2)	174.73		
O(20)-H(20a)	0.81(2)	O(20)-H(20a)···O(13)	2.815(2)	158.42	H(20a)-O(20)-H(20b)	106(3)
O(20)-H(20b)	0.71(3)	O(20)-H(20b)···O(10)	2.741(2)	174.74		
O(21)-H(21)	0.76(2)	O(21)-H(21)···O(4)	2.8217(19)	174.78		
O(23)-H(23a)	0.81(3)	O(23)-H(23a)···O(9)	2.885(2)	167.04	H(23a)-O(23)-H(23b)	94(2)
O(23)-H(23b)	0.94(3)	O(23)-H(23b)···O(25)b	2.864(2)	170.30		
O(24)-H(24)	0.85(2)	O(24)-H(24)···O(14)	2.7148(19)	167.60		
O(26)-H(26a)	0.72(3)	O(26)-H(26a)···O(8)	2.735(2)	168.80	H(26a)-O(26)-H(26b)	99(3)
O(26)-H(26b)	0.79(2)	O(26)-H(26b)···O(5)	2.809(2)	157.50		
O(27)-H(27a)	0.74(2)	O(27)-H(27a)···O(1)	2.782(2)	153.36	H(27a)-O(27)-H(27b)	99(2)
O(27)-H(27b)	0.74(2)	O(27)-H(27b)···O(22)	2.688(2)	171.48		
O(28)-H(28a)	0.78(2)	O(28)-H(28a)···O(2)	2.740(2)	171.30	H(28a)-O(28)-H(28b)	106(3)
O(28)-H(28b)	0.71(3)	O(28)-H(28b)···O(9)	2.790(2)	170.96		
O(29)-H(29a)	0.83(2)	O(29)-H(29a)···O(6)	2.724(2)	167.12	H(29a)-O(29)-H(29b)	108(3)
O(29)-H(29b)	0.69(3)	O(29)-H(29b)···O(4)	2.772(2)	162.58		
O(33)-H(33a)	0.76(3)	O(33)-H(33a)···O(8)	3.015(2)	156.55	H(33a)-O(33)-H(33b)	115(3)
O(33)-H(33b)	0.92(3)	O(33)-H(33b)···O(4)	2.914(2)	178.65		
O(34)-H(34a)	0.75(2)	O(34)-H(34a)···O(14)	2.719(2)	165.70	H(34a)-O(34)-H(34b)	101(2)
O(34)-H(34b)	0.73(2)	O(34)-H(34b)···O(11)	2.750(2)	153.27		
O(35)-H(35a)	0.94(3)	O(35)-H(35a)···O(8)	2.856(2)	177.70	H(35a)-O(35)-H(35b)	104(3)
O(35)-H(35b)	0.72(3)	O(35)-H(35b)···O(17)	3.192(2)	162.75		
O(37)-H(37a)	0.78(3)	O(37)-H(37a)···O(15)	2.868(2)	166.36	H(37a)-O(37)-H(37b)	113(2)
O(37)-H(37b)	1.00(3)	O(37)-H(37b)···O(22)	2.811(2)	176.53		
O(38)-H(38a)	0.74(3)	O(38)-H(38a)···O(10)	3.065(2)	158.07	H(38a)-O(38)-H(38b)	112(3)
O(38)-H(38b)	0.94(3)	O(38)-H(38b)···O(9)	2.764(2)	179.55		
O(39)-H(39a)	0.84(4)	O(39)-H(39a)···O(30)	2.731(2)	173.78	H(39a)-O(39)-H(39b)	105(3)
O(39)-H(39b)	0.81(3)	O(39)-H(39b)···O(25)	2.815(2)	161.88		
O(40)-H(40a)	0.89(3)	O(40)-H(40a)···O(25)	2.641(2)	172.52	H(40a)-O(40)-H(40b)	106(3)
O(40)-H(40b)	0.76(3)	O(40)-H(40b)···O(3)	2.742(2)	173.07		
O(41)-H(41a)	0.75(2)	O(41)-H(41a)···O(30)a	2.773(2)	169.25	H(41a)-O(41)-H(41b)	103(2)
O(41)-H(41b)	0.88(3)	O(41)-H(41b)···O(30)c	2.741(2)	171.42		
O(42)-H(42a)	0.74(3)	O(42)-H(42a)···O(43)	2.969(3)	171.06	H(42a)-O(42)-H(42b)	102(3)
O(42)-H(42b)	0.72(2)	O(42)-H(42b)···O(15)	2.740(2)	170.18		
O(43)-H(43a)	0.81(2)	O(43)-H(43a)···O(25)a	2.771(2)	176.68	H(43a)-O(43)-H(43b)	102(3)
O(43)-H(43b)	0.739(10)	O(43)-H(43b)···O(41)d	2.851(2)	176.32		
O(44)-H(44a)	0.73(3)				H(44a)-O(44)-H(44b)	112(3)
O(44)-H(44b)	0.93(3)	O(44)-H(44b)···O(10)	2.837(2)	175.58		
O(45)-H(45a)	0.81(3)	O(45)-H(45a)···O(30)e	2.757(2)	175.99	H(45a)-O(45)-H(45b)	107(3)
O(45)-H(45b)	0.84(3)	O(45)-H(45b)···O(40)	2.760(3)	175.07		
O(46)-H(45a)	0.771(9)	O(46)-H(46a)···O(15)	2.838(2)	176.49		

Примечание:  $\Delta$  – донор; A – акцептор

a: -x+1, -y, -z+1; b: x, -y+1/2, z-1/2; c: x-1, y, z; d: x+1, y, z; e: x, -y+1/2, z+1/2

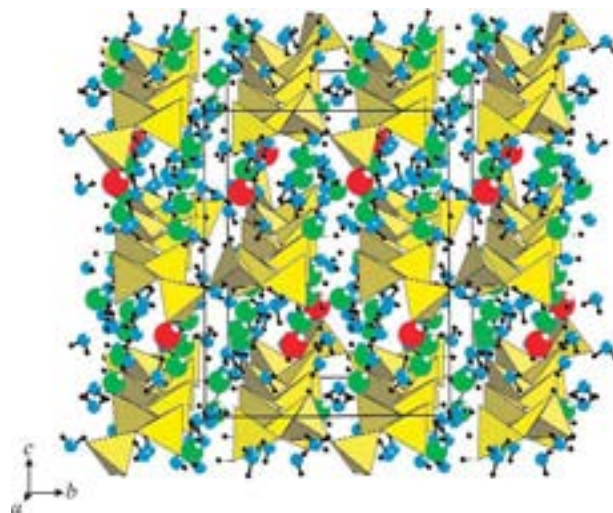
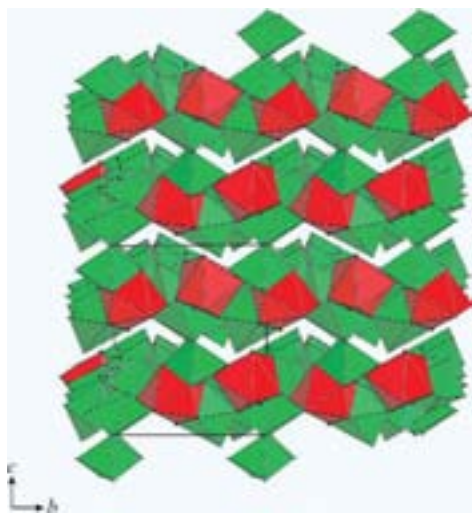


Рис. 4. Каркас, образованный полиэдрами Na (зеленые) и K (красные) в структуре мегациклита; маленькие черные кружочки — атомы H.

Рис. 5. Кристаллическая структура мегациклита. Кремнекислородные тетраэдры показаны желтым цветом, красными кружками показаны атомы K, зелеными — Na, синими — атомы кислорода молекул воды, маленькими черными — атомы водорода.

жить замещение  $[(\text{H}_2\text{O})_{0.75}(\text{OH})_{0.25}]$ .

Полиэдры восьми кристаллографически неэквивалентных атомов Na и одного атома K в структуре мегациклита образуют каркас (рис. 4). В отличие от Н.А. Ямной с соавторами (1992), мы сочли необходимым увеличить координационные числа большинства катионов за счет включения в их координационную сферу атомов кислорода, находящихся на несколько более удлиненных расстояниях (табл. 4). Таким образом, в нашей интерпретации структуры мегациклита шесть атомов Na находятся в шестивершинниках, два — в пятивершинниках, а атом K занимает позицию внутри семивершинника. Общий вид кристаллической структуры мегациклита представлен на рисунке 5.

Основные отличия наших результатов от данных, приведенных в работе Н.А. Ямной с соавторами (1992), связаны с положением некоторых атомов водорода и характеристикой системы водородных связей в структуре. Так, положение атома H(3) у Н.А. Ямной с соавторами (1992), которое должно соответствовать атому H(39b) по нашим данным, не совпадает по координате у. В результате, расстояние O(39)-H(3) оказывается 2.541 Å (Ямнова и др., 1992). Координаты атомов водорода H(45) и H(46), принадлежащих OH-группе O(13) и молекуле воды O(40) соответственно, приведенные в первом описании структуры мегациклита, полностью совпадают с положением атома Si(1) (Ямнова и др., 1992); воз-

можно, эти несоответствия связаны с опечатками в цитируемой работе. В нашем случае эти атомы водорода (H(13) и H(40a) соответственно) локализованы с другими координатами и имеют расстояния до соответствующих атомов кислорода O(13)-H(13) = 0.77(3) и O(40)-H(40a) = 0.89(3) Å. Атом H(1) у Н.А. Ямной с соавторами (1992) совпадает с атомом H(44a), однако, в нашем случае этот атом водорода несколько сдвинут и водородной связи O(44) - H(1)[H(44a)]...O(22) не наблюдается. Существование такого «свободного» атома водорода подтверждается данными ИК-спектроскопии — см. выше. Зафиксированная в нашем случае водородная связь O(5) - H(5)...O(10) отсутствует в описании структуры, приведенном Н.А. Ямной с соавторами (1992), и, хотя координаты атомов водорода практически полностью совпадают (атом H(5) в нашем случае соответствует H(2) в цитируемой работе), в первом описании структуры приводится водородная связь O(5) - H(2)[H(5)]...O(28) с расстоянием O(5)-O(28) = 2.602(8) Å, что не соответствует реальному расстоянию O(5)-O(28) > 6.8 Å. Кроме того, в нашем случае не наблюдаются бифуркированные водородные связи.

С момента открытия мегациклита содержащиеся в его структуре 18-членные эллиптические кольца с диаметром ~ 19 Å, по-прежнему остаются самыми крупными у кольцевых силикатов. Вместе с тем, по своим размерам они уступают кольцевым эле-

Таблица 6. Расчет локального баланса валентных усилий в мегациклите

	K	Na(1)	Na(2)	Na(3)	Na(4)	Na(5)	Na(6)	Na(7)	Na(8)	Si(1)	Si(2)	Si(3)	Si(4)	Si(5)	Si(6)	Si(7)	Si(8)	Si(9)	Σ*	Вклад водородных связей**	Σ
O(1)[OH]											0.95								1.16	-0.30(O4) 0.19(O27)	1.05
O(2)[OH]		0.22								0.95									1.17	-0.32(O14) 0.21(O28)	1.06
O(3)[OH]					0.21										0.96				1.17	-0.31(O15) 0.21(O40)	1.07
O(4)									1.09										1.09	0.30(O1) 0.18(O21) 0.19(O29) 0.15(O33)	1.91
O(5)[OH]							0.20					0.96							1.15	-0.29(O10) 0.18(O26)	1.04
O(6)[OH]											0.96					0.94			1.17	-0.35(O22) 0.21(O29)	1.03
O(7)																			1.90		1.90
O(8)																			1.10	0.30(O13) 0.21(O26) 0.13(O33) 0.16(O35)	1.90
O(9)																			1.10	0.27(O11) 0.16(O23) 0.19(O28) 0.20(O9)	1.92
O(10)																			1.10	0.29(O5) 0.21(O20) 0.12(O38) 0.17(O44)	1.89
O(11)[OH]		0.12								0.99									1.08	-0.27(O9) 0.20(O34)	1.01
O(12)																			2.03		2.03
O(13)[OH]											1.10								1.19	-0.30(O8) 0.18(O20)	1.07
O(14)																			1.10	0.32(O2) 0.22(O24) 0.22(O34)	1.86
O(15)																			1.11	0.31(O3) 0.16(O37) 0.21(O42) 0.17(O46)	1.96
O(16)																			1.99		1.99
O(17)																			1.95	0.10(O35)	2.05
O(18)																			2.00		2.00
O(19)								0.07											1.95		1.95
O(20)[H <sub>2</sub> O]																			0.45	-0.18(O13) -0.21(O10)	0.06
O(21)[OH]		0.26	0.19																1.26	-0.18(O4)	1.08
O(22)																			1.11	0.35(O6) 0.23(O27) 0.18(O37)	1.87
O(23)[H <sub>2</sub> O]									0.07										0.33	-0.16(O9) -0.16(O25)	0.01
O(24)[OH]		0.09							0.13										1.21	-0.22(O14)	0.99
O(25)																			1.12	0.16(O23) 0.18(O39) 0.26(O40) 0.19(O43)	1.91
O(26)[H <sub>2</sub> O]																			0.44	-0.21(O8) -0.18(O5)	0.05
O(27)[H <sub>2</sub> O]																			0.48	-0.19(O1) -0.23(O22)	0.06
O(28)[H <sub>2</sub> O]																			0.43	-0.21(O2) -0.19(O9)	0.03
O(29)[H <sub>2</sub> O]																			0.46	-0.21(O6) -0.19(O4)	0.06
O(30)[O;OH]																			1.12	0.21(O38) 0.19(O41) 0.21(O41) 0.20(O45)	1.72
O(31)																			2.05		2.05
O(32)																			2.05		2.05
O(33)[H <sub>2</sub> O]																			0.40	-0.13(O8) -0.15(O4)	0.12
O(34)[H <sub>2</sub> O]																			0.39	-0.22(O14) -0.20(O11)	-0.03
O(35)[H <sub>2</sub> O]																			0.36	-0.16(O8) -0.10(O17)	0.00
O(36)																			2.04		2.04
O(37)[H <sub>2</sub> O]																			0.39	-0.16(O15) -0.18(O22)	0.05
O(38)[H <sub>2</sub> O]																			0.44	-0.12(O10) -0.20(O9)	0.12
O(39)[H <sub>2</sub> O]																			0.35	-0.21(O30) -0.18(O25)	-0.04
O(40)[H <sub>2</sub> O]																			0.23	-0.26(O25) -0.21(O3) 0.20(O45)	-0.04
O(41)[H <sub>2</sub> O]																			0.26	-0.19(O30) -0.21(O30) 0.17(O43)	0.03
O(42)[H <sub>2</sub> O]																			0.41	-0.14(O43) -0.21(O15)	0.06
O(43)[H <sub>2</sub> O]																			0.24	0.14(O42) -0.19(O25) -0.17(O41)	0.02
O(44)[H <sub>2</sub> O]																			0.36	-0.17(O10)	0.19
O(45)[H <sub>2</sub> O]																			0.27	-0.20(O30) -0.20(O40)	-0.13
O(46)[H <sub>2</sub> O]																			0.44	-0.17(O15)	0.27
Σ																			4.04		4.04

Примечание: \* Сумма валентных усилий без учета водородных связей;

\*\* В скобках указаны атомы кислорода, являющиеся донорами (группирующие валентины) и/или акцепторами (положительные валентины); курсивом даны значения вкладов валентных усилий атомов кислорода и молекул воды, находящихся на самых ближних расстояниях в полиэдрах Na и K.

ментам тетраэдрических каркасов цеолитов различного состава. Практически одновременно с открытием мегациклита был синтезирован галлофосфат, получивший название кловерит из-за сходства очертаний цеолитных полостей с листьями клевера (по-английски *clover*). В его структуре присутствуют 20-членные тетраэдрические кольца, диагональ которых составляет 29–30 Å (Estermann *et al.*, 1991), что превышает обычные размеры полостей микропористых соединений (2.5–20 Å). Позже каркас, содержащий также 20-членные тетраэдрические эллиптические кольца, был установлен в структуре алюмофосфатного цеолита JDF-20, имеющего состав  $[\text{Al}_5\text{P}_6\text{O}_{24}\text{H}]^{2-} \cdot 2[\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{H}]^+ \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Jones *et al.*, 1993). Новый уникальный галлофосфатный цеолит, NTHU-1, в каркасе которого выделяются каналы с сечением, образованным 24-членными кольцами, был синтезирован тайваньскими исследователями (Lin *et al.*, 2006). Эти широкие каналы способны вместить атомы пяти различных переходных металлов, что определяет своеобразные люминесцентные и магнитные свойства данного соединения. На этом фоне силикогерманатный цеолит ITQ-33 (аббревиатура от испанского названия химико-технологического института в Валенсии, Испания), поры которого очерчены 18- и 10-членными кольцами, выглядит не столь впечатляюще, хотя внутренняя поверхность его тетраэдрического каркаса и соответственно каталитические свойства очень велики (Corma *et al.*, 2006). Приведенные примеры указывают на широкие возможности получения новых материалов с крупными тетраэдрическими структурными элементами, определяющими их каталитические, ионообменные и сорбционные свойства.

Авторы благодарны А.Н. Некрасову и А.С. Астаховой за помощь в изучении химического состава, а А.Е. Задову — за определение плотности минерала. Работа выполнена при поддержке грантов Президента РФ МК-4479.2006.5, МД-7230.2006.5, НШ-4964.2006.5 и НШ-4818.2006.5, гранта РФФИ 06-05-64024-а, совместного гранта РФФИ-БНТС Австрии 06-05-90626-БНТС\_а и гранта Фонда содействия отечественной науке (И.В.П.).

## Литература

Ловская Е.В., Пеков И.В., Кононкова Н.Н., Турчкова А.Г. Минералогия, геохимия и

- генезис поздних высококальциевых гидротермалитов Хибинского массива, Кольский полуостров // Зап. ВМО. **2002**. В. 2. С. 17–29.
- Хомяков А.П., Нечелюстов Г.Н., Ямнова Н.А., Пуцаровский Д.Ю. Мегациклит  $\text{Na}_8\text{KSi}_9\text{O}_{18}(\text{OH})_9 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$  — новый минерал // Зап. ВМО. **1993**. В. 1. С. 125–128.
- Чуканов Н.В. О инфракрасных спектрах силикатов и алюмосиликатов // Зап. ВМО. **1995**. В. 3. С. 80–85.
- Юхневич Г.В. Инфракрасная спектроскопия воды. М.: Наука, **1973**. 208 с.
- Ямнова Н.А., Расцветаева Р.К., Пуцаровский Д.Ю., Мернаф Т., Михеева М.Г., Хомяков А.П. Кристаллическая структура нового кольцевого Na,K-силиката  $\text{Na}_{16}\text{K}_2[\text{Si}_{18}\text{O}_{36}(\text{OH})_{18}] \cdot 38\text{H}_2\text{O}$  // Кристаллография. **1992**. Т. 37. С. 334–344.
- Brese N.E., O'Keefe M. Bond-Valence Parameters for Solids // Acta Crystallogr. **1991**. В42. Р. 192–197.
- Corma A., Diaz-Cabanas, Jorda J.L., Martinez C., Moliner M. // High-throughput synthesis and catalytic properties of a molecular sieve with 18- and 10-member rings. Nature. **2006**. V. 443. P. 842–845.
- Estermann M., McCusker L.B., Baerlocher C., Merrouche A., Kessler H. A synthetic gallophosphate molecular sieve with a 20-tetrahedral-atom pore opening // Nature. **1991**. V. 352. P. 320–323.
- Ferraris G., Ivaldi G. Bond Valence vs Bond Length in  $\text{O} \cdots \text{O}$  Hydrogen Bonds // Acta Crystallogr. **1988**. В44. P. 341–344.
- Jones R.H., Thomas J.M., Chen J., Xu R., Huo Q., Li Sh., Ma Zh., Chippindale A.M. Structure of an unusual aluminium phosphate  $[\text{Al}_5\text{P}_6\text{O}_{24}\text{H}]^{2-} \cdot 2[\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{H}]^+ \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  JDF-20 with large elliptical Apertures // J. Solid State Chem. **1993**. V. 102, P. 204–208.
- Lin C.-H., Yang Ya-C., Chen Ch.-Yu., Wang S.-L. Unequivocal heteroatom insertion into a 24-ring channel gallophosphate and its photoluminescence // Chem. Mater. **2006**. V. 18. P. 2095–2101.
- Pekov I.V. The Palitra Pegmatite, a newly discovered hyperalkaline pegmatite in the Lovozero Massif, Kola Peninsula, Russia // Miner. Record. **2005**. V. 36. P. 397–416.
- Sheldrick G.M. SHELX-97: Program for the solution and refinement of crystal structures. Siemens Energy and Automation, Madison, WI. **1997**.
- Wilkins R.W.T., Mateen A., West G.W. The spectroscopic study of oxonium ions in minerals // Amer. Miner. **1974**. Vol. 59. P. 811–819.

УДК 549.324.651

## О СОСТАВЕ И НОМЕНКЛАТУРЕ ДИАРСЕНИДОВ ГРУППЫ ЛЕЛЛИНГИТА

Р.А. Виноградова

*Московский Государственный Университет им. М.В.Ломоносова, Москва*

Рассматривается состав диарсенидов группы леллингита, для которого характерны широкие вариации содержаний Fe, Co и Ni. Предлагается вариант номенклатуры с выделением минералов — леллингит, саффлорит, раммельсбергит и их разновидностей — кобальтистый леллингит, никелистый леллингит, железистый саффлорит, никелистый саффлорит, кобальтистый раммельсбергит, железистый раммельсбергит. Показаны области составов и пределы содержаний Fe, Co, Ni (ат.%) в минералах и разновидностях. Номенклатура позволяет обозначить особенности конкретного состава диарсенидов из группы леллингита и отразить это в соответствующих названиях.

В статье 1 таблица, 1 рисунок и список литературы из 12 названий.

Среди диарсенидов Fe, Co и Ni типа  $MeAs_2$  (Боришанская и др., 1981; Виноградова, Бочек, 1980) наиболее распространены ромбические диарсениды группы леллингита: леллингит  $FeAs_2$ , саффлорит  $CoAs_2$  и раммельсбергит  $NiAs_2$ , — структурно подобные марказиту. Ромбический парараммельсбергит  $NiAs_2$ , кубический крутовит  $NiAs_2$  и моноклинный клиносаффлорит  $CoAs_2$  встречаются реже и имеют отличные от минералов группы леллингита структуры. Однако структура клиносаффлорита обнаруживает большое сходство со структурой леллингита/саффлорита.

Диарсениды группы леллингита характерны (Боришанская и др., 1981) для месторождений пятиэлементной формации и близких к ним арсенидных никель-кобальтовых месторождений, встречаются в сульфидных медно-никелевых месторождениях и в своеобразном типе никелин-хромитовых жил. Леллингит и саффлорит описаны в железорудных скарнах, щелочных и гранитных пегматитах, а леллингит — также в грейзенах, сульфидно-касситеритовых и арсенидопиритовых месторождениях.

К настоящему времени накоплен большой аналитический материал по составу природных диарсенидов группы леллингита, который обобщен в работах (Боришанская и др., 1981; Виноградова, Бочек, 1980; Гриценко и др., 2004). В составе этих диарсенидов обычно присутствуют все три металла семейства железа с преобладанием одного или двух из них. Широко распространены природные твердые растворы непрерывного изоморфного ряда леллингит-саффлорит, реже встречаются твердые растворы непрерывного изоморфного ряда саффлорит-раммельсбергит и, наконец, недавно установлены твердые растворы непрерывного изоморфного ряда

леллингит-раммельсбергит (Гриценко и др., 2004). С обнаружением последнего зафиксированная ранее (Виноградова, Бочек, 1980) область не выявленных в природе твердых растворов тройного состава, относящихся к группе леллингита, существенно сократилась, что свидетельствует о существовании почти полного изоморфизма между Fe, Co и Ni в диарсенидах группы леллингита и о широких вариациях содержаний этих элементов в их составе (рис. 1а).

Ранее рядом исследователей предпринимались попытки наметить по составу границы между минералами группы леллингита, однако эти границы трактовались различно и носили условный характер (Виноградова, Бочек, 1980). Наличие теперь большого аналитического материала по составу диарсенидов группы леллингита и предлагаемые стандарты по номенклатуре минералов в тройных системах (Nickel, 1992), к которым относятся рассматриваемые минералы, позволяют создать современную номенклатуру диарсенидов группы леллингита. По преобладанию одного из трех металлов семейства железа, согласно (Nickel, 1992), следует выделять леллингит  $(Fe, Co, Ni)As_2$ , саффлорит  $(Co, Fe, Ni)As_2$  и раммельсбергит  $(Ni, Co, Fe)As_2$  и соответствующие им области составов (рис. 1б). Однако в связи с широкими вариациями состава каждого из минералов при таком подходе теряются особенности химизма конкретных представителей группы леллингита. Поэтому представляется целесообразным детализировать рассмотренный вариант номенклатуры и выделять в группе леллингита собственно минералы (леллингит, саффлорит, раммельсбергит) и их разновидности. Границей между минералами и разновидностями может служить содержание главного металла 80 ат.%. Это оп-

равдано тем, что рассматриваемые диарсениды при содержании главного металла 80 и более ат.% обычно не обнаруживаются в полированных шлифах в отраженном свете зональности, характерной для них при более сложном составе. Следует также иметь в виду, что при содержании Co 80 ат.% происходит изменение ромбической симметрии сафлорита на моноклинную у близкого по структуре и составу клиносафлорита (Radcliffe, Berry, 1968; 1971), и при более высоком содержании кобальта существует диморфизм соединения  $CoAs_2$ . Кроме того, нельзя не учитывать, что в учебниках по минералогии и минералогических справочниках для леллингита, сафлорита и раммельсбергита традиционно приводятся простые формулы  $MeAs_2$ , отвечающие составу первых находок этих минералов с доминирующим содержанием Fe, Co или Ni. Описанные в литературе «богатый Co раммельсбергит» (Виноградова и др., 1972), «богатый Ni леллингит» (Буковшин, Чернышев, 1985; Гамянин, Лыхина, 2000; Cervilla, Ronsbo, 1992; Oen *et al.*, 1971), «богатый Ni и Co леллингит» (Дистлер и др., 1975), «богатый Ni сафлорит» (Radcliffe, Berry, 1968) по существу отвечают разновидностям соответствующих

минералов, названным по особенностям состава.

С учетом сказанного номенклатуру ромбических диарсенидов группы леллингита можно представить в следующем виде. В области составов леллингита, сафлорита и раммельсбергита (рис. 1б) выделяем минералы (крайние члены): леллингит, сафлорит, раммельсбергит — с содержанием главного металла семейства железа 80 и более ат.%. При содержании главного металла менее 80 ат.% и по преобладанию одного из двух других металлов выделяем разновидности (промежуточные члены): кобальтистую и никелистую у леллингита; железистую и никелистую у сафлорита; кобальтистую и железистую у раммельсбергита (рис. 1в; таблица).

Предлагаемая номенклатура позволяет точнее характеризовать конкретный состав диарсенидов из группы леллингита, обозначив его особенности соответствующим названием.

Автор признателен О.Л.Свешниковой — старшему научному сотруднику Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН за конструктивное обсуждение статьи, а также научному сотруднику ИГЕМ РАН С.Н. Бубнову.

Таблица 1. Номенклатура и состав диарсенидов группы леллингита ( $MeAs_2$ ) по соотношению в них Fe, Co и Ni

Минералы (крайние члены изоморфных рядов) Содержание главного Me $\geq$ 80 ат.%	Разновидности (промежуточные члены изоморфных рядов) Содержание главного Me < 80 ат.%
1. Леллингит $Fe \gg (Co + Ni)$ $Fe_{80-100} (Co + Ni)_{20-0}$	1а. Леллингит кобальтистый $Fe > Co > Ni$ $Fe_{80-33.3} Co_{10-50} Ni_{0-33.3}$
	1б. Леллингит никелистый $Fe > Ni > Co$ $Fe_{80-33.3} Ni_{10-50} Co_{0-33.3}$
2. Сафлорит $Co \gg (Fe + Ni)$ $Co_{80-100} (Fe + Ni)_{20-0}$	2а. Сафлорит железистый $Co > Fe > Ni$ $Co_{80-33.3} Fe_{10-50} Ni_{0-33.3}$
	2б. Сафлорит никелистый $Co > Ni > Fe$ $Co_{80-33.3} Ni_{10-50} Fe_{0-33.3}$
3. Раммельсбергит $Ni \gg (Co + Fe)$ $Ni_{80-100} (Co + Fe)_{20-0}$	3а. Раммельсбергит кобальтистый $Ni > Co > Fe$ $Ni_{80-33.3} Co_{10-50} Fe_{0-33.3}$
	3б. Раммельсбергит железистый $Ni > Fe > Co$ $Ni_{80-33.3} Fe_{10-50} Co_{0-33.3}$

Примечание: \*Здесь и далее везде — пределы содержаний металлов семейства железа в ат.%. Области составов минералов и разновидностей, приведенных в таблице, показаны на рисунке 1в.

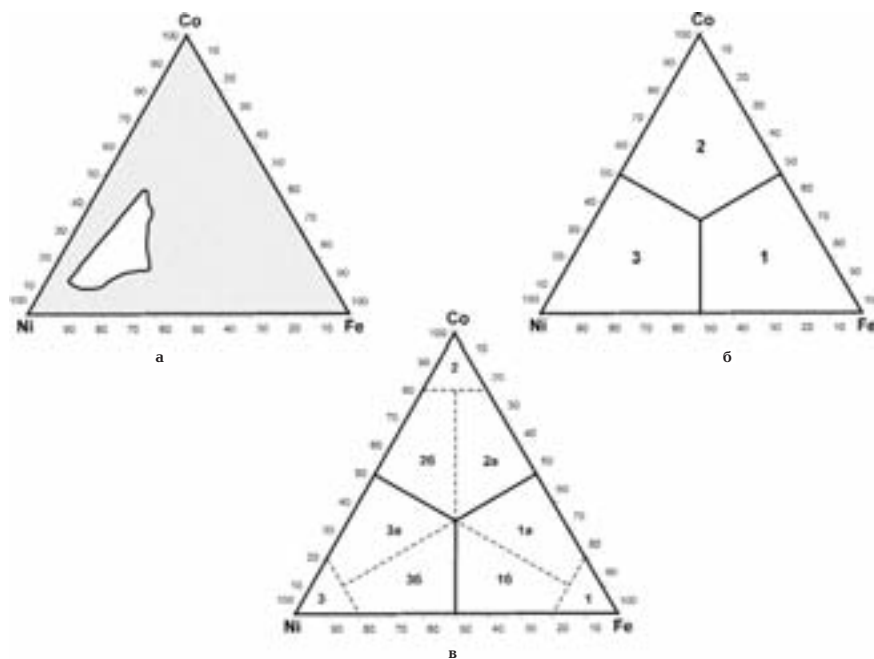
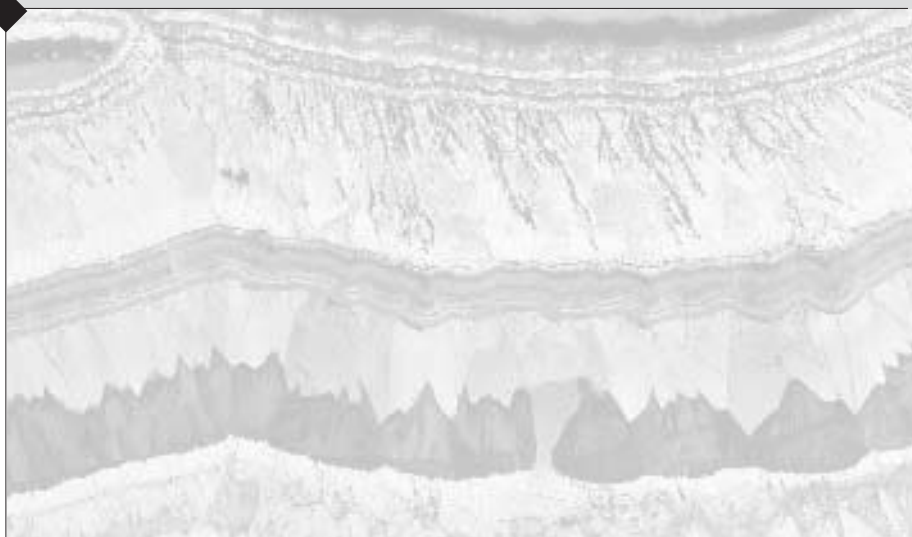


Рис. 1. Состав и номенклатура диарсенидов группы леллингита по соотношению в них Fe, Co и Ni (ат. %).  
 а – сводные данные по составу (Виноградова, Бочек, 1980; Гриценко и др., 2004); белое поле – неустановленные в природе составы.  
 б – номенклатура и области составов в соответствии с (Nickel, 1992): 1 – леллингит, 2 – сафлорит, 3 – раммельсбергит.  
 в – предлагаемая номенклатура и области составов: 1 – леллингит, 1а – леллингит кобальтистый, 1б – леллингит никелистый; 2 – сафлорит, 2а – сафлорит железистый, 2б – сафлорит никелистый; 3 – раммельсбергит, 3а – раммельсбергит кобальтистый, 3б – раммельсбергит железистый. Точка пересечения линий в центре треугольника соответствует равным содержаниям всех трех металлов (по 33,3 ат. %)

## Литература

- Боришанская С.С., Виноградова Р.А., Крутов Г.А. Минералы никеля и кобальта. М., МГУ. **1981**. 220 с.
- Буковшин В.В., Чернышев Н.Н. Арсениды и сульфоарсениды медно-никелевых руд Воронежского кристаллического массива // Запис. ВМО. **1985**. Ч. 114. Вып. 3. С. 335–340.
- Виноградова Р.А., Еремин Н.И., Крутов Г.А. Богатый кобальтом раммельсбергит из района Бу-Аззер (Марокко) // Докл. АН СССР. **1972**. Т. 207. № 1. С. 161–163.
- Виноградова Р.А., Бочек Л.И. Состав и оптические свойства диарсенидов железа, кобальта и никеля // Изв. АН СССР. Сер. геолог. **1980**. № 2. С. 87–100.
- Гамянин Г.Н., Лыхина Е.И. Ni-Co арсениды и сульфоарсениды золото-редкометалльных месторождений Восточной Якутии // Запис. ВМО. **2000**. Ч. 129. Вып. 5. С. 126–138.
- Гриценко Ю.Д., Спиригонов Э.М., Виноградова Р.А. Новые данные о диарсенидах ряда леллингит – раммельсбергит // Докл. РАН. **2004**. Т. 399. № 4. С. 528–531.
- Дистлер В.В., Лапутина И.П., Смирнов А.В. Арсениды, сульфоарсениды и антимониды никеля, кобальта и железа Талнахского рудого поля // Сб. «Минералы и парагенезисы минералов эндогенных месторождений». Л.: Наука. **1975**. С. 61–74.
- Cervilla F., Ronsbo J. New date on (Ni,Co,Fe) diarsenides and sulfarsenides in chromit-nicolite ores from Malaga Provins, Spain // Neues Jahrb. Mineral Monatsh. **1992**. S. 193–206.
- Nickel Ernest H. Solid solutions in mineral nomenclature // Canad. Mineral. **1992**. V. 30. P. 231–234.
- Oen J.S., Burke E.A., Kieft C., Westerhof A.B. Ni-arsenides, Ni-rich loellingite and (Fe,Co)-rich gersdorffite in Cr-Ni-ores Malaga Province, Spain // Neues Jahrb. Mineral. Abh. **1971**. Bd 115. Hf. 2. S. 123–139.
- Radcliffe D., Berry L.G. The safflorite-loellingite solid series // Amer. Mineral. **1968**. V.53. № 11–12. P. 1856–1881.
- Radcliffe D., Berry L.G. Clinosaflorite: a monoclinic polymorphe of safflorite // Canad.

# **Минералогические музеи и коллекции**



УДК 069:549

## КАМНЕРЕЗНОЕ ДЕЛО УРАЛА. ИЗДЕЛИЯ ЕКАТЕРИНБУРГСКИХ МАСТЕРОВ В МИНЕРАЛОГИЧЕСКОМ МУЗЕЕ ИМ. А.Е. ФЕРСМАНА РАН

М.Б. Чистякова

Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана РАН, Москва, [mineral@fmm.ru](mailto:mineral@fmm.ru)

Приведена краткая история Екатеринбургской гранильной фабрики. Дано описание хранящихся в Минералогическом музее изделий фабрики, частных мастерских и кустарей Урала. В статье 20 фото, список литературы из 20 названий.

Урал — протянувшийся на тысячи километров Каменный Пояс России — первый в нашей огромной стране открыл людям свои подземные богатства. Именно там почти 300 лет назад зародилось российское камнерезное искусство.

Изделия уральских умельцев известны каждому, кто хоть немного интересуется камнерезным искусством. Современные драгоценные изделия завода «Русские самоцветы» привлекают внимание знатоков ювелирного дела, трогательные и недорогие скульптурки из кунгурского гипса-селенита и ангидрита радуют глаз небогатого ценителя, предметы, сделанные в мастерских А.К. Денисова-Уральского, И.Н. Лагутяева и др., ищут в антикварных магазинах коллекционеры. Вершиной же камнерезного искусства Урала являются великолепные и многочисленные изделия Екатеринбургской гранильной фабрики — гордости российского камнерезного искусства XIX века, высоко оцененные внутри страны и за рубежом. И, безусловно, самыми прекрасными представителями уральского мастерства, хранящимися в Минералогическом музее, являются изделия этой фабрики.

Екатеринбургская гранильная фабрика была основана указом Сената 24 июля 1805 года. Но это было лишь официальным ее утверждением. В действительности же к этому времени она давно и успешно работала, используя замечательный местный декоративный камень, первые сведения о котором появились еще в середине XVII в. В 1668 году местный житель Михаил Тумашев нашел в окрестностях Мурзинского острога турмалин, аметист и «тумпасы».\* Примерно в это же время Дмитрий Тумашев объявил, что «близ Мурзинской слободы отыскал цветное камень в горах: хрустали белые, фатисы вишневые,\*\* и юги зеленые\*\*\* и тунпасы желтые», а «...повыше Мурзинской слободы, над Нейвой же рекою в горе, два изумруды

камни, да три камня с лаловыми искры, да три камня тумпасы...» (Семенов, 2001, с. 174, 178–179). Такие находки весьма поощрялись; к концу XVII в. Урал уже привлекал самое пристальное внимание властей.

В начале XVIII века Россия утверждается как могущественная держава. Это требовало от властей соответствующего внешнего оформления. Одной из грандиозных задач было создание новой столицы — города, совершенно отличного от существовавших в России раньше, четко спланированного, каменного, величественного. Для этого нужно было огромное количество строительного и декоративного материала. В России же он в начале века известен практически не был. Разрабатывались Ревельские гранитные каменоломни, но решающей роли они не играли. Для развития собственной горной промышленности нужно было создать особое отвечающее за нее ведомство. И в 1719 году Петр I создает Берг-Коллегию. Она должна была обеспечить систематический поиск и разработку самых разнообразных отечественных месторождений, в том числе цветного и строительного камня. Тогда же была введена государственная монополия на недра (Семенов, Тимофеев, 2001, с. 17).

Самой близкой и обнадёживающей территорией был Урал. Там уже добывали железную и медную руды, искали серебряные, золотые, оловянные месторождения, а попутно и самоцветы. В 1722 году началась планомерная разработка малахита в Гумешках, пока только на медь (Семенов, 1987, т. 2, с. 14); в 1720 г. были находки алмазов, в 1723 — обнаружены первые месторождения мрамора. Появляются попытки обработки самоцветов, кустари уже «отделывают» «камышки горных хрусталей» (Шакинко, 1976, с.10).

К концу царствования Петра I интерес к своему цветному камню и к его обработке стал в России постоянным. Был разработан

\* горный хрусталь (Мостовенко, 1919, с. 61); горный хрусталь и морион (Бобылев, 2005, с. 90).

\*\* аметисты (Бобылев, 2005, с. 511); гиацинты (Данилевский, 1948, с. 33).

\*\*\* хризолиты (Данилевский 1948, с. 3).

проект создания камнеобрабатывающего центра в Тобольске, но до его осуществления дело не дошло.

В 1721 году В.Н. Татищев — горный начальник уральских и сибирских заводов — предложил план строительства нового завода на Урале, на реке Исеть. По его замыслу, здесь должны были не только плавить железо и медь, но и выпускать готовую продукцию; в будущем же на нем предполагалось организовать камнерезное и гранильное дело. Постройкой этого завода в 1723 году был заложен город Екатеринбург. И уже в 1726 г. при заводе была открыта небольшая специализированная казенная мастерская по обработке камня. Предпосылки для этого, как уже упоминалось, были и ранее. В 1723 году Татищев пишет сибирскому губернатору: «... *завлаживаюсь книгами и токарным станком. А летом буду точить местные алмазы...*» (Семенов, Тимофеев, 2001, с. 19).

К началу 30-х годов XVIII столетия в России, главным образом на Урале, были известны мрамор, горный хрусталь, аметист, дымчатый кварц, аквамарин, берилл, турмалин, топаз. В Даурии на реке Аргунь найдена яшма. Для обработки имеющегося материала в 1735 году Татищев учредил на Исетском заводе первую самостоятельную гранильную мастерскую.

Обучать местных рабочих был приглашен швейцарец Я. Рейнер. Но он знал лишь приемы ручной обработки камня. При этом способе производства количество поставляемого в столицу материала было совершенно недостаточным. И в 1747 г. на спешно строящейся фабрике по распиловке мрамора русский механик Н. Бахорев установил «действующую водой машину». При обработке первого же крупного куска мрамора оказалось, что «если показанной камень резать пилою через человеческую силу, то б три человека разрезали в шесть дней...» (Шакинко, 1976, с. 22). Машиной справились за 14 часов. В России началась промышленная обработка камня.

В 1751 году при Екатеринбургском заводе была построена еще одна фабрика, теперь для обработки твердых камней — агата, яшмы и др. А в 1752 г. фабрик было уже три, и на одной из них были приспособления для огранки и шлифовки камней. Кроме того, еще одна подобная фабрика была построена вблизи Екатеринбурга на Северском заводе. Таким образом, на Урале был создан целый промышленный комплекс по универсальной обработке камня. Появились уни-

кальные технические возможности, но все возрастающая потребность в разнообразном каменном убранстве дворцовых помещений по-прежнему не удовлетворялась. Теперь из-за нехватки сырья.

Для исправления положения в 1765 году Екатерина II учредила «Экспедицию о розыскании разного рода цветного камня». Возглавил ее генерал-майор Я.И. Даннеберг, сыгравший большую роль в освоении Урала. При нем были разведаны многие месторождения, в том числе и залежи декоративных камней. В это время на Урале добывали мрамор, яшмо-туффиты, яшму, халцедон, переливт, кварцит, порфиры. Впервые для систематизации и оценки материала стали создавать литотеки, для чего необходимо было шлифовать и твердые породы. Для лучшей координации работ Даннеберг добился присоединения к Экспедиции камнерезной фабрики. С этого времени Экспедиция перешла в подчинение Канцелярии от строений ее величества домов и садов. Императрица стала монопольной владелицей цветных камней России, внимание к делам фабрики возросло.

Замечательным нововведением того времени было картирование месторождений цветных камней. Первая такая карта была сделана в 1766 году и вместе с полированными образцами представлена императрице для выбора понравившегося ей материала.

70-е годы XVIII столетия ознаменовались появлением первых изделий из твердого камня. Вначале это были лишь аптечные ступки, табакерки, столешницы, подносы. А в 1782 г. поступили первые заказы на вазы из агата и яшмы.

Время Екатерины II замечательно многими событиями культурной жизни столицы. Одним из них было всеобщее увлечение минералогией. Пополняется Минеральный кабинет Кунсткамеры, появляются частные собрания. В 1780—1790 годы это увлечение нашло свое выражение в создании на Екатеринбургской фабрике ряда коллекций в виде своеобразных украшений интерьеров — пирамид, гротов, обрамлений зеркал. Их делали из разных цветных камней и сопровождали пояснениями. На фоне этого интереса растет и популярность изделий из камня, в том числе и крупных. Заказы идут от Кабинета е.и.в.\* и от частных лиц.

Важным шагом в развитии камнерезного дела в Екатеринбурге стала реорганизация производства, проведенная в 1784 г. управляющим Экспедицией И.К. Патрушевым. При нем фабрика была технически переоснащен-

\* Кабинет его императорского величества (Кабинет) утвержден Петром I в качестве собственной канцелярии, не имевшей определенной компетенции. В 1832 г. в его ведение поступила Екатеринбургская гранильная фабрика.

на, сооружены новые машины, введены строгий учет и сортировка сырья. Впервые появились разделение труда и такое понятие, как «классность» мастеров. К камнерезным работам стали привлекать детей мастеровых. Следствием было появление многих известных династий уральских камнерезов. Все эти новшества позволили увеличить число выпускаемых изделий и делать вещи все более крупных форм.

Указом Павла I 1797 года Экспедиция каменной ломки (название появилось в 1782 г.) была передана в подчинение Академии художеств. Это благоприятно сказалось на повышении уровня и поискового, и камнерезного дела. В 1800 году фабрику возглавил президент Академии художеств граф А.С. Строганов, внесший неоценимый вклад в развитие русской художественной камнеобработки. При нем, благодаря различным нововведениям, Экспедиция из промышленного камнерезного производства превратилась в Академическую художественную мастерскую монументально-декоративного и скульптурного искусства. Высокохудожественные изделия готовились по индивидуальным заказам. Для таких проектов теперь создавались не рисунки, а чертежи; для самых сложных и ответственных вещей даже делали деревянные или алебастровые модели, выполнявшиеся признанными художниками-архитекторами — А.Н. Ворониным и К.И. Росси. Тщательность разработки проектов доходила до того, что на чертеже указывался даже номер камня, рекомендованного автором. Все это намного удорожало стоимость изделий, и отпускаемых казной средств не хватало. Для увеличения доходов А.С. Строганов разрешил делать мелкие вещи — «...табакерки круглые, овальные солонки, разных сортов чернильницы, серешки, печатки и другие какие заблагоразсудятся... только не одинакового сорта, а разнообразных, из какого камня удобнее и красивее» (Мавродина, 2000, с. 12). Но, поскольку денег все равно не хватало, для поддержки производства граф, в дополнение к казенным 15000 рублям, доплачивал свои 5000 (Семенов, Тимофеев, 2001, с. 48).

Потребность в дальнейшем развитии дела привела к открытию при Экспедиции «класса для резания антиков», где местные мальчики обучались камнерезному делу. Наиболее одаренных посылали в Академию художеств в Петербург. Многие из них становились мастерами высшего класса.

Со смертью А.С. Строганова фабрика лишилась его материальной поддержки. Пришлось ввести режим строжайшей эко-

номии: появился запрет на выполнение частных заказов, прекратили обучение камнерезному и гранильному делу и, несмотря на то, что большая часть изделий резалась из твердого камня, почти полностью свернули его добычу. Как ни странно, но эти жесткие меры привели и к положительным результатам. К цветному камню стали относиться гораздо бережнее.

Взрыв патриотического самосознания в России, последовавший за победой над Наполеоном, нашел свое отражение в самых разных видах искусства, в том числе в архитектуре и в оформлении интерьеров. Практически все камнерезные изделия этого периода несут отпечаток героизма и торжественности.

В начале XIX столетия серьезным конкурентом Екатеринбургской фабрики стала Колыванская, открытая на Алтае в 1802 году. Здесь производство было основано исключительно на местном сырье (яшма, кварцит, порфир), добывавшемся в виде колоссальных монолитов. Из них резали фантастические по величине предметы, в полной мере отвечавшие духу времени. Урал, при всем разнообразии декоративного камня в его недрах и высочайшем профессионализме камнерезов, был потеснен.

Екатеринбургская фабрика вынуждена была отстаивать свою значимость, улучшая и удешевляя производство, еще более оттачивая мастерство камнерезов, вводя новые приемы обработки. Именно в этот период знаменитый уральский мастер В.Е. Коковин создал новые приспособления для обработки камня, а несколько позже его сын Я.В. Коковин, ставший после смерти отца в 1818 г. главным мастером фабрики, изобрел знаменитую «надносную» машину, облегчившую и ускорившую обработку крупных изделий (эту машину подносили к изделию, раньше было наоборот). Вскоре ее стали использовать в Колывани и в Петергофе. За это изобретение в 1823 году Я.В. Коковин был награжден Кабинетом (Семенов, Тимофеев, 2001, с. 55).

В результате различных усовершенствований фабрика начала выпускать крупные резные изделия, замечательные и красотой замысла, и мастерством исполнения. Помимо обычных камнерезных работ, широко применялись глиптика и техника малахитовой мозаики. Несмотря на режим экономии, Кабинет планировал коренную техническую реконструкцию фабрики и строительство нового здания. Все предвещало грядущий расцвет камнерезного производства Екатеринбургa. Но этого не случилось.

В 1830 году произошло событие, потрясшее мир камнерезного искусства России и самым печальным образом сказавшееся на положении фабрики: в корнях вывороченного ветром дерева смолокур Максим Кожевников нашел несколько кристаллов изумруда, и уже в январе 1831 г. Я.В. Коковин обнаружил изумрудную жилу. Тут же один ограниченный камень в сопровождении сообщения о находке был послан в Петербург. Началась изумрудная лихорадка. Добыча драгоценного камня сразу была монополизирована Кабинетом и возложена на Екатеринбургскую фабрику. В результате камнерезное производство почти полностью превратилось в горнодобывающее, а искусные мастера по художественной обработке камня — в горнорабочих.

В тех же 30-х годах фабрика пережила еще одно потрясение — были вскрыты злоупотребления, допущенные командиром фабрики Я.В. Коковинным, великодушным художником и камнерезом, получившим образование в Академии художеств в Петербурге, знатоком и любителем камня. Годы его руководства фабрикой считаются временем расцвета камнерезного искусства Урала. Однако предъявленные ему обвинения казались настолько серьезными, что Я.В. Коковина отстранили от дел. Доверительные отношения Кабинета к руководству фабрики были пересмотрены, фабрику лишили самостоятельности и передали в прямое и полное подчинение Кабинету. Для предотвращения нарушений в будущем издали специальное «Положение», упорядочившее управление производством. Ввели более четкую систему учета, обязательной стала гравировка на изделиях имени мастера, их выпускавшего; повысились требования к качеству. Крупные изделия изготавливались только по проектам столичных архитекторов, среди которых были самые выдающиеся деятели искусства того времени; лишь небольшие предметы разрешалось делать по рисункам местных мастеров. Для их изготовления особо предусматривалось использование отходов. Большое число рисунков для подобных изделий создал А.И. Лютин, бывший с 1839 г. помощником командира фабрики, а в 1867 г. ставший ее директором.

Именно в это время стараниями А.И. Лютина на фабрике появляется новое направление камнерезного искусства. Начинают делать мозаичные вещи и в том числе осваивают приемы создания объемной мозаики. Это самобытное екатеринбургское искусство развилось на основе итальянской флорентий-

ской мозаики, но вместо плоского изображения мастера создавали объемные натюрморты из ягод, цветов, плодов, листьев, а иногда и забавные сюжеты с фигурками животных. В основном это были «накладки на бумагу» (пресс-папье). Ближе к концу века появляются и вазы с фруктами. Изделия сразу полюбились и, начиная с 1841, их делали по несколько штук в год. (Семенов, Трофимов, 2003, т. 1, с. 87, с. 720). С именем А.И. Лютина связан особый творческий период в жизни Екатеринбургской фабрики, когда камнерезное искусство на ней приобрело самобытные черты и развивалось параллельно официальным традициям.

На 20 — 40-е годы XIX столетия приходится также расцвет искусства малахитовой мозаики на Екатеринбургской фабрике. В этот период были созданы уникальные вещи из этого материала. Но постепенно работа над дорогими крупными вещами сходилась на нет. Особенно резко это проявилось после отмены крепостного права в 1861 году, когда увеличение оплаты труда вольнонаемных рабочих привело к значительному удорожанию изделий. Двор стал отказываться от крупных вещей в пользу мелких кабинетных изделий. Еще ранее — в 1858 году — упразднили производство дорогостоящих малахитовых предметов, которые до того поставлялись ко Двору в больших количествах. А с 1873 года фабрика вообще не работала с малахитом (Семенов, 1987, т. 2, с. 105).

К счастью, в 60-е годы о выдающихся работах Екатеринбургской фабрики уже знала Европа. В 1851 и 1862 годах ее камнерезные изделия были представлены на всемирных выставках в Лондоне, а в 1867 г. — в Париже. Позже поступило приглашение на подобную выставку 1873 года в Вене. Кабинет вновь заинтересовался крупными формами, которыми можно было бы поразить Европу. Для Вены решено было сделать вазу из калканской яшмы. Проект ее был разработан архитектором А.И. Кракау. Работа длилась пять лет (1868 — 1873 гг.) под непосредственным наблюдением академика А.И. Лютина.

В Вене ваза произвела огромное впечатление и была признана лучшим российским камнерезным изделием. Это спасло фабрику, которую до того намеревались закрыть или передать в частные руки.

В последующие годы вещи Екатеринбургской фабрики демонстрируются на Всемирной выставке в Чикаго (1893 г.), Стокгольме (1897 г.) и снова в Париже (1900 г.).

Внутри страны изделия Екатеринбургского завода были представлены на выстав-

ках в Петербурге (1861 г.), Москве (1865, 1870, 1882 гг.), Нижнем Новгороде (1896 г.).

Несмотря на огромный успех екатеринбургских изделий, конец XIX столетия оказался для фабрики очень напряженным и тревожным. Сворачиваются добыча и огранка самоцветов, не делаются предметы из мрамора, малахита, порфира и яшмы. Крупные изделия Кабинета заказывает, главным образом, из родонита и калканской яшмы. Основная масса заказов — мелкая пластика. Крупные же повторяют, в основном, прежние классические формы, а для впечатления новизны используется все более сложный орнамент. Многочисленные дополнения порой затмевают достоинство камня. Но хотя и в эти годы создаются уникальные крупные изделия по чертежам прославленных архитекторов, где красота камня подчеркнута в полную силу, вскоре и такие единичные изделия практически исчезают из перечня работ. Это было связано главным образом с тем, что еще в 1883 году Екатеринбургская фабрика получила грандиозный, очень почетный заказ на изготовление каменного убранства храма Вознесения, возводившегося на месте гибели императора Александра II: двух клиросных киотов, сени и дарохранительницы. Был получен также заказ на дарохранительницу для храма Христа Спасителя на станции Борки, где в 1888 г. произошло крушение царского поезда. В отличие от других изделий фабрики этого времени, в отделке храма Вознесения были использованы самые разнообразные уральские цветные камни: различные яшмы, родонит, мрамор, кварц. Работа для храма длилась до 1916 г.

В конце XIX — начале XX вв. фабрикой руководил В.В. Мостовенко (1885 — 1911 гг.). Из его воспоминаний (Скурлов, 2001, с. 30 — 35) следует, что она досталась ему в состоянии почти полной разрухи. Благодаря его энергии и находчивости, фабрику удалось привести в рабочее состояние. Были введены некоторые новые способы обработки камня, не только упростившие изготовление изделий, но и заметно улучшившие условия труда рабочих. Вновь была открыта школа по обучению грамоте, рисованию и лепке. В устроенной лаборатории разрабатывали способы огранки камней, вытравки клейм, составы клеев.

Как и ранее, для крупных изделий рисунки поступали из Кабинета. Порой они были столь неудачны, что Мостовенко разрешили исправлять их. Формы для многочисленных мелких (кабинетных, столовых, галантерейных, ювелирных и др.) вещей, в изобилии по-

ставлявшихся в Петербург, разрабатывались на фабрике.

Несмотря на занятость фабрики ответственным заказом для храма, она не освободилась от очень важных и престижных работ для российских и зарубежных выставок. Так, в 1900 году для Всемирной выставки в Париже была создана уникальная мозаичная карта Франции размером несколько более 1 x 1 м. Идея принадлежала В.В. Мостовенко. Он же подбирал материал для различных ее частей. Использовали самые разнообразные поделочные и драгоценные камни, золото, платину. На выставке карта имела огромный успех. Екатеринбургская фабрика получила в Париже высшую награду. Карту после выставки поместили в Лувр, а Мостовенко наградили командорским крестом ордена Почетного легиона (Скурлов, 2001, с. 51 — 54).

Как упоминалось выше, заказы этого времени для Двора касались в основном мелких изделий. Особенно много требовалось разноцветных пасхальных яиц, которыми одаривали большой круг родных и приближенных. По воспоминаниям В.В. Мостовенко, это была самая скучная работа, при которой портились лучшие цветные яшмы (Скурлов, 2001, с. 47). В то же время замечательные поделочные и драгоценные камни Урала Екатеринбургская фабрика в большом количестве поставляла другим прославленным фабрикам и мастерским, в том числе Петергофской гранильной фабрике и фирме Фаберже.

В 1917 году фабрика была национализирована. В ближайшее же время появились различные планы по переустройству камнерезного дела, по организации производства научного оборудования для изучения минералов и горных пород, для лабораторий и школ, по подготовке камнерезов и гранильщиков. Эти планы не сбылись. Был создан трест «Русские самоцветы», Екатеринбургская фабрика стала его отделением. Главной ее задачей становится добыча и огранка изумрудов.

С 1924 года начинаются работы над произведениями с символикой советской идеологии. Наиболее грандиозным изделием этого времени, о котором нельзя не вспомнить, была уникальная мозаичная карта Советского Союза площадью более 25 кв. м. Для нее были использованы разнообразнейшие цветные и драгоценные камни — мрамор, родонит, яшма, амазонит, офит, туф, кварц, кахолонг, опал, лазурит. Меридианы обозначили латинской буквой М, Москву — рубиновой звездой. Для других городов использовали изумруд, аквамарин, топаз, фенакит, дымчатый кварц, аме-

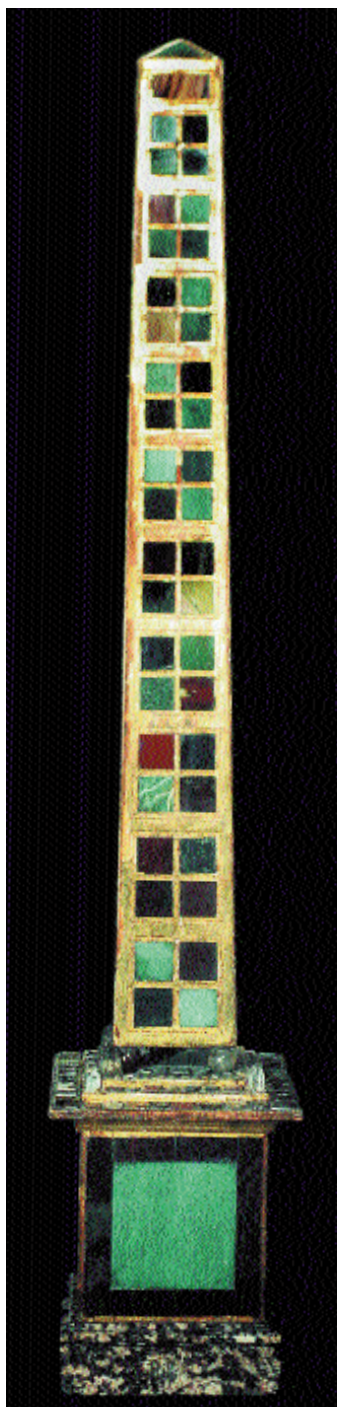


Рис. 1. Коллекция уральских цветных камней в виде пирамиды. Яшмы, халцедон, кварц, гранит. ЕГФ, 1794–1799 гг. Высота 125 см. Источник и дата поступления неизвестны. ММФ № ПДК-846.

Фото изделий к этой статье сделаны М.Б. Лейбовым

тист, цитрин, альмандин, александрит, хризолит и др. (Семенов, Тимофеев, 2001, с. 92 – 94). Карта экспонировалась на Всемирной выставке 1937 года в Париже (здесь она получила Гран-при), а в 1939 году – в Нью-Йорке. Долгое время карта выставлялась в Государственном Эрмитаже, а сейчас – в ЦНИГР музее им. Ф.Н. Чернышева в Петербурге.

В Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана РАН вещи, сделанные на Екатеринбургской гранильной фабрике, поступили из разных государственных организаций в 1920-х годах. Изделий фабрики советского времени в собрании Музея нет, поэтому, в данной статье ее работа в этот периода не освещена. Читателей, интересующихся более поздними событиями, связанными с фабрикой и ее изделиями XX века, отсылаем к книге В.Б. Семенова и Н.И. Тимофеева (2001), упомянутой ранее.

Небольшой и случайный набор предметов, сделанных на Екатеринбургской гранильной фабрике и хранящихся в Минералогическом Музее, лишь в малой степени отражает разнообразие и величие ее изделий и мастерство уральских камнерезов. Тем не менее, среди немногочисленных экспонатов Музея есть уникальные предметы с исторической и с художественной точек зрения. Несмотря на ограниченное количество экспонатов, время их изготовления охватывает длительный период: с конца XVIII до конца XIX века. Среди них есть обелиски, вазы и вазочки, карандашницы, пресс-папье, пасхальные яйца и др. Часть предметов не имеет датировки и лишь по косвенным признакам может быть отнесена к какому-либо времени.

Самое раннее изделие фабрики в Минералогическом музее – коллекция уральских яшм в виде обелиска-пирамиды (рис. 1). Четырехгранная, слегка сужающаяся сверху пирамида опирается на халцедоновые шарики, закрепленные на более широком квадратном постаменте. Все изделие облицовано шлифованными пластинками разнообразных уральских яшм. На пирамиде квадратные пластинки разделены золочеными полосками, а на них процарапаны номера, соответствующие определенным месторождениям цветных камней Урала в «Генеральном описании месторождений» 1792 – 1796 гг. (Семенов, Тимофеев, 2001, с. 44).

Экспонат записан в инвентарную книгу Коллекции поделочных и драгоценных камней Музея под № 846 без указания даты и источника поступления с пометой, что это работа времен Петра I. В соответствии с этой записью полагали, что сделана коллекция была на Петергофской гранильной фабрике, которая открылась незадолго до смерти Петра. Но в это время на Урале еще не были разведаны месторождения яшм, которыми облицован обелиск, а в Петергофе полировали лишь стекла. Как показали исследования В.Б. Семенова и Н.И. Тимофеева, первые коллекции цветных камней Урала были сделаны для Екатерины II в 1780-х годах, причем в 1786 году такая коллекция уже имела вид пирамиды. По данным упомянутых исследователей, хранящаяся в Минералогическом музее пирамида датируется 1794 – 1799 гг., поскольку номера месторождений на ней соответствуют реестру их 1792 – 1796 гг.

В Музее хранится также крупный обелиск (высота 195 см) из серовато-желтого с коричневыми прожилками фоминского (Ср. Урал) мрамора, сделанный на Екатеринбургской фабрике. Передан Музею Отделом нерудных ископаемых Комиссии

по изучению естественных производительных сил (КЕПС) в 1925 г.

Поскольку обелиски в качестве парковых украшений широко использовались в течение XVIII – XX столетий, оснований для каких-либо предположений о дате его изготовления нет.

Одно из лучших художественных произведений фабрики, хранящихся в Музее, — небольшая ваза из калканской яшмы (рис. 2). Квадратная чаша с отогнутым бортом, профилированным туловом и округлым низом, украшенным выпуклыми ложками, располагается на расширяющейся книзу ножке с вогнутыми ложками, опирающейся на квадратный плинт. Внутри чаша также украшена резьбой в виде круглой розетки из вогнутых ложек. На плинте выгравировано: «В Екатеринбурге Маст. Коковинъ. 1828 года». Замечательной особенностью вазы является красивый похрюк на металлический звон, издаваемый ею при мягком ударе. Поступила она в Музей в 1927 году из Государственного музейного фонда.

Известно, что в 1920-х годах Минералогический музей обращался в различные организации Ленинграда (коллекции Музея были перевезены в Москву только в 1934 г.) с просьбой передать в его фонды изделия из камня. Среди прочих было получено разрешение Отдела по музеям Главнауки Наркомпроса (7 декабря 1926 г.) выдать Минералогическому музею предметы из поделочного камня, отобранные Ленинградским фондом в запасниках Гатчинского дворца-музея и Строгановского музея (Г.Э., Дело 192, № 65, с. 103 – 104). По этому разрешению Музеем были переданы изделия, перечисленные в двух актах, датированных 13 декабря 1926 г. и 8 января 1927 г. (там же, № 66, с. 105 – 106). Однако в списках нет указаний на принадлежность вещей одному или другому музею.

Как следует из архивных данных (Мавродина, 2000, с. 72, 85 – 86), такие квадратные вазы по рисунку архитектора И.И. Гальберга от 13 декабря 1826 г. делались в Екатеринбурге неоднократно и из разного материала, многие из них демонстрируются в Государственном Эрмитаже. По-видимому, ваза, хранящаяся в Минералогическом музее, — одна из наиболее ранних ваз этого рода. По данным В.Б. Семенова и Н.И. Тимофеева, работа над ней началась уже в 1826 г. и обошлась в 1644 р. 63 к. (Семенов, Тимофеев, 2003, т. 1, с. 349).

В Музее есть превосходные вазы из малахита, самая большая из них имеет высоту 75 см. Если эти вещи сделаны на Екатеринбургской фабрике, то их с осторожностью можно отнести к 30 – 40 годам XIX столетия. Но мозаичные малахитовые вещи на протяжении многих лет делала и Петергофская гранильная фабрика. К сожалению, нет признаков, по которым можно было бы различать изделия названных производств, поэтому приходится ограничиться лишь констатацией наличия в Музее этих вещей из малахита, ассоциирующихся у большинства посетителей с Уралом.



Рис. 2. Ваза из калканской (р-н. оз. Калкан, Ср. Урал) яшмы. ЕГФ, 1828 г. Высота 30 см. ММФ № ПДК-1610

Рис. 3. Ваза. Родонит. ЕГФ; начало изготовления — 1893 год, дата окончания не известна. Высота 100 см. Поступила в Музей в 1919 г. из Музея города (Ленинграда). ММФ № ПДК-1719.





Рис. 4. Карандашница в виде пня. Яшма из разных месторождений Урала. ЕГФ, 1892 г. Размер 10 x 9,5 x 8 см. Поступила в 1926 г. из Гатчинского дворца. ММФ № ПДК-1782.



Рис. 5. Ваза. Родонит, яшма. ЕГФ, конец XIX ст. (?). Высота 19 см. Поступила от В.Г. Дружинина в 1930 г. ММФ №-4146.

Следующие по времени изготовления изделия (дата их производства установлена) относятся к 90-м годам XIX в. Первое — уникальная по размеру (высота — 100 см) родонитовая ваза (рис. 3). Вырезана она из цельного куска по проекту архитектора А.И. Валберха 1878 г. Круглая профилированная ножка поддерживает высокое яйцевидное тулово с двумя волутообразными ручками, переходящее в профилированную цилиндрическую крышку, заканчивающуюся куполом. Как следует из данных, опубликованных Н.М. Мавродиной (Мавродина, 2000, с.127 — 129), на фабрике было сделано две пары таких ваз с пьедесталами из калканской яшмы. Первая пара была в работе с 1879 по 1885 г. (ее стоимость — 28550 руб., огромная по тем временам сумма). В 1893 г. ее подарили Папе Льву XIII, и сразу же были заказаны еще две такие же вазы на пьедесталах. Работу начали 5 апреля 1893 года. Дата завершения неизвестна. Ясно только, что до 1904 г. они оставались на фабрике. Одна из этих ваз сейчас экспонируется в Георгиевском зале Государственного Эрмитажа (Мавродина, там же). Вторая поступила в Минералогический музей из Музея города (Ленинграда) в 1923 году.

Второй экспонат 90-х годов — занятное изделие мелкой пластики в виде полого пня в оружии грибов и ящерицы (рис. 4). Здесь использованы разноцветные уральские яшмы. На нижней стороне выгравированы надписи на русском и английском языках: «1892 год Россия. Императорская Екатеринбургская гранильная фабрика. Управляющий В. Мостовенко 1892 год». В музей предмет поступил в 1927 г. из Гатчинского дворца. По-видимому, это одно из мелких изделий, в большом количестве выполнявшихся для царского двора в конце XIX в.

Как говорилось выше, в конце столетия на Екатеринбургской фабрике наиболее часто употреблявшимися цветными камнями были родонит и калканская яшма (Семенов, Тимофеев, 2001, с. 76). Нравилось и сочетание этих двух материалов. В перечне работ в период с 1860-х и до начала 1890-х гг. значит-

ся большое количество «резных чашечек из орлеца на пьедестальчиках из калканской яшмы» (Семенов, Тимофеев, 2003, т. 2, с. 215 – 294). Об этом свидетельствует и то, что под упоминавшиеся ранее крупные родонитовые вазы постаменты также были сделаны из калканской яшмы. Исходя из этого, можно предположить, что маленькая с плоской круглой чашей вазочка из родонита, закрепленная на восьмигранном постаменте из калканской яшмы (рис. 5), относится к изделиям Екатеринбургской фабрики последней трети XIX ст. Правда, в литературе есть публикация сходной вазочки из Государственного русского музея, относимой к 1840 году (Голомзик, 1983, с. 108), но основания для такой датировки не приведены. В наш Музей вазочка поступила в 1930 году от частного лица.

В 1926 году Государственный Эрмитаж передал в Минералогический музей две небольшие нефритовые с бронзовыми ручками вазы и два родонитовых постамента. В инвентарь музея родонит и нефрит были записаны порознь, но с пометкой, что постаменты предназначены именно для этих vaz. Такое резкое сочетание цветов показалось сотрудникам не очень правдоподобным, и нефритовые вазы никогда на родонитовых постаментах не выставлялись (рис. 6).

Публикации последних лет показали, что иной раз именно с родонитом в изделиях Екатеринбургской фабрики соседствовал нефрит. Так, в 1859 году к императорскому двору был поставлен «пьедестал из орлеца... к нефритовой чашечке императрицы Марии Александровны» (Семенов, Тимофеев, 2003, т. I, с. 639). Не исключено, что и наши изделия также сделаны на Екатеринбургской фабрике. О времени их изготовления судить трудно, ясно лишь, что это XIX век. Снизу на одном из постаментов сохранилась типографски напечатанная наклейка с текстом под двуглавым орлом: «ИМЕНИЕ Е.И.В. Государя Императора «Ливадия». № (неразборчиво карандашом). Пров. 1902 г.».

Две «накладки на бумагу» (пресс-бювары) с ягодами из цветных камней, по всей видимости, сде-



Рис. 6. Ваза (нефрит, Саяны) на постаменте (родонит, Урал). Вторая половина XIX ст. ЕГФ. Общая высота 38,5 см. Передана Эрмитажем в 1926 г. ММФ №№ ПДК-1649, 1650.

ланы также в Екатеринбурге (рис. 7 и 8). А.И. Голомзик в книге «Родонит» опубликовал два подобных изделия (одно из них хранится в Музее Санкт-Петербургского Государственного института, другое – частная собственность). Автор датирует их началом XIX века и считает изделиями екатеринбургских кустарей (Голомзик, с. 114 – 115). Однако, как говорилось выше, подобные накладки были характерными работами екатеринбургской фа-

брики на протяжении длительного времени, и большое количество рисунков для них было создано выдающимся деятелем камнерезного искусства А.И. Лютиным. (Павловский, с. 90; Семенов, Тимофеев, 2003, с. 720).

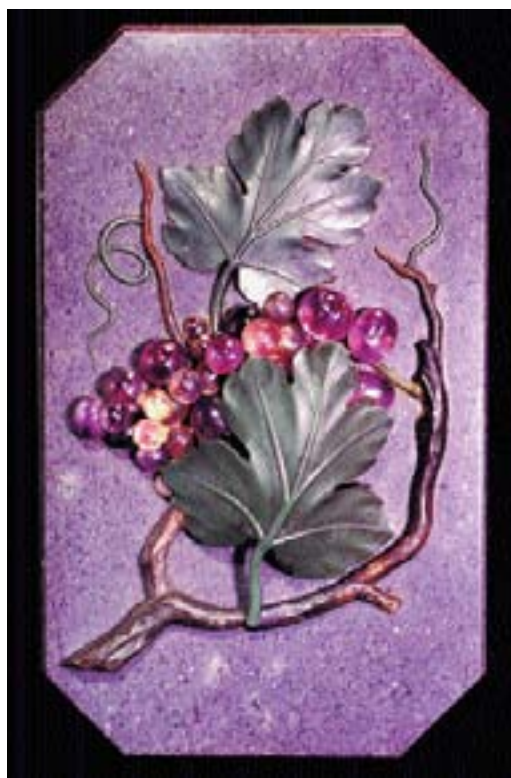
Надо сказать, что подобные прессы делали и на Петергофской гранильной фабрике. Основанием для отнесения описываемых пресс-бюваров к изделиям Екатеринбургской фабрики мы считаем практически пол-



Рис. 7. Пресс-папье. Яшма, змеевик, горный хрусталь, сердолик, родонит, гипс-селенит, мрамор, яшма. ЕГФ, до 1860 г. Размер 17 x 11 см. Дар А.Н. Курпрянова, 1959 г. ММФ № ПДК-4816.

Рис. 8. Пресс-папье. Аметист, змеевик, офиокальцит, мрамор. ЕГФ(?). Размер 16,5 x 10,5 см. Поступило из наследия Строгановых в 1919 г. ММФ № ПДК-1138.

Рис. 9. Пресс-папье. Аметист, нефрит, коргонский порфир. ЕГФ (?). Размер 19 x 12 см. Поступило из наследия Строгановых в 1919 г. ММФ № ПДК-1062.



ное совпадение не только сюжета и манеры исполнения изделий, находящихся в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана и опубликованных А.И. Голомзиков, но и одинаковое расположение частей общей композиции с описанным Б.П. Павловским (там же) по рисункам А.И. Лютина (цветные ягоды и листья на черном фоне). В нашем случае натюрморт из ягод тоже находится на черном мраморном фоне, а вся эта накладка закреплена на тяжелом основании из калканской яшмы (рис. 7). На другом прессе (рис. 8) гроздь винограда из аметиста также помещена на основании из черного мрамора. И еще одна причина, по которой эти изделия следует, по-видимому, отнести к екатеринбургским — крепление ягод и листьев к основанию на мастике, а не на металлических штифтах, как это делали в Петергофе и как затем приказано было делать и на Урале (Павловский, 1976, с. 91).

Пресс с ягодами был подарен Музею в 1959 году москвичом А.И. Куприяновым. По его словам, в 1860-х годах это изделие было подарено его деду сибирским промышленником Михайлой Петровым. Второй — с аметистовой гроздью винограда был в 1919 году передан Музею из наследия Строгановых.

Еще один подобный пресс (рис. 9) также принадлежал Строгановым. В этом случае виноградная лоза из зеленой уральской яшмы с листьями из нефрита и гроздью ягод из аметиста прикреплены к восьмиугольной подставке из коргонского (Алтай) порфира. В инвентарной книге записано, что «*пресс-папье сделано в 1898 г. на Петергофской гранильной фабрике за 140 рублей*». Поскольку такие прессы делали и в Петергофе, никаких сомнений эта запись не вызывала. Предполагалось, что сведения об этом изделии взяты из документов Строгановского дворца. Вместе с тем закреплена лоза на самом прессе с помощью мастики, что, по данным Б.П. Павловского, в Петергофе не делали. Насколько это утверждение верно, неизвестно. Так что вопрос о происхождении вещи неясен.

Следует упомянуть, что подобные произведения с высокорельефной мозаикой работы Петергофской фабрики были представлены на международной выставке 1851 года в Лондоне. Они «считались одним из чудес Хрустального дворца и отличались удивительно точной передачей природы. Принц Валлийский в шутку изъявил желание съесть поразившую его аметистовую ветку сочного винограда работы мастера Я. Коквина» (Мунтян, 2000, с. 19).



Рис. 10. Пресс-папье. Яшма, родонит, кварц, агат, порфир, малахит и др. Екатеринбург (?). Размер 16,5 x 11,5 см. Поступило из наследия Строгановых в 1919 г. ММФ № ПДК-1112.

В Музее хранится еще один пресс из наследия Строгановых. Это своеобразная коллекция наиболее распространенных и эффектных твердых уральских поделочных (декоративных) камней (рис. 10). В его центре — восьмиугольная звезда из ромбовидных вставок калканской серо-зеленой яшмы в восьмиугольной же рамке из ярко-розового родонита. Остальное поле заполнено прямоугольными вставками из различных яшм, яшмагата, авантюрина, кварца. Вся эта разноцветная композиция заключена в малахитовую рамку (единственный здесь мягкий камень Урала).

Изделие поступило в Музей тоже в 1919 году в составе большой коллекции из Строгановского дворца. У нас нет каких-либо сведений о мастерской, в которой была сделана эта мозаика. О возможной принадлежности вещи к изделиям Екатеринбурга (императорской фабрики или кустарной мастерской) говорит лишь подбор исключительно уральских камней, а также неразрывная в течение многих лет связь Строгановых с Уралом.

Следует также добавить, что если датировка первого из упомянутых прессов (не позже 1860-х гг.) основана на сведениях, полученных от его владельца, то три последующие могут быть изготовлены и в конце XIX в. и не только на фабрике, но и кустарями-камнерезами. Такие изделия, например, были широко представлены на ярмарках в Нижнем Новгороде, Ирбите и др. городах в 1879—1780 гг. «Деловому люду предлагались кабинетные принадлежности: канделябры, письменные приборы, именные печати. Изюминку наборов составляли пресс-папье, декорированные филигранно сработанными веточками ягод» (Дмитриев, 2005). О подобных изделиях кустарей конца XIX — начала XX



Рис. 11. Мелкие изделия ЕГФ. а) Вазочка. Мрамор. Высота 16 см. Поступила из Гатчинского дворца в 1926 году; ММФ № ПДК-1810. б) Граненый стаканчик. Родонит. Высота 5,5 см. Поступил от В.Г. Дружинина в 1930 г. ММФ № ПДК-4160. с) Яичко. Малахит. Длина 5 см. Куплено у Мостовенко в 1919 г. ММФ № ПДК-502. d) Полированный столбик. Родонит. Высота 9,5 см. Куплен у В.В. Мостовенко в 1919 г. ММФ № ПДК-539.

Рис. 12. Вазочка. Яшма тунготаровская (Ю. Урал). Высота 10,5 см. Передана в Музей из наследия Строгановых в 1919 г. ММФ № ПДК-1184.

Рис. 13. Ваза. Амазонит. ЕГФ. Высота 26,5 см. Поступила из Государственного Эрмитажа в 1926 г. ММФ № ПДК-1633.



века подробно пишет А.Е. Ферсман. Из его публикации следует, что, несмотря на техническое совершенство работы кустарей, художественная ценность этих изделий была невелика. Тем не менее, «стоимость лучших пресс-папье с фруктами из твердого камня доходила в 1910 году до 500 рублей» — суммы для того времени немалой (Ферсман, 1961, с. 174).

Работа Екатеринбургской фабрики представлена в Музее еще несколькими предметами, поступившими из разных источников. Маленькая вазочка белого мрамора из Гатчины, малахитовое яичко и родонитовый столбик, купленные в 1919 году у В.В. Мостовенко, граненый родонитовый стаканчик, переданный В.Г. Дружининым в 1930 году (рис. 11), — такие мелкие изделия в большом числе поставлял Урал.

К таким же кабинетным изделиями принадлежит демонстрирующаяся в Музее маленькая вазочка из пестрой тунготаровской (Ю. Урал) яшмы. Полуяйцевидное тулово, прикрытое широкой профилированной крышкой, расположено на короткой круглой ножке, опирающейся, в свою очередь,

на квадратный плит (рис. 12). В Музей поступила из наследия Строгановых в 1919 году. Парная нашей вазочка находится в коллекции Государственного Эрмитажа (Мавродина, 2007, с. 84 – 85).

По данным Н.М. Мавродиной, аналогичные по форме вазочки из уральской калиновской яшмы А.Е. Ферсман считал изделиями уральских мастеров конца XVIII столетия. Мавродина относит ее к изделиям Петергофской фабрики конца XVIII – начала XIX века. Датировка, по Мавродиной, основана на тождестве формы вазы с рисунком архитектора А.Н. Воронихина (1759 – 1814). Место же изготовления определить трудно, так как по проектам этого автора работали обе фабрики.

Две полые амазонитовые вазы с овальными туловами (рис. 13) поступили в Музей из Эрмитажа в 1926 г. В то время и ранее амазонит в России был известен только на Урале, поэтому наиболее вероятным местом изготовления их представляется Екатеринбург. Известно, что изделия из амазонита на Екатеринбургской фабрике делали с 1820-х гг. (Семенов, Тимофеев, 2003, т. 1, с. 282).

Екатеринбург славен не только камнерезными работами своей гранильной фабрики. На богатом уральском каменном материале работало не одно поколение кустарных резчиков. После отмены крепостного права многие мастера покинули императорскую фабрику. Среди них были и выдающиеся личности. Некоторые, начинавшие как ремесленники, обзаводились собственными мастерскими и магазинами, становились известными не только на Урале, но и в Петербурге. Среди них большую популярность имел А.К. Денисов-Уральский – замечательный художник и камнерез. Выходец из семьи горщиков и кустарей, он прекрасно знал уральский камень, умел добывать его и использовал в природном и в обработанном виде: составлял коллекции – обычные и декоративно оформленные, создавал насыщенные картины, рельефные иконы, камнерезные фигурки.

В Минералогическом музее экспонируется одна из немногих сохранившихся таких коллекций в виде каменного грота (рис. 14). Как упоминалось ранее, коллекции в виде гор, пирамид, гротов, фонтанов – своеобраз-



Рис. 14. Горка – коллекция цветных уральских камней. Кварц и его разновидности, микролин, альбит, шерл, рубеллит, изумруд, змеевик, малахит, агат, гипс и др. Екатеринбург. Производство мастерской А.К. Денисова-Уральского конца XIX – начала XX ст. Поступила из Гатчинского дворца в 1926 году. ММФ № ПДК-2720. а) Фирменная наклейка мастерской Денисова-Уральского на горке.



Рис. 15. Дарственное блюдо. Яшма, изумруды, рубины, сапфиры, бериллы, аметисты, александриты, демантоиды, гессониты и др. Диаметр 32,5 см. Екатеринбург. Мастерская И.Н. Лагутяева, 1891 г. Поступило их Музея Дворца искусств в 1922 г. ММФ № ПДК-2622.

а) Клеймо на фирменной коробке мастерской Лагутяева.

ных украшений интерьеров — делали на Урале со времен Екатерины II.

Грот А.К. Денисова-Уральского сделан в виде арки, в глубине которого укреплен просвечивающая пластина из гипса-селенита, возможно имитирующая подземный водопад. Грот обклеен кристаллами и шлифованными кусочками самых разнообразных уральских минералов. На многих сохранились крохотные номерки (к таким коллекциям прилагался список минералов). Все это укреплено на малахитовой подставке, на нижней стороне которой сохранилась фирменная наклейка с указанием, что А.К. Денисовым в 1882 году получен почетный отзыв из Москвы, а в 1887 году на Сибирско-Уральской выставке за картины, иконы и гроты он награжден Большой серебряной медалью. В левом нижнем углу наклейки надпись чернилами «СПБ». Известно, что в Петербурге на Морской улице у Денисова-Уральского был магазин.

Эта привлекательная коллекция поступила в Музей в 1926 году из Гатчинского дворца. Возможно, она служила наглядным пособием для царских детей. Их, как известно, обучали самым разным наукам, в том числе и минералогии. Об этом свидетельствуют и хранящиеся в Музее каталог минералогической кол-

лекции, принадлежавшей цесаревичу Николаю (архив Музея), и часть образцов из этой коллекции, составлявшейся под руководством профессора Петербургского горного института, автора первого каталога Горного музея В.В. Нефедьева.

Еще один любопытный предмет, сделанный в частной мастерской Екатеринбурга — блюдо, на котором в Орске поднесли хлеб-соль цесаревичу Николаю при возвращении его из Японии в Петербург (рис. 15). Круглое блюдо из пестрой орской яшмы украшено золотыми с драгоценными камнями накладками, изображающими корону, вензель цесаревича и дату, когда наследник должен был прибыть в Орск — 15. VII 1891. Цесаревич запоздал и церемония вручения произошла лишь 24 июля. Князь Э.Э. Успенский, сопровождавший Николая, писал: «... был выстроен почетный караул ... тут же...поместилась депутация от казаков Новочеркасской станицы с хлебом-солью на серебряном блюде, затем депутаты от заводских крестьян и башкир также с хлебом-солью: крестьяне на серебряном, а башкиры на весьма изящном мраморном блюде, причем надпись, корона и украшения были красиво составлены из разноцветных камней. Блюдо это может считаться самым изящным из

всех здесь поднесенных» (Успенский, 1897, с. 208). В изделия использованы и зарубежные (рубин, сапфир), и уральские драгоценные камни. Среди прочих выделяются крупные демантоиды, очень ярко окрашенные изумруды и мелкие александриты, которыми выложена буква «А» в вензеле.

Бюдо поступило в Музей в 1922 году из Музея дворца искусств в оригинальной красной бархатной коробке, внутри которой сохранился фирменный знак владельца мастерской-изготовителя: «Производство из Уральских камней Лагутяева в Екатеринбурге». По сторонам надписи — изображение двух сторон медали «За трудолюбие и искусство. 1898».

Сведения о мастерской И.Н. Лагутяева очень скудны. Она была создана в 1843 году (Семенов, 1987, с. 102) и, видимо, изделия ее были достаточно популярны, поскольку демонстрировались на выставках не только Нижнего Новгорода и Ирбита, но и в Петербурге (Семенов, 1987; Дмитриев, 2005). П.П. Бажов писал, что «корпеть на Нурова, Лагутяева, Липина — означало огранку самоцветов и мелкие изделия из цветного камня» (Бажов, 1976, с. 76). По словам А. Дмитриева (там же), во второй половине XIX века на «каменном» рынке главенствовали два Ивана — Стебаков и Лагутяев. Во время ярмарки в их магазинах было полно самого разного народа. Здесь «... коллекционерам предлагались штуды и ограниченные раритеты. Любителям украшений и сувениров — бусы, перстни, серьги, браслеты, запонки, изящные ларцы, шкатулки, насыпные картины. Деловому люду — «кабинетные» принадлежности, ..., канделябры, письменные приборы, именные печати...». В отличие от многих других уральских владельцев

частных мастерских, у Лагутяева не было своих копей, сырье приходилось скупать у других. В начале XX ст. в его мастерской было 10 наемных рабочих. Кроме того, на него работало 20–30 кустарей-надомников (Ферсман, 1961, с. 169).

В настоящее время нам не известны какие-либо другие изделия мастерской Лагутяева.

Помимо описанных выше двух изделий крупных частных мастерских Екатеринбурга, в Музее есть и изделия кустарей, имена которых не удастся установить. Известно, что кустарное производство на Урале было весьма разнообразно. А.Е. Ферсман упоминает девять особых специальностей кустарей Екатеринбурга, среди которых были «печатчики» — изготовители печаток. (Ферсман, 1961, с. 170–171).

В Музее хранится достаточно большая коллекция печаток, поступивших из разных источников. Часть из них была приобретена у О.А. Шиховой в 1936 г. (рис. 16–18). Этому предшествовала переписка между Музеем и А.С. и О.А. Шиховыми, бывшими в Екатеринбурге (затем в Свердловске), о покупке и продаже каменного материала (ПФА РАН). Поскольку материал поступил от жителей Екатеринбурга, с некоторой долей уверенности можно предположить, что печатки были вырезаны местными мастерами. Большая часть их сделана из местного материала: горного хрусталя, яшмы, родонита. Для одной использован аквамарин с Шерловой горы (Забайкалье) (рис. 16), еще для одной — порфир с реки Коргон на Алтае (рис. 17). На Алтае была своя гранильная фабрика, производившая самые разнообразные каменные изделия — от колоссальных до самых мелких, поэтому место

Рис. 16. Печатки из горного хрусталя (ММФ ПДК-681, 4249), аметиста (ПДК-4260), аквамарина (ПДК-4263) и гелиодора (ПДК-4262). Кустарное производство Екатеринбурга (?) конца XIX — начала XX ст. Приобретены у О.А. Шиховой в 1936 г.

Рис. 17. Печатка из коргонского (Алтай) порфира. Размер 5,5 x 3,5 см. Кустарное изделие Екатеринбурга (?). Куплена у О.А. Шиховой в 1936 г. ММФ № ПДК-4261.



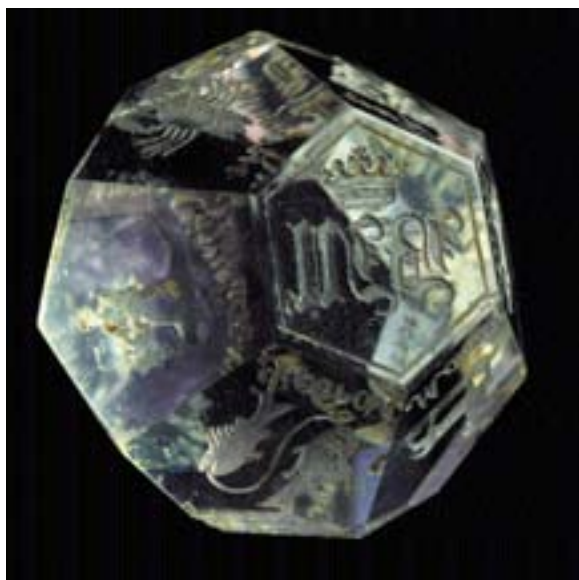


Рис. 18. Печатка из горного хрусталя со знаками Зодиака. Размер 2,5 x 2,4 см. Изделие уральских кустарей (?). Поступила из КЕПС в 1925 г. ММФ № ПДК-2541.



Рис. 19. Пресс-па'ье (фрагменты). Микроклин, альбит, кварц, шерл, сердолик, змеевик. Размер 16 x 8,5 см. Изделие уральских кустарей. Поступило от В.Г. Дружинина в 1919 году. ММФ № ПДК-2621.

изготовления порфировой печати могло быть и далеким от Урала. Аквамашиновая же печать с большим правом может считаться уральской, так как резные изделия забайкальских мастеров не известны. Аквамарин с Шерловой горы в Забайкалье в значительном количестве расхотился по многим ювелирным и камнерезным мастерским страны, в том числе и уральским.

Еще одна печатка из горного хрусталя уральских умельцев поступила в Музей в 1925 году из Комиссии по изучению природных производительных сил. Это 14-гранник, на двенадцати гранях которого вырезаны знаки Зодиака и названия месяцев (рис. 18). Б.П. Павловский отмечал особую тонкость гравировки и точность рисунка таких печаток (Павловский, 1976, с. 113).

В конце XIX – начале XX века кустарии продолжали делать накладки из резных ягод и фруктов на изделия из цветных камней. Бывший директор Екатеринбургской гранильной фабрики В.В. Мостовенко писал, что все было сделано артистически натурально, но общая композиция была обычно перегружена. И стоили эти вещи недешево, так как труда требовали много. «Я давно советовал делать самые простые накладки: взять кусок альбита или какую другую красивую породу и бросить на него только одну веточку малины, смородины и т.п., и дешево, и просто, и красиво. Наконец, кустарии послушались, и эти пресс-па'ье пошли бойко». (Скурлов, 2001, с. 78).

В коллекции музея сохранилось подобное изделие безвестного уральского кустаря (рис. 19). На друзе альбита и микроклина с небольшим количеством дымчатого кварца, шерла и слюды разместились веточка красной смородины из яркого сердолика и листочек из змеевика. Кое-где на кристаллах видны следы клея, но сами детали изделия отклеились гораздо ранее поступления накладки в Музей. К экспонату приложены отвалившиеся ягоды и листья, однако неизвестно, относятся ли они именно к этому изделию. Несмотря на плохую сохранность, экспонат дает представление о характере подобного рода изделий.

Камнерезное дело Урала развивалось и в советское время. На базе Екатеринбургской гранильной фабрики был создан трест «Русские самоцветы»,



Рис. 20. Фигурки из гипса-селенита (Кунгур, Пермская обл.). Размер 6,5 см, 6,1 см, 9,8 см. Изделия Комбината «Уральский камнерез» (Красный Ясыл, Пермская обл.). Приобретены Музеем в 1990–1991 гг. ММФ №№ ПДК- 7511,7586,7635

в 1941 г. основан ювелирный завод «Уральский ювелир», а затем и другие камнерезные и ювелирные предприятия, в течение многих лет поддерживавшие и развивавшие камнерезное и ювелирное дело Урала. Появились новые великолепные мастера, известные теперь в России и за рубежом (Скурлов, 2001, с. 151; Семенов, Тимофеев, 2001, с. 102–132). В последние годы возродилось кустарное искусство, использующее и новые веяния и традиции XIX века, в том числе и направления, связанные с именем знаменитого Денисова-Уральского. Широко известен камнерезный промысел, основанный на использовании необыкновенного уральского гипса-селенита и сопутствующего ему ангидрита.

К сожалению, Минералогический музей изделиями уральских мастеров последних 80 лет не располагает. Исключение составляют лишь селенитовые и ангидритовые статуэтки, поступившие в коллекцию в конце 1980 – начале 1990 гг. Это, в основном, маленькие фигурки птиц и животных (рис. 20), очень выразительные, несмотря на лаконичность проработки. Полированная поверхность изделий, лишенная резных подробностей, подчеркивает теплое золотистое и холодное белое сияние шелковистого гипса. Наличие этой небольшой коллекции не может возместить отсутствие работ других отраслей камнерезного искусства Урала, не поступавших в фонды Музея в течение долгого времени.

## Литература

- Бажов П.П. Дальнее-близкое // Сказы. М.: Московский рабочий, 1976. С. 52–121.
- Бобылев В.В. Камни-самоцветы Библии. М.: Издательский Дом МСП, 2005. 539 с.
- Г.Э. – Архив Государственного Эрмитажа. Фонд IV. Т. 2. Оп. 14. Дело 192. № 65. С. 103–104.
- Голомзик А.И. Родонит. Свердловск: Средне-Уральское книжное изд., 1983. 159 с.
- Данилевский В.В. Русская техника. Л.: Ленинградское газетно-журнальное изд., 1948 // Цитируется по Семенову В.В. Недра России в XVII веке // Уральский геологический журнал. 2000. № 6. С. 111–229.
- Дмитриев А. Ирбитская ярмарка // Урал. 2005. № 5. С. 48.
- Мавродина Н.М. Искусство екатеринбургских камнерезов. СПб.: Изд. Гос. Эрмитажа, 2000. 134 с.
- Мельников М. Обработка цветных камней // Горный журнал. 1885. No 5, с. 176–196 // Скурлов В.В. Ювелиры и камнерезы Урала. СПб.: Лики России, 2001. С. 89–91.
- Мостовенко В.В. Мои воспоминания о Екатеринбургской гранильной фабрике 1885–1911 гг. // Скурлов В.В. Ювелиры и камнерезы Урала. СПб.: Лики России, 2001. С. 25–79.
- Мунтян Т.Н. Фаберже. Великие ювелиры России. М.: Красная площадь. 2000. 208 с.
- Павловский Б.П. Камнерезное искусство Урала. Свердловск: Свердловское книжное изд., 1976. 151 с.
- ПФА РАН (петербургский филиал архива РАН). Фонд 78. Оп. 1. Дело 239.
- Семенов В.Б. Малахит. Свердловск: Средне-Уральское книжное изд., 1987. Т. 2. 159 с.
- Семенов В.Б. Недра России в XVII веке // Уральский геологический журнал, 2001. № 6. С. 111–229. Екатеринбург: ИГЕММО «Lithica».
- Семенов В.Б., Тимофеев Н.И. Книга резного искусства. Екатеринбург: ИГЕММО «Lithica», 2001. 144 с.
- Семенов В.Б., Тимофеев Н.И. Екатеринбургская камнерезная и антиковая фабрика. 1805–1861 гг. (Т. 1). 752 с.; 1861–1917 г. (Т. 2). 496 с. Екатеринбург: ИГЕММО «Lithica», 2003.
- Скурлов В.В. Ювелиры и камнерезы Урала. СПб.: Лики России, 2001. 201 с.
- Успенский Э.Э. Путешествие Государя Императора Николая II на Восток (1890–1891). Т. 3. СПб., Лейпциг: Изд. Ф.А. Брокгауз, 1897.
- Ферсман А.Е. Очерки по истории камня. М.: Изд. АН. 1961. Т. 2. 371 с.
- Шакинко И.М. Завод «Русские самоцветы». Свердловск: Средне-Уральское книжн.

УДК 549:069

## МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ КОЛЛЕКЦИЯ ГЕОМУЗЕЯ КЕЛЬНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА (ГЕРМАНИЯ)

Е.А. Борисова

*Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, elborisminmuster@mail.ru*

Р. Холлербах

*ГеоМузей Кельнского университета, Кельн, ФРГ, Rolf.Hollerbach@uni-koeln.de*

Описаны минералогические экспозиции ГеоМузея Кельнского университета и история этого собрания. В статье 17 рисунков, список литературы из 3 названий.

История этого небольшого музея достаточно древняя и, как это часто бывает со старыми коллекциями, совсем не простая. Свое начало она ведет от частного собрания Минерального кабинета второй половины XVIII века. К большому сожалению, в XX веке после второй мировой войны коллекция была практически полностью разрушена, разрознена, после бомбового удара в 1944 г. сгорели инвентарные книги, и установить в настоящее время, какие образцы ведут начало от того исторического собрания, а какие появились позднее, уже не представляется возможным. Единственный достоверно известный исторический экспонат музея — псевдоморфоза кальцита (или арагонита) по птичьему гнезду — принадлежал Фердинанду Францу Вальрафу (1748—1824), первому почетному жителю Кельна, с именем которого связан еще один замечательный музей этого города. Ф.Ф. Вальраф, сын кельнского портного, своим трудом выбился в люди, окончил несколько факультетов Кельнского университета — медицинский, геологический, стал каноником, доктором медицины, философии, а впоследствии также профессором истории и изящных наук, в 1793 г. был избран ректором университета. Но самое любимое его дело было коллекционирование. Он собирал все, связанное с историей Кельна.

Помимо естественно-исторической коллекции, в собрании Вальрафа были археологические находки времен римской империи, живопись, скульптура, религиозные реликвии и произведения искусства, историческое оружие. Во времена Наполеона, когда в городе хозяйничали французы и университет был закрыт (открылся он только через сто с лишним лет — в 1919 году), он спасал, как мог, ценные экспонаты многих церквей от расхищения и порчи. После смерти Вальрафа на основе его коллекции с помощью кельнского коммерсанта Иоганна Генриха Рихартца был учрежден музей, открытый для посещения

1 июля 1861 года и названный в честь этих двух выдающихся людей Музеем Вальрафа-Рихартца. На сегодня это — одна из самых крупных картинных галерей классической живописи в Германии.

Как уже отмечалось, в собрании Ф.Ф. Вальрафа, ученого-естественника и преподавателя, была большая естественно-историческая коллекция, и часть образцов ГеоМузея, по-видимому, связана с этой первой университетской коллекцией. Жаль только, что спасенная на рубеже XVIII—XIX веков, она понесла невосполнимые потери в XX в., и утраченную атрибуцию уже не восстановить.

Упомянутому выше историческому образцу — псевдоморфозе кальцита (или арагонита) по птичьему гнезду — повезло больше, он прекрасно сохранился (рис. 1). Помимо ГеоМузея, он неоднократно демонстрировался и на различных временных выставках, в частности, на совместной выставке музеев Кельна в 1995—1996 гг. В каталоге этой выставки (Kier, Zehnder, 1995) он указан под номером 397 как экспонат из собрания Вальрафа, записанный там под названием «Инкрустация». Следует сразу подчеркнуть, что значение последнего термина в западной литературе несколько шире принятого у нас и подразумевает в том числе корку или минеральную оболочку, возникшую на какой-либо иной поверхности, например, горной породы (Толковый словарь английских геологических терминов, 1978).

Что касается собрания ГеоМузея в целом, то в настоящее время оно состоит из двух больших частей, каждая из которых ранее была самостоятельной: с 60-х годов прошлого века Минералогический музей и Музей Геологического Института Кельнского университета существовали параллельно, а затем, в 1999 г., после создания единой Библиотеки геологии, минералогии, кристаллографии и геофизики, для которой потребовалось отдель-



Рис. 1. Псевдоморфоза кальцита (или арагонита) по птичьему гнезду. Высота 10 см, диаметр 13 см, внутренний диаметр полости 5 см. № 129 е. Фото Е.А. Борисовой.  
Рис. 2. Выставочный зал ГеоМузея, Кёльн. Фото Р. Холлербаха.

ное помещение, они объединились в один, сохранив прежнее подразделение коллекции на минералогическую и геологическую (или геолого-палеонтологическую) соответственно.

Геологическая коллекция также имеет свою собственную историю. Не останавливаясь на ней подробно, отметим только, что большая часть ее прежде составляла основу Естественно-исторического музея Кельна — так называемое Собрание Штапельхаус. Гордостью этой коллекции являются такие уникальные экспонаты, как скелеты ихтиозавра — *Stenopterygius quadriscissus* и морского крокодила — *Steneosaurus bollensis* (оба длиной свыше 2,5 м), найденные в нижнеюрских отложениях близ Хольцмадена (окрестности Вюрттемберга, ФРГ), а также скелет пещерного медведя. Куратором этой части собрания является в настоящее время Михаэль Григо (Dr. Michael Grigo).

Минералогическая коллекция достаточно разнообразна и насчитывает свыше 50 тысяч экспонатов. Часть из них (около тысячи наиболее интересных и эстетически привлекательных образцов) находится непосредственно в выставочном зале музея (рис. 2). Примерно 30 тысяч образцов, образующих систематическую коллекцию, составляют фонды музея, не предназначенные для широкой публики и открытые только для специалистов и сотрудников находящихся в этом же здании двух институтов Кельнского университета — Института кристаллографии и Института геологии и минералогии. Систематическая коллекция включает около 1500 различных минеральных видов.

Еще одна небольшая часть образцов (примерно две тысячи) представляет собой петрографическую коллекцию. Она также хранится отдельно в фондах музея и используется в основном для учебных целей. Для этих же целей по соседству с выставочным залом практически постоянно открыт для студентов осо-

бый демонстрационный зал с образцами наиболее распространенных минералов и руд. Эти образцы имеют, как правило, стандартные размеры и форму и расположены по какому-либо преимущественному признаку. Например, несколько витрин отражают физические свойства минералов — твердость, цвет, блеск и т.д. Есть витрины, показывающие разные формы агрегатов минералов, а также разновидности одного и того же минерального вида или разнообразие его проявления в природе. Вся учебная коллекция вместе с ее фондами насчитывает около 20 тысяч образцов. Достоинством такой отдельной учебной экспозиции является, безусловно, ее доступность. Если основной экспозиционный зал открыт для публики только один день в неделю (в среду) и одно (последнее) воскресенье месяца, то, как уже отмечалось ранее, учебный зал студенты могут посещать самостоятельно практически в любой день и в любое удобное для них время: он открыт всегда, когда работает Институт геологии и минералогии, на территории которого он формально располагается. Помимо этого, коллекции минералов, собранные студентами во время полевых практик, могут демонстрироваться на специальных витринах, установленных в холле института, что тоже весьма полезно для учебного процесса и способствует привлечению молодежи к работе с каменным материалом.

Остановимся теперь более подробно на минералогических экспозициях основного выставочного зала. Они подразделяются на 8 тематических выставок: «Метеориты и тектиты», «Драгоценные и поделочные камни», «Отдельные группы минералов (разновидности кварца, агаты, кальцит, цеолиты)», «Минералы окрестностей Кельна», «Минералы России», «Наиболее ценные находки минералов со всего мира», «Синтетические кристаллы», «Новые поступления». Кроме того, перед входом в выставочный зал, в вестибюле,



Рис. 3. Родохрозит. Калахари, Южная Африка. Образец 9 x 17 см. Б/н. Из коллекции П. Нея. Фото Е.А. Борисовой.

Рис. 4. Родохрозит. Мина Капильтас, Аргентина. Полированный срез. 10 x 14 см. № М 5426/96. Фото Р. Холлербаха.

Рис. 5. Антимонит, барит. Бая-Сприе, Румыния. 15 см. № М 3800/70. Фото Р. Холлербаха.

располагаются еще две витрины: «Биогенные минеральные образования» и «Кристаллическое и некристаллическое состояние вещества». На первой из них можно полюбоваться кораллами, скелетами морских ежей, раковинами моллюсков, на второй помещены для сравнения с одной стороны — кристаллы кварца, кварцит и кварцевый песок, а с другой — аморфные природные (обсидиан, тектиты) и технические стекла.

В основном зале, как уже видно из названия, самые интересные и разнообразные экспонаты представлены на выставке «**Наиболее ценные находки минералов со всего мира**». И один из лучших образцов здесь — родохрозит из Калахари (Южная Африка), лично добытый предыдущим куратором минералогической коллекции и координатором музея (с 1988 года куратором минералогической коллекции и координатором ГеоМузея является доктор Рольф Холлербах) профессором Паулем Неем. Причем с этим родохрозитом связана драматическая история. Еще в Калахари после того, как Ней уложил образец в рюкзак, на него напали несколько грабителей и пытались отнять ценный груз, но Ней не растерялся и, размахивая рюкзаком, как пращой, отбил от нападающих и сумел скрыться. Образец, к сожалению, при этом немного пострадал: несколько кристаллов получили повреждения или откололись. Но несмотря на это происшествие, крупные (до 3 см в длину) коричневато-красные прозрачные кристаллы родохрозита безусловно являются украшением выставки (рис. 3). Другой образец родохрозита (Капильтас\*, Аргентина) представлен розовыми радиально-лучистыми агрегатами (рис. 4), что тоже привлекает внимание посетителей.

Визитной карточкой ГеоМузея служат великолепные образцы антимонита из

Бая-Сприе, Румыния (рис. 5), и крупные (до 4 см в поперечнике) кристаллы самородной серы на кальците из Ракальмуто, Сицилия, Италия. Хочется отметить также большой кристалл эпидота (20 см в длину) из Кнаппенванда, Унтерзульцбахталь, Зальцбург, Австрия; знаменитый пироморфит из Банкер Хилл, Келлог, Айдахо, США — оранжево-оливковые кристаллы, размером до 1 см, на щетке более мелких желто-зелено-розовых выделений этого минерала; линарит из Бланшар майн, Нью-Мексико, США — синие кристаллы, размером 6–7 мм; вульфенит (таблитчатые кристаллы, размером 1–1.5 см в поперечнике) на галените из Шварценбаха, Словения; белый кристалл гроссуляра (11 см в поперечнике) из Лаго Хако, Чиуауа, Мексика. Очень эффектно образцы турмалина — зональный из Анжанабоаны, Мадагаскар, и розовый прозрачный рубелит из Папрока, Нуристан, Афганистан; прозрачные зональные кристаллы апатита (до 3 см в длину) из Панашкейры, Португалия; чудесная азуриновая роза (10 см в диаметре) из Китая (Силу, пров. Гуандун); азуриновая друза (кристаллы до 4 см) из Намибии (Цумеб), а также ярко-голубые радиально-лучистые агрегаты кавансита на стильбите из Пуны, Индия (рис. 6).

Впечатляет образец самородной меди (пластина около 50 см в поперечнике) из района озера Верхнего, Мичиган, США. Удивительно красив сросток двух больших полупрозрачных кристаллов кальцита и флюорита из Элмвуд майн, Теннесси, США (рис. 7).

Из штуфов можно выделить светло-розовый родохрозит (Капник, Румыния), два великолепных образца турмалина, один из которых представлен зональным кристаллом, размером 30 x 10 см в сечении, в кварце (Карибиб, Намибия), другой — частично волокнистым розовым эльбаитом с лепидоли-

\* географические названия приведены, по указателям А.А. Евсеева (2000)

том и кварцем (рудник Педернейра, Минас-Жерайс, Бразилия), а также роскошные сростки двойников гипса из Санта-Эуалии, Чиуауа, Мексика.

Кроме того, необычным экспонатом этой выставки являются полированные образцы светлых глинистых сланцев (или алевролитов) с яркими коричневыми полосами и пятнами, обусловленными примесями оксидов-гидроксидов железа — так называемые зебровые породы (Zebra-Rock) из Кимберли, Австралия (рис. 8).

**Минералы из окрестностей Кельна (Зигерланд)** представлены на одноименной выставке, в основном, карбонатами (родохрозит, сидерит, кальцит, доломит), оксидами и гидроксидами железа и марганца (пирролюзит, лимонит), сульфидами и сульфосолями (пирит, галенит, халькопирит, блеклая руда, бурнонит), а также самородной медью с малахитом.

Среди экспонатов экспозиции «**Отдельные группы минералов**» особенно выделяются агаты. Их тонкие изящные узоры велико-

лепно видны даже издали, поскольку пластины агатов укреплены на специально изготовленных стендах с подсветкой (более крупные образцы), или размещены напротив окон (пластины меньшего размера), что тоже помогает увидеть их на просвет. Можно отметить и большой штупф синевато-серого агата из Бразилии.

На витрине кварца наиболее привлекательными в эстетическом плане являются, как нам кажется, кристалл аметиста, длиной 12 см (Гуанхуато, Мексика), и расщепленный кристалл (около 9 см) желтоватого кварца из Цумеба, Намибия, а на витрине кальцита — розовато-коричневатый расщепленный кристалл из горной выработки в районе Марл Хюльс, Рурская область, Германия (рис. 9). Среди цеолитов, пожалуй, больше всего обращают на себя внимание кремово-розовые десмин и натролит из Пуны, Индия (рис. 10), и изумительный образец снежно-белого сколецита с ломонтитом из этого же месторождения (рис. 11).

Рис. 6. Кавансит на стильбите. Пуна, Индия. 14 x 18 см, агрегаты кавансита до 1 см в диаметре. № М 5559/02.

Рис. 7. Кальцит с флюоритом. Элмвуд майн, Теннесси, США. Флюорит 14 см, кальцит 17 см. № М 4847/82.

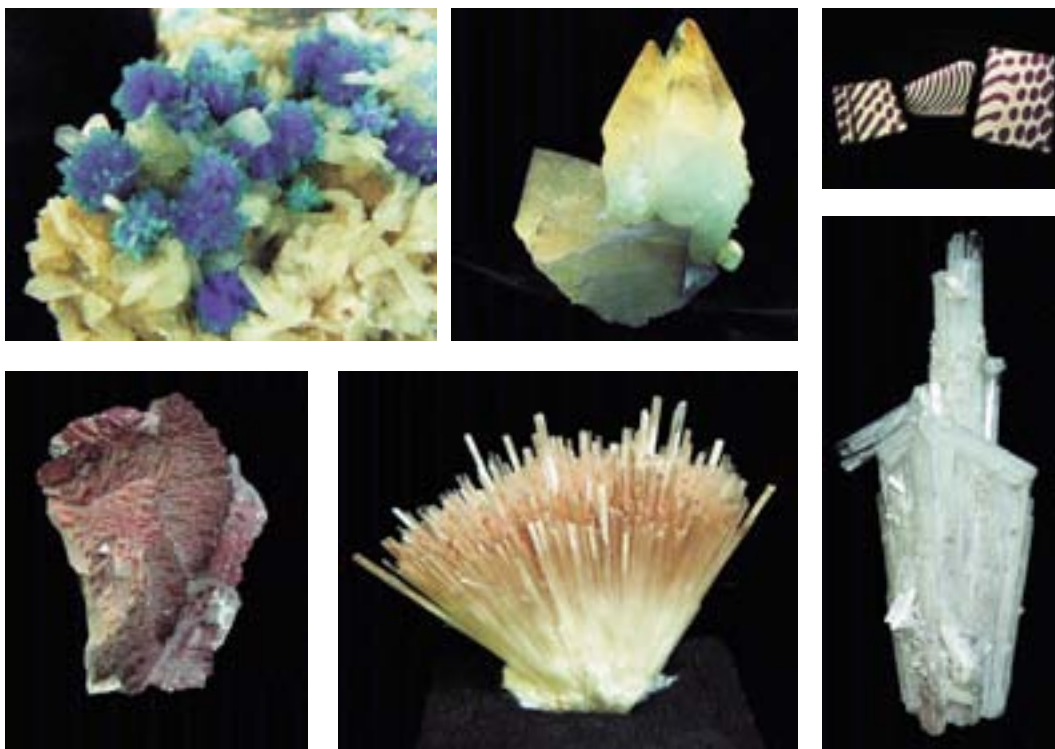
Рис. 8. «Зебровые породы». Кимберли, Западная Австралия. Самый крупный образец 10 x 7 см. Б/н.

Рис. 9. Кальцит. Марл Хюльс, Рурская область, ФРГ. 7,5 см. Б/н.

Рис. 10. Натролит. Пуна, Индия. 7 см. № М 4167/73.

Рис. 11. Сколецит с ломонтитом. Пуна, Индия. Длина образца 15,5 см. № М 4303/80.

Фото Е.А. Борисовой.



Редким украшением выставки «**Драгоценные и поделочные камни**», помимо привычных здесь алмазов из Австралии и Африки, полихромных турмалинов, рубинов, сапфиров и различных ювелирных вставок этих и других минералов, служат превосходные прозрачные двойники и тройники хризоберилла из Шри-Ланки (рис. 12) и его голубоватый ограненный кристалл (4–5 мм) с Урала (р. Токовая).

На витрине «**Новые поступления**» можно выделить разновидности берилла — кристаллы изумруда (до 4 см в длину) из рудника Коскес, Бойяка, Колумбия, и аквамарина из Эронго, Намибия (рис. 13). Впечатляют также большой медово-желтый кристалл шеелита (6 см) из Китая (рис. 14), фиолетово-голубой карлетонит (гора Сент-Илер, Квебек, Канада) и коричнево-красный корунд (7,5x4 см) из района Майсур, Индия (рис. 15). Несколько необычно сочетание оранжево-красных кристаллов ванадинита с черными оксидами-гидроксидами железа из Мибладена, Марокко. Очень хороши белые с еле заметным розоватым оттенком манебахский и бавенский двойники микроклина из Морру Редонду,

Минас-Жерайс, Бразилия (рис. 16), а также арагонит с самородным серебром из Санта-Эулалии, Чиуауа, Мексика (рис. 17).

Тематическая экспозиция «**Минералы России**» возникла в ГеоМузее сравнительно недавно. Своим появлением она обязана широкому потоку каменного материала, хлынувшему на западноевропейские рынки после открытия российских границ в начале 90-х годов прошлого столетия. Здесь преобладают образцы из Сибири, с Урала и Кольского полуострова. Наиболее разнообразны уральские минералы — фантомные кристаллы кварца, аметист, цитрин с Приполярного Урала, сарановский уваровит, ильменский темно-серый корунд (5–6 см), березовский крокоит, вишневогорский пироксенолор, нижнетагильские малахит и самородная платина. Среди сибирских образцов можно отметить синие прозрачные кристаллы апатита, размером 2–3 мм, на кальците (Слюдянка, Прибайкалье), анальцим (кристалл, 3 см) из района Нижней Тунгуски и сперрилит из Талнаха. Хибинские минералы представлены эвдиалитом и астрофиллитом. Всего на выставке около 30 образцов.

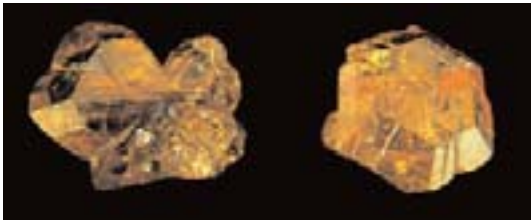


Рис. 12. Хризоберилл. Шри-Ланка. 9 x 10 мм и 8 x 9 мм. № М 5270/94.

Рис. 13. Аквамарин (с турмалином и дымчатым кварцем). Эронго, Намибия. Длина кристалла 4 см. № М 5553/01.

Рис. 14. Шеелит (с мусковитом). Китай. Образец 6 x 10 см, кристалл шеелита 6 см. № М 5445/97.

Рис. 15. Корунд. Майсур, Индия. 7,5 x 4 см. № М 5278/94.

Фото Е.А. Борисовой.

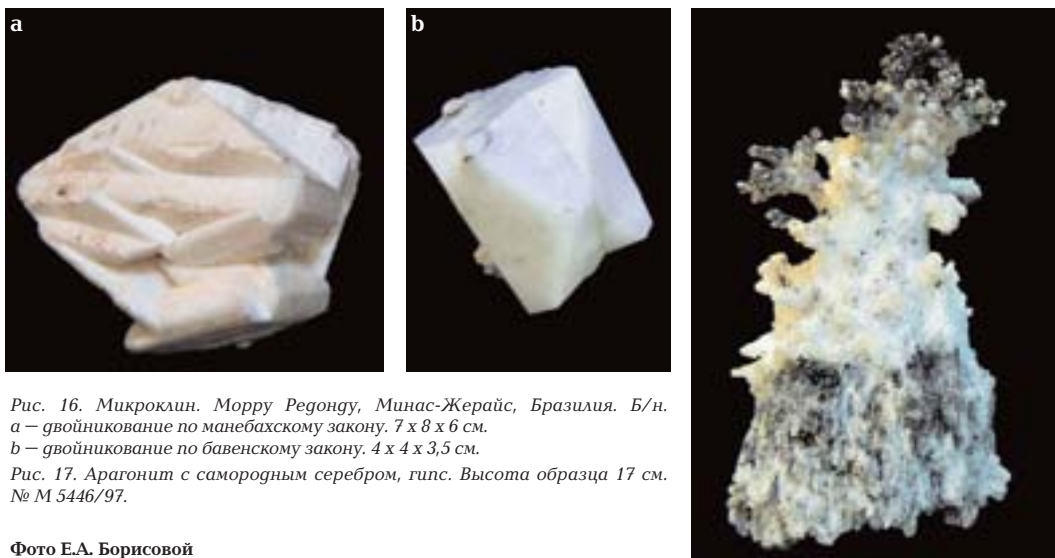


Рис. 16. Микроклин. Морру Редонгу, Минас-Жерайс, Бразилия. Б/н.  
 а – двойникование по манебахскому закону. 7 x 8 x 6 см.  
 б – двойникование по бавенскому закону. 4 x 4 x 3,5 см.

Рис. 17. Арагонит с самородным серебром, гипс. Высота образца 17 см.  
 № М 5446/97.

Фото Е.А. Борисовой

20 разных метеоритов и 6 типов тектитов образуют экспозицию «**Метеориты и тектиты**». Из первых следует упомянуть, прежде всего, две находки XVIII века. Как метеориты они, правда, были определены, скорее всего, позднее. Так, железный метеорит Толука (Toluca), Мексика, найденный в 1776 г., описан как метеорит только спустя 80 лет – в 1856 г. Другой – Риттерсгруен (Rittersgruen, Steinbach) – железный, с небольшими включениями силикатов – был найден в 1724 г. в Рудных горах (Германия) и тоже не мог быть сразу отнесен к космическим объектам. К находкам XIX века принадлежат палласит Бренем (Brenham), Канзас, США (1882 г.), и октаэдрит Каньон Дьявола (Canyon Diablo), Аризона, США (1891 г.).

Падения XIX века представлены Са-обогащенным ахондритом Станнерн (Stannern), Иглау, Чехия (22.05.1808), оливин-гиперстеновыми хондритами Завид (Zavid), Босния и Герцеговина (1897 г.) и Мокс (Mocs), Румыния (3.02.1882), оливин-бронзитовыми хондритами метеоритных дождей Кронштад (Cronstad), ЮАР (19.11.1877), и Пултуск (Pultusk), Польша (30.01.1868). Редкий образец углистого хондрита является частью метеоритного дождя Мурчисон (Murchison), Виктория, Австралия, выпавшего 28 сентября 1969 г. Общая масса упавшего вещества оценивается примерно в 100 кг, вес музейного образца – 143 г.

Тектиты представлены молдавитами (Чехия), филиппинитами (Минданао, Филиппины), индошинитами (Таиланд), беллитонитами (Индонезия), австралитами (Новый Южный Уэльс, Австралия) и образцами,

найденными в четвертичных аллювиальных отложениях в провинции Гуандун (Китай).

И, наконец, экспозиция «**Синтетические кристаллы**» отражает результаты работ сотрудников Института кристаллографии Кельнского университета по росту различных по составу фаз, в числе которых как органические (лимонная кислота, дибензоил, формиаты и оксалаты натрия, кальция, стронция), так и неорганические (сульфаты, фосфаты, нитраты, иодаты) соединения.

Таким образом, минералогическая коллекция ГеоМузея Кельнского университета, являясь в основе своей традиционной, хорошо приспособленной для нужд учебного процесса, отличается большим разнообразием эстетически значимых образцов, крупных и редких кристаллов, широко представленных в открытом для публики экспозиционном зале, что, безусловно, находит свой отклик в сердцах знатоков и любителей камня, привлекает детскую и юношескую аудиторию.

## Литература

- Евсеев А.А. Географические названия в минералогии. Краткий указатель. М.: Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, 2000. Ч. I. 269 с. Ч. II. 282 с.
- Толковый словарь английских геологических терминов. М.: Мир, 1978. Т. 2. 588 с.
- Kier H., Zehnder F.G. Lust und Verlust Koelner Sammler zwischen Trikolore und Preussenadler. Koeln: Museen der Stadt Koeln und Wienand Verlag Koeln, 1995. 695 s.

## ГЕНЕРАЛ И ЕГО КОЛЛЕКЦИЯ.

### СОБРАНИЕ МИНЕРАЛОВ Г.П. ЧЕРНИКА В МИНЕРАЛОГИЧЕСКОМ МУЗЕЕ ИМ. А.Е. ФЕРСМАНА

Н.А. Мохова

*Минералогический Музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, nina@fmm.ru*

М.Е. Генералов

*Минералогический Музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва*

В статье рассказывается о генерал-майоре русской армии Георгии Прокофьевиче Чернике, передавшем в музей более 300 образцов минералов. Дается описание современного состояния этого собрания.

В статье 6 цветных фото, в списке литературы 8 названий.

В станице Ясенской в Краснодарском крае находится уникальный народный краеведческий музей. В основу экспозиции положены материалы, переданные жителями станицы, и неудивительно, что его сотрудники очень трепетно относятся к информации о людях, передающих в музей экспонаты. Их портреты вы можете увидеть в залах, книга со списком авторов находится на самом видном месте. Интересна надпись, встречающая посетителей: «Музеи — это памятная книга человечества». Она заставляет задуматься о том, что даже музеи естественно-научного профиля, являющиеся собранием не только «памятников» природы, но и сохраняют память о людях, собравших и сохранивших эти памятники для следующих поколений.

Не является исключением и Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН. Список авторов, передававших образцы в музейный фонд, насчитывает более 3000 имен. Среди них известнейшие русские и зарубежные ученые, сотрудники музеев, студенты, школьники, любители и профессионалы, коллекционеры и меценаты.

### Биографические сведения

В этой статье речь пойдет о генерал-майоре русской армии Георгии Прокофьевиче Чернике. Его судьба как нельзя лучше отражает судьбу огромного числа людей, живших в переломную эпоху конца XIX — начала XX веков, и сам он являет собой образец увлеченного, разносторонне образованного человека, отлично служившего и находящего время для профессиональной научной работы.

Поиск материалов о Г.П. Чернике сам по себе походил на детективную историю. Лаколичные записи «полковник Черник» в книгах передачи коллекций не давали никаких сведений, кроме того, что это военный. Так в нашем воображении возник штабной офицер с

какими-то «особыми поручениями», побывавший на острове Борнео, на Суматре, Цейлоне, ведь именно оттуда были многие образцы, переданные им в музей. Сведения о военном, тем более полковнике, должны были быть в военных архивах. И действительно, в Российском Государственном Военно-Историческом архиве (РГВИА) был быстро найден послужной список Георгия Прокофьевича Черника. Сведения, в нем находящиеся, сразу перевернули наши представления — вместо «штабного полковника» мы увидели боевого генерала. Судите сами: мы публикуем ключевые выдержки из архивного документа (РГВИА, 1916). Пояснения в скобках даны авторами статьи:

*Послужной список Начальника инженеров XI армии военного инженера генерал-майора Черника Георгия Прокофьевича.*

*26 декабря 1916 год.*

*Генерал-майор Георгий Прокофьевич Черник.*

*Начальник инженеров XI армии.*

*Ордена: Св. Станислава I, II, III степени, Св. Анны II, III, Св. Владимира III степени с мечами и IV с мечами и бантом.*

*Родился 6 января 1864 года.*

*Из дворян Черноморского казачьего войска, зачислен по кубанскому войску в станице Челбаской. (Челбаская станица Ейского отдела Кубанской области в степной полосе, на реке Средний Чаглас, в 46 верстах от станции Леушковской Владикавказской ж.д.).*

*Православный.*

*Учился: Петровско-Полтавская военная гимназия. (Имеется в виду Петровский Полтавский кадетский корпус, который был открыт в 1840 г.; в 1865 г. был преобразован в военную гимназию; в 1886 г. снова стал корпусом.)*

*Николаевское военное училище. (Николаевское военное инженерное училище ведет свою историю от инженерной школы, учрежденной в 1804 г. Основано в 1819 г. под названием Главного инженерного училища. С*

1855 г. называлось Николаевским инженерным училищем в память императора Николая I. Училище размещалось в Санкт-Петербурге в Михайловском (Инженерном) замке. Выпускниками этого училища стали многие знаменитые деятели отечественной культуры и науки — Ф.М. Достоевский, Ц.А. Кюи, Д.В. Григорович, П.Н. Яблочков, Э.И. Тотлебен и другие.)

*Николаевская инженерная академия.* (Высшее военно-учебное заведение. Создана в 1855 г. в составе Императорской военной академии из офицерских классов Главного инженерного училища. С 1863 г. самостоятельный вуз. Выпускниками академии были генерал Д.М. Карбышев, художник А.С. Верещагин, архитектор Б.А. Малиновский, военный историк А.М. Зайончковский. В 1932 г. академия была переведена в Москву и реформирована.)

*Послужной список*

15.03.1882. Поступил по окончании гимназии в Николаевское военное училище, ЮНКЕР.

4.10.1882. УНТЕР-ОФИЦЕР.

14.08.1884. ПОДПОРУЧИК, 2-й Кавказский саперный батальон — прохождение действительной службы, во время которой, участвует в саперных работах по возведению береговых батарей в Батуме.

1.09.1886. Командирован в Петроград для держания приемного экзамена в Николаевскую Инженерную академию.

ШТАБС-КАПИТАН.

4.12.1888. По окончании полного курса Академии назначен на службу в Инженерный корпус и отправлен в распоряжение Главного Инженерного Управления.

16.11.1889. Назначен в Ивангородскую крепость, где служит до 1901 года и получает звание ПОДПОЛКОВНИКА.

13.04.1893. Состоит постоянным членом Русского физико-химического общества при Петербургском Университете.

13.03.1898. Согласно представленного им диплома Императорского Петроградского Минералогического общества от 29.01.1889 года за подписью августейшего Президента общества Принцессы Евгении Максимилиановны Ольденбургской, ... в воздаяние заслуг на пользу науки избран постоянным членом Императорского Петербургского Минералогического Общества.

26.11.1901. Откомандирован из Ивангорода в распоряжение Главного Инженерного Управления.

17.01.1902. Зачислен в Петроградское крепостное инженерное управление.

28.01.1904. ПОЛКОВНИК.

15.11.1904. Назначен в управление инспектора 3-й Маньчжурской армии и отбыл в действующую армию.

2.12.1904. Прибыл в Мукден.

Отдельные заметки об участии в боевых действиях.

Был в походе против Японии в 1904 — 1905 г.г., где находился в составе 3-й Маньчжурской армии. (Далее в послужном списке подробно расписано, как изо дня в день полковник Черник проводит рекогносцировку для определения положения орудийных батарей, практически все время находясь «под непрерывным огнем неприятельской артиллерии»).

25.02.1905. Будучи в числе лиц, совершивших отступление (из Мукдена) при арьергарде с командующим армии (Бильдерлинг Александр Александрович) участвовал в арьергардных боях, принимая непосредственное участие, под сильным перекрестным артиллерийским огнем, в попытках останавливать и устраивать отступавшие в беспорядке войска разных армий, составляя из отдельных людей команды. В этот день был контужен в голову (с уничтожением слуха на левое ухо, повреждением глаза и левой половины лица), но строя не оставил. Войдя в сферу артиллерийского и ружейного огня в 8 часов утра, вышел из нее лишь в 5 часов вечера. (В Мукденском сражении участвовало с обеих сторон восемь армий — около 600 тысяч человек и 2300 орудий. Боевые действия приобрели большой пространственный размах — свыше 150 км по фронту и 50 км в глубину. Сражение длилось 19 суток. В ходе сражения русские потеряли 89 тысяч человек, японцы — 71 тысячу человек).

27.02.1905. Вновь присоединился к штабу Армии, где исполнял отдельные поручения.

28.11.1905. Откомандирован в распоряжение Главного инженерного Управления.

19.07.1906. Назначен в число штаб-офицеров.

28.01.1909. Избран пожизненным действительным членом Русского Географического общества.

13.09.1914. Отправился на театр войны.

5.10.1914. Назначен в распоряжение зав. инженерной частью 8-й армии.

07.06.1915. Корпусной инженер 17-й армии.

Заметки об участии в боевых действиях.

30 апреля 1915 года ...под сильным неприятельским артиллерийским огнем восстановлены были переправы через реки Сань и Барич (в то время район российско-польской границы) и исправлены несколько мос-

тиков и подъездов к ним в объятый пламенем деревне Кальниково во время обстреливания ее ураганным огнем неприятельской артиллерии, прешествовавшим ее занятию австрийцами.

И далее многократно повторяющиеся записи: «осматривал окопы боевой линии 35-й пехотной дивизии. Окопы обстреливались неприятельской артиллерией» в этих записях меняются номера воинских частей, да иногда к артиллерийскому огню добавляется «ружейный огонь» или «рукопашная схватка».

Заметки «об участии в боевых действиях» заканчиваются записью: «дальнейшие сведения об участии в боевых действиях войск корпуса до 10 апреля 1916 года утеряны при пропаже вещей во время переезда по ж.д. из штаба фронта к месту нового служения и восстановлены с несомненностью быть не могут».

31.03.1916 — 14.08.1916. Руководитель работ I-й строительной партии тылового района армий Юго-Западного фронта.

10.04.1916. ГЕНЕРАЛ-МАЙОР.

25.10.1916. Начальник инженеров XI армии.

06.10.1916. Прибыл в штаб армии.

24.04.1917. Отбыл из XI армии к новому месту служения на должность Главного руководителя инженерных работ в тылу армий Юго-Западного фронта.

6.07.1917. Назначен Председателем Комиссии по учету и распределению технических сил Юго-Западного фронта.

12.10.1917. Откомандирован из действующей армии в Петроград для участия в заседаниях Комиссии по Обороне Государства.

26.10.1917. Возвратился из командировки в действующую армию.

Бытность вне службы.

Женат первым браком на Елене Алексеевне Кочинной, имеет дочь Екатерину (1.10.1884), сына Ростислава (21.09.1910) и дочь Людмилу (20.10.1916).

На этом список обрывается, но в нем имеются 2 более поздние вклейки:

1 мая 1922 года принял красную присягу.

15 апреля 1924 года уволен от службы по сокращению штата.

Дальнейшие поиски проводились в Российском Государственном военном архиве (РГВА), где хранятся документы, начиная с 1917 года. Поиска по персоналиям в архиве нет, поэтому пришлось дотошно перебирать документы Главного Инженерного Управления, в котором предположительно мог продолжать службу Георгий Прокофьевич. И действительно, оказалось, что с сентября

1918 года он является Постоянным Членом Инженерного Комитета Главного Военно-Инженерного Управления (ИК ГВИУ) — высшего научно-технического органа по военно-инженерному и техническому делу РККА. В рассмотренных делах не оказалось информации, сколько-нибудь проливающей свет на этапные события биографии нашего героя, но и частности иногда бывают интересны. Мы расположили наиболее любопытные, отражающие время или важные для биографии Г.П. Черника сведения в хронологическом порядке.

25 сентября 1918 года — Черник значится в списке лиц, «которыми предполагается заместить должности в ИК ГВИУ при его реорганизации по новому штату».

27 января 1920 года — в «Списке ГВИУ с указанием членов семьи, проживающих совместно с ними и состоящих на их иждивении» числятся: «постоянный член комитета Черник Георгий Прокофьевич, жена — Елена Алексеевна, сыновья Ростислав — 10 лет, Олег — 2 года, дочь Людмила — 3 года и родители жены Алексей Петрович и Павла Васильевна Кочкины».

Там же указан адрес, по которому проживала семья в Москве — Трубниковский переулок, дом 30.

Февраль 1920 года — фамилия Черник значится в списке сотрудников ГВИУ и подведомственных учреждений, «с коих удерживается трехдневный заработок в фонд «недели фронта» — 435 рублей».

Далее в делах множество раз фамилия встречается в списках на получение картофеля, муки, капусты, дров...

7 мая 1920 года — в списке постоянных членов ИК Черник числится в составе Секции фортификации, в графе «Личная специальность» запись — «химия и взрывчатые вещества».

Декабрь 1920 года — переписка по поводу установления Г.П. Чернику персонального оклада и служебная записка самого Георгия Прокофьевича, где он в частности пишет, что имеет около 40 печатных работ и является «одним из немногих специалистов по взрывчатым веществам».

10 июня 1920 года — «Военный инженер Черник Г.П. назначается постоянным представителем ГВИУ в Особом совещании при Чрезкомвзрыве (Чрезвычайный комиссар складов огнеприпасов и взрывчатых веществ) с оставлением в должности Постоянного члена ИК ГВИУ».

В делах за 1921 год сохранилось личное дело Г.П. Черника (РГВИ, 1921). Оно продолжает послужной список:

*Последний чин или звание в старой армии — генерал-майор*  
*С какого времени в РККА — 1918, сентябрь*  
*Служил ли в белой армии — прочерк*  
*Участие в войнах — 1904–1905, 1914–1918*  
*Был ли ранен, контужен — ранен, контужен*  
*Боевые награды РККА — прочерк*  
*Семейное положение — женат*  
*Дети и прочие члены семьи —*  
 4 сына: 33, 28, 12, 5 лет, 2 дочери: 38, 6 лет, внук: 6 лет, 2 внучки: 12 и 11 лет.

Хотелось бы отметить, что документы в делах за 1917–1923 годы весьма примечательны не только по содержанию, но и по своему внешнему виду. Часто они написаны или отпечатаны на оборотных сторонах старых бланков, обрывках листов, печатные экземпляры почти не читаются. Так и самый любопытный из найденных документов написан на оборотной стороне листа отрывного календаря за 21 августа 1922 года:

*Записка инж. №1101*

*Инженерный Комитет*

*11 июля 1923 год*

*№141704*

*Начальнику 1-го Главного военно-хозяйственного склада*

*Главное военно-хозяйственное управление уведомило, что по распоряжению ГНС(?) им выдан вам наряд от 27 июня за № 20578 на отпуск для Постоянного члена ИК ГВИУ Г.П. Черника, командированного в составе научной экспедиции для изучения Хибинского горного массива на Кольском полуострове 1 пары теплых чулок, 1 пары теплых портянок, 1 фуфайки шерстяной, 1 брезентового плаща, 1 пары валенок, 1 пары кожаных рукавиц, 1 шапки меховой, 1 поясного ремня, 4 аршин брезента. Т.к. Г.П. Черник уже отправился в командировку, то Инженерный Комитет просит об отправлении этих вещей заведывающему (орфография сохранена) технической библиотекою комитета П.М. Волкову, согласно выданной ему на это доверенности для отправки их по месту нахождения Г.П. Черника.*

Это последний из документов, найденных в военных архивах.

Уволенный из армии в апреле 1924 года Георгий Прокофьевич, видимо, посвящает себя минералогии и химии. То есть, он продолжает работу, которой уделял внимание всю свою жизнь. Сведения, относящиеся к этой стороне жизни Г.П. Черника, не систематизированы и взяты «по крупицам» из разных источников. Они также приводятся в хронологическом порядке.

Впервые о занятиях Г.П. Черника минералогией упоминается в документе из военного архива, когда 13 марта 1898 года он становится членом Минералогического Общества. В 1902 году появляется первая из найденных в каталоге РГБ печатных работ Георгия Прокофьевича — «Несколько слов касательно состава двух редких минералов, найденных вместе в Батумской области», *Ежегодник по геологии и минералогии России, Варшава, 1902.*

Всего в этом списке 22 статьи в различных изданиях, практически все они посвящены изучению химического состава минералов.

В Архиве РАН сохранились письма, написанные Г.П. Черником Владимиру Ивановичу Вернадскому. Одно из них содержит результаты анализа паразита из Маньчжурии :

*30 октября 1906 года.*

*Милостивый Государь Владимир Иванович!*

*В настоящее время мною закончены количественные анализы тех минералов редких земель, которые мне удалось найти в бытность мою в Маньчжурии и из коих Вы выбрали несколько кристаллов для кристаллографических (измерений). Минерал оказался как и предполагалось раньше, паразитом (предположительно музейный номер 16340), причем различены мною были 3 категории: одну составили самые прозрачные кристаллики буромедвяного цвета; другую — средние довольно прозрачные части цвета, сходного с преыдуущими, (составляющие)*

*Письмо Г.П. Черника В.И. Вернадскому (страница 1)*





Письмо Г.П. Черника В.И. Вернадскому (страница 2)

среднюю часть некоторых кристалликов и потому наиболее совершенные и наиболее многочисленные — те, из которых Вы выбрали примеры для измерений.

Несмотря на малое количество исходного материала, мне все-таки удалось закончить анализы, по-видимому, даже удовлетворительно и поэтому мною заготовлена небольшая записка, переданная через А.П. Карпинского для напечатания в Зап. Мин. Общ. Там же я включил анализы зерен, найденных совместно с паразитом и оказавшиеся малаконом.

Касательно Вашей работы, я ограничился лишь упоминанием, что кристалло-графические исследования проводились Вами, и найдено сходство с паразитом из Montana. Более подробно касаться этого вопроса я не мог, не считая себя на то вправе и не зная Ваших дальнейших намерений.

Если Вы пожелаете, то А.П. сказал, что заметку можно будет дополнить Вашими результатами или .....(неразборчиво).... На случай, если Вы интересуетесь результатами, то здесь привожу их:

Если бы Вам угодно было ознакомиться с подробностями, то моя заметка находится у А.П. Карпинского, который вероятно не откажется ее Вам дать для ознакомления, так как едва ли можно надеяться на их скорое напечатание.

Прошу Вас, Милостивый Государь, принять уверения в совершеннейшем моем по-

чтении и постоянной готовности к Вашим услугам.

Здесь надо заметить, что в коллекции музея сохранились 4 образца из Маньчжурии и собраны они, по-видимому, во время русско-японской войны, хотя переданы в Музей в 1906 — 1907 годах.

Второе письмо носит скорее личный характер:

26 марта 1917 год.

Многоуважаемый Владимир Иванович!

Поздравляю Вас с наступающими праздниками Пасхи и шлю Вам свои наилучшие пожелания.

Как отразились последние события на Вас? Просматривая «Киевскую Мысль» и «Русское Слово», я не встречал Вашей фамилии, между тем полагаю, что волна событий, перекатившаяся над Петроградом, едва ли не задела Вас. На нас здесь внутренняя разруха сказывается скверно: при свободе печати в войска пропускают крайнего характера постановления Совета рабочих депутатов и расшатывают (в корне?) дисциплину. Конечно зачастую приходится прибегать к суровым мерам, к преданию суду, когда уговоры и увещания не действуют. Громадная ошибка была допустить армию здесь заниматься политикой, она совершенно не (увязывается) с суровыми реалиями военной обстановки.

Присягу войска принесли Временному Правительству единодушно и вполне искренно, узнавши об отречении Государя от престола и полагаю, что если бы (были) сделаны попытки контрреволюции, то они абсолютно не найдут у них поддержки. Я, конечно, говорю про нашу XI армию.

Одного можно было бы желать, если бы Временное Правительство проявило немедленно всю полноту и всю мощь своей власти и не позволило бы вмешиваться в свои распоряжения...

На этом текст обрывается: видимо, остальная часть письма не сохранилась.

В литературе найдены сведения, что Г.П. Черник в 1921 г. выделил из сростаний с самарскитом и другими минералами и проанализировал фергусонит-(Y) из образцов Блюмовской копи 1914 года сбора (Попов, Попова, 2006).

В 1923 г. Георгий Прокофьевич отправляется в Хибинны с экспедицией А.Е. Ферсмана. Результатом этой экспедиции явились 6 статей, посвященных химическим исследованиям хибинских минералов (кальциевого анцилита, вёлерита, эвдиалита).

В 1927 г. (по некоторым непроверенным сведениям, по заданию А.Е. Ферсмана) Георгий

гий Прокофьевич отправляется в Прибайкалье, где занимается исследованием минералов Слюдянки.

Минералогии Хибин и Слюдянки были посвящены и последние из найденных, опубликованных работ Г.П. Черника: «*Результаты анализа некоторых минералов Хибинского лакколита Кольского полуострова*», Горный журнал, 1927 г. и «*К минералогии Слюдянки*», Труды Минералогического музея Академии Наук СССР, 1927 г., вып.3.

21 образец из собранных Г.П. Черником в Хибинах хранится в Государственном Геологическом музее, 97 образцов со Слюдянки — в нашем музее.

Упоминание о Г.П. Чернике в литературе встречается в опубликованных дневниках В.И. Вернадского (2006). В записи от 28 декабря 1938 г. читаем: «Выясняется, что уже в 1921 году была готова статья Сам(ойлова) о метеорите Кашинском — а затем, по-видимому, (возникли) сомнения в анализах Черника ....»

К этой записи есть примечания ответственного редактора издания доктора геолого-минералогических наук В.П. Волкова: «Черник Георгий Прокофьевич (1864 — ?) — минералог, химик. В начале 30-х годов — инженер Института механической обработки полезных ископаемых (Механобра). Автор многих публикаций по химической минералогии».

Есть более позднее упоминание о Г.П. Чернике, но это уже сведения, требующие более тщательной проверки, которая, увы, невозможна. В инвентарной книге Минералогического музея РАН записаны два образца смитсонита (№34307 и №34308), которые поступили в музей в 1933 г., но в книге есть примечание — «сбор 1932 года».

И наконец, последний опубликованный материал о Георгии Прокофьевиче — в 1934 году в Ленинграде, в издательстве АН СССР вышла книга «Научные работники Ленинграда». В книге содержатся сведения, «даваемые о каждом работнике, ... о его научной специальности которые, как правило, по возможности точно отражают данные, сообщаемые о себе самими научными работниками». Сведения же следующие: «Черник Георгий Прокофьевич, р. 1864 год, Инженерно-строительное дело, строительная механика, аналитическая и минералогическая химия, анализ минералов редких земель. Ул. Пролетарской Победы, 63, кв.16. Научный сотрудник АН, инженер Механобра». Стоит членом Секции научных работников». То есть в 1934 г. Георгий Прокофьевич Черник жил в Ленинграде и работал инженером

в институте «Механобр».

Установить дату смерти Георгия Прокофьевича вначале казалось невозможным. Поиски в архивах ни к чему не приводили. Помогли нам работники Василеостровского ЗАГСа. По нашей просьбе они разыскали свидетельство о смерти, в котором говорится, что «Гражданин Черник Георгий Прокофьевич... умер 12.01.1942 г., в возрасте 77 лет, о чем в книге записей актов о смерти составлена запись за № 2710 от 17.01.1942 г. Место смерти — г. Ленинград, причина смерти — дистрофия». Комментарии к такой записи вряд ли нужны.

### **Образцы Г.П. Черника в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН**

Всего Георгий Прокофьевич передал в музей 399 образцов, они включают 135 названий, из которых 105 — минеральные виды в современном их понимании.

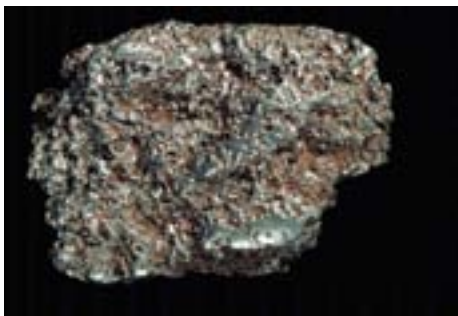
По местонахождению образцы представляют 82 зарубежных и 2 российских (Ильмень и Слюдянка) месторождения.

Среди этих образцов есть ряд редких видов и разновидностей минералов. Уникальна и географическая привязка многих поступивших в музей материалов. Только образцами Черника представлена платина с острова Борнео, горсейксит из Бразилии, уранинит с Цейлона, эвксенит с Волыни, графит из Бирмы, касситерит с Малаккского полуострова в Малайзии. Из 99-ти музейных образцов с Борнео (Калимантана) 52 переданы Черником, как и 18 из 19 имеющихся образцов с Суматры.

Необходимо отметить, что Г.П. Черник передавал в музей не цельную коллекцию (как многие наши авторы), а отдельные образцы в течение 30 лет, с 1903 по 1933 г., некоторые из них можно увидеть на рисунках 2 — 7. Мы попытались реконструировать порядок поступления образцов. Детали этой реконструкции, конечно, не претендуют на абсолютную достоверность.

Итак, в 1884 г. подпоручик Г.П. Черник служит в Батуми и участвует в саперных работах. Видимо, в это время собраны образцы с Кавказа. Среди них есть уникальные природные сплавы благородных металлов — родит (родистое золото) и порпецит (палладиевое золото).

Гораздо позже, при микрозондовом исследовании переданного Черником порпецита было установлено, что кроме фаз с преоб-



Платина, 2,5 x 1,5 см. Чоко, Колумбия. ФММ No 5195  
Турмалин, большой кристалл: 3 см.  
Курувити, Ратнапура, Шри-Ланка. ФММ No 11256



ладанием золота (составы AuPd — Au<sub>2</sub>Pd), в сростании с ними есть фазы, где палладий заметно преобладает. Его содержание в отдельных точках достигает 94,4 мас. %. То есть, здесь дополнительно обнаружен еще один исключительно редкий минерал — самородный палладий. Интерес Черника к химии благородных металлов подтверждает и единственный поступивший от него образец синтетического вещества — игольчатые кристаллы амальгамы золота, синтезированного, судя по записям, химиком Федором Васильевичем Вильмом (1845 — 1893). Очевидно, сотрудничество Черника с Вильмом — специалистом в химии платиновых металлов — и объясняется находка столь редких минералов.

20.11.1895 — 20.12.1896. Подполковник Черник во время отпуска отправляется в двухмесячный заграничный вояж (РГВИАУ, 1900). Судя по срокам, это было путешествие в Европу. В коллекцию музея был передан 51 образец, большинство из Германии и Норвегии. Видимо, часть образцов была куплена или передана Чернику учеными, с которыми он встречался в Европе. Так, в книге записей в примечании к образцам № 5237 (ксенотим) и № 12126 (дизаналит) есть записи — «от проф. Майера» и «от проф. Гуссака». Очевидно, в Европе был куплен и самородок платины из Колумбии, массой 38,25 г, поступивший в музей в 1903 году, вместе с рядом других образцов из Европы.

15.11.1904 — 28.11.1905. Полковник Черник служит в действующей армии в Маньчжурии. Наверное, тогда были собраны каменный уголь и интересный образец янтаря из Сучанских угольных копей.

Самым любопытным представляется, конечно, путешествие Черника на Восток. Судя по переданным образцам и опубликованным работам, он побывал на острове Борнео, на Суматре, Шри-Ланке, Мадагаскаре, в Индии, Пакистане и Таиланде. Вполне возможно, что

география этого путешествия была более узкой, а часть образцов из ряда стран приобреталась у компании «The Borneo company's Mines» (о чем есть примечание в базе данных) или у других собирателей.

Документальных свидетельств о дате этой поездки нет. Можно предположить, что она состоялась в период с 1906 г., когда Г.П. Черник был «назначен в число штаб-офицеров», и до 1909 г., когда он был избран «пожизненным действительным членом Русского Географического общества». Между двумя этими событиями в послужном списке записей нет. В книге передачи коллекций есть запись, в 1909 году — «часть собрана лично», т.е. сам факт такой поездки практически не вызывает сомнений.

Образцы с Кольского полуострова были собраны во время Хибинской экспедиции 1923 года. В 1927 г., как уже упоминалось, Черник работал на Слюдянке.

Однако при ближайшем рассмотрении образцов, переданных Черником, можно заметить, что принцип их отбора заметно отличался от традиционного для того времени. Здесь практически нет «экспозиционных» образцов, ограненных кристаллов, эстетически привлекательных штуфов, даже из регионов, славящихся своими коллекционными образцами, таких, как штат Минас-Жерайс в Бразилии, Шри-Ланка, индийский Кашмир, месторождения ювелирных корундов Юго-Восточной Азии. Зато довольно широко представлены типичные образцы коренных руд и россыпей, являющиеся источниками ряда элементов — Mn, Ni, Cr, Zr, Zn, Sn, радиоактивных (U, Th), редких (Ta, Nb), редкоземельных (Y и лантаноиды), благородных (Au, платиноиды). Образцы золота и платины с Борнео представляют собой обогащенные шлихи массой от 0,5 до 1,2 грамма, и мелкие отдельные зерна железо-платиновых и осмий-иридиевых ми-

нералов, массой в сотые доли грамма.

Похоже, минералы представляли интерес для Черника прежде всего как материал для изучения химических элементов в земной коре — эту задачу взяла на себя возникшая на рубеже конца XIX — начала XX вв. новая научная дисциплина — геохимия.

Это же время ознаменовалось заполнением последних пустых клеточек таблицы Менделеева (по крайней мере, стабильными элементами). Особенно много открытий в это время преподнесла группа лантаноидов. По списку образцов, переданных в Минералогический музей, и печатным работам заметен повышенный интерес Черника именно к минералам редкоземельных элементов. Даже под Мукденом «под непрерывным огнем неприятельской артиллерии» ему удалось добыть мелкие (до 3 мм) кристаллики кальций-редкоземельного фторид-карбоната — паразита.

Вероятно, кроме интереса химика-первооткрывателя у Черника была и задача изучения перспективного стратегического сырья. Группа металлов Mn, Ni, Cr давно известна как легирующие добавки к сталям. Возможно, с военной металлургией связан интерес к минералам циркония и редких элементов. Обычно образцы Черника невелики (некоторые образцы не превышают по массе нескольких сотых грамма), а вот целых 8 записанных образцов циркониевой руды — циркита из Бразилии имеют массу в несколько килограммов. Это больше похоже на материал для опытов полупромышленного масштаба. Известно, что добавление уже 0.1% Zr сильно повышает твердость и вязкость стали, что необходимо для изготовления броневых плит и щитов. Относительно большой подборкой в коллекции представлен колумбит. Ниобий в качестве

легирующей добавки и деазотизатора используется в производстве орудийных и жаропрочных сталей.

Понятен и стратегический интерес к оловоносному сырью Юго-Восточной Азии — до 30-х годов XX века Россия была практически лишена сырьевой базы этого металла.

И, очевидно, только поиском «энергоносителей» для российского флота в тихоокеанском регионе можно объяснить интерес к каменному углю (его образцы из Суматры и Борнео записаны в фонд музея) и нефти (как было указано в инвентарных книгах — 10 склянок из разных скважин Борнео и 98 (!) — из скважин Суматры). Нефть позднее (в 1929 г.) была передана в Институт Нефти.

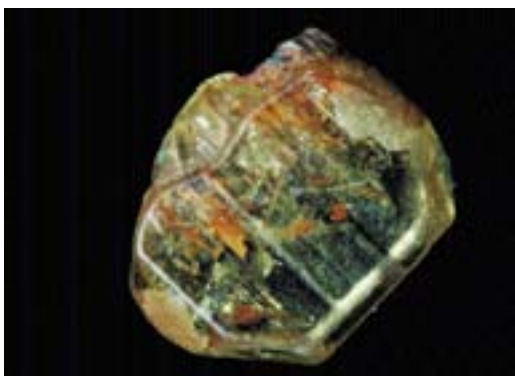
Возможно, не только поисками новых элементов объясняется интерес Черника к минералам редкоземельных и радиоактивных элементов. Всего 20 лет прошло от обнаружения Рамзаем радиогенного гелия в минералах до бомбежек Лондона немецкими дирижаблями, наполненными гелием, который добывали из монацитовых песков, подобных тем, которые были переданы Черником в коллекцию музея.

Некоторые представления о личных связях Черника в 1912 г. дает запись у одного из переданных им в музей образцов кальцита из окрестностей Алупки: «Сад Великого Князя Георгия Михайловича (терраса Ай-Петри)». Неудивительно, что инженер-полковник, член Русского Географического общества мог оказаться в имении великого князя. Внук Николая I — Георгий Михайлович Романов — практически ровесник Черника, офицер лейб-гвардии Конной Артиллерийской бригады, мог быть знаком с Георгием Прокофьевичем не только по военной линии. Георгий Михайлович являлся управляющим Русского Музея императора

Монацит, (тах 2 см). Балангода, Ратнапура, район Сабарагамува, Шри-Ланка. ФММ No 11261



Корунг, 11 x 8 см. Сапфировые копи (Sapfir Mine), Кашмир, Индия. ФММ No. 19057



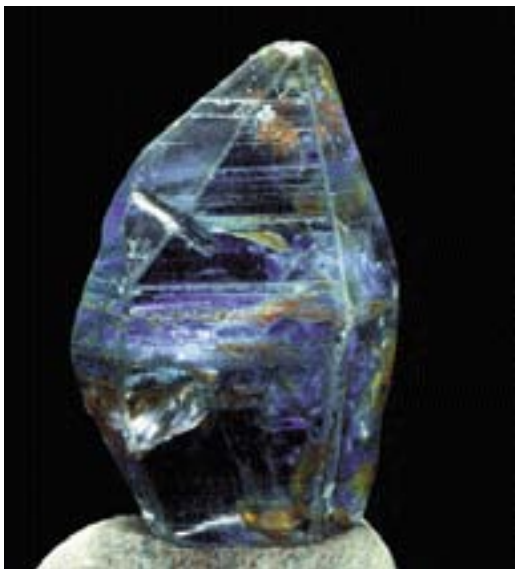
Хризоберилл, 1 x 0,7 см. Матара район, Шри-Ланка.  
ФММ No. 11266

Касситерит, 3 x 2 см. Перак, полуостров Малакка,  
Малайзия. ФММ No. 19027

Фото: Михаил Лейбов

Александра III с момента его основания. Черник же знаком и сотрудничает, по крайней мере, с 1906 года, с В.И. Вернадским, заведовавшим в то время минералогическим отделением другого Петербургского музея — Геологического музея академии. Именно в 1912 году после переезда из Москвы Вернадский приступает к непосредственной работе в музее, переименованном в «Геологический и минералогический музей имени Петра Великого». В этом же году поступили в музей ряд образцов В.И. Вернадского, собранных в Крыму, в том числе близ Алупки. Таким образом, оснований для предположе-

Корунд, 0,8 x 0,5 см. Ратнапура, Шри-Ланка.  
ФММ No 11301



ний о знакомстве и встречах Черника и Вернадского с великим князем достаточно. После 1919 г., когда Георгий Михайлович с другими великими князьями был расстрелян во дворе Петропавловской крепости, сохранения свидетельств о связях Г.П. Черника и сотрудников Минералогического музея с членами царской династии, естественно, ожидать трудно.

Возможно, сотрудничество с Черником другого сотрудника «Геологического и минералогического музея имени Петра Великого» — А.Е. Ферсмана, дало последнему разнообразные сведения о стратегической роли минерального сырья, что в дальнейшем отразилось в работе Ферсмана в Комиссии по изучению естественных производительных сил России (КЕПС), в работах «Геология и война», «Война и стратегическое сырье», «Атомы на войне».

## Литература

- Архив РАН. Опись 3, док. **1787**.  
Архив РАН. Опись 3, док. **1786**.  
*Вернадский В.И.* Дневники (1935—1941). М.: Наука, **2006**. 194 с.  
*Попов В.А., Попова В.И.* Минералогия пегматитов Ильменских гор. Минералогический альманах. М.: Экост, **2006**. 152 с..  
РГВИА. Фонд 409, опись 2, дело 29912, п/с 330—919. **1916** г.  
РГВИА. Фонд 409, опись 1, дело 160707, п/с 110—669. **1900** г.  
РГВА. Фонд 22, опись 5, дела 641, 551. Опись 2, дела 37, 50, 79.  
Научные работники Ленинграда. Л.: АН

УДК 069:549

## ВЕНЗЕЛЬ НА БАЗАЛЬТЕ. ИСТОРИЯ ОДНОГО ЭКСПОНАТА МУЗЕЯ

М.Б. Чистякова

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, mineral@fmm.ru

В статье помещены данные о легендарном месте образования одного из экспонатов Минералогического музея, об истории появления его в России и сведения о его первом владельце — великом князе Константи́не Николаевиче.

В статье 3 рисунка и список литературы из 6 названий.

Среди многочисленных экспонатов, поступивших в Минералогический музей в 20-е годы XX столетия из самых разнообразных источников, есть и такие, которые несут на себе знаки, позволяющие выяснить имя их бывших владельцев. А иногда и историю появления этого предмета у них. К таким знакам принадлежат монограммы, вензеля и другие надписи, авторские наклейки. К сожалению, даже при наличии таких подсказок это не всегда удается, так как вещь может до появления в музее сменить не одного хозяина, и вензель на вещи не поможет узнать, кто был первым. Нам удалось установить первых собственников лишь нескольких таких предметов, хранящихся в коллекции поделочных и драгоценных камней музея.

Одним из таких экспонатов оказался небольшой кусок отполированного с двух сторон черного базальта. К одной его стороне прикреплена плоская золотая монограмма из объединенных между собою букв К, Н и Р. На другой выгравирована надпись *Fingal's Cave* и дата *July 6/18 1847* (рис. 1).

В музей экспонат поступил в 1926 г. среди прочих предметов, переданных по общему списку из Гатчинского и Строгановского дворцов (ГЭ). Наличие буквы «Р» и отсутствие «С» (имеется в виду фамилия Строгановых) позволило предположить, что вещь могла принадлежать одному из членов царской семьи. Начальные буквы и дата (1847 г.) указывали на великого князя Константина Николаевича Романова (1827–1892 гг.). Однако такое удачное совпадение было не слишком убедительным для утверждения, что этот обломок базальта принадлежал именно ему. Пришлось обратиться к биографии великого князя.

Константин Николаевич — младший и любимый брат императора Александра II, с детства был предназначен для военно-морской службы. Его учителем был прославленный исследователь Арктики Ф.П. Литке. Помимо необходимых для будущей деятельности предметов, мальчик изучал и гуманитарные науки

— историю, литературу, философию, европейские языки, занимался музыкой. Он стал одним из самых образованных людей России того времени. Его обширная библиотека была наполнена не только книгами по кораблестроению и другим точным наукам, но и по истории, географии, различным видам искусства. Он прекрасно знал современную ему литературу, увлекался коллекционированием живописи, превосходно играл на виолончели.

С 1850 г. началась государственная служба Константина Николаевича в морском ведомстве. Он был либералом и действительно был сторонником многих преобразований. Великий князь был убежденным противником крепостного права и приложил много усилий для проведения реформы по его отмене в 1861 году. Еще ранее благодаря его стараниям и настойчивости были освобождены крестьяне, находившиеся в крепостной зависимости от Адмиралтейства (1858 г.). С 1861 по 1881 г. Константин Николаевич возглавлял Главный комитет по устройству сельского хозяйства, с 1862 по 1863 г. был наместником Польши, с 1865 г. — председателем Государственного Совета, в 1870 г. принимал участие в проведении военной реформы. Успевал он интересоваться и искусством и в 1873 г. возглавил Императорское музыкальное общество. Это далеко не полная характеристика интересной личности великого князя. Он прожил яркую жизнь, полную бурной государственной деятельности и сложных личных переживаний (Барковец, 2002), но нас в связи с выяснением истории музейного экспоната интересует лишь очень краткий период времени его жизни — лето 1847 г. (с 6 по 18 июля, если быть совершенно точными).

Как уже упоминалось, великий князь с детства готовился к военно-морской деятельности. В 8 лет он уже числился командиром военного брига «Геркулес», в 17 лет самостоятельно командовал брига «Уллис», а в 20 лет в чине капитана первого ранга совершил две морские экспедиции вокруг Европы на большом фрегате «Паллада». Это был 1847



Рис. 1. Базальт из Фингаловой пещеры (остров Стаффа, Внутренние Гебриды, Шотландия) с вензелем КНР и гравированной надписью. Длина 9,5 см. (ПДК-1609).

год, указанный на нашем экспонате рядом с названием Fingal's Cave (Фингалова пещера) — широко известной к тому времени и в Европе, и в России пещеры, возникновение которой связывалось с подвигами древних кельтских героев. Как следует из дневника Константина Николаевича, в мае 1847 г. он отправился в Англию после помолвки с принцессой Саксен-Альтенбургской. Во время достаточно длительного путешествия по этой стране он осматривал разного рода достопримечательности: замки, водопады, зверинцы, заводы, фабрики, музеи, картинные галереи и многое другое. В том числе и знаменитую Фингалову пещеру (Дневник великого князя).

Имена Фингала и его сына Оссиана появились в изданном в 1762 г. в Лондоне сборнике старинных шотландских преданий «Поэмы Оссиана» Джеймса Макферсона. Автор утверждал, что во время пребывания в Шотландии в его руки попали древние рукописи, содержащие легенды III века на гэльском (кельтском) языке, которые он пересказал на английском. Это был цикл лирико-эпических сказаний с центральным героем Фингалом, королем легендарного государства Морвен на западном побережье Шотландии. Древний автор поэм — старший сын Фингала, воин и бард Оссиан (Macpherson, 1762). Вскоре завязались жестокие споры по поводу подлинности материала. Макферсон обещал предоставить неверующим рукописи для просмотра, но так никогда этого и не сделал. Споры продолжались десятилетия, но независимо от степени доверия к древности поэм они имели всеевропейский успех и вызвали множество подражаний.

«Поэмы Оссиана» с картинами величественной природы, с пространными описаниями битв, побед и поражений древних героев, их любовных радостей и страданий, с оплакиванием близких и скорбью об ушедших героических временах оказали огромное влияние на развитие романтизма и сентиментализма практически во всех видах искусства. На ос-

сианические сюжеты сочинялись драмы, оперы. Упоминания Оссиана и мотивы его поэм прослеживаются в произведениях В. Скотта, И.В. Гете, Д.Г. Байрона. Художники Ф. Жерар, А. Жироде, Ж. Энгр по заказу Наполеона писали романтические пейзажи и сюжеты с оссиановскими героями для дворца Мальмезон (рис. 2).

К 30 — 40 гг. XIX века романтизм уже ярко проявился и в музыке. В 1829 году пещеру на острове Стаффа, связанную с легендами Оссиана, посетил Ф. Мендельсон. Она произвела на него огромное впечатление. Вдохновленный величественным творением природы и героико-поэтическим пафосом «Поэм Оссиана», он написал концертную увертюру «Гебриды», или «Фингалова пещера» (1830 — 1832 гг.). После появления этой увертюры за пещерой окончательно закрепилось название Фингаловой.

Следует сказать, что в конце XVIII столетия Оссиан проник вместе с романтизмом и сентиментализмом и в русскую литературу (Левин, 1980). Первые сведения об Оссиане и его песнях появились в русской печати в 1781 г. в переводе романа И.В. Гете «Страдания молодого Вертера», а 1792 г. вышло полное издание «Поэм...». Практически вся пишущая и читающая публика России того времени была увлечена песнями древнего барда. Он стал любимым поэтом юношества, но и зрелые мастера попали под его влияние. Оно проявилось и в одах Г.Р. Державина, и в творчестве Н.М. Карамзина, а позже у А.С. Пушкина, М.Ю. Лермонтова, Н.И. Гнедича и др. Появляются произведения под названием «Тень Оссиана», «Подражание Оссиану» и им подобные. В 1805 г. была поставлена трагедия В.А. Озерова «Фингал», продержавшаяся на сцене Петербурга полвека.

Поэзия Оссиана воспринималась как народная и героическая. Особый смысл она приобрела после публикации в 1800 г. древнейшего произведения русской литературы — «Слова о полку Игореве». Оба эпоса вос-



Рис. 2. Картина Ф. Жерара «Оссиан». 1801 г.



Рис. 3 Фингалова пещера (рисунок по книге И.В. Мушкетова)

принимались как аналогичные образцы древней воинственной поэзии.

В годы Отечественной войны с Наполеоном героические мотивы «Поэм Оссиана» были созвучны патриотическому пафосу России. Это проявилось в поэзии В.А. Жуковского, К.Н. Батюшкова, К.Ф. Рыльева и др.

Таким образом, к интересующему нас времени (1847 г.) песни Оссиана о подвигах его отца Фингала и о местах, где эти подвиги совершались, были хорошо известны образованным слоям российской публики. Царский двор не мог быть исключением. Естественно, и молодой великий князь Константин Николаевич был хорошо осведомлен о существовании знаменитой пещеры и о легендах, связанных с нею. И среди достопримечательных мест, которые следовало посетить во время круиза вокруг Европы на фрегате «Паллада», оказалась и знаменитая пещера.

Фингалова пещера и без легенд о ней достойна внимания. Как уже упоминалось, она расположена на острове Стаффа у западного побережья Шотландии (Внутренние Гебридские острова). Она входит в состав природного Национального парка Шотландии и является ее национальным достоянием.

Огромная пещера вымыта морским прибоем в отвесной скале вулканического острова между двумя рядами базальтовых колонн (рис. 3). Длина ее, по разным данным, достигает 70–85 метров, высота — от 20 до 30 м. Своими масштабами и правильной формы колоннами вдоль стен она напоминает величественный и таинственный храм. Пол ее покрыт водой, и во время прилива волны издают странный и сильный звук, слышимый на далеком расстоянии. Этот гул производит мистическое впечатление и заставляет вспомнить героическое прошлое этих мест, когда Оссиан построил эту пещеру для своего отца Фингала. Посетивший пещеру В. Скотт писал, что она — самое необычное место, какое он видел, и

считал, что никакие описания не могут передать впечатление, ею производимое.

Великого князя пещера тоже не оставила равнодушным. 6-го июля 1847 г. он записал в своем дневнике: «Снялись с якоря и пошли по Северную сторону Острова Муль (Mull). Около 9 часов утра мы подошли к острову Стаффа. Чрезвычайно странны его базальтовые бока. К счастью, море было совершенно спокойно, так что мы могли войти в знаменитую Фингалову пещеру. Это точно великолепное зрелище» (Дневник великого князя). Впечатление было столь сильным, что Константин Николаевич не только сохранил обломок базальта из пещеры, но и велел оформить его как памятный сувенир со своими инициалами и датой посещения.

Когда и каким образом этот экспонат попал в Гатчину, откуда он, судя по документам, поступил в Минералогический музей, неизвестно. Принадлежность же его великому князю Константину Николаевичу сомнений более не вызывает.

## Литература

Барковец О.И. Династия Романовых. Великий князь Константин Николаевич. Петергоф: Абрис. 2002.

Г.Э. Архив Государственного Эрмитажа. Фонд IV. Т. 2. Оп. 14. Дело 192. № 165.

Дневник великого князя Константина Николаевича за 1847 г. ГАРФ. Фонд 722. Оп.1. Дело 86.

Левин Ю. Д. Оссиан в русской литературе: конец XVIII — первая треть XIX в. Л.: 1980.

Мушкетов И.В. Физическая геология. М.-Л.: Госиздат. 1924. Т.1. С. 434.

Macpherson J. Fingal, an ancient epic poem, 6 books: together with several other poems, composed by Ossian the son of Fingal. Transl. From Galic language, by James Macpherson. London, 1762 // Цитируется по Ю.Д. Левину «Поэмы Оссиана» Джеймса Макферсона. М.: Наука. 1983.

## ЦАРСКОЕ ЛИ ЭТО ДЕЛО?

### О коллекции минералов Государя Наследника Цесаревича

М.Е. Генералов

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, [mgen@fmm.ru](mailto:mgen@fmm.ru)

Коллекция, переданная (по крайней мере, частично) в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана из Музея Города в 1923 г. была в основном сформирована в 70-х годах XIX века, в период царствования Александра II. Первоначально она предназначалась для цесаревича Александра Александровича (будущего императора Александра III), потом пополнялась для цесаревича Николая Александровича (будущего императора Николая II) и, вероятно, использовалась им в учебе.

Состав коллекции, география поступлений и принципы, на которых была построена систематизация коллекции, дают возможность оценить состояние горного дела и уровень минералогической науки России в середине XIX в.

В статье 6 цветных фото.

Российская история распорядилась так, что в обширной коллекции Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана оказались образцы минералов и горных пород, некогда принадлежавшие царской семье. Ценности этим образцам существенно добавляет поступивший вместе с ними рукописный каталог, озаглавленный «Каталог коллекции минералов, принадлежащих Государю Наследнику Цесаревичу».

Эти материалы в Минералогический музей попали в 1923 г. из Музея Города, о чем в книге поступлений авторских коллекций Минералогического музея была сделана запись N 1682: «Музей Города, быв. Аничков дворец, Собрано в 1890 г. гор. инж. Нефедьевым в Горн. ин-те для бывш. наслед. Николая II».

Что представлял собой Музей Города? Учрежден он был декретом Наркомпроса за подписью А.В. Луначарского 4 октября 1918 года, а основу музея составили экспонаты музея городской Управы и позже присоединенного музея Старого Петербурга. Исключительной ценностью обладали исторические интерьеры Аничкова дворца, в котором разместились основная часть экспозиций. Здесь находились покои Александра III и Марии Федоровны, которые жили в Аничковом дворце с 1866 года. Здесь же прошло детство и отрочество Николая II.

Музей Города был крупным научным и просветительским центром, посвященным не только городу на Неве, а быту, архитектуре «города вообще», урбанистической культуре. Музей Города был местом общения архитекторов, художников, ученых. Здесь читали лекции и бывали на них А.М. Горький, А.Ф. Кони, А.А. Блок, А.В. Луначарский. Руководил музеем первый главный архитектор Ленинграда Л.А. Ильин.

В 1928 г. Музей Города начинает расформировываться. Ликвидируются исторические интерьеры царских покоев. Библиотека Николая II и вдовствующей императрицы Марии Федоровны были переданы в Библиотеку им. В.И. Ленина в Москву. Значительная часть собрания, в том числе ряд уникальных экспонатов, были проданы за рубеж. Окончательно музей был закрыт в 1935 г. в связи с созданием здесь Ленинградского Дворца пионеров. Часть его экспонатов сохранилась в коллекции Государственного музея истории Санкт-Петербурга.

Кто же такой горный инженер Нефедьев? В каталоге после разделов есть подпись, сделанная тем же почерком, что основной текст (вероятно рукой писаря): «*Действительный статский советник*», и личная подпись «*В. Нефедьев*». Упоминание в книге поступлений коллекций Минералогического музея о Горном институте указывает на Василия Васильевича Нефедьева.

Старший сын мастерового Санкт-Петербургского монетного двора, В.В. Нефедьев родился в 1796 г. Он начал службу на том же монетном дворе пробирным учеником в 1811 г., а год спустя был переведен в Горный Кадетский корпус (ныне это Санкт-Петербургский Государственный горный институт). Здесь он учился, а затем преподавал минералогию и ориктогнозию (петрографию). С 1825 по 1849 гг. он был смотрителем музея Горного Кадетского корпуса и Института Корпуса горных инженеров (так Горный институт именовался в период 1834–1866 гг.).

В 1871 г. в Санкт-Петербурге был опубликован «Краткий каталог минералогического собрания музея Горного института», составленный полковником В.В. Нефедьевым. «Полковнику» здесь удивляться не приходит-



Рукописный каталог коллекции и некоторые из записанных в нем образцов.

сы, с 1834 года и до нашего времени Горный институт отличается военизированностью; полувойенной организацией в России была вся горная служба, и чин полковника (берг-гауптмана в горных чинах) соответствовал VI классу Табели о рангах — чину коллежского советника. В 1875 г. Василий Васильевич Нефедьев (уже профессор) становится почетным членом Императорского минералогического общества.

Но коллекцию для цесаревича Николая в 1890 г. (как это записано в книге поступлений коллекций Минералогического музея) собрать он не мог никак. Василий Васильевич скончался в достаточно преклонном возрасте (83 года) в 1879 г.

До высшего классного чина, возможного в служебной иерархии горного ведомства — чина действительного статского советника (генерал-майора в военной иерархии) — Нефедьев, очевидно, дослужился уже к концу 70-х годов. Чин действительного статского советника (IV класс) относился к высшему «генеральскому» классу чиновничества. Эти чиновники утверждались в должности лично императором, занимали важные посты в государстве. Следов другого действительного статского советника В. Нефедьева, который бы мог собирать коллекцию в 1890 г., отыскать не удалось.

Для определения времени формирования коллекции внимательно посмотрим на структуру и содержание каталога.

В оглавлении указаны разделы: «Алфавитный указатель минералов», «Каталог минералогической коллекции», «— — — кристаллическим минералам», «— — — горным породам», «Скала для определения твердости минералам», «Список минералов для пополнения коллекции», (дописано другим почерком) «и рудам, поднесенным Наследнику Цесаревичу и Великому Князю Николаю Александровичу».

В тексте каталога заголовок шестого раздела звучит так: «Список минералов для пополнения коллекции Его Высочества Наследника Цесаревича и Великого Князя **Александра Александровича**».

Значит, коллекция предназначалась вовсе не цесаревичу Николаю, а будущему императору Александру III в то время, когда он был цесаревичем, наследником престола (период 1865 — 1881 г.). Очевидно, коллекция эта использовалась и при обучении его сына Николая Александровича, будущего императора Николая II. Первые восемь лет его образования (с 1876 г.) были посвящены гимназическим курсам, в которых традиционные для гимназии классические языки были заменены основами естественных наук, в том числе и минералогией. Наверняка пригодилась коллекция и в «курсе высших наук», когда в 1887 — 1889 гг. академик Н.Н. Бекетов читал цесаревичу курс химии.

Таким образом, начало коллекции было положено не в 90-х, а во второй половине 70-х годов XIX века. То, что минералогическая коллекция была окончательно сформирована не ранее 1872 г., указывает присутствие в списке нефедьевита. Этот землистый силикат розоватого цвета был описан в 1872 г. профессором минералогии Санкт-Петербургского университета П.А. Пузыревским в работе «Нефедьевит, новый минерал из Нерчинского края» в «Трудах Императорского минералогического общества». Назван же он в честь В.В. Нефедьева. Позднее нефедьевит был диагностирован как разновидность монтмориллонита и дискредитирован как минеральный вид.

Теперь посмотрим на состав коллекции, как он отображен в каталоге. В минералогический раздел коллекции записано 593 образца, разделенные на 136 «минеральных видов». Вот список этих «видов» (в современной орфографии): графит, самородная сера, каменная соль, тяжелый шпат (барит), целестин, витерит, стронцианит, гипс (селенит), известковый шпат (кальцит), арагонит, доломит, апатит, горькоземистый апатит



Нефедьевит (монтмориллонит), диаметр бьюкса 7 см.  
Забайкалье. ФММ No 14087. Фото М. Лейбова

(тальк-апатит), плавиковый шпат (плавик), борацит, корунд, диаспор, гипсит (гидраргиллит), квасцы, лазулит (синий шпат), бирюза (калаит), вавелит, криолит, монацит, горный хрусталь, аметист, халцедон, сердолик, агат, яшма, опал, апофиллит, тальк, жировик, змеевик, шиллершпат (диаллагон), хлорит (репидолит), волластонит, ксантофиллит, пирофиллит, термофиллит, амфибол (роговая обманка), нефрит, глинокит (оливин), фарфоровая глина, стильбит, ставролит, полевой шпат, лабрадор, перлит, вернерит (скаполит), главколит, обсидиан (вулканическое стекло), штейнгелит, гранат (вениса), идокраз, ортит, слюда, турмалин (шерл), аксинит, топаз, содалит, лазоревый камень, канкринит, изумруд, аквамарин, фенакит, хризоберилл, циркон, гадолинит, рутил, сфен, перовскит, танталит, менгит, самарскит, эшинит, пирохлор, шеелит, вольфрам, молибденовый блеск, волконскоит, серая сурьмяная руда, самородный мышьяк, магнитный железняк, железный блеск, ильменит, хромистый железняк, бурый железняк, шпатоватый железняк, вивианит, серный колчедан, мышьяковый колчедан, пиролюзит, марганит, родонит (орлец), цинковый шпат, галмей, цинковая обманка, игольчатая руда, кобальт, висмут, никель, оловянный камень, сурик, белая свинцовая руда, свинцовый купорос, пироморфит, красная свинцовая руда, свинцовый блеск, теллуристый свинец, самородная медь, красная медная руда, малахит, медная лазурь, брошантит, либетенит, кнауфит (фольбортит), фишерит, аурихальцит, диоптаз, медный колчедан, пестрая медная руда, киноварь, серебро, стекловатая серебряная руда, роговое серебро (хлористое серебро), алтаит, золото, платина, меллит, антрацит, каменный уголь, горная смола, янтарь.

В списке можно увидеть признак систематизации минералов по основным группам хи-

мических элементов в традиции систематики Кронштедта, опубликованной в 1758 г. Подобная систематика, в частности, использована в «Руководстве к минералогии» (1832 г.), профессора петербургского университета и горного института Д.И. Соколова.

К моменту формирования коллекции, такая систематизация, после появления классификации минералов по типу анионных комплексов Й. Берцелиуса (1816 г.), ее усовершенствования К. Раммельсбергом в 1841 – 1847 гг. и принятия за основу в «Системе минералогии» Дж. Дана в 1850 г., уже была устаревшей. Отдельные места списка показывают присутствие реликтов и более ранних, существовавших до середины XVIII века классификаций, основанных на физических свойствах минералов. Например, объединены минералы пластинчатого сложения (что отражено и в их названии): ксантофиллит (хрупкая слюда клинтонит), пирофиллит и термофиллит (антигорит).

В каталоге минералы во многом сгруппированы так же, как в «Руководстве...» Соколова, но отдельные группы поменяли свои места, что, вероятно, связано с открытием Д.И. Менделеевым периодического закона (конец 1868 – начало 1869 гг.). Так, можно различить группу минералов главной подгруппы второй группы периодической системы (барит, целестин, витерит, стронцианит, гипс, кальцит, арагонит, доломит, апатит...), затем минералы алюминия (третья группа), кремния, титана, циркония (четвертая группа), ниобия и тантала (пятая группа), хрома (волконскоит), молибдена и вольфрама (шестая группа). Учитывая это, можно опознать минералы, для которых приведены ныне не используемые названия. Так, в частности, менгит, находящийся в компании с танталитом, самарскитом, эшинитом и пирохлором, очевидно, является разновидностью колумбита, хотя название «менгит» могло относиться и к монациту.

Практическую направленность подборки подчеркивает разнообразие рудных минералов железа, марганца, свинца, цинка, меди, серебра, в том числе из ряда российских месторождений. Отдельно выделена группа отнесенных к минералам каустобиолитов, с которыми соседствует соль органической кислоты — меллит. Понятно, что твердые горючие полезные ископаемые также были в то время одним из важнейших природных ресурсов России.

Интересно, что в коллекцию записан десяток образцов с золотом и лишь один — с платиной, и то из Бразилии, хотя в XIX веке

Россия была лидером по добыче платины и, вероятно, в шлиховых образцах ее недостатка не было.

В разделе каталога «Список минералов для пополнения коллекции Его Высочества Наследника Цесаревича и Великого Князя Александра Александровича» записано 80 образцов. Их последовательность напоминает порядок расположения «видов» в «Каталоге минералогической коллекции» (графит, потом минералы Са и Ва, Al (корунд), Si (кварц, силикаты), далее руды железа, марганца, свинца, меди, серебра, и ближе к концу меллит и угли. Это подтверждает существование единой систематики, использованной при составлении коллекции. Обращает на себя внимание, что эта часть каталога подписана уже не Нефедьевым, а «И.Д. Управляющего Конторою» генерал-майором Васильковским. Возможно, эта подборка была сделана уже после 1879 года.

Очень интересно проследить соотношение в каталоге между минеральными «видами» и «разновидностями». С одной стороны, в качестве «видов» выступают идентичные по составу горный хрусталь, аметист, халцедон, сердолик и агат, изумруд и аквамарин. С другой — в один «вид» часто вписаны исключительно разнородные минералы. Так, в вид «стильбит», наряду с разными цеолитами (стильбит, ломонтит, гармотом, шабазит, гейландит, натролит и др.) включены пренит, кианит и его разновидность ретицит. В «диоптаз», кроме самого силиката меди, вписаны атакмит, «шлаковатая медная зелень», «стекловатая медная руда», «медная чернь» и даже планерит.

Чувствуется нечеткость границ между минералами и горными породами. Такие названия, как «яшма», «змеевик», «жировик», «каменная соль», «известняк», «опал», «оливин», «бурый железняк», «антрацит» и некоторые другие присутствуют как в каталоге минералов, так и в каталоге горных пород.

Показательна и география образцов из «Каталога минералогической коллекции». Конечно, большинство образцов представляют традиционные горнорудные районы России — Карелию, Урал, Алтай, Забайкалье. Есть образцы из Камчатки, Якутии.

Очень широко представлены месторождения Европы. Исходя из современной политической географии, список европейских стран, представленных образцами, выглядит так: Австрия, Финляндия, Великобритания, Венгрия, Германия, Италия, Латвия, Норвегия, Польша, Румыния, Украина, Франция, Чехия, Швейцария, Швеция.

Зарубежная на то время Азия представлена лишь Ираном (Персией). Еще есть образцы из Азербайджана, Казахстана и Туркмении.

Американские материки представлены образцами лишь из Южной Америки (Бразилия, Перу, Чили).

Один образец — топазы из россыпи с привязкой «Новая Голландия», очевидно, приведен из Австралии, которая так именовалась на картах до 1824 года.

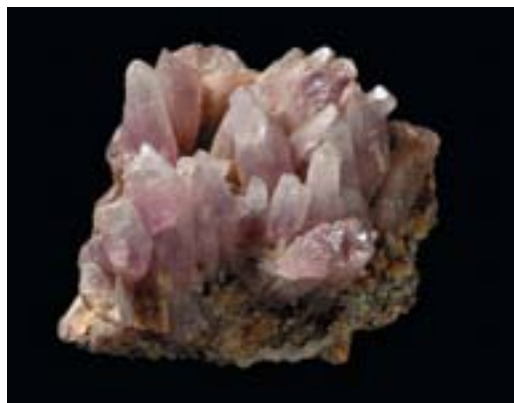
В коллекции Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана удалось выявить 190 образцов, соответствующих записям в «Каталоге минералогической коллекции». Основная часть материалов коллекции записывалась в фонды в период 1925–1934 гг., когда исторический аспект скорее негативно влиял на ее ценность. Вероятно, за сорок с лишним лет с момента ее формирования, к моменту передачи в Минералогический музей, количество образцов в ней существенно уменьшилось. Кроме того, зачастую, несколько аналогичных образцов из коллекции цесаревича записывались на один музейный номер.

Минералогические образцы (из тех, что попали в коллекцию Минералогического музея) как правило, невелики, их размер — от 5 до 12 см. Только отдельные экспонаты превышают 20 см. Сыпучие минералы помещены в одинаковые стеклянные банки с перетянутой плотной бумагой горловиной и написанной на ней этикеткой. Есть вещество и в маленьких стеклянных пробирках.

В каталоге горных пород было записано 200 образцов, но география их местонахождения указана только в единичных случаях.

Совсем не указаны привязки в разделе «Каталог кристаллических минералов», где записано 134 образца. В основном, здесь при-

*Аметист с пиритом, 14 см. Богемия (Чехия). ФММ No 27181. Фото М. Лейбова*





Барит, 12 см. Англия. ФММ No 33859. Фото М. Лейбова

сутствуют те же названия, что и в «Каталоге минералогической коллекции». Странно в списке выглядит только «бурый железняк», но его соседство в каталоге с «серным колчеданом» дает основание предполагать, что этот образец представлял собой псевдоморфозу гидроокислов железа по кристаллу пирита. В коллекции кристаллов Минералогического музея А.Е. Ферсмана записано 27 образцов, поступивших из Музея Города. На некоторых из них сохранились наклейки с номерами, соответствующими номерам «Каталога кристаллическим минералам». Эти наклейки, в отличие от наклеек минералогической подборки, не рукописные, а сделанные типографским способом. По-видимому, эта подборка создавалась независимо от «минералогической коллекции». Имеющиеся в фондах Минералогического музея образцы из кристаллической подборки невелики, некоторые менее 5 мм, но часто, как пирит, галенит, представляют собой очень правильные кристаллы.

«Шкала для определения твердости», незаменимый инструмент для минералогических занятий, соответствует шкале, разработанной Ф. Моосом в 1824 г. Непривычно выглядит сейчас в списке эталонов (твердость 2) каменная соль совместно с гипсом (селенитом).

В конце списка «минералов для дополнения коллекции...» сделана приписка другим почерком: «Образцы медной руды, добытые отставным урядником Сибирского Казачьего войска, Омской станицы Николаем Серебряковым и им представленные 19 сентября 1891 года Его Императорскому Высочеству Государю Наследнику Цесаревичу и Великому Князю Николаю Александровичу». Далее перечислены два образца медной руды и один «серебристо-медной». Из этой записи, очевидно, и был сделан ошибочный вывод о

времени формирования и первоначальном владельце коллекции.

Коллекция горных пород, шкала твердости и образцы из дополнительных списков в Минералогический музей либо не поступали, либо не были записаны, как не представлявшие интереса для музейной коллекции.

В каталог вложен листок с подробным описанием штуфов, переданных цесаревичу Николаю. В нем, в частности, указано: «По удостоверению Управляющего Змеевским заводом Алтайского Горного Округа от 21 мая 1891 года за № 452 помянутые три штуфа по опробованию в пробирне Змеевского завода, оказались содержанием в них металла:

№ 1 найденный в районе земли Сибирского Казачьего войска между форпостами Шульбинским и Пьяноярским в 3х верстах от первого и 12и верстах от второго форпоста в пуге руды — 5 фунтов меди.

№ 2 найденный в районе Алтайского горного округа, ведомства Кабинета Его Императорского Величества, в 3 верстах на юг от форпоста Верх Убинского — 3 3/4 фунта меди в пуге руды.

№ 3 найденный в том же районе, в 3 верстах на юг от форпоста Верх-Алейского, в пуге руды 3/4 золотника серебра и — 3 1/2 фунта меди».

Эти поступления, очевидно, связаны с путешествием цесаревича Николая в 1890—1891 гг. Возвращаясь в Петербург, он 14—16 июля 1891 г. останавливался в Омске, где, вероятно, интересовался новыми находками руд на Алтае. Вряд ли без такого интереса первооткрыватель новых проявлений мог отправиться в столицу для вручения штуфов цесаревичу.

А интерес к минералам в этом путешествии Николай, несомненно, проявлял. В Минералогическом музее сохранился образец, привезенный им из Японии, где он находил

Крокоит, 6 см. Урал. ФММ No 37313. Фото М. Лейбова





Кристаллы диопсида, размер большего кристалла 5 см. Образцы из коллекции кристаллов. ФММ No K1680. Фото М. Лейбова

ся с 15 апреля по 11 мая 1891 г. Это буроватый халцедон, к которому приложена этикетка, вероятно, с местным названием этого камня «окаменелое китовое мясо» и латинской транскрипцией этого названия по-японски.

Из той же поездки цесаревич привез «минералогические» подарки, поступившие позднее в коллекцию Минералогического музея. В Забайкалье ему преподнесли серебряную шкатулку с выгравированной на крышке картой Нерчинского округа и двенадцатью флаконами с россыпным золотом из разных приисков округа. В Нерчинске, где вероятнее всего это случилось, цесаревич был 14 июня 1891 г.

На Урале Николай получил в дар яшмовое блюдо, украшенное поделочными и драгоценными камнями с надписью «от башкир орского уезда» и датой — 15 июля 1891. При этом известно, что в Орске, где этот дар, скорее всего, вручался, наследник престола был 24 июля 1891 г. Вероятно, в мастерскую Лагутяева в Екатеринбурге, где это блюдо изготавливалось, поступили неточные сведения о графике поездки цесаревича.

Интерес к минералам и рудам был присущ многим членам царской династии. Известен случай, когда двоюродный прадед Николая II император Александр I при поездке на Южный Урал поработал как старатель на названном в его честь Царево-Александровском прииске и даже откопал, очевидно заранее подложенный, самородок золота весом более 3 кг. Сменивший его на престоле Николай I много внимания уделял развитию Горного института, часто посещал его, бывал на лекциях.

Попавшие в коллекцию Минералогического музея из Музея Города камнерезные работы — камины, вазы, постаменты — показывают увлеченность семьи Александра II красотой камня. Сохранились данные о времени заказа и изготовления некоторых из этих работ, сделанных на Колыванской фабрике, которые указывают на регулярность таких заказов в царствование Александра II. Два камина (ПДК-1704, ПДК-1705) были заказаны Кабинетом Его Императорского Величества в 1856 г., сделаны в 60-х годах. Порфи́ровая ваза и постамент (ПДК-1715, ПДК-1716) были заказаны в 1871 г., изготовлены в 1872 г. Порфи́ровое трюмо (ПДК-1721) заказано в 1871 г., завершено в 1874 г. В 70-х годах сделана ваза из ревневской яшмы (ПДК-1701). Среди записанных из Музея Города экспонатов есть также ряд образцов, которые можно рассматривать как коллекцию поделочных камней. В основном, это яшмы с Урала, Алтая, из Забайкалья. Они не относятся к коллекциям, записанным в каталог коллекции цесаревича, и, возможно, связаны с интересами Александра II. Некоторые из этих образцов — крупные штуфы, несомненно, использовавшиеся для украшения интерьера.

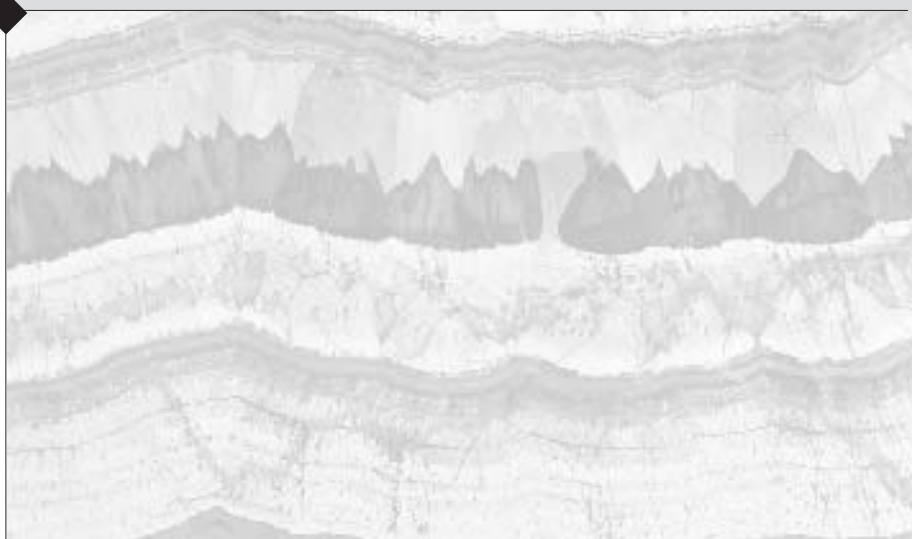
В тот же период, с 1863 г., во всех русских университетах были учреждены самостоятельные кафедры геологии и палеонтологии, что дало сильный толчок к развитию в России наук о Земле.

Интерес следующего российского монарха, Александра III, к поделочным и драгоценным камням ярко характеризует заведенная им традиция пасхальных подарков, с которой связан ряд шедевров — императорских пасхальных яиц, созданных фирмой Фаберже, последнее из которых, неоконченное яйцо 1917 года, также находится в фондах Минералогического музея.

Таким образом, даже по достаточно ограниченному сведениям об экспонатах Минералогического музея, связанных с российскими монархами, можно сделать вывод о непрекращавшемся интересе царской семьи к минералам.

История показала, что далеко не во всем действия российских монархов XIX-XX веков отвечали потребностям и реалиям России. Но их интерес к минералогии, полезным ископаемым России, стремление к естественнонаучным знаниям является примером, актуальным и для современных российских руководителей, особенно во времена, когда благополучие России и ее место в мире в решающей степени зависит от разработки ее полезных ископаемых.

# Персоналии



УДК 549:069

## ЮБИЛЕИ И ЮБИЛЯРЫ 2006–2007

Е.А. Борисова, Т.М. Павлова

*Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, pavlovaminmus@mail.ru*

Приведено описание одной из юбилейных экспозиций Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана. В статье 14 рисунков, список литературы из 9 названий.

В 2006 году исполнилось 290 лет со времени покупки по указу Петра Великого большой по тем временам коллекции минералов у доктора медицины Готвальда из Данцига. Это было началом собрания Минерального кабинета, превратившегося сегодня в один из крупнейших минералогических музеев мира – Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана Российской Академии наук.

Так случилось, что целый ряд юбилеев, связанных с самим Музеем, с именами ученых – его хранителей и руководителей, с его коллекциями и научными изданиями, приходится как на 2006, так и на 2007 год. И по этим круглым датам можно, не останавливаясь на каждой подробно, проследить, как по вехам, славный путь, пройденный Музеем за 290 лет своего существования. Эта идея и легла в основу выставки «Юбилей и юбиляры 2006 – 2007», проходившей в Минералогическом музее.

На витрине, открывающей экспозицию, помимо общей аннотации и одного из старейших образцов музейной коллекции – псевдоморфозы лимонита по пириту (рис. 1), были представлены материалы, относящиеся к 200-летию юбилею нынешнего здания Музея – памятника архитектуры начала XIX века (архитектор неизвестен). Здание было построено в качестве конного манежа для графа Алексея Орлова-Чесменского, страстного любителя и знатока лошадей. В то время это был самый большой манеж в окрестностях Москвы. Любопытно, что сам граф Орлов отметил тогда свое 70-летие: он родился в 1737 году.

Еще один юбилей связан с переездом в это историческое здание Минералогического музея. В 1936 году, то есть 70 лет тому назад, после перевода Академии наук из Ленинграда в Москву и размещения Президиума Академии в главном здании дворцовой усадьбы, или, как она тогда называлась, Александринском дворце (после Орловых усадьба принадлежала царской семье, ее купил для своей супруги Александры Федоровны Николай I), для Музея был выделен входящий в дворцовый ансамбль бывший Орловский манеж.

Интересно, что само главное здание, где и сейчас располагается Президиум РАН, тоже отметило в 2006 году юбилей: оно было построено в качестве загородного дома для жены представителя знаменитой уральской династии горнозаводчиков Прокофия Акинфовича Демидова 250 лет назад, в 1756 г., по проекту архитектора Места.

70 лет исполнилось со дня открытия в Москве в 1936 – 1937 гг. первых музейных экспозиций. Одной из них была выставка по геохимии и полезным ископаемым Средней Азии. Фотографии этой экспозиции (рис. 2), наряду со снимками здания и выставочного зала Музея тех времен, можно было также увидеть на описываемой витрине.

Зародившись в недрах Кунсткамеры Петра I и оставаясь в составе Академии наук на всем протяжении своего существования после «учинения» Петром последней, 170 лет тому назад, в 1836 г., Минералогический музей впервые получил статус самостоятельного музея. После этого Музей пережил разные времена и даже несколько лет находился на правах отдела при Ломоносовском институте, но всего лишь год назад, несмотря на попытки лишить его независимости как научного учреждения Академии наук, сумел отстаивать свое право на самостоятельность, благодаря усилиям директора Маргариты Ивановны Новгородовой и всего научного коллектива, что также отмечено в экспозиции.

40 лет назад Музей торжественно отметил свое 250-летие. К этой дате было приурочено торжественное заседание в здании Музея, которое состоялось 5 июня 1967 г. Было написано много поздравлений-адресов, изготовлена юбилейная медаль с датами 1716 – 1966, рельефными изображениями музейного интерьера и уникальной дружи александрита – исторического образца, находящегося в настоящее время на одной из постоянных музейных экспозиций. Часть этих раритетов, включая посвященные Музею стихи, написанные 40 лет назад Татьяной Борисовной Здорик, были представлены на отдельной витрине.



Рис. 1. Лимонит (по пириту) с оригинальной этикеткой. Чехия. Обр. ММФ № 197 ОП. 3,5 см в диаметре. Из коллекции И.Ф. Хенкеля (№ 58, 1743 г.).

Рис. 2. Выставка по геохимии и полезным ископаемым Средней Азии в Минералогическом музее. 1936–1937 гг.

Рис. 3. Галит. Астраханская губ., Чапчачи. ММФ № 5630. 7,0 x 6,5 x 4,0 см. Из коллекции П.С. Палласа (№ 4 в каталоге И.Г. Георги).  
Фото Е.А. Борисовой

Пять вертикальных витрин рассказали о юбилеях руководителей Музея и отразили их вклад в пополнение и сохранение музейного собрания. Так, 240 лет назад (в 1767 году) руководителем Натур-камеры, частью которой был Минеральный кабинет, стал приглашенный Екатериной II немецкий ученый Петер Симон Паллас (1741 – 1811). Ему было в то время всего 26 лет, но он уже имел докторскую степень, профессорское звание и европейское признание. По указу императрицы он сразу приступил к организации грандиозных естественно-научных российских экспедиций, итогом которых было поступление в Натур-камеру большого количества каменного и другого материала. В том числе 230 лет назад (в 1777 году) был доставлен из Красноярска знаменитый исторический метеорит «Палласово железо» – первый природный объект, признанный научным сообществом как внеземное вещество. Им и теперь можно полюбоваться в Музее на выставке «Метеориты». На описываемой юбилейной экспозиции вниманию посетителей был предложен также единственный из сохранившихся в Музее образцов из коллекции П.С. Палласа – галит из Астраханской губернии (рис. 3).

Другим замечательным руководителем Музея был академик Василий Михайлович Севергин (1765 – 1826) – первый русский ученый-минералог. Ровно 200 лет назад (в 1807 г.) он стал директором Минерального ка-

бинета, занимая этот пост в течение всей оставшейся жизни, то есть почти 20 лет. В 2006 году исполнилось 180 лет со дня его смерти. Еще один юбилей связан с выходом в свет 190 лет тому назад написанного им первого русского определителя минералов: «Новая система минералов, основанная на наружных отличительных признаках» (1816 г.). При Севергине написан также первый путеводитель по Музею. Забегая вперед, отметим, что изданные Музеем в последние сто лет путеводители (рис. 4) были выставлены на отдельной витрине. На экспозиции, помимо копий титульных листов трудов В.М. Севергина, были представлены два халцедона из его коллекции (один – с Камчатки, другой – из Финляндии, р. Вуокса, Иматра).

180 лет назад родился Адольф Германович (Федорович) Гебель (1826 – 1895). 150 лет назад (в 1857 г.) он стал хранителем и фактическим руководителем Минералогического музея. Будучи химиком по образованию (Назаров, 1999), он увлекался, в основном, метеоритами и приложил немало сил к увеличению метеоритной коллекции Музея. Если в 1846 г. она включала всего 19 образцов, то к концу XIX века – уже более 60. Идеи Гебеля о социальном факторе, играющем ведущую роль в деле находок метеоритов, или, как их тогда называли, аэролитов, и пополнения ими музейных коллекций (Гебель А.Ф. Об аэролитах в России. СПб., 1868), актуальны и сего-



Рис. 4. Путеводители, изданные Минералогическим музеем за последние сто лет.

Рис. 5. Медаль Императорского Минералогического общества, которой был награжден Н.И. Кокшаров как автор «Материалов для Минералогии России» в связи с пятидесятилетием научной деятельности. 5,5 см в диаметре.

Фото Е.А. Борисовой

дня. На экспозиции был выставлен гипс (Азербайджан, Менан), переданный им в Музей в 1858 г.

140 лет назад, в 1866 г., был избран ординарным академиком и одновременно назначен директором Минералогического музея Николай Иванович Кокшаров (1818 – 1892) – выдающийся русский минералог XIX века. На экспозиции можно было увидеть волластонит из его коллекции, найденный в Семипалатинской области Каркараминского уезда и поступивший в Музей 100 лет назад, в 1907 г. А в основном экспозиционном зале на выставке «История Музея» представлен один из томов широко известного труда этого ученого – «Материалы для Минералогии России», выпускавшегося отдельными частями, начиная с 1852 – 1855 гг., на русском и немецком языках (Кокшаров, 1852 – 1855; 1856, 1858, 1862; 1870; Kokscharow, 1858; 1862 и др.), и медаль Императорского Минералогического общества (рис. 5), которой 120 лет назад, в 1887 г., был удостоен их автор в связи с пятидесятилетием научной деятельности.

150 лет тому назад родился академик Федосий Николаевич Чернышев (1856 – 1914) – известный геолог и палеонтолог, директор Музея с 1900 по 1914 гг., ученик академика Александра Петровича Карпинского. 160-летний юбилей со дня рождения А.П. Карпин-

ского (1847 – 1936) – первого выборного президента Академии наук и президента Минералогического общества – также приурочен к рубежу 2006 – 2007 гг. (он родился 26 декабря 1846 г., по старому стилю, или 7 января 1847 г., по новому стилю). Благодаря усилиям этих двух ученых началась реорганизация Музея, называвшегося с 1898 года Геологическим музеем имени Петра Великого Императорской Академии наук и начинавшего терять свой минералогический профиль. Сто лет назад, к 1906 году, был создан вновь независимый в научном плане Минералогический отдел (или отделение); коллекцию минералов удалось сохранить. В ознаменование этих и других заслуг имя академика Александра Петровича Карпинского 70 лет назад было присвоено вновь объединенному Геологическому и Минералогическому музею Академии наук СССР: в период с 1937 г. по 1948 г. он назывался Геологический музей имени А.П. Карпинского. На экспозиции были представлены кристалл диоптаза из Конго из коллекции Карпинского (рис. 6) и великолепная жеода аметиста с Тимана из сборов Н.Ф. Чернышева (рис. 7).

100 лет назад, в 1906 году, Минералогическое отделение возглавил знаменитый русский учёный, естествоиспытатель, мыслитель и общественный деятель, Владимир Ивано-

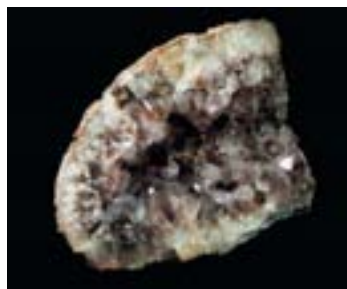


Рис. 6. Диоптаз. Конго. Обр. ММФ № 29253. 2,0 x 1,5 x 1,3 см. Из коллекции А.П. Карпинского (№ 2128, 1926 г.).

Рис. 7. Аметист. Архангельская обл., р. Черная, Тиман. Обр. ММФ № 21383. 12,5 x 10,0 x 5,5 см. Из коллекции Ф.Н. Чернышева (№ 891, 1889 г.).

Фото Е.А. Борисовой

вич Вернадский (1863—1945), ставший в том же году адъюнктом Академии наук, а затем академиком. С его приходом связана активизация научно-исследовательской работы в Музее, обновление экспозиций, новая систематизация и инвентаризация музейных фондов. Все собрание было подразделено на 5 коллекций, которые существуют и сегодня. Это — систематическая коллекция, коллекции месторождений, кристаллов, псевдоморфоз («образований и превращений»), поделочных и драгоценных камней. Учетные записи стали вести в больших инвентарных книгах раздельно для каждой коллекции, что также продолжается и в настоящее время.

В.И. Вернадский был организатором широко известной радиевой экспедиции (1906—1914). 100-летний юбилей со времени ее начала был отмечен в экспозиции одним из многочисленных образцов полевых сборов этой экспедиции, поступивших в музейные фонды — снежно-белым кальцитом из Туя-Муюна Ферганской области (рис. 8).

К этому же периоду оживления научной работы приурочено появление в жизни Музея собственного научного журнала. Столетию периодического издания, экземпляр которого читатель держит сейчас в руках, была посвящена вся нижняя часть витрин выставки. Здесь разместились как самые первые тоненькие черно-белые выпуски «Трудов Геологического музея имени Петра Великого Императорской Академии наук» 1907 года, так и красочные публикации последних лет, выходящие с 2003 года в двух версиях — на русском и английском языках. Любопытно, что свой 25-летний юбилей отметило и современное название журнала — «Новые данные о минералах», которое он получил в 1981 г.

95 лет исполнилось со времени прихода в Музей на должность старшего ученого хранителя Александра Евгеньевича Ферсмана (1883—1945), верного ученика и соратника В.И. Вернадского, академика, директора Минералогического отдела (с 1919 г.), а затем (с 1925 г.) и самостоятельного Минералогического музея Академии наук, имя которого было присвоено Музею в 1955 году. На экспозиции был выставлен образец халькопирита из Змеиногорского рудника, Алтай, из коллекции этих двух ученых, поступивший в музейное собрание 90 лет назад, в 1916 г., и уваровит из Сарановского рудника Пермской губернии из сборов А.Е. Ферсмана 1914 г. (рис. 9). Добавим, что в 2006 году юбилеи отметили и крупные научные труды А.Е. Ферсмана: 85 лет прошло со времени первой публикации его монографии «Самоцветы России» (1921), 75-летний юбилей — у «Пегматитов» (1931), 65-летний — у «Полезных ископаемых Кольского полуострова» (1941). Это событие тоже нашло свое отражение в экспозиции: последние два издания вошли в число ее экспонатов. Кроме того, 55 лет назад (в 1952 г.) впервые были изданы «Избранные труды» академика А.Е. Ферсмана.

Современниками и соратниками Ферсмана и Вернадского были два других выдающихся сотрудника Музея — Виктор Иванович Воробьев (1875—1906) и Владимир Ильич Крыжановский (1881—1947). Виктор Иванович Воробьев был с 1900 года хранителем Минералогического отдела Геологического музея имени Петра Великого и трагически погиб 100 лет назад в трещине ледника на Кавказе, завещав весь свой капитал (20000 рублей) и библиотеку Музею. По его инициативе Музею в том же году, но уже после его

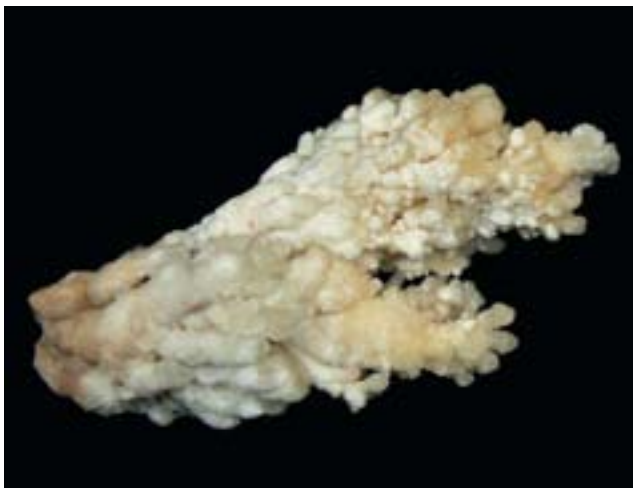


Рис. 8. Кальцит. Ферганская обл., Маргеланский уезд, Туя-Муюн. Обр. ММФ № 21953. 13,0 x 7,5 x 4,5 см. Из коллекции Радиевой экспедиции (№ 758, 1911 г.).

Рис. 9. Уваровит с оригинальной этикеткой. Пермская губ., Пермский уезд, Бисерский завод, Сарановский рудник. Обр. ММФ № 9677. 5,0 x 4,5 x 3,5 см. Из коллекции А.Е. Ферсмана (№ 1170, 1914 г.).

Фото Е.А. Борисовой



Рис. 10. Малахит с оригинальной этикеткой. Урал, Пермская губ., Железный рудник Полевского завода. Обр. ММФ № 5835. 6,0 x 3,5 x 2,0 см. Из коллекции В.И. Воробьева (№ 391/295, 1905 г.).

Рис. 11. Генетическая коллекция минералов для юных минералогов, составленная В.И. Крыжановским. 1941 г. 35 x 29 x 3 см.

Минералы магматического процесса: 1 – хромит, 2 – магнетит, 3 – лабрадор, 4 – апатит, 5 – нефелин. Минералы пегматитовых жил: 6 – кварц, 7 – полевой шпат (ортоклаз или микроклин), 8 – амезонит, 9 – мусковит, 10 – топаз, 11 – берилл, 12 – роговая обманка, 13 – корунд, 14 – ильменит, 15 – вольфрамит, 16 – лазуриит. Минералы гидротермального процесса: 17 – халькопирит, 18 – пирит, 19 – сфалерит, 20 – галенит, 21 – аурипигмент, 22 – кальцит, 23 – флюорит, 24 – барит, 25 – асбест, 26 – аметист, 27 – халцедон. Минералы гипергенного процесса: 28 – лимонит, 29 – боксит, 30 – магнетит, 31 – малахит, 32 – крокоит, 33 – медь самородная, 34 – гипс, 35 – галит, 36 – сильвин, 37 – пиролюзит, 38 – яшма, 39 – сера. Минералы метаморфических процессов: 40 – гематит, 41 – тальк, 42 – гранат. Горные породы: 43 – дунит, 44 – габбро, 45 – сиенит, 46 – нефелиновый сиенит, 47 – гранит, 48 – пегматит, 49 – обсидиан, 50 – мрамор.

Рис. 12. Арагонит. Грузия, Ахалцихский р-н, Кисатиба. Обр. ММФ № 35624. 6,0 x 5,0 x 4,5 см. Из коллекции Д.С. Белянкина (№ 2588, 1935 г.).  
Фото Е.А. Борисовой



смерти была передана большая коллекция образцов Минералогического общества. На экспозиции были представлены малахит (рис. 10), кристаллы розового топаза и топаз на кристалле кварца с Урала из полевых сборов В.И. Воробьева.

С именем Владимира Ильича Крыжановского связано сразу несколько юбилейных дат. В 2006 г. исполнилось 125 лет со дня его рождения, в 2007 г. – 100 лет с того времени, когда он впервые стал хранителем музейных коллекций, еще через 5 лет – 95 лет назад – он был выбран старшим ученым хранителем всего музейного собрания, и 60 лет прошло со дня его смерти на посту директора (1945–1947 гг.) Минералогического отделения Геологического музея им. А.П. Карпинского – музея, в котором он проработал всю свою жизнь, внося огромный вклад в систематизацию и пополнение музейных фондов. Описываемую экспозицию украсила уложенная в специальную деревянную коробку с отделениями, так называемая генетическая, коллекция минералов для юных минералогов, составленная 65 лет тому назад (в 1941 г.) профессором В.И. Крыжановским на основе представлений А.Е. Ферсмана о развитии минералообразующего процесса (рис. 11).

130 лет тому назад родился академик Дмитрий Степанович Белянкин (1876–1953), ставший 60 лет назад (после смерти Крыжановского) директором Минералогического отделения, преобразованного вновь в 1948 г. в самостоятельный Минералогический музей Академии наук. Благодаря его усилиям после окончания второй мировой войны был возобновлен выпуск музейного журнала. На экспозиции из коллекции Д.С. Белянкина можно было увидеть два образца радиально-лучистого розового арагонита из Грузии (рис. 12).

100 лет со дня рождения следующего директора Музея, профессора Георгия Павловича Барсанова (1907–1991), исполнилось в декабре 2007 г. Г.П. Барсанов руководил Музеем почти четверть века, причем последние 15 лет – на общественных началах. По его инициативе впервые были созданы такие экспозиции, как «Псевдоморфозы», «Формы выделения минералов», «Причины окраски минералов», «Синтетические минералы», а ряд других был существенно переделан. Много внимания он уделял изучению истории минералогии и Музея, в результате чего также появились новые выставки и статьи в музейном журнале (Барсанов, 1950, 1959а, 1959б, 1968 и др.), главным редактором которого он



Рис. 13. Г.П. Барсанов. Дружеский шарж. Автор Н.Н. Шатагин. 1962–1963 гг. Фото Е.А. Борисовой.

оставался на протяжении 30 лет, вплоть до 1984 года, даже после ухода с должности директора Музея. Кроме того, Георгий Павлович был прекрасным лектором и в течение 30 лет возглавлял кафедру минералогии МГУ. На описываемой юбилейной экспозиции был выставлен, наряду с образцом кальцита (Ю. Осетия, Декадание-Цхали) из его коллекции, портрет Г.П. Барсанова, выполненный в стиле дружеского шаржа (рис. 13). Автором портрета является Николай Николаевич Шатагин, ведущий научный сотрудник, а в то время студент кафедры полезных ископаемых МГУ, сделавший свои наброски 45 лет назад (осенью 1962 г. — весной 1963 г.) во время одной из лекций Георгия Павловича. По воспоминаниям очевидцев, портрет Барсанову очень понравился и с тех пор висел всегда у него в кабинете в университете.

80 лет назад родился Юрий Леонидович Орлов (1926 — 1980), крупный специалист в области минералогии алмаза, 30 лет назад (в 1976 г.) сменивший Г.П. Барсанова на посту директора Минералогического музея. На выставке были представлены два образца памирского турмалина из его сборов 1959 г. (рис. 14).

На 2007 год приходится 80-летие еще одного директора Музея: в 1983 г. им стал профессор Александр Александрович Годовиков (1927 — 1995), передавший большую личную коллекцию минералов в Музей и способствовавший поступлению в него крупного минералогического собрания В.И. Степанова. Идеи А.А. Годовикова о систематике минералов (Годовиков, 1997) воплощены в основной музейной экспозиции. На юбилейной выставке можно было полюбоваться целой серией изумительных монгольских агатов, привезенных Александром Александровичем из поездки по этой стране. Агаты вообще были одними из самых любимых его камней. Им он посвятил монографию (Годовиков, Рипинен,

Моторин, 1987) и три отдельные витрины постоянной экспозиции в рамках выставки «Типы минеральных ассоциаций в земной коре».

Еще два юбилея связано с ныне здравствующими людьми. Свое 80-летие отметила в 2007 году Мальва Александровна Смирнова, более 20 лет (с 1979 по 2000 год) бывшая главным хранителем фондов Музея. С ее участием были созданы многие сегодняшние музейные экспозиции, например, выставка «Формы минералов в природе», принципы которой были разработаны А.А. Годовиковым и В.И. Степановым; собран обширный материал во время полевых работ в Забайкалье, Средней Азии, Казахстане. На юбилейной экспозиции был представлен огненный опал (Кара-Агач, Казахстан) из ее сборов 1963 г.

И, наконец, 10 лет исполнилось в 2006 г. со дня прихода в Музей на должность директора профессора Маргариты Ивановны Новгородовой. Под ее руководством была проведена полная сверка фондов экспозиционного зала, созданы электронные базы данных и музейный сайт, новые музейные экспозиции, современная аналитическая лаборатория, возобновлен после долгого перерыва выпуск ежегодного научного журнала «Новые данные о минералах», который стал выходить в его современном оформлении.

В основной фонд Музея записано около 30 образцов, переданных Маргаритой Ивановной. Большинство из них — редкие самородные элементы (Al, Cd, Pb, Mg), интерметаллиды (жедвабит, хромферид, ферхромид), силицид железа — зюссит, карбиды — хабрабаевит и ниобокарбид, а также образцы из ЮАР — пирит и золотоносные конгломераты из Витватерсранда, поделочный камень «тигровый глаз». Многие из образцов являются голотипами описанных ею новых минеральных видов: алюминий, кадмий, хабрабаевит, жедвабит, ниобокарбид, хромферид, ферхромид. Эти минералы можно увидеть на постоянных музейных экспозициях — «Структурно-химическая систематика минералов», «Минералогия химических элементов», «По-



Рис. 14. Турмалин. Юго-Западный Памир, Куги-Аяль. Обр. ММФ № 61088. Размер образца 12,5 x 7,5 x 6,0 см. Из коллекции Ю.А. Орлова (№ 3752, 1959 г.). Фото Е.А. Борисовой

делочные и драгоценные камни». За большой вклад в развитие музейного дела и минералогической науки М.И. Новгородова награждена в 2007 году медалью Ордена «За заслуги перед Отечеством II степени».

Юбилейными можно считать и даты поступления в Музей отдельных коллекций. Так, например, 200-летие отметили целый ряд коллекций минералов, поступивших в Музей из частных собраний де Бурнона, Шеншина, Вагнера, Раздеришина. Особенно интересна коллекция Александра Васильевича Раздеришина (1754–1812) – статского советника и члена Берг-коллегии, первооткрывателя многих рудопроявлений драгоценных и поделочных камней, начальника золотых и серебряных рудников, поставщика Императорского двора при Екатерине II, составителя учебных коллекций для целого ряда народных училищ, Артиллерийского корпуса, Московского университета, Петербургской Учительской семинарии. Коллекция сопровождается подробным каталогом, сохранившимся в Архиве Музея. На юбилейной экспозиции был выставлен гипс с берегов р. Камы, записанный в этом каталоге под номером 14 (Пермская губерния, Осинский уезд, р. Кама против г. Осы, 1794 г.).

Среди других юбилеев в экспозиции были отмечены образцами 130-летие поступления коллекций Строгановых и А.Ф. Фольборга, 90-летие – коллекции В.А. Иосса, 80-летие – коллекции Е.Н. Барбота-Марни (данные о времени поступления коллекций, согласно Барсанову, Корнетовой, 1989, Годовикову, 1989): соответственно лунный камень (Цейлон) и змеевик, топаз (Забайкалье, Нерчинский округ), крокоит (Австралия, Тасмания), малахит (Пермская губерния, Верхотурский уезд, Меднорудянский рудник), эпидот (Уфимская губерния, Златоустовский уезд, Зеленцовская копь).

И в заключение авторы выставки поздравили многих своих коллег (16 человек из 50 сотрудников Музея), которые в настоящее время продолжают дело своих предшественников и активно работают на ниве пополнения и сохранения богатейшего музейного собрания минералов и юбилеи которых по счастливому стечению обстоятельств также приурочены к 2006 – 2007 гг. Юбилеи отметили д.г.-м.н. Евгений Иванович Семенов, д.г.-м.н. Андрей Андреевич Черников, к.г.-м.н. Людмила Андреевна Матвеева, к.г.-м.н. Елена Алексеевна Борисова, к.г.-м.н. Елена Николаевна Матвиенко, к.т.н. Александр Дмитриевич Есиков, Елена Анатольевна Куварзина, Нина Алексеевна Мохова, Галина Алексеевна Осолодкина, Дмитрий Иль-

ич Белаковский, Раиса Ивановна Соловьева, Вячеслав Владимирович Гусаков; при этом 50 лет в Музее проработали к.г.-м.н. Марианна Борисовна Чистякова и Галина Алексеевна Осолодкина, 40 лет – Татьяна Михайловна Павлова, 30 лет – к.г.-м.н. Оксана Леонидовна Свешникова, 25 лет назад в Музее начала работать Елена Леонидовна Соколова.

Таким образом, выставка «Юбилеи и юбиляры 2006 – 2007» еще раз показала сложный и долгий путь, пройденный Музеем за годы своего существования, и отразила преемственность поколений ученых, возглавлявших и направлявших его развитие.

Авторы статьи благодарят Н.А. Мохову, М.Е. Генералова, А.Б. Никифорова, С.Н. Ненашеву, М.Б. Чистякову, М.А. Смирнову за ценные советы и помощь в период подготовки выставки и данной работы.

## Литература

- Барсанов Г.П.* К истории развития русской минералогии конца XVIII в. // Труды Минерал. музея АН СССР. **1950**. Вып. 2. С. 3 – 32.
- Барсанов Г.П.* Материалы к биографии академика В.М. Севергина // Труды Минерал. музея АН СССР. **1959а**. Вып. 10. С. 17 – 30.
- Барсанов Г.П.* Значение минералогической школы В.И. Вернадского в Московском университете (1890 – 1911 гг.) для развития современной минералогии // Труды Минерал. музея АН СССР. **1959б**. Вып. 10. С. 31 – 44.
- Барсанов Г.П.* Развитие Минералогического музея Академии наук за 250 лет (1716 – 1966 гг.) // Труды Минерал. музея АН СССР. **1968**. Вып. 18. С. 3 – 23.
- Барсанов Г.П., Корнетова В.А.* История развития Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана АН СССР за 270 лет (1716 – 1986 гг.) // Старейшие Минералогические музеи СССР. М.: Наука, **1989**. Вып. 25. С. 9 – 52.
- Годовиков А.А.* Основные хронологические даты в истории Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана АН СССР. // Старейшие Минералогические музеи СССР. М.: Наука, **1989**. Вып. 25. С. 53 – 71.
- Годовиков А.А.* Структурно-химическая систематика минералов. М.: Мин. муз. РАН, **1997**. 247 с.
- Годовиков А.А., Рипинен О.И., Моторин С.Г.* Агаты. М.: Недра, **1987**. 368 с.
- Назаров М.А.* Метеоритная коллекция Российской академии наук // Природа. **1999**. № 12. С. 49 – 58.

УДК 549:092

## АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ ГОДОВИКОВ. ГОДЫ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

С.Н. Ненашева

*Минералогический музей им. А.Е.Ферсмана РАН, Москва, nenashevasn@mail.ru*

Описывается научная и организаторская деятельность известного ученого — доктора геолого-минералогических наук, профессора А.А. Годовикова — директора Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН в период с 1984 по 1995 год. Автор делится воспоминаниями о совместной работе в течение 32 лет. В статье 1 таблица, 2 фото и список литературы из 19 названий.

Александр Александрович Годовиков — известный специалист по теоретической, описательной, экспериментальной и генетической минералогии. Его научные интересы были связаны также с исследованиями в областях разработки методик исследования природных и синтетических продуктов, изучения рудных месторождений. Научные труды Александра Александровича Годовикова: более 200 печатных работ, из них 17 монографий, в 14-ти он — единственный автор. Им получено 17 авторских свидетельств, подготовлено более 20 кандидатов геолого-минералогических наук.

Родословная А.А. Годовикова по материнской линии уходит корнями в начало 18 века. Среди предков Александра Александровича были известные люди, память о которых сохранилась в истории Российского государства. Это представители семейств барона Иоганна-Альбрехта Корфа, Богдана Крейтера, русского семейства Башкировых. Среди членов перечисленных семейств были посланники России в европейских государствах, выдающиеся представители науки того времени, замечательные русские педагоги (см. таблицу).

С детских лет А.А. Годовиков увлекался минералогией. Будучи школьником, ходил в сопровождении своей мамы — Елены Александровны — по московским стройкам в поисках красивых образцов. Позднее, являясь студентом Московского Химического политехникума, работал лаборантом в Геологическом музее им. А.П. Карпинского АН СССР (так назывался Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана в те годы), просматривал и мыл образцы. В качестве лаборанта участвовал в геологической экспедиции в Хибины в составе геологического отряда известного минералога А.Н. Лабунцова. Об А.Н. Лабунцове вспоминал с симпатией, характеризовал его как очень интересного, умного, интеллигентного человека с широким кругозором,

считал его своим учителем. После успешного окончания техникума продолжил образование на кафедре минералогии геологического факультета МГУ.

В студенческие годы уделял много времени изучению минералов Подмосковья, обследовал известняковые и доломитовые карьеры и многие из естественных обнажений осадочных пород и их кор выветривания. По результатам опубликовал 2 статьи по карбонатам и фосфатам Подмосковья (Годовиков, 1961; Годовиков и др., 1961). В течение ряда лет руководил научными кружками — минералогическим и геологическим, работал в экспедициях под руководством минералогов МГУ и Минералогического музея АН СССР.

В годы обучения в аспирантуре изучал кобальт-никелевые арсениды Хову-Аксы. По этой теме защитил кандидатскую диссертацию, в которой рассмотрел вопросы изоморфизма, условий окисления и методов диагностики этой сложной группы минералов, изучил связи, существующие между арсенидами при совместном выделении в гидротермальных рудных жилах, и роль коллоидов при образовании последних.

После окончания аспирантуры А.А. Годовиков в качестве младшего научного сотрудника Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ) АН СССР занялся организацией лаборатории экспериментальной минералогии. Эта задача была успешно решена, что позволило Александру Александровичу изучать природу примесей в галените в лабораторных условиях. В результате была написана первая монография «Минералы ряда висмутин-галенит» (Годовиков, 1965).

С 1959 года А.А. Годовиков работал в Институте геологии и геофизики Сибирского научного центра, где ему также была поручена организация лаборатории экспериментальной минералогии. Сначала она называ-



Александр Александрович Годовиков, 1990 год.

лась лабораторией пиросинтеза и состояла из 5 сотрудников, включая заведующего, затем переросла в отдел экспериментальной минералогии, включающий три лаборатории. В отделе работало около 200 научных сотрудников, в том числе 3 доктора и более 30 кандидатов наук. Это экспериментальное подразделение широко известно своими научно-исследовательскими работами как в России, так и за рубежом. Многие из разработок отдела были внедрены в народное хозяйство. С 1974 г. А.А. Годовиков становится заместителем директора Института геологии и геофизики СО АН СССР. Успехи, достигнутые под его руководством в области синтеза кристаллов, привели к созданию в Сибирском отделении АН СССР в 1978 году специального конструкторско-технологического бюро роста кристаллов, организатором и первым начальником которого являлся Александр Александрович, приложивший много усилий к его становлению.

Тематика отдела экспериментальной минералогии включала исследования: 1) сульфидных и халькогенидных систем методом пиросинтеза (построение диаграмм состояния, синтез новых соединений, выяснение условий роста монокристаллов в сухих системах) в условия обычных, а также высоких и сверхвысоких давлений и температур; 2) физико-химических свойств синтетических минералов и их природных аналогов; 3) полей устойчивости рудных минералов, растворимости сульфидов, форм переноса рудообразующих элементов в гидротермальных растворах в зависимости от термодинамических параметров; 4) физико-химических условий равновесия сульфидных минералов с окислами, самородными элементами, вольфраматами и др., а также условий выращивания моно-

кристаллов в гидротермальных растворах; 5) минеральных равновесий в силикатных системах, в гидротермальных растворах, кинетики гидротермальных реакций образования силикатов.

Как видно из перечня тем отдела, круг научных интересов А.А. Годовикова был очень широк. Он участвовал не только в постановке задачи, что считается половиной дела, но и вникал во все трудности, которые встречались в процессе экспериментов и в интерпретации результатов. Эти исследования были направлены на решение главной задачи, поставленной Александром Александровичем для возглавляемого им коллектива ученых и для себя лично, а именно — на приближение минералогии к тому рубежу, когда она стала бы точной наукой, а не описательной. В связи с этим он разрабатывал и теоретические вопросы минералогии, стремясь создать основу для единой классификации минералов, которая базировалась бы на химических, структурных признаках, на учете генетических особенностей. Особое внимание уделялось связи свойств минералов и их химизма со структурой, развитию учения о химической связи в минералах, выделению основных типов химических веществ по преимущественному типу химической связи. Им предложены новые методики оценки донорно-акцепторных свойств элементов, новые формы Периодической системы Д.И. Менделеева, геохимическая классификация элементов и катионов. Теоретические исследования А.А. Годовикова опубликованы в 7 монографиях (Годовиков, 1972а, 1977а,б, 1979а, 1981, 1997а,б) и положены в основу естественной структурно-химической систематики минералов, ставшей итогом всей его жизни. В качестве ведущего признака самых первых, высших таксонов этой систематики принят преимущественный тип химической связи, по которому выделены пять типов, объединяющие все минеральные виды:

**1 Тип:** Минералы преимущественно с металлическим и металлически-ковалентным типом связи — самородные металлы и полуметаллы, металлы и полуметаллы;

**2 Тип:** Минералы преимущественно с металлически-ковалентным и ионно-ковалентным, редко с остаточным типом связи — халькогенные соединения и самородные VIa-неметаллы;

**3 Тип:** Минералы преимущественно с ионно-ковалентным и ковалентно-ионным типом связи — неметаллы легко (типического, кайносимметричного)

VIa-элемента (O) — кислородные соединения;

**4 Тип:** Минералы преимущественно с ковалентно-ионным и ионным типом связи — галогенные соединения;

**5 Тип:** Углерод, его соединения (кроме карбонатов) и близкие к ним вещества.

Низшие таксоны выделены по: а) принадлежности минерала к изодесмическим или анизодесмическим соединениям; б) типу аниона, катиона; в) координационному числу анионообразователя; г) величине силовой характеристики СХ; д) типу структуры (т.е. структура — это вторичный признак). Самый низший таксон, минеральный вид, по формулировке А.А. Годовикова, — это «*индивидуальное химическое соединение; конечный член твердых растворов; промежуточный член непрерывных твердых растворов с условно принятыми границами по составу*» (Годовиков, 1997а).

Свою классификацию А.А. Годовиков апробировал на самой обширной и чрезвычайно важной для минералогов экспозиции Минералогического музея — «Структурно-химическая систематика минералов», созданной им при участии сотрудников музея. В начале 90 годов прошлого века на эту экспозицию автором был подобран наиболее интересный материал, представлявший 1895 минеральных видов. С тех пор выставка постоянно пополняется минеральными видами, ранее отсутствовавшими в музее и вновь открываемыми, которые находят своё место в классификационных таблицах. К настоящему времени на экспозиции представлено 2917 минеральных видов.

Монография «Структурно-химическая систематика минералов» была опубликована в 1997 году, к сожалению, после смерти Александра Александровича. В настоящее время опубликовано второе, дополненное и исправленное её издание (Годовиков, Ненашева, 2007а, Godovikov, Nenasheva, 2007b).

При исследовании сульфидных систем коллективом лаборатории пиросинтеза под руководством А.А. Годовикова особое внимание обращалось на состав газовой фазы и упругость пара. Это позволило установить ряд важных закономерностей, с которыми необходимо считаться как при синтезе минералов и использовании экспериментальных данных для интерпретации природных процессов, так и при выращивании высококачественных монокристаллов полупроводниковых и оптически активных материалов. Были разработаны способы получения халькогенидных стекол составов  $As_2S_3$ ,  $As_2S_5$ ,  $As_{20}S_{80}$ , оптического

качества (без газовых и твердых фаз, без термических напряжений); монокристаллов — сульфида мышьяка (аурипигмента), широко применяемых в полупроводниковой промышленности, в инфракрасной оптике, акустооптике; кристаллов мышьяка, используемых в устройствах оптической записи информации (голограмм и др.).

Работы по исследованию рудных минералов явились основой оригинальных выводов по генезису многих сульфидов и сульфосолей, разработки их систематики, прогнозирования режима синтеза. Под руководством А.А. Годовикова и при непосредственном его участии в экспериментах разработана методика синтеза монокристаллов прустита, пираргирита, тиогаллата серебра, броммелита, хризоберилла (александрита), парателлурита. На монокристаллах прустита впервые в нашей стране визуализировано ИК-изображение. Кристаллы парателлурита являются светозвукопроводами и используются для изготовления одно- и многоканальных модуляторов, расщепителей, дефлекторов, спектроанализаторов радиочастот и других элементов оптоэлектроники.

Успешно велись и работы по выращиванию изумруда методом раствора в расплаве и в гидротермальных условиях на затравку. Получены не только крупные кристаллы изумруда любых оттенков, по цвету аналогичные природным кристаллам, но и другие драгоценные разновидности берилла — голубоватый аквамарин, желтый гелиодор и малиновый морганит.

Для контроля качества выращиваемых монокристаллов были разработаны методы и аппаратура, позволяющие производить фотогониометрическую ориентировку кристаллов; определять их разрешающую способность; визуализировать микроблочное строение, механические напряжения, не обнаруживаемые обычной микроскопией, измерять величину блоков, углы их разориентировки. Эти методы позволили оценивать качество выращенных кристаллов, оперативно учитывать эти данные при разработке условий выращивания монокристаллов высокой степени совершенства, выбирать лучшие из них для исследований по квантовой электронике.

Проведение этих работ было бы невозможно без тесной связи с теоретическими исследованиями по термодинамике соответствующих систем, кинетике и механизму реакций. Они позволили перейти к работам общетеоретического характера, выясняющим условия формирования отдельными

элементами кристаллических соединений с определенной структурой, определенными свойствами, т.е. включиться в создание научных основ прогнозирования соединений с заданными свойствами. Результаты этих исследований опубликованы в трёх монографиях (Годовиков, 1979б; 1989; Белов, Годовиков, Бакакин, 1982).

Большое значение имеют работы А.А. Годовикова по петрологии высоких давлений, созданию серии аппаратов, обеспечивающих исследования при Р до 200–300 тыс. атм., кубического многопуансонного аппарата с пределом давления до 1 млн. атм. Это открыло новые возможности для: исследований фазовых превращений при сверхвысоких давлениях (достигнуты переходы типа «изоляторы-проводники» в окиси железа при 650 тыс. атм., в алмазе — при 700 тыс. атм., в пиррофиллите — при 750 тыс. атм.); решения ряда основных проблем петрологии больших глубин и геофизики; создания новых сверхтвердых материалов и изделий; выращивания крупных кристаллов алмаза.

Александр Александрович был талантливым педагогом, читал с 1963 года на геолого-геофизическом факультете Новосибирского Государственного университета полный курс минералогии, а затем курсы «Введение в минералогия», «Кристаллохимия», «Генетическая минералогия». Для студентов и широкого круга минералогов были написаны и изданы книги «Введение в минералогия» (Годовиков, 1972б), «Минералогия» (Годовиков, 1975), а позже второе дополненное и переработанное издание этой монографии (Годовиков, 1983). Он готовил минералогов-экспериментаторов, разрабатывая оригинальные самостоятельные направления, организовывал и руководил академическими и полевыми практиками студентов-геохимиков, выезжал с ними на Урал, в Хибинны, в Хакассию, на Алтай, вкладывая в педагогическую работу много труда, инициативы.

А.А. Годовиков передал в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана большую коллекцию минералов, насчитывающую более 4000 тысяч образцов, собранную в многочисленных экспедициях в разные районы Советского Союза и в зарубежных поездках (в США, Чехословакию, Болгарию, Румынию, Монголию, Англию, Японию). Многие образцы его коллекции выставлены на различных экспозициях. В числе образцов, переданных в музей, числится представительная коллекция агатов, включающая образцы из разных генетических типов агатопроявлений (из основных эффузивов — ба-

зальтов и андезитов, кислых вулканитов — риолитов, полостей выгорания растительных остатков, пустот выщелачивания осадочных пород). При изучении агатов уделялось внимание многим проблемам их генезиса: причинам и механизму образования газовых полостей в основных эффузивах, приуроченности полостей к любой части потока, коалесценции газовых пузырей, формам мицелин, составу газов в газовых пузырях, составу минералов, слагающих агаты, составу лавовых сосулук и донных настывлей в газовых пузырях, механизму формирования полостей в литофизах риолитов и т.д. Эти исследования были отражены в монографии «Агаты» в соавторстве с О.И. Репиненным и С.Г. Моториным и воплощены в новой экспозиции «Агаты» (А.А. Годовиков, М.Б. Чистякова).

Годы работы в Минералогическом музее были очень плодотворными и очень сложными годами как жизни Годовикова, так и жизни музея. И здесь также проявились «исключительные» (по характеристике академика А.А. Трофимука) организаторские способности Александра Александровича. Под его руководством в короткое время были завершены ремонт и реставрация музея, длившиеся в течение 8 лет, восстановлены старые и созданы новые экспозиции, освоены новые площади, непосредственно примыкавшие к музею и ранее принадлежавшие Палеонтологическому музею. Это позволило увеличить число экспозиций, освободив под них место, занимаемое ранее шкафами с фондовым материалом коллекции месторождений, которые были перенесены в фондохранилище (бывший экспозиционный зал Палеонтологического музея). Создание новой электрофицированной геологической карты (Н.И. Зардиашвили) вместо громоздкой старой также дало возможность увеличить экспозиционные площади и, кроме того, лучше осветить музей. К восстановлению музея Александр Александрович привлек замечательного минералога В.И. Степанова, молодых минералогов-энтузиастов Д.А. Романова, Д.В. Абрамова, А.Б. Никифорова. Эта работа, по словам главного хранителя музея того времени М.А. Смирновой: «Потребовала огромного напряжения сил не только всего коллектива Минералогического музея, но и минералогов, работавших в других институтах Москвы, Новосибирска, Киева, минералогов-любителей, членов семей сотрудников музея, их знакомых, увлеченных энтузиазмом и личным примером А.А. Годовикова». Она была завершена, и музей открыли к 27-й Сессии



А.А. Годовиков среди сотрудников отряда экспедиции в Монголию. 1988 г.

международного геологического конгресса, состоявшегося в Москве в августе 1984 года.

За годы работы в музее сотрудниками под руководством А.А. Годовикова и часто при его непосредственном участии создавались новые экспозиции, модернизировались старые выставки. По новой уникальной экспозиции «Формы существования минералов в природе», созданной А.А. Годовиковым, В.И. Степановым, М.А. Смирновой, в 2003 году была опубликована книга А.А. Годовикова и В.И. Степанова «Формы нахождения минералов». Прекрасно иллюстрированный материал, отобранный после просмотра всех образцов из фондов, позволяет проследить эволюцию степени совершенства кристаллов в зависимости от условий их образования — от практически идеальных до столь дефектных, что их с одинаковым правом можно считать и индивидами и агрегатами.

В этот же восстановительный период были подготовлены уникальные экспозиции: «Систематика минералов» (А.А. Годовиков, М.А. Смирнова), «Карстовые пещеры» — часть выставки «Формы существования минералов в природе» (А.А. Годовиков, В.И. Степанов, М.А. Смирнова), «Минералы Подмосковья» (В.И. Степанов). Модернизованы выставки: «Поделочные и драгоценные камни» (М.Б. Чистякова, Л.В. Булгак, М.А. Смирнова), «Скарны» (О.Л. Свешникова), «Причи-

ны окраски минералов» (А.Н. Платонов, Т.М. Павлова, Л.А. Кудинова), начата работа над созданием экспозиции «Разнообразие минеральных видов», продолжавшаяся сотрудниками музея и после смерти Александра Александровича.

Как уже отмечалось, в период подготовки музея к открытию А.А. Годовиковым, В.И. Степановым, М.А. Смирновой, и другими сотрудниками были просмотрены все образцы, хранившиеся в фондах. Возникла идея разделить их по качеству, генетической значимости на три коллекции. Предполагалось отнести к коллекции «А» уникальные образцы, которые должны сохраняться неприкосновенными, к коллекции «Б» — образцы, от которых можно давать вещество на исследование. Образцы коллекции «В» собирались упаковать и убрать, чтобы освободить место для вновь поступающего материала. Эта идея, горячо поддержанная А.А. Годовиковым, претворялась в жизнь. Б.Б. Шкурский, Д.В. Абрамов, Т.И. Матросова просмотрели турмалины, цеолиты, бериллы, пириты, марказиты.

Александр Александрович пригласил минералога Д.И. Белаковского, под руководством которого была начата работа по компьютеризации музея. Создавалась база данных, в которую вносились данные о музейных коллекциях. Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН стал первым музеем в России,

имеющим компьютерную базу данных по своим экспонатам.

По инициативе А.А. Годовикова с 1986 года начинается зарубежная выставочная деятельность музея. Первая временная тематическая выставка состоялась в Венгрии. Затем были выставки в Чехословакии (Прага), во Франции (Париж), Финляндии (Хельсинки), Германии (Мюнхен), в США (Хьюстон), Японии (Токио), которые пользовались огромным успехом, собирали большое число посетителей. Александр Александрович использовал поездки на зарубежные выставки для знакомства с минералогическими коллекциями разных музеев в этих странах, фотографировал уникальные, наиболее генетически интересные или эффектные в художественном отношении образцы, чтобы по возвращению из командировки познакомить не только сотрудников музея, но и широкую минералогическую общественность с знаменитыми минералогическими коллекциями. Кроме того, он не упускал возможности рассказать о Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана, выступая с лекциями на эту тему, рассказывая об истории музея, показывая аудитории слайды наиболее интересных образцов из коллекции музея, т.е. старался знакомить широкую общественность с минералогией и таким образом занимался популяризаторской деятельностью.

В последние годы жизни Александр Александрович много работал над систематикой минералов, писал главы новой задуманной им книги «Минералогия», в которую он хотел включить описание всех известных в то время минеральных видов и охарактеризовать условия их образования. Эта монография должна была стать наиболее полной современной книгой по минералогии. Его работоспособность была удивительной. Он не знал такого понятия, как отдых по выходным или в отпускной период. Во время отпусков он работал над очередной книгой, статьей, претворяя в жизнь задуманные планы. А планов было очень много. Например, он очень хотел написать монографию по неорганической химии, в которую вошли бы все известные в то время неорганические соединения, собирал материалы для этой книги, следил за новыми открытиями в области естественных наук: химии, физики, биологии. Планировал написать книгу о минералогических коллекциях, собранных в разных музеях мира, и с этой целью делал слайды, собирая изображения образцов в разных музеях.

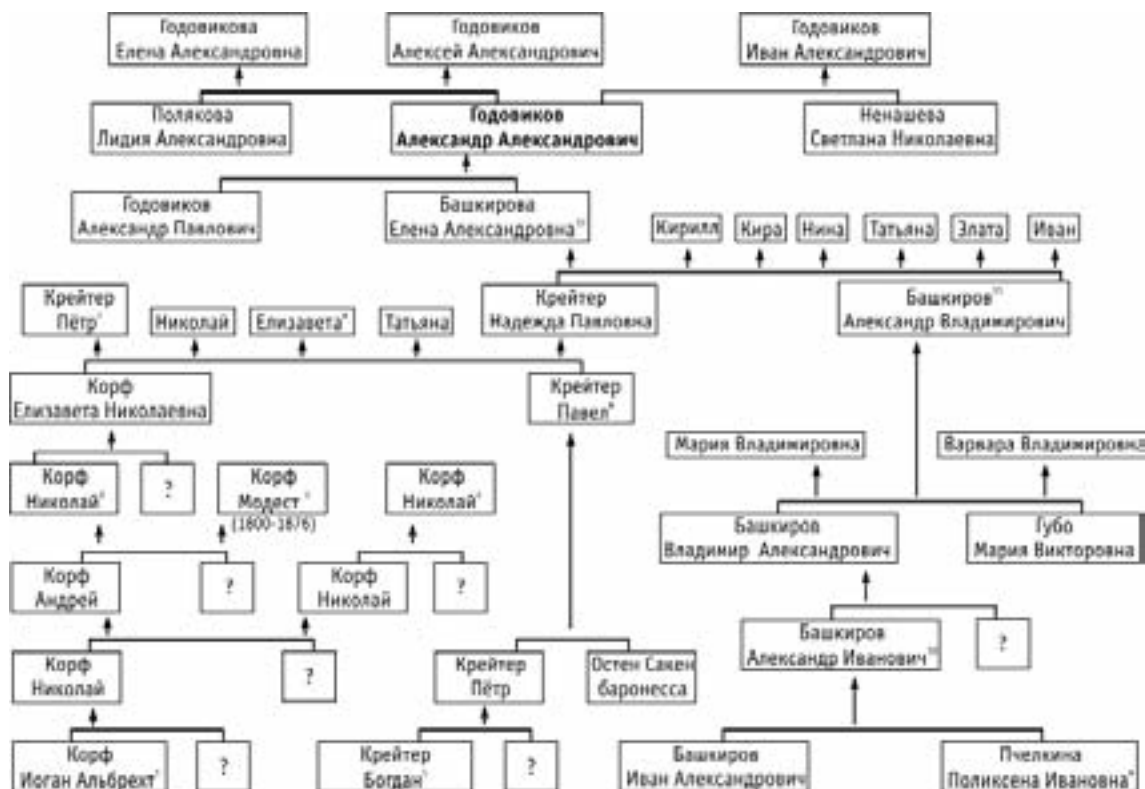
Из сказанного выше можно предположить, что Александр Александрович всего се-

бя посвящал только работе. На самом деле ничто человеческое не было чуждо ему. Он очень любил маму — Елену Александровну, своих детей, внуков. Помогал старшим детям адаптироваться к современным условиям (90-е годы XX века) и много времени уделял воспитанию младшего. В редкие 2–3 недели, на которые он выбирался из Москвы, Александр Александрович очень любил проводить время в кругу семьи (имеется в виду вторая половина дня, т.е. после 14 часов, так как с утра он всегда работал): собирать грибы, греться на солнышке на пляже, плавать, просто гулять по лесу, наблюдая за птицами, бабочками, насекомыми. Его деятельная натура не позволяла ему быть без дела, всегда находилось что-то, что делалось для пользы окружающих: что-то отремонтировать, что-то прибить, сходить за продуктами. Несмотря на свою занятость, находил время для ремонта квартиры, и даже своими руками делал вполне приличную мебель. Причем всё он делал с охотой, очень умело и аккуратно. Своим детям он говорил, что всё надо делать с удовольствием, тогда и получаться будет хорошо, и сам будешь получать радость от результата.

А.А. Годовиков был очень требовательный человек, не терпел расхлябанности, недисциплинированности, небрежного отношения к работе. С сотрудниками, недобросовестно относящимися к работе, Александр Александрович не желал иметь ничего общего, и они, соответственно, относились к нему с неприязнью. Зато к аккуратным, добросовестным членам коллектива относился очень тепло, уважительно, за что и пользовался их уважением и любовью. Он всегда приходил на помощь друзьям, знакомым, сотрудникам в каких-то сложных ситуациях. Помогал, чем мог: советом, ходатайством в общественных организациях по разным поводам, организацией отдыха, лечения.

Александр Александрович считал, что каждый исследователь имеет право на свою точку зрения по любому вопросу, и поэтому очень внимательно выслушивал другую трактовку какого-то факта, иную гипотезу, противопоставлял свои доводы, спокойно пытался убедить в своей правоте, и если не удавалось, относился к этому с пониманием, задумывался над тем, не ошибается ли он сам. Никогда не пытался давить, как-то преследовать человека за иные идеи, не был злопамятным, очень быстро забывал свои обиды и, если видел, что человек может принести пользу делу, привлекал его к работе, несмотря на разногласия по каким-то вопросам.

## Родословная Александра Александровича Годовикова по материнской линии

**Семья Корф**

<sup>1</sup> Иоган-Альбрехт Корф в 1730 г. прибыл в свите Анны Иоановны в Россию. Барон, курляндский рыцарь. Получил блестящее образование. Безбожник, книголюб и алхимик. Возглавлял одно время Академию наук. Образовал "Русское собрание" при Академии, где русские занимались толкованием русского языка и, как следствие, составляли "Толковый словарь языка Российского". И.-А. Корф заболел, чтобы в России были свои ученые. Посылал учиться за границу М.В. Ломоносова, Д.И. Виноградова, Г.В. Рихмана. Поддерживал В.К. Третьяковского (человека робкого, но талантливого). После дуэли — посол. О нём написано в книге В. Пичула "Слово и дело" из времен Анны Иоановны.

<sup>2</sup> Николай Андреевич Корф (1834—1883 г) — видный русский педагог и методист, прогрессивный деятель народного образования. О нем есть статья в БСЭ.

<sup>3</sup> Модест Андреевич Корф (1800—1876 г.) — историк. В словаре Брокгауза и Ефрона написано, что его перу принадлежит сочинение о восстании декабристов. В 1834 г. — Госсекретарь. 1864—1872 гг. — председатель департамента законов Госсовета. О нем есть статья в БСЭ.

<sup>4</sup> Николай Николаевич Корф (организовывал в России школы в сельской местности).

**Семья Крейтер**

<sup>5</sup> Богдан Крейтер прибыл в Россию в свите Анны Иоановны в 1730 г.

<sup>6</sup> Павел Петрович Крейтер — посланник в Италию, потом во Францию.

<sup>7</sup> Петр Павлович Крейтер был женат на Татьяне Михайловне Пуцциной, дочери полковника Михаила Николаевича Пуццина (1846—1877), погибшего на войне. Его отец Николай Николаевич — двоюродный брат декабриста Ивана Ивановича Пуццина. Оба они внуки адмирала Петра Ивановича Пуццина.

<sup>8</sup> Елизавета Павловна Крейтер была замужем за доктором Евгением Михайловичем Ивановым.

**Семья Башкировых**

<sup>9</sup> Поликсена Ивановна Пчелкина, фрейлина Елизаветы. Добровольная воспитательница Иоанна Антоновича (сына Анны Леопольдовны, внучки царя Ивана V, брата Петра I. О Пчелкиной написано в романе Данилевского "Минович").

<sup>10</sup> Александр Иванович Башкиров — предводитель дворянства Тульской губернии. В краеведческом музее города Орла есть его фото. Был женат на Варваре Александровне Евреиновой. Имел 16 детей.

<sup>11</sup> Александр Владимирович Башкиров — переводчик с французского языка. Перевел книгу об инквизиции.

<sup>12</sup> Елена Александровна Башкирова была замужем за Годовиковым Александром Павловичем, рабочим высшей квалификации — лекальщиком.

В последний год жизни А.А. Годовиков много размышлял над путями развития минералогии как науки, что вылилось в его монографию «Краткий очерк по истории минералогии», публикацию которой ему также не суждено было увидеть. Монография вышла из печати в 1998 году. Многие из задуманного Александр Александрович не успел сделать, много собранных им материалов осталось не использовано, но и то, что сделано, говорит о нём как о человеке неординарном, человеке с большим потенциалом, глубокими знаниями, пытливым умом, человеке огромной работоспособности.

## Литература

- Белов Н.В., Годовиков А.А., Бакакин В.В. Очерки по теоретической минералогии. М.: Наука, **1982**. 207 с.
- Годовиков А.А. О кальците из карьера у деревни Амерово, Московской области // Труды Минералогического музея АН СССР. **1961**. Вып. 12. С. 177–181.
- Годовиков А.А. Минералы ряда висмутин-галенит. Новосибирск: Наука, **1965**. 188 с.
- Годовиков А.А. Висмутовые сульфосоли. М.: Наука, **1972**. 303 с.
- Годовиков А.А. Введение в минералогию. Новосибирск: Наука, **1972**. 256 с.
- Годовиков А.А. Минералогия. М.: Недра, **1973**. 519 с.
- Годовиков А.А. Орбитальные радиусы и свойства элементов. Новосибирск: Наука, **1977а**. 155 с.
- Годовиков А.А. Свойства элементов и периодическая система Д.И. Менделеева. Новосибирск: изд-во Института Геологии и Геофизики СО АН СССР, **1977б**. 36 с.
- Годовиков А.А. Химические основы систематики минералов. М.: Недра, **1979а**. 302 с.
- Годовиков А.А. Кристаллохимия простых веществ. Новосибирск: Наука, **1979б**. 181 с.
- Годовиков А.А. Периодическая система Д.И. Менделеева и силовые характеристики элементов. Новосибирск: Наука, **1981**. 94 с.
- Годовиков А.А. Минералогия. М.: Недра, **1983**. 647 с..
- Годовиков А.А. О связи свойств элементов со структурой и свойствами минералов. М.: Наука, **1989**. 118 с.
- Годовиков А.А. Структурно-химическая систематика минералов. М.: Изд-во Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН, **1997а**. 247 с.
- Годовиков А.А. Краткий очерк по истории минералогии. М.: Изд-во Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН, **1998**. 161 с.
- Годовиков А.А., Дьячкова И.Б. Феррофосфат из Подмосковья. // ЗВМО. **1961**. № 6. С. 735–739.
- Годовиков А.А., Ненашева С.Н. Структурно-химическая систематика минералов. М.: Изд-во «Ассоциация ЭкоСт», **2007а**. 296 с.
- Годовиков А.А., Рупинен О.И., Моторин С.Г. Агаты. М.: Недра, **1987**. 368 с.
- Годовиков А.А., Степанов В.И. Формы нахождения минералов. М.: Изд-во «Ассоциация ЭкоСт», **2003**. 64 с.
- Godovikov A.A. Structural – chemical systematic of minerals. M.: Fersman Mineralogical Museum RAS, **1997b**. 240 p.
- Godovikov A.A., Nenasheva S.N. Structural – chemical systematic of minerals. M.: Ocean Pictures Ltd. **2007 b**. 295 p.
- Godovikov A.A., Stepanov V.I. Natural Mineral Forms. M.: Ocean Pictures Ltd. **2003**. 63 p.

## ПРОФЕССОР ГЕОРГИЙ ПАВЛОВИЧ БАРСАНОВ И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ШКОЛА В.И. ВЕРНАДСКОГО И А.Е. ФЕРСМАНА

Прошло 100 лет со дня рождения доктора геолого-минералогических наук, профессора Георгия Павловича Барсанова, достойного наследника и представителя научной минералого-геохимической школы академиков В.И. Вернадского и А.Е. Ферсмана, четверть века возглавлявшего Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана и более 30 лет — кафедру минералогии в Московском университете имени М.В. Ломоносова.

Вся жизнь Георгия Павловича связана с научной, преподавательской и просветительской работой в области минералогии. С начала 30-х годов он, работая под руководством А.Е. Ферсмана в Ломоносовском институте и Минералогическом музее АН СССР Ленинграда, участвует в региональных минералого-геохимических исследованиях в Азербайджане, Грузии, Южной и Северной Осетии, Кабардино-Балкарии. После перевода учреждений в Москву Георгий Павлович, продолжая работать в Минералогическом музее, начинает с 1937 г. преподавательскую работу в Московском институте цветных металлов и золота (МИЦМиЗ). В 1948 году Г.П. Барсанов возобновил эту деятельность и создал оригинальный курс минералогии, основанный на развитии идей В.И. Вернадского и А.Е. Ферсмана. В довоенные годы Георгий Павлович занимался детальными минералогическими исследованиями в Ильменских горах на Среднем Урале. К этой теме он вернулся после перерыва, связанного с участием в тяжелых боях осенью 1941 г. на Северо-Западном фронте в качестве командира батальона, когда после контузии был эвакуирован в г. Миасс на Урале и по состоянию здоровья находился на инвалидности 7 лет до 1948 года. Несмотря на это, Георгий Павлович уже в 1942 г. продолжил начатые ранее исследования. Полученные им уникальные материалы по редкоземельным тантало-ниобатам и явлению метамиктности в дальнейшем явились основой его кандидатской и докторской диссертаций, защищенных в 1943 и 1948 гг. соответственно. Последняя была отмечена премией АН СССР.

В начале пятидесятых годов минувшего столетия авторитет Георгия Павловича как

крупнейшего специалиста в области теоретической минералогии и выдающегося знатока минералов, незаурядного преподавателя и блестящего лектора получил всеобщее признание.

В 1953 году Георгий Павлович Барсанов становится директором Минералогического музея АН СССР. В этом же году он избирается по конкурсу заведующим кафедрой минералогии на геологическом факультете Московского университета имени М.В. Ломоносова в только что построенном новом здании на Ленинских (Воробьевых) горах, где под его руководством в течение всей его деятельности и в дальнейшем успешно развивались традиционные и новые, фундаментальные и прикладные направления минералогических исследований.

Георгий Павлович Барсанов — один из выдающихся наследников минералого-геохимической научной школы В.И. Вернадского — А.Е. Ферсмана. Безусловно, на формирование научных интересов Георгия Павловича наибольшее влияние оказал А.Е. Ферсман, под руководством которого он работал в Минералогическом музее, начиная с 1931 г., после окончания Ленинградского университета. Возглавив Минералогический музей, Георгий Павлович, развивая идеи своего учителя, выдвинул новый принцип организации музейных экспозиций: вместо витрин по отдельным месторождениям появляется целый ряд научно-тематических выставок. На основе разработанной Г.П. Барсановым структурно-химической классификации была создана выставка «Систематика минеральных видов». Эта же классификация была принята в широко известном многотомном академическом справочнике «Минералы», издававшемся с 1960 года в течение многих лет силами сотрудников академических учреждений (в том числе Минералогического музея) и кафедры минералогии Московского университета.

Результатом работ Г.П. Барсанова по изучению истории музея и минералогии в России стала «Историческая выставка». Были созданы такие экспозиции, как «Причины ок-

раски минералов», «Псевдоморфозы», «Минералообразующие процессы», «Формы нахождения минералов», существенно переделана выставка «Геохимия элементов в процессах минералообразования».

Под руководством Георгия Павловича Минералогический музей, носящий к тому времени имя академика А.Е. Ферсмана, превратился в крупнейшее мировое собрание минералов и один из ведущих центров научных минералогических исследований со своими собственными лабораториями. Под редакцией Г.П. Барсанова выходят ежегодные выпуски основанного еще при В.И. Вернадском научного журнала «Труды Минералогического музея». Здесь публикуются и собственные работы Георгия Павловича, посвященные методам исследования минералов, истории развития минералогии в XVIII и XIX вв., творчеству академика А.Е. Ферсмана, а также результатам выполненных на основе обширной коллекции музея исследований по люминесценции и окраске минералов, оказавших влияние на формирование и развитие отечественной школы физики минералов.

В период заведования кафедрой минералогии в Московском Университете в полной мере раскрылись способности Г.П. Барсанова в качестве организатора учебно-преподавательской и научно-исследовательской работы как единого процесса.

Его великолепные лекции по полному курсу минералогии всегда собирали полную студенческую аудиторию. Они отличались яркой и образной формой и вместе с тем строгостью изложения кристаллохимических, конституционно-физических, физико-химических и генетических основ минералогии. У Георгия Павловича были очень хорошо поставленный голос и весьма выразительная мимика, что всегда также привлекало слушателей. Составленный под его руководством учебный план с проведением спецпрактикумов по традиционным и современным инструментальным методам минералогических исследований и теоретических семинаров обеспечивал подготовку специалистов — минералогов высшей квалификации.

Это оказалось возможным благодаря энергичной поддержке Георгием Павловичем организации научных и учебных лабораторий, оснащенных самым современным оборудованием для изучения химического состава, физических и физико-химических свойств минералов и проведения экспериментальных исследований. Укрепился кадровый состав



*Георгий Павлович Барсанов*

кафедры как за счет привлечения известных специалистов, так и своих выпускников и аспирантов.

В дополнение к классическим методам диагностики минералов по внешним признакам с помощью паяльной трубки, по оптическим константам и удельному весу, качественного и полного химического анализов, а затем и на смену этим способам в учебные практикумы и научные исследования пришли новые тогда методы измерения микротвердости, спектрального, термического и люминесцентного анализов. В дальнейшем на кафедре была организована лаборатория электронной микроскопии, микрозондового анализа, лаборатория спектрального анализа оснастилась лазерным микроанализатором, а лаборатория термического анализа — дериватографом. В рамках развития физико-химического направления развернулись исследования по термохимии минералов с определением термодинамических констант методом микрокалориметрии. Успешно проводились эксперименты по электрохимии минералов. Исследовалась устойчивость минералов в условиях, моделирующих процессы гипергенеза с участием микроорганизмов. Совершенно новое содержание получили работы по физике минералов: люминесцентной и оптической спектроскопии, электронному парамагнитному резонансу, спектроскопии комбинационного рассеяния света.

На кафедре развивались исследования минерального состава скарновых месторождений кобальта, железных и молибден-вольфрамовых руд, редкометальных пегматитов, гидротермальных месторождений золота, нацеленные на решение генетических, поисково-оценочных и технологических проблем.

Под научным руководством Г.П. Барсанова прошли успешные защиты множества



*Профессор Г.П. Барсанов и сотрудницы кафедры минералогии МГУ им. М.В. Ломоносова: доцент А.Г. Теремецкая (в центре), доцент Г.И. Бочарова (справа). 1960-е гг.*

дипломных работ, десятки кандидатских и докторских диссертаций. Среди его непосредственных воспитанников и выпускников кафедры немало ныне известных ученых, преподавателей и специалистов-минералогов, работающих в академических и отраслевых институтах, в высших учебных заведениях, в производственных организациях в Москве и других городах России, а также за рубежом.

Г.П. Барсановым опубликовано свыше 130 научных работ и ряд монографий, не считая многочисленных статей для II и III изданий Большой Советской Энциклопедии.

К этому нужно добавить, что Георгий Павлович Барсанов вел весьма насыщенную научно-организаторскую и общественную работу: декан Геологического факультета МГУ (1957–1961 гг.), член ученых советов, научный редактор-консультант II и III изданий Большой Советской Энциклопедии, ответственный редактор и член редколлегии различных периодических изданий, трудов, сборников, справочников и журналов; консультант производственных организаций, отраслевых институтов; активный член комиссий, в 1960–1964 гг. — вице-президент Международной Минералогической Ассоциации. Его заслуги перед отечеством отмечены Правительственными наградами: орден «Трудового Красного Знамени», трижды — «Знак Почета» и многочисленные медали, в том числе «За отвагу», «За Победу над Германией» и «20 лет Победы над Германией», грамоты и премии. Г.П. Барсанов — «Заслуженный деятель науки РСФСР».

Георгий Павлович остался в памяти сотрудников и выпускников кафедры и факультета как исключительно яркая и одаренная личность, крупный ученый, организатор и руководитель научных направлений с широкой тематикой фундаментальных и прикладных минералогических исследований. Он отличался высоко развитым чувством ответственности и требовательности, разнообразием интересов и широтой взглядов, неизменной доброжелательностью, оптимизмом и юмором.

Хотелось бы отметить, что кроме любви к своей профессии, у Георгия Павловича было еще одно увлечение: он был страстным любителем-фотографом, объектом его фотодейтельности обычно была матушка-природа. Им создано несколько великолепных фотоальбомов. Незабываемы его фотовыставки в библиотеке геологического факультета МГУ.

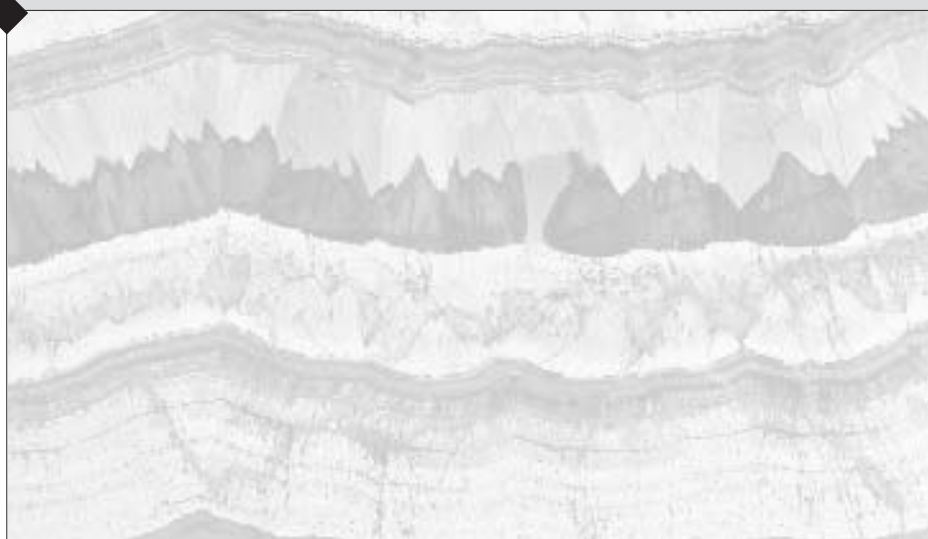
Георгий Павлович хорошо знал и понимал классическую музыку, был завсегдатаем Консерватории. Эти увлечения гармонировали с характером и внутренним содержанием Георгия Павловича — очень интересного человека и незаурядной личности.

Но все это не передает его особое обаяние. Вспомним его вместе с друзьями и теми коллективами, которые он основал и с которыми работал. В советской минералогии и петрографии было 3 знаменитых «мушкетера» — Валерий Петрович Петров, Евгений Константинович Устиев и Георгий Павлович Барсанов. Их связывало многое. Их юность прошла в старом Тбилиси, городе Пиросмани и Гудиашвили. Они впитали дух старой грузинской культуры. Затем они перебрались в Ленинград, где приобщились к особой культуре университета этого города, воспитавшего много выдающихся геологов, физиков и других ученых.

Коллективы кафедры минералогии Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова и Минералогического Музея им. А.Е. Ферсмана помнят, любят Георгия Павловича и гордятся тем, что им довелось работать, учиться или просто общаться с этим замечательным человеком.

*Сотрудники  
кафедры минералогии  
Московского Государственного  
Университета им. М.В. Ломоносова*

# Минералогические заметки



УДК 549.742.22

## Ca-СОДЕРЖАЩИЙ СТРОНЦИАНИТ, БАРИТ, ДОЛОМИТ И КАЛЬЦИТ В МЕТАКИМБЕРЛИТАХ ТРУБКИ ЗАРНИЦА, ЯКУТИЯ

Е.Л. Соколова

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, [mineral@fmm.ru](mailto:mineral@fmm.ru)

Э.М. Спиридонов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, [mineral@geol.msu.ru](mailto:mineral@geol.msu.ru)

Изучен стронцианит из метакимберлитов трубки Зарница. По минеральным ассоциациям и изотопному составу углерода и кислорода Ca-содержащий стронцианит и ассоциирующие минералы имеют метаморфогенно-гидротермальный генезис и возникли в условиях цеолитовой фации регионального низкоградного метаморфизма погружения послетраппового возраста.

В статье 6 рисунков, 3 таблицы, список литературы из 23 названий.

Кимберлитовые трубки в центральной части Восточно-Сибирской платформы секут толщи палеозоя плитного чехла и имеют большей частью дотрапповый возраст. Кимберлиты по составу отвечают ультраосновным щелочным лампрофирам со значительным (до 30–50 % объёма) количеством магматического пластинчатого кальцита, содержащего до 3 мас. % Sr и 0.5 мас. % Ba (Никишов, 1984; Mitchell, 1986). Толщи раннего и среднего палеозоя Восточно-Сибирской платформы содержат массу эвапоритов, нередко насыщенных рассолами; эвапориты и рассолы обогащены Sr, ангидриты и доломиты содержат рассеянный целестин (Геология..., 1966).

Значительная часть Восточно-Сибирской платформы покрыта многокилометровыми толщами платобазальтов и/или туфов базальтов и насыщена дайками, силлами и интрузивами габбро-долеритов трапповой формации, изотопный возраст которой 251 млн. лет (Kamo *et al.*, 2003), что отвечает границе пермь-триас. Трапповая формация и подтрапповые толщи с телами кимберлитов дотраппового возраста испытали значительное погружение (аналогичное погружению Антарктиды, Гренландии, Балтийского щита под тяжестью намерзших льдов). Все эти образования захвачены метаморфизмом погружения — региональным метаморфизмом в условиях цеолитовой и пренит-пумпеллиитовой фаций; изотопный Rb/Sr возраст процессов низкоградного метаморфизма плитного чехла Восточно-Сибирской платформы от 232 до 122 млн. лет, последнее значение датирует время формирования месторождений исландского шпата (Спиридонов и др., 2000, 2006).

Отметим особенности низкоградного метаморфизма: 1) крайняя неоднородность про-

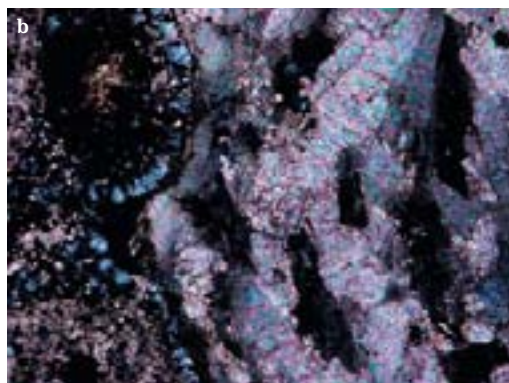
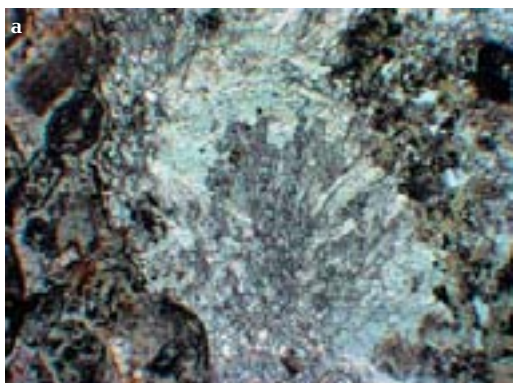
явления; количество метаморфогенных новообразований меняется от следов до 100% на коротких расстояниях; максимальное их количество около флюидопроводников (зон трещиноватости); 2) флюидодоминирующий характер — по этой причине метароды, как правило массивные, не расланцованы, содержат трещины гидроразрыва, заполненные метаморфогенно-гидротермальными жилами альпийского типа; 3) повышенный окислительный потенциал метаморфогенных флюидов (Thompson, 1971; Файф и др., 1981; Low Grade..., 1999 и др.). Жилы альпийского типа заполнили цеолиты, серпентин, минералы кремнезёма, карбонаты Ca-Mg-Fe-Mn-Sr, гидрооксиды Fe, сульфаты Ca-Sr-Ba...

Изменённые кимберлиты с обильной вкрапленностью, гнёздами и жилами серпентина, кальцита, доломита, магнетита, пирита, целестина, брусита — амакинита, гидроталькита — пироаурита, минералов кремнезёма (в том числе гнёзд агата) и иных низкотемпературных минералов, характер которых не меняется во всём интервале разведанных глубин (до 1200–1500 м), обычно рассматривают как образования древних кор выветривания или как послемагматические (Бобривич и др., 1959; Лебедев, 1963; Милашев, 1963; Францесон, 1968; Маршинцев и др., 1980; Корнилова и др., 1981; Подвысоцкий, 1985). Этому противоречат фактические данные по температурам формирования карбонатов, серпентина, магнетита, целестина в изменённых кимберлитах (80–130°C и до 210–250°C) (Кузнецов и др., 1995; Соколова, Спиридонов, 2006 и др.) и данные по изотопии кислорода (Уханов и др., 1982, 1986). Обоснованно усомнился в послемагматическом генезисе гидротермальной Sr минерализации в серпентинизированных кимберлитах И.П. Илупин (Илупин, 1961).



Рис. 1. Гнёзда и прожилки стронцианита в метакимберлитах: а – образец 60063, 10 см; б – образец М 28392, 9.5 см.

Рис. 2. а – прожилок Ca-содержащего стронцианита в метакимберлитах с зелёным лизардитом. Шлиф при 1 николе. Ширина поля зрения 4 мм. б – деталь снимка 2а. Слева метакимберлиты – тонкозернистые агрегаты доломита, анкерита, кальцита и лизардита. Справа – сростания нескольких расщеплённых призматических кристаллов Ca-содержащего стронцианита. Никולי х. Ширина поля зрения 0.8 мм. Образец 60063.



Минеральные ассоциации метакимберлитов Восточно-Сибирской платформы отвечают цеолитовой фации (Спиридонов и др., 2000); серпентиновый минерал в них – лизардит, типичные парагенезы лизардит + кальцит, лизардит + доломит, лизардит + гётит (Корнилова и др., 1981; Никишов, 1984; Соколова, Спиридонов, 2006).

Минералы стронция – целестин и стронцианит широко развиты среди метакимберлитов трубок Мир, Удачная-Восточная, Якутская, Заполярная и многих других, особенно широко в трубке Зарница (Бобриевич и др., 1959; Илупин, 1961 и др.). В метакимберлитах трубки Зарница гнёзда целестина с поперечником до 25 см и его прожилки расположены в скоплениях лизардита. Целестин замещает лизардит. Целестин бесцветный, белый, голубой, красновато-розовый (с включениями мельчайших пластинок лепидокрокита), бурый (с включениями битумов и нефти размером до 0.5 мм). В зонах трещиноватости целестин частично или полностью замещён

стронцианитом. Замещение целестина стронцианитом обусловлено ростом фугитивности  $\text{CO}_2$  в метаморфогенном флюиде, что обычно происходит при понижении температуры (Thompson, 1971).

Нами изучены агрегаты фарфоровидного (обр. 60063) и сферолитового (обр. М28392) стронцианита. Химический состав стронцианита и парагенных минералов определён с помощью электронного микрозонда JXA-50А в лаборатории Минералогического музея РАН, эталоны  $\text{SrSO}_4$  (Sr),  $\text{BaSO}_4$  (Ba, S), диопсид USNM 117733 (Ca, Mg, Mn, Fe); там же получены фотографии в режиме электронного микроскопа, исследователь Л.А. Паутов. Изотопный состав стронция, углерода и кислорода в стронцианите измерен в лаборатории изотопного анализа ГИН РАН, исследователь Б.Г. Покровский.

Образец 60063 – это брекчированные метакимберлиты с корками, гнёздами и прожилками стронцианита (рис. 1а, 2). Толщина прожилков до 4 см. Плотная масса стронци-

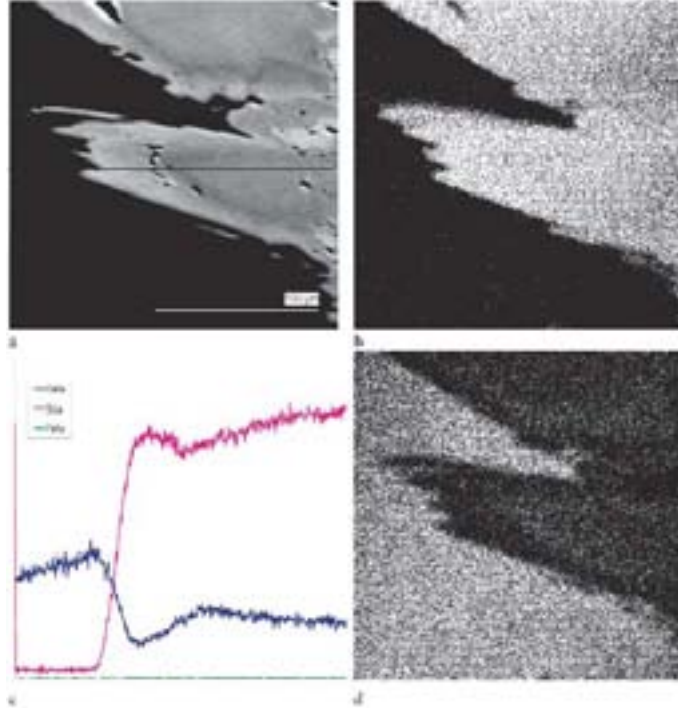


↑ Рис. 3. Агрегаты Ca-содержащего стронцианита (светлое) (анализы s1–s4) с массой кристаллов кальцита (серое) (анализ c1), редким баритом (анализы b1–b2), реликтовым лизардитом (чёрное) на метакимберлитах. Изображение в отражённых электронах. Ширина поля зрения 1.9 мм. Образец 60063.

↗ Рис. 4. Сферолит стронцианита, 2 мм. На нём мелкие зональные кристаллы доломита. Шлиф при 1 николе. Образец M 28392.

↗↗ Рис. 5. Срастания стронцианита и доломита: а — на агрегатах призматических кристаллов Ca-содержащего стронцианита (белое) корки сферолитов доломита (серый) (анализы d1–d3) с включениями мелких кристаллов барита (анализы b3–b5) (ширина поля зрения 2.9 мм). б — деталь снимка 5а, щётка зональных кристаллов Ca-содержащего стронцианита (анализы s5–s8) (ширина поля зрения 0.3 мм). Изображения в отражённых электронах. Образец M 28392.

→ Рис. 6. Зональные кристаллы Ca-содержащего стронцианита, на которые вырос доломит. Изображения: а — в отражённых электронах; б — в характеристическом рентгеновском излучении SrLa; в — концентрационные профили Sr, Ca и Fe по линии, показанной на А; д — в характеристическом рентгеновском излучении CaKa. Образец M 28392



анита под микроскопом — агрегат расщеплённых длиннопризматических кристаллов (рис. 2). По составу это Ca-содержащий стронцианит  $\text{Sr}_{0.792-0.814}\text{Ca}_{0.181-0.203}\text{Fe}_{0.002-0.005}\text{Ba}_{0-0.001}[\text{CO}_3]$  (табл. 1, ан. s1 – s4). Около метакимберлитов в агрегатах Ca-содержащего стронцианита обилие кальцит (рис. 3), его состав  $\text{Ca}_{0.990}\text{Sr}_{0.007}\text{Fe}_{0.002}\text{Ba}_{0.001}[\text{CO}_3]$  (табл. 1, ан. c1). В массе стронцианита развиты редкие выделения барита размером до 20 мкм, его состав  $\text{Ba}_{0.970-0.973}\text{Sr}_{0.009-0.023}\text{Ca}_{0-0.009}\text{Fe}_{0.004-0.012}[\text{SO}_4]$  (табл. 2, ан. b1 – b2).

Образец M28392 — это метакимберлиты с крупным гнездом из сферолитов стронцианита, размер сферолитов до 4 мм (рис. 1б, 4). Сферолиты сложены Ca-содержащим стронцианитом относительно однородного состава. На них выросли мелкие зональные кристаллы доломита (рис. 4) и их агрегаты или

зональные по составу призматические кристаллы Ca-содержащего стронцианита длиной до 1 мм (рис. 5, 6). Призматические кристаллы Ca-содержащего стронцианита частично полые, их поперечное сечение ромбовидное. Внутренние зоны этих кристаллов обогащены Ca, их состав  $\text{Sr}_{0.720-0.726}\text{Ca}_{0.271-0.276}\text{Fe}_{0.003}[\text{CO}_3]$  (табл. 1, ан. s7 – s8), внешние зоны обогащены Sr, их состав  $\text{Sr}_{0.831-0.851}\text{Ca}_{0.148-0.162}\text{Fe}_{0-0.003}\text{Ba}_{0.001-0.002}[\text{CO}_3]$  (табл. 1, ан. s5 – s6). Местами на сферолиты Ca-содержащего стронцианита выросли сплошные сферолитовые корки доломита толщиной до 0.5 мм (рис. 5, 6) с микровключениями гётита, которые придают доломиту коричневатую окраску. Состав доломита отвечает  $\text{Ca}_{1.007-1.030}\text{Mg}_{0.950-0.967}\text{Sr}_{0.016-0.026}[\text{CO}_3]_2$  (табл. 3, ан. d1-d3). С Ca-содержащим стронцианитом ассоциирует подчинённый барит. Кристаллики барита включены в сферолиты стронцианита или расположены по

Таблица 1. Химический состав Са-содержащего стронцианита (s1-s8) и кальцита (c1) из гнёзд в метакимберлитах трубки Зарница, Якутия

Компоненты мас. %	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	c1
SrO	60.36	59.51	61.29	59.94	61.42	63.89	55.96	56.23	0.67
CaO	7.28	8.24	7.94	7.88	6.45	6.02	11.67	11.35	55.09
FeO	0.19	0.28	0.13	0.20	0.28	0.03	0.17	0.18	0.17
BaO	0.06	—	—	0.08	0.21	0.07	—	—	0.10
CO <sub>2</sub> *	31.51	31.84	32.32	31.80	31.40	31.92	33.05	32.33	43.68
Сумма	99.40	99.87	101.71	99.90	99.77	101.93	100.85	100.09	99.71
Формульные коэффициенты									
Sr	0.814	0.792	0.805	0.801	0.831	0.851	0.720	0.726	0.007
Ca	0.181	0.203	0.193	0.195	0.162	0.148	0.277	0.271	0.990
Fe	0.004	0.005	0.002	0.004	0.005	0.000	0.003	0.003	0.002
Ba	0.001	—	—	0.001	0.002	0.001	—	—	0.001
Сумма	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Примечание: Электронный микрозонд JXA-50А, аналитик Л.А. Паутов.

— содержание элемента ниже чувствительности РСМА. Мп не обнаружен.

\* — содержание CO<sub>2</sub> рассчитано по стехиометрии

Таблица 2. Химический состав барита (b1-b5) в ассоциации со стронцианитом из гнёзд в метакимберлитах трубки Зарница, Якутия

Компоненты мас. %	b1	b2	b3	b4	b5
BaO	63.14	64.11	61.97	61.42	63.89
SrO	1.03	0.42	2.20	2.15	1.79
CaO	0.01	0.23	0.44	0.21	0.45
FeO	0.12	0.38	не опр.	не опр.	0.24
SO <sub>3</sub>	33.90	34.58	34.46	34.09	35.51
Сумма	98.20	99.71	99.07	99.06	101.88
Формульные коэффициенты					
Ba	0.973	0.970	0.936	0.941	0.938
Sr	0.023	0.009	0.049	0.049	0.039
Ca	0.000	0.009	0.018	0.009	0.018
Fe	0.004	0.012	-	-	0.007
SO <sub>4</sub>	1.000	1.000	0.997	1.001	0.998
сумма	2	2	2	2	2

Примечание: Электронный микрозонд JXA-50А, аналитик Л.А. Паутов

соседству с ними в окружающем доломите. Барит содержит до 2.2 мас. % SrO, его состав отвечает  $Ba_{0.936-0.941}Sr_{0.039-0.049}Ca_{0.009-0.018}Fe_{0-0.007}[SO_4]$  (табл. 2, ан. b3 — b5).

Изотопный состав стронция в стронцианите устойчив:  $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.7080$  (обр. М 28392) и  $0.7084$  (обр. 60063). Изотопный состав кислорода в стронцианите заметно колеблется:  $\delta O^{18}$  (SMOW) = +11.7 (обр. 60063) и +14.8 (обр. М 28392). Ещё более изменчив изотопный состав углерода в стронцианите:  $\delta C^{13}$  (PDB) = -0.7 (обр.

Таблица 3. Химический состав доломита (d1-d3) в ассоциации со стронцианитом из гнёзд в метакимберлитах трубки Зарница, Якутия

Компоненты мас. %	d1	d2	d3
CaO	30.86	31.38	30.74
MgO	21.30	21.21	20.39
SrO	1.46	0.91	1.12
CO <sub>2</sub> *	48.11	48.18	46.88
сумма	101.73	101.68	99.13
Формульные коэффициенты			
Ca	1.007	1.022	1.030
Mg	0.967	0.962	0.950
Sr	0.026	0.016	0.020
сумма	2	2	2

Примечание: Электронный микрозонд JXA-50А, аналитик Л.А. Паутов. Fe, Мп, Ва — не обнаружены. \* — содержание CO<sub>2</sub> рассчитано по стехиометрии.

60063) и -9.9 (обр. М 28392). Наши данные по изотопному составу Sr близки к данным в работах (Костровицкий и др., 1983; Exley, Johnes, 1983). Возможные источники Sr для метаморфогенно-гидротермального стронцианита — магматический кальцит кимберлитов и/или вмещающие эвапоритовые толщи. Изотопные составы кислорода и углерода в стронцианите отвечают гидротермальным карбонатам по (Ferrini *et al.*, 2003 и др.)

Итак, генезис Са-содержащего стронци-

анита, барита, кальцита и доломита в метакимберлитах трубки Зарница метаморфогенно-гидротермальный; этот парагенез возник в условиях низкотемпературной части цеолитовой фации.

Авторы признательны Л.А. Паутову и Б.Г. Покровскому за высококачественные химические и изотопные анализы, Российскому фонду фундаментальных исследований за финансовую поддержку (грант РФФИ № 07-05-00057).

## Литература

- Бобривич А.П., Бонгаренко М.Н., Гневушев М.А. и др. Алмазные месторождения Якутии. М.: Госгеолтехиздат. **1959**. 528 с.
- Геология Сибирской платформы (ред. И.И. Краснов, М.Л. Лурье, В.Л. Масайтис). М.: Недра. **1966**. 447 с.
- Илупин И.П. К вопросу о генезисе минералов стронция в кимберлитовых трубках западной Якутии //Тр. Минерал. Музея АН СССР. **1961**. Вып. 12. С. 212–217.
- Корнилова В.П., Никишова Л.В., Никишов К.Н. Минералы группы серпентина из кимберлитовых пород Якутии //Парагенезы минералов кимберлитовых пород. Якутск: изд. ЯФ СО АН СССР. **1981**. С. 65–81.
- Костровицкий С.И., Днепровская Л.В., Брандт С.Б. Корреляция изотопных составов Sr, С и О в карбонатах из кимберлитов Якутии //Докл. АН СССР. **1983**. Т. 272. С. 1223–1225.
- Кузнецов Г.В., Мацюк С.С., Зинчук Н.Н. Гидротермальный кальцит из кимберлитов Якутии //Зап. ВМО. **1995**. Вып. 6. С. 87–100.
- Лебедев А.А. О гидротермальной стадии серпентинизации кимберлитов в связи с находкой в них брусита //Петрография и минералогия коренных месторождений алмаза. Вып. 8. М.: изд. АН СССР. **1963**. С. 71–86.
- Маршинцев В.К., Зольников Г.В., Никишов К.Н. Карбонаты кимберлитов Сибирской платформы //Эндогенные карбонаты Якутии. Новосибирск: Наука. **1980**. С. 18–35.
- Никишов К.Н. Петролого – минералогическая модель кимберлитового процесса. М.: Наука. **1984**. 213 с.
- Погвысоцкий В.Т. Серпентино-карбонатная минерализация в кимберлитах //Зап. ВМО. **1985**. Вып. 2. С.234–247.
- Соколова Е.А., Спиригонов Э.М. Парагенез гётита и лизардита – типичное образование метакимберлитов цеолитовой фации и заключённых в них метаперидотитов //Новые данные о минералах. **2006**. Вып. 41. С. 86–90.
- Спиригонов Э.М., Киров Г.Н., Иванова П.В., Янакиева Д.Я. Послескарновые гидротермалиты Рудногорского месторождения в трубке взрыва базальтов трапповой формации (юг Сибирской платформы) //Вулканизм и геодинамика. Т. 3. Улан-Удэ: изд. Бурятского НЦ СО РАН. **2006**. С. 771–775.
- Спиригонов Э.М., Ладыгин В.М., Симонов О.Н., Кулагов Э.А., Степанов В.К. Метавулканиды пренит-пумпеллиитовой и цеолитовой фаций трапповой формации Норильского района Сибирской платформы. М.: изд. МГУ. **2000**. 212 с.
- Уханов А.В., Девирц А.А. Метеорное происхождение воды, серпентинизировавшей кимберлиты Якутии //Докл. АН СССР. **1982**. Т. 268. С. 706–710.
- Уханов А.В., Устинов В.И., Девирц А.А. Низкие температуры серпентинизации якутских кимберлитов по изотопно-кислородным данным //Докл. АН СССР. **1986**. Т. 288. С. 466–469.
- Файф В.С., Прайс Н., Томпсон А.Б. Флюиды в земной коре. М.: Мир. **1981**. 436 с.
- Францессон Е.В. Петрология кимберлитов. М.: Недра. **1968**. 191 с.
- Exley R.A., Jones A.P. <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr in kimberlite carbonates by ion microprobe: hydrothermal alteration, crustal contamination and relation to carbonatite //Contrib. Mineral. Petrol. **1983**. Vol. 83. P. 288–292.
- Ferrini V., Martarelli L., de Vito C., ?ina A., Deda T. The Koman dawsonite and realgar-orpiment deposit, Northern Albania: influences of processes of formation //Canad. Mineral. **2003**. Vol. 41. P. 413–427.
- Kamo S.L., Czamanske G.K., Amelin Yu., Fedorenko V., Davis D., Trofimov V. Rapid eruption of Siberian flood-volcanic rocks and evidence for coincidence with Permian – Triassic boundary and mass extinction at 251 Ma //Earth Planet. Sci. Lett. **2003**. Vol. 214. P. 73–93.
- Low Grade Metamorphism. Frey M. (ed.). Oxford: Blackwells Science. **1999**. 313 p.
- Mitchell R.H. Kimberlites: mineralogy, geochemistry, and petrology. New York, London: Plenum Press. **1986**. 442 p.
- Thompson A.B. PCO<sub>2</sub> in low-grade metamorphism; zeolite, carbonate, clay mine rals, prehnite relations in the system CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O //Contrib.

УДК 549.322 (470.1/6)

## СКРУЧЕННЫЙ НИТЕВИДНЫЙ МАГНЕЗИАЛЬНЫЙ КАЛЬЦИТ В КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Т.Т. Абрамова

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, skalka@geol.msu.ru*

Л.Л. Панасьян

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

М.С. Чернов

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

В.Н. Соколов

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

В.М. Ладыгин

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

О.И. Гусарова

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

Э.М. Спиридонов

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, mineral@geol.msu.ru*

В статье описан скрученный нитевидный магниезный кальцит, установленный в интенсивно доломитизированных известняках касимовского яруса Архангельского региона и подольского яруса Подмосковья, в низко магниезных известняках московского яруса Подмосковья, в обломках доломитизированных известняков в донской морене на окраине Москвы. Нитевидный кальцит — позднее эпигенетическое образование, порождённое водами, связанными с четвертичным оледенением Русской платформы. В статье 5 рисунков, список литературы из 6 названий.

Нитевидные кристаллы — своеобразная и относительно редкая форма выделения многих минеральных видов. Особенно характерны нитевидные кристаллы для гипса, ангидрита, хризотиловых и амфиболовых асбестов, турмалина, цеолитов, халцедона, миллерита, буланжерита и иных игольчатых сульфидов, малахита, гипергенных сульфатов Fe, Cu, Mg, Ni, льда, каменной соли (Малеев, 1971; Краснова, Петров, 1997 и др.). Тончайшие прямолинейные нитевидные кристаллы кальцита установил М.Н. Малеев в известняковых пещерах Болгарии (Малеев, Филипов, 1974). Так называемое горное молоко (горная сметана) «mondmilch (montmilch, bergmilch)», образованное не сцементированными агрегатами нитевидных кристаллов кальцита толщиной около 0.0001 мм и длиной до 0,1–0,2 мм, описали Р. Зеeman и Г. Фишер в известняковых пещерах близ Люцерна в Швейцарии (Seemann, 1979; Fischer, 1988).

Нитевидный кальцит установили в карбонатных породах Подмосковья Т.Т. Абрамова и Л.Л. Панасьян, в карбонатных породах Архангельского региона Л.Л. Панасьян, в обломках карбонатных пород в морене на окраине Москвы М.С. Чернов. Фотографии сколов этих пород выполнил В.Н. Соколов (электронный микроскоп LEO-1450-VP с

приставкой INCA-300, лаборатория электронной микроскопии кафедры инженерной и экологической геологии МГУ). Определение химического состава карбонатов выполнил с помощью того же прибора М.С. Чернов. Часть фотографий в режиме электронного микроскопа выполнила Е.В. Гусева (лаборатория микрозондового анализа кафедры петрологии МГУ).

### Нитевидный кальцит центра Русской платформы

Нитевидный кальцит развит в низкомагниезных пелитоморфных органогенных известняках мячковского горизонта позднего карбона Подмосковья (рис. 1). Эти чисто белые (молочно-белые) известняки добывали в средние века в карьерах, заложенных по берегам реки Москвы — в древней долине (прадолине) реки Москвы, где с карбонатных пород каменноугольного возраста в доледниковое время были смыты богатые минералами железа меловые и юрские отложения. В прадолине реки Москвы известняки карбона подверглись механическому воздействию четвертичных ледников и промыты ледниковыми водами на глубину в несколько метров, в результате чего приобрели молочно-белую

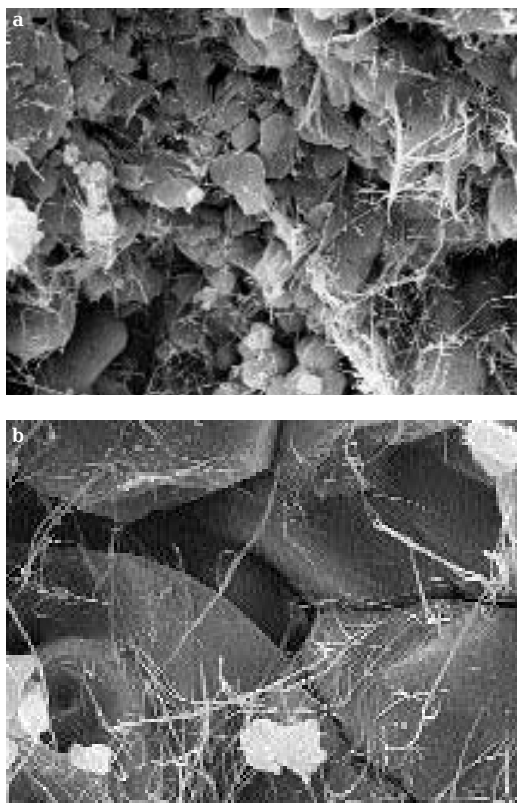


Рис. 1. Известняки мячковского яруса из долины реки Москвы.  
 а – скрученные нити кальцита-2 и их агрегаты в пустотах между зёрнами кальцита-1;  
 б – великолепные скрученные нити кальцита-2 на зёрнах кальцита-1 и в промежутках между ними, на зёрнах кальцита-1 тонкая плёнка гидрослюды.  
 Изредка на нити кальцита-2 выросли мелкие ромбоэдри кальцита-3. Снимки в отражённых электронах.

окраску. Из блоков таких известняков построено множество домов Москвы белокаменной. В их числе сохранившееся строение исторического памятника в музее «Палаты бояр Романовых XV – XVII веков» (Зарядье, неподалёку от Московского Кремля). Образцы известняков отобраны на глубине 10 см от поверхности каменной кладки этого строения. Пелитоморфные известняки сложены мелкими зёрнами кальцита трёх поколений, с незначительной примесью доломита и глинистых минералов. Большую часть объёма известняков образуют овальные зёрна кальцита-1, заметно растворённые; их размер от 0.001 до 0.02 мм (рис. 1а). На поверхности кальцита-1 широко развиты округлые и иной формы ямки травления (рис. 1б).

На кальцит-1 выросли нитевидные кристаллы кальцита-2, обычно изогнутые и скрученные, и их агрегаты. Многие нити

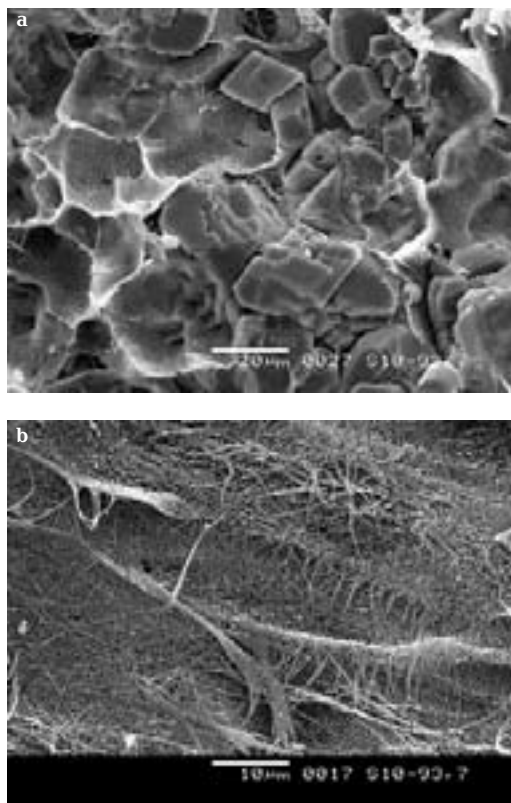


Рис. 2. Интенсивно доломитизированные известняки подольского яруса из долины реки Москвы.  
 а – в промежутках между кристаллами доломита агрегаты нитей магнезиального кальцита и палыгорскита;  
 б – агрегаты скрученных нитей магнезиального кальцита и палыгорскита.  
 Снимки в отражённых электронах.

как бы вырастают из частично растворённых зёрен кальцита-1 (рис. 1б). Толщина нитей кальцита менее 0.0002 мм, длина до 0.02 – 0.06 мм и более. Поперечное сечение нитей кальцита округлое. На боковых стенках нитей кальцита плоские грани отсутствуют. Нити кальцита иногда скручены в сложные петли и кольца. Существенная часть нитей кальцита образуют переплетения – маты толщиной в 1 – 5 нитей. Местами развиты войлочные агрегаты нитевидного кальцита.

Редкие правильные ромбоэдры кальцита-3 размером до 0.002 мм и их небольшие агрегаты выросли на нитевидный кальцит-2.

Подобные образования установлены в доломитизированных известняках подольского яруса среднего карбона из керна скважин в районе Краснопресненской набережной реки Москвы (рис. 2 и 3). Размер кри-

таллов доломита в них 0.005–0.2 мм, обычно 0.02–0.07 мм, подчинённого кальцита-1 не более 0.005 мм. Скрученные в различной степени нити магниезного кальцита-2 и их агрегаты развиты в промежутках между зёрнами доломита и кальцита-1 (рис. 3) или облекают кристаллы доломита (рис. 2). Нередко с магниезным кальцитом ассоциируют мельчайшие агрегаты горной кожи – палыгорскита (светло-серое в центре рис. 3с).

### Нитевидный магниезный кальцит севера Русской платформы

Нитевидные кристаллы кальцита установлены в карбонатных породах молочно-белого цвета в Архангельском регионе (северо-запад Русской платформы). Это слабо глинистые интенсивно доломитизированные известняки касимовского яруса карбона, которые перекрывают толщу бокситов Плисецкого месторождения. Тонкопористые микрокристаллические породы отобраны из керна разведочных скважин с глубины 50–90 м. Породы состоят из массы ромбоздров доломита и скоплений более мелких кристаллов кальцита с тонкими плёнками глинистых минералов. По данным рентгенофазового анализа содержание доломита около 90%, кальцита около 5%. Нерастворимый остаток не превышает 3% объёма пород, в его составе кварц, менее калишпат и глинистые минералы. По данным рентгенофазового анализа глинистые минералы – гидрослюда (иллит) и подчинённые иллит – смектит и палыгорскит.

Размер ромбоздров доломита 0.02–0.1 мм (рис. 4а). Химический состав доломита отвечает  $\text{Ca}_{0.99-1.04}\text{Mg}_{1.01-0.96}[\text{CO}_3]_2$ , средний состав из трёх анализов  $\text{Ca}_{1.009}\text{Mg}_{0.991}[\text{CO}_3]_2$ ; содержания Fe, Mn, Sr ниже предела обнаружения. Центральные части кристаллов доломита обычно частью выщелочены и/или замещены кальцитом.

Кальцит представлен тремя поколениями разнотипных индивидов. Большая часть принадлежит кальциту-1. Кристаллы кальцита-1 почти изометричные или несколько удлинённые, обычно овальные, относительно редко имеют правильную огранку в форме скаленоэдров, размер их 0.002–0.01 мм (рис. 4). Поверхность кристаллов кальцита-1 нередко покрыта фигурами травления: желобками, уступами и иными (рис. 4с). Химический состав кальцита-1 отвечает  $(\text{Ca}_{0.96}\text{Mg}_{0.04})[\text{CO}_3]$ .

Особый интерес представляет кальцит-2, выделения которого имеют форму скручен-

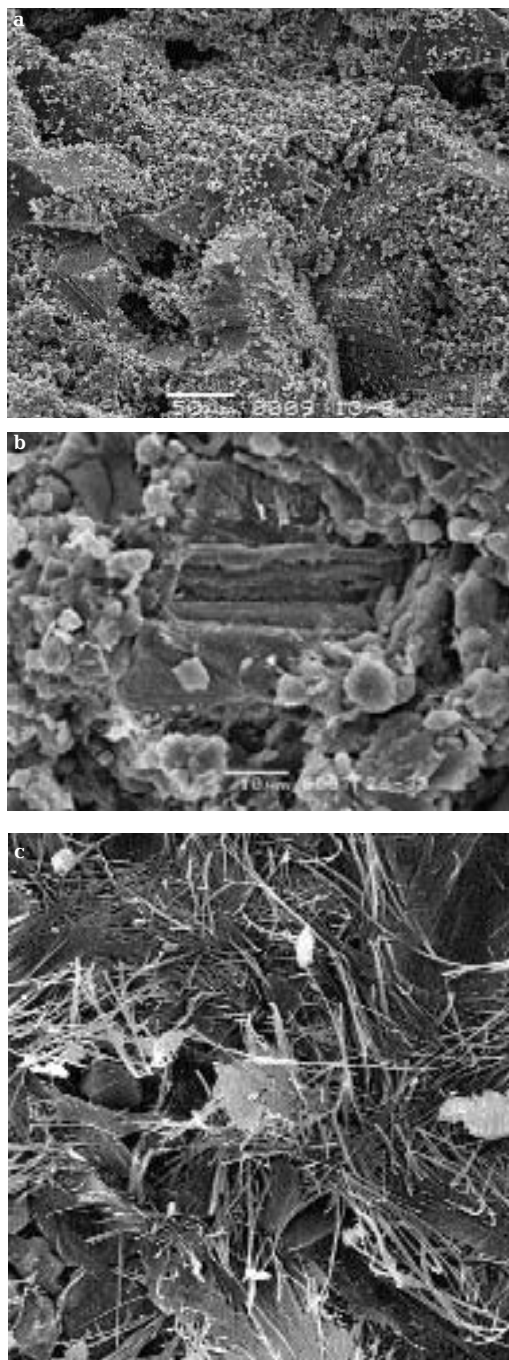


Рис. 3. Доломитизированные известняки погольского яруса из долины реки Москвы. а – породы сложены ромбоздрами доломита и мелкими кристаллами кальцита-1. Кристаллы доломита заметно выщелочены; б – в промежутках между зёрнами доломита и кальцита-1 нити магниезного кальцита-2; с – отдельные скрученные нити и агрегаты нитей магниезного кальцита-2. Изредка на этих нитях кристаллики кальцита-3 (белые). Снимки в отражённых электронах.

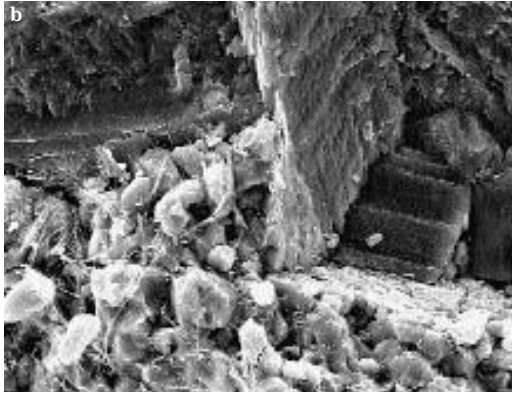
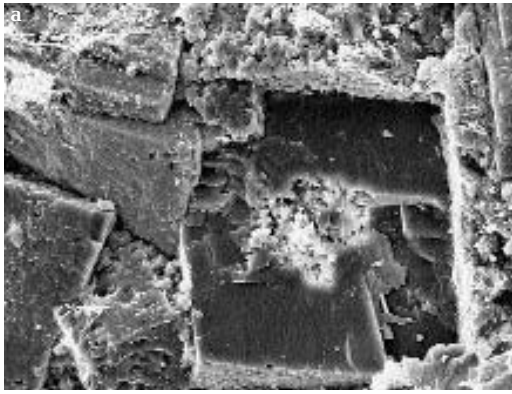
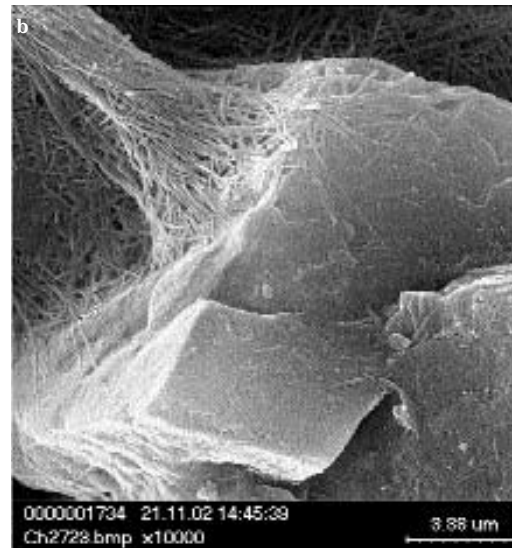
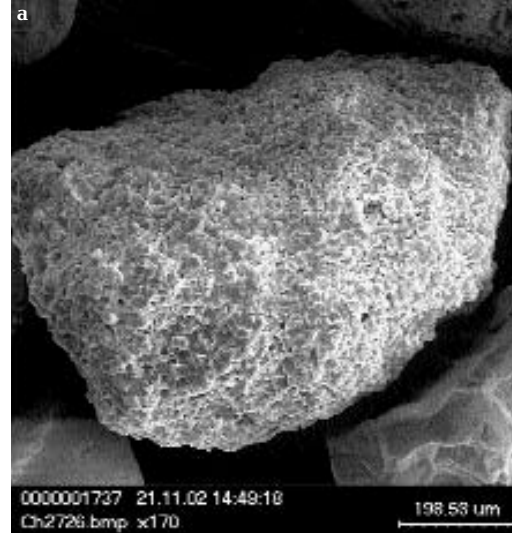


Рис. 4. Интенсивно доломитизированные известняки касимовского яруса Архангельского региона.

*a* – породы сложены ромбоэдрами доломита и зёрнами кальцита-1. Центр ромбоэдра доломита частью выщелочен, частью замещён кальцитом (белое). В промежутках между зёрнами доломита и кальцита-1 развит нитевидный магнизиальный кальцит-2; *b* – скрученные нити магнизиального кальцита и их агрегаты в промежутках между зёрнами доломита и кальцита-1; *c* – скрученные нити магнизиального кальцита-2 выросли на растворённую поверхность зёрен кальцита-1 с тонкой плёнкой гидрослюг. Снимки в отражённых электронах.

Рис. 5. Обломок доломитизированных известняков 0.8 мм из глин донской морены на юго-западе Москвы.

*a* – общий вид; *b* – деталь этого обломка: агрегаты скрученных нитей магнизиального кальцита вокруг кристаллов доломита. Снимки в отражённых электронах



ных нитевидных кристаллов — усов. Поперечное сечение нитевидных кристаллов кальцита округлое, толщина составляет 0.00004—0.00008 мм, обычно около 0.00005 мм (рис. 4с). На стенках нитей кальцита плоские грани отсутствуют. Длина нитей кальцита не менее 0.02—0.1 мм. Они зачастую причудливо изогнуты, нередко слипаются в более толстые нити или образуют переплетения. Нити кальцита как бы вырастают из поверхности растворённых зёрен кальцита-1 (рис. 4с). Агрегаты нитей кальцита часто облекают ромбоздры доломита. На отдельных участках нитевидный кальцит скручен в небольшой ступени, его агрегаты напоминают швейцарское «горное молоко (горную сметану)». Химический состав архангельского нитевидного кальцита отвечает  $(\text{Ca}_{0.877}\text{Mg}_{0.123})[\text{CO}_3]$ , — это высоко магнезиальный кальцит. Наличие магнезиального кальцита подтвердил рентгенометрический анализ.

Значительно более редок кальцит-3, который представлен очень мелкими ромбоздрами и их агрегатами, выросшими на доломит и нити кальцита-2. Размер выделений кальцита-3 от 0.0001 до 0.001 мм. По составу это чистый кальцит.

### Нитевидный кальцит на поверхности мелких обломков карбонатных пород в четвертичной морене центра Русской платформы

Скрученный нитевидный магнезиальный кальцит, аналогичный описанному, развит на поверхности обломков доломитизированных известняков песчаной размерности в моренных глинах на окраине Москвы (рис. 5). Образцы глин донской морены отобраны из скважины с глубины 12 м. Вполне очевидно, что нитевидный кальцит вырос на поверхности мелких обломков известняков в морене после её отложения при таянии четвертичного ледника.

### О возможном механизме образования нитевидного кальцита Русской платформы

Обычно природные нитевидные кристаллы вырастают на микропористой под-

ложке; размер вырастающих нитевидных кристаллов определяют размеры пор — промежутков между кристаллами минералов подложки (Малеев, 1971 и др.). Вероятно, описанные нитевидные кристаллы кальцита в карбонатных породах каменноугольного возраста на севере и в центре Русской платформы выросли на кристаллах растворяющегося кальцита, покрытых тончайшей плёнкой гидрослюда, при участии растворов, обогащённых Са и Mg. Возникновение описанных поздних эпигенетических образований — агрегатов нитевидного кальцита существенным образом изменило текстуру карбонатных пород и повлияло на их свойства.

Как правило, нитевидные кристаллы относительно легко растворимых соединений, к которым относится и кальцит, наиболее поздние и мало устойчивые образования. Описанный нитевидный кальцит, как и молочно-белая окраска вмещающих их карбонатных пород, возникли под действием вод, связанных с четвертичным оледенением Русской платформы (Спиридонов и др., 2007).

### Литература

- Краснова Н.И., Петров Т.Г. Генезис минеральных индивидов и агрегатов. Спб.: Невский курьер. 1997. 228 с.
- Малеев М.Н. Свойства и генезис природных нитевидных кристаллов и их агрегатов. М.: Наука. 1971. 199 с.
- Малеев М.Н., Филипов А.Ф. Нитевидные кристаллы кальцита из пещеры «Водопад», округ Ловеча //Годишник Софийского ун-та. 1974. Т. 66. № 1. С. 151—162.
- Спиридонов Э.М., Янакиева Д.Я., Абрамова Т.Т., Панасьян А.А., Чернов М.С., Соколов В.Н., Ладыгин В.М. О минеральных образованиях Русской платформы, порождённых четвертичным оледенением //Минералогические исследования и минерально-сырьевые ресурсы России. М.: изд. ВИМС. 2007. С. 131—133.
- Fischer H. Mondmilch //Aufschluss. 1988. Bd. 39. H. 5. S. 311—316.
- Seemann R. Mineralien in Höhlen. Höhlenforschung in Österreich //Veröff. aus dem Naturhistorischen Museum Wien. 1979. Folge 17. S. 28—40.

**"Ферсманиада-2008" – Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ юных геологов в рамках международной научной конференции "Ферсмановские чтения" в честь 125-летия со дня рождения академика А.Е. Ферсмана**

В связи со 125-летием со дня рождения академика А.Е. Ферсмана Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН организует 10 – 12 ноября 2008 года международную научную конференцию "Ферсмановские чтения". Оргкомитет предполагает уделить внимание современному звучанию и развитию идей академика А.Е. Ферсмана, в первую очередь, в минералогическом аспекте, а также истории научных идей, свершений и личностей – академика, его соратников и учеников. К работе конференции привлекаются представители отечественных и зарубежных учреждений, ведущие углубленные исследования по ферсмановской тематике. Предварительная программа мероприятия опубликована на Интернет-сайте Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН [www.fmm.ru](http://www.fmm.ru).

В рамках конференции совместно с Российским геологическим обществом (РосГео, [www.georos.ru](http://www.georos.ru)) будет проведена молодежная секция – "Ферсманиада", на которой будут представлены научные работы участников детско-юношеского геологического движения России. Работы юных геологов, минералогов и естествоиспытателей будут проходить конкурсный отбор в процессе проведения заочного тура, а лучшие будут представлены в качестве сообщений на конференции.

Задачами Конкурса являются повышение интереса школьников к изучению геологических наук, минеральных ресурсов России и родного края; сохранение культурного и научного наследия академика А.Е. Ферсмана; развитие индивидуальных способностей детей к творческой и исследовательской деятельности; выявление учащихся, ориентированных на получение геологической специальности; приобретение опыта участия в международной научной конференции, знакомство с работами российских и зарубежных исследователей.

*Условия проведения конкурса*

В Конкурсе могут принимать участие учащиеся геологических кружков России и других стран, всех возрастных категорий, представляя как индивидуальные, так и коллективные работы.

Конкурс проводится в 2 этапа – очный и заочный.

**Заочный этап.** К рассмотрению принимаются присланные в адрес Оргкомитета до 10 октября 2008 года реферативные работы или работы, в которых представлены результаты самостоятельных исследований (коллективные, индивидуальные) по тематике, связанной с жизнью и работой А.Е. Ферсмана.

В очном этапе принимают участие победители заочного этапа.

*Работы должны быть посвящены следующим темам:*

- (1) Минералогия пегматитов;
- (2) Минералогия щелочных пород;
- (3) Месторождения, изученные А.Е. Ферсманом: прошлое – настоящее – будущее;

- (4) А.Е. Ферсман и геологические памятники и музеи вашего города/края;
- (5) Экспедиции по "Ферсмановским" местам;
- (6) А.Е. Ферсман и зарождение детско-юношеского геологического движения;
- (7) А.Е. Ферсман – человек-легенда.

Работы могут быть представлены в виде описания, подборки фотографий, видеофильма или лекции минералов и горных пород. Пояснительные материалы к фотографиям, видеофильмам, коллекциям, а также рефератам должны быть оформлены в виде тезисов работы, которые будут опубликованы в сборнике тезисов докладов конференции "Ферсмановские чтения".

**Очный этап** проводится в виде доклада по теме работы; показа видеофильма, фотоматериалов или представления коллекции минералов и горных пород.

Лучшие работы станут экспонатами временных выставок в музее.

Полные требования к научно-исследовательским работам, фото-, видеоматериалам и коллекциям, к тезисам работ, а также предварительная программа секции опубликованы на Интернет-сайте [www.ferzman.ru](http://www.ferzman.ru)

Предварительная программа Конкурса:

15 апреля – 10 октября (заочный этап)

Прием работ на Конкурс

10 – 31 октября (заочный этап)

Подведение итогов заочного этапа Конкурса

11 ноября 10.00 – 18.00

Регистрация участников очного этапа Конкурса.

Осмотр выставок музея, участие в сессии "Ферсмановских чтений" (очный этап)

12 ноября 10.00 – 18.00

Выступление с докладами, фото-видео показы,

презентации коллекций (очный этап).

Церемония награждения и закрытие.

Адреса рабочей группы Организационного комитета Конкурса ([www.ferzman.ru](http://www.ferzman.ru)):

*Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН*

119071, Москва, Ленинский пр-т, 18, корпус 2.

Телефон: 7(495)952-0067, факс: 7(495) 952-4850,

e-mail: [mineral@fmm.ru](mailto:mineral@fmm.ru); [www.fmm.ru](http://www.fmm.ru).

Контактное лицо: Мария Сергеевна Алферова

[alferova@fmm.ru](mailto:alferova@fmm.ru)

*Российское геологическое общество (РосГео)*

115191, Москва, ул. 2-ая Рощинская, 10

Телефон (495) 952-5772, факс: (495) 633-7097,

e-mail: [rosgeo@geosys.ru](mailto:rosgeo@geosys.ru); [www.georos.ru](http://www.georos.ru)

Контактное лицо: Всеволод Васильевич Аристов

[lambino@yandex.ru](mailto:lambino@yandex.ru)